



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**EFFECTO DEL POLVO Y LLUVIA EN EL RENDIMIENTO DE  
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LA CIUDAD DE PUNO, 2021**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**LUIS DARIO MACHACA QUISPE**

**LUIS CORONEL RODRIGUEZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO - PERÚ**

**2023**



NOMBRE DEL TRABAJO

**EFFECTO DEL POLVO Y LLUVIA EN EL RE  
NDIMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAI  
COS EN LA CIUDAD DE PUNO, 2021**

AUTOR

**LUIS DARIO MACHACA QUISPE / LUIS  
CORONEL RODRIGUEZ**

RECUESTO DE PALABRAS

**18206 Words**

RECUESTO DE CARACTERES

**92297 Characters**

RECUESTO DE PÁGINAS

**100 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**4.1MB**

FECHA DE ENTREGA

**Apr 13, 2023 12:26 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Apr 13, 2023 12:27 PM GMT-5**

● **15% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 11% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Bloques de texto excluidos manualmente



Firmado digitalmente por VILCA  
CALLATA Leonidas FAU  
20145496170 soft  
Motivo: Doy V°B°  
Fecha: 13.04.2023 12:33:29 -05:00



## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo de tesis a Dios por darme la fuerza y seguir adelante, a mis padres Uriel Machaca Calliri y Herminia Quispe Guevara, a mis hermanos quienes estuvieron siempre presente para apoyarme en las buenas y en las malas, a mi familia por estar siempre constante brindándome apoyo y que fueron el motor que me impulsaron a seguir mis sueños y esperanzas, a la universidad que me dio muchas facilidades en el estudio y tener profesionales de buena calidad, a la escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica en el cual me formé como un buen profesional, a los docentes de la escuela profesional de mecánica eléctrica, a mis amigos y compañeros con los que compartimos horas de trabajo a lo largo de nuestra formación, también compartimos tiempos de aventuras, deporte y debates sobre la vida.*

*Muchas gracias me han enseñado a ser una persona que soy en la actualidad, mis principios, mis valores. Todo esto lo escribo con amor y sin pedir nada a cambio.*

***Luis Dario Machaca Quispe***



## DEDICATORIA

*Dedico en primer lugar a Dios este proyecto de tesis, por darme la vida, salud y cuidado y por haberme ayudado a llegar hasta este momento de mi formación profesional. A mi madre Filomena Rodriguez Lopez que siempre estuvo apoyándome con sus consejos y oraciones así vencer todo desánimo en la trayectoria de mi estudio. A mi padre, Juan Coronel Pozo que con su apoyo incondicional quien me enseñó a enfrentar dificultades y desánimos. A todos mis hermanas y hermanos que fueron fuente de luz, Hermelinda, Roberto, Leonardo, Elmer, Dorita, quienes siempre han estado presentes para cualquier insuficiencia que tuve en mi formación profesional. A mi hijo Abdías que fue uno de los motivos para seguir luchando en la vida para su bienestar y desarrollo como persona, y todas las personas que formaron parte de mi vida familiar y profesional que han apoyado para el lograr mis objetivos.*

***Luis Coronel Rodriguez***



## AGRADECIMIENTOS

Muy agradecidos a todos quienes queremos hacer la mención que han sido los soportes para el cumplimiento de nuestra meta tan anhelada que es el título profesional, queremos expresar nuestro agradecimiento a los siguientes.

A Dios por darnos la fuerza y seguir adelante, a la universidad que nos dio muchas facilidades en el estudio y tener profesionales de buena calidad, a la escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica en el cual nos formamos como un buen profesional, a los docentes de la escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica quienes con su apoyo y enseñanzas constituyen la base de nuestra vida profesional.

En especial a los ingenieros; Ing. Leónidas Vilca Callata, Ing. Elmer Rodrigo Aquino Larico, Ing. José Manuel Ramos Cutipa, quienes nos apoyaron en el proceso de la investigación y resolvieron nuestras dudas, a nuestros compañeros y amigos con los que compartimos ideas.



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 13**

**ABSTRACT..... 14**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 17**

**1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... 18**

1.2.1. Problema general ..... 18

1.2.2. Problemas específicos..... 18

**1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 18**

1.3.1. Hipótesis general ..... 18

1.3.2. Hipótesis específicas..... 19

**1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA ..... 19**

**1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 20**

1.5.1. Objetivo general ..... 20

1.5.2. Objetivos específicos ..... 20

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES ..... 21**



<b>2.2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>23</b>
2.2.1. Energías renovables .....	23
2.2.2. Energía solar .....	24
2.2.3. Energía solar fotovoltaica.....	25
2.2.4. Paneles solares fotovoltaicos .....	26
2.2.5. Rendimiento en paneles solar fotovoltaicos .....	29
2.2.6. Deposición de polvo en la superficie del panel solar fotovoltaico .....	31
2.2.7. Presencia de lluvia en el funcionamiento de paneles solares fotovoltaicos .. .....	32
2.2.8. Controlador industrial.....	33
2.2.9. Sensores de irradiación solar .....	34

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2. DISEÑO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>36</b>
3.2.1. Panel solar fotovoltaico .....	37
3.2.2. Transductor de corriente industrial.....	38
3.2.3. Controlador Lógico Programable (PLC) .....	40
3.2.4. Interruptor termomagnético, indicadores luminosos y pulsadores .....	40
3.2.5. Software del PLC SOMACHINE CENTRAL .....	41
<b>3.3. VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO .....</b>	<b>43</b>
<b>3.4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL DE LA ACUMULACIÓN DE POLVO.....</b>	<b>44</b>
<b>3.5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR EL EFECTO DE LA LLUVIA .....</b>	<b>46</b>



3.5.1. Lluvia estratiforme .....	46
3.5.2. Lluvia convectiva .....	46
<b>3.6. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LOS PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS.....</b>	<b>47</b>
3.6.1. Potencia nominal del módulo fotovoltaico.....	47
3.6.2. Factor de reducción por efecto del polvo .....	47
3.6.3. Instrumentos utilizados para medir los parámetros físicos y eléctricos ....	48
3.6.4. Promedio de datos obtenidos en los sistemas fotovoltaicos.....	49
3.6.5. Mantenimiento del sistema fotovoltaico con limpieza .....	52
3.6.6. Características de la radiación ultravioleta y la temperatura en Puno .....	54
3.6.7. Factores que influyen en la pérdida de rendimiento fotovoltaico .....	55
3.6.8. Contrastación de hipótesis .....	56
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
<b>4.1. TASA DE ACUMULACIÓN DE POLVO EN LA SUPERFICIE DEL PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>59</b>
<b>4.2. COMPORTAMIENTO DE LA IRRADIACIÓN SOLAR.....</b>	<b>60</b>
<b>4.3. EFECTOS DEL POLVO EN EL RENDIMIENTO DEL PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO.....</b>	<b>61</b>
<b>4.4. EFECTOS DE LA LLUVIA EN EL RENDIMIENTO DEL PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO.....</b>	<b>62</b>
<b>4.5. MANTENIMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....</b>	<b>63</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>68</b>



**ANEXOS..... 77**

**ÁREA:** Ingeniería Mecánica Eléctrica

**LÍNEA:** Ingeniería Mecánica Eléctrica

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 20 de abril de 2023



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b>	Mapa de irradiancia solar global .....	25
<b>Figura 2:</b>	Producción de energía solar fotovoltaica global desde 2010 hasta 2022 ...	26
<b>Figura 3:</b>	Tecnología Monocristalina y Policristalina de silicio, construida por capas .....	27
<b>Figura 4:</b>	Celda posterior de emisor pasivo (PERC).....	28
<b>Figura 5:</b>	Célula fotovoltaica bifacial.....	28
<b>Figura 6:</b>	Curva de operación de tensión y corriente del panel solar fotovoltaico con variación de temperatura .....	30
<b>Figura 7:</b>	Curva de operación de tensión y potencia del panel solar fotovoltaico con variación de temperatura .....	30
<b>Figura 8:</b>	Acumulación de polvo en la superficie del panel solar con efectos de lluvia parcial .....	31
<b>Figura 9:</b>	Acumulación de polvo a diferentes ángulos de inclinación del panel solar	32
<b>Figura 10:</b>	Presencia de lluvias en los módulos fotovoltaicos .....	33
<b>Figura 11:</b>	PLC aplicado a sistemas fotovoltaicos .....	34
<b>Figura 12:</b>	Ubicación geográfica del proyecto de investigación, EPIME, UNA-Puno	36
<b>Figura 13:</b>	PLC Modicon, modelo M241, Schneider Electric .....	37
<b>Figura 14:</b>	Convertidor (sensor) de corriente a tensión, Schneider Electric.....	39
<b>Figura 15:</b>	Diseño experimental, esquema de conexiones eléctricas de los paneles solares fotovoltaicos .....	39
<b>Figura 16:</b>	Controlador Lógico programable (PLC), MODICON M241CE24T, Schneider Electric.....	40
<b>Figura 17:</b>	Interruptor termomagnético, indicadores luminosos y pulsadores.....	41
<b>Figura 18:</b>	Software: SOMACHINE CENTRAL, Schneider Electric .....	42



<b>Figura 19:</b> Subrutina en lenguaje de programación BDF en el software SOMACHINE CENTRAL.....	42
<b>Figura 20:</b> Registro de datos en la tarjeta SD en el software SOMACHINE CENTRAL. .....	43
<b>Figura 21:</b> Registro de traza en el software SOMACHINE CENTRAL. ....	43
<b>Figura 22:</b> Remoción de material particulado en función a la velocidad del viento....	44
<b>Figura 23:</b> Procedimiento experimental en la toma de muestra de material particulado (polvo) .....	45
<b>Figura 24:</b> Regresión lineal de la pérdida de rendimiento fotovoltaico.....	46
<b>Figura 25:</b> Posibles formas de gotas por efecto de la lluvia en la superficie del panel solar fotovoltaico .....	47
<b>Figura 26:</b> Diagrama de caja y bigotes.....	52
<b>Figura 27:</b> Índice de radiación ultravioleta por día en la ciudad de Puno.....	54
<b>Figura 28:</b> Comportamiento de la temperatura en la ciudad de Puno.....	55
<b>Figura 29:</b> Prueba de hipótesis al 5 %.....	58
<b>Figura 30:</b> Tasa de acumulación de polvo y efectos en el rendimiento fotovoltaico...	60
<b>Figura 31:</b> Irradiación solar en la ciudad de Puno .....	61
<b>Figura 32:</b> Rendimiento fotovoltaico en los paneles solares fotovoltaicos.....	62
<b>Figura 33:</b> Presencia de lluvias y comportamiento del sistema fotovoltaico.....	63



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b>	Especificación técnica del panel solar fotovoltaico de 120 W. ....	38
<b>Tabla 2:</b>	Parámetros físicos y eléctricos de los instrumentos y equipos. ....	48
<b>Tabla 3:</b>	Irradiación solar del panel solar fotovoltaico con limpieza periódica y sin limpieza. ....	49
<b>Tabla 4:</b>	Cuadro de estadística de prueba.....	51



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>CEM</b>	Condiciones Estandar de Medida
<b>CVS</b>	Valores separados por comas
<b>DL</b>	Decreto Legislativo
<b>GW</b>	gigavatios
<b>IEC</b>	International electrotechnical commission
<b>PLC</b>	Controlador logico programable
<b>RAM</b>	Memoria de acceso aleatorio
<b>ROM</b>	Memoria de solo lectura
<b>SENAMHI</b>	Servicio Nacional de Meteorologia e Hidrologia
<b>TW</b>	teravatios
<b>V</b>	voltios
<b>W</b>	Vatios



## RESUMEN

La producción de energía fotovoltaica tiene gran importancia en la actualidad, sin embargo, su aprovechamiento puede ser afectado por la estacionalidad debido a las condiciones climáticas variadas de la zona. El objetivo de esta investigación es determinar el efecto del material particulado (polvo) y precipitación en la producción de electricidad en la ciudad de Puno. Para desarrollar este proyecto de investigación, se utilizaron dos paneles solares fotovoltaicos, uno con limpieza periódica y el otro sin limpieza periódica, conectados a un controlador lógico programable (PLC), encargado de procesar la señal de irradiación solar mediante el lenguaje de programación Ladder y registrar los datos en tiempo real durante el periodo de experimentación, para determinar la pérdida de rendimiento por efecto de la acumulación del polvo y la lluvia en la superficie del panel solar, además, se realizó la comparación del rendimiento fotovoltaico de ambos sistemas, determinando la significancia en la pérdida de rendimiento en el módulo fotovoltaico sin limpieza. Los resultados determinaron que el panel solar fotovoltaico sin limpieza periódica pierde rendimiento fotovoltaico de 6.20 % por mes por efecto del polvo, aceptando la hipótesis alterna (diferencia de rendimiento), sin embargo, la lluvia en cierta medida puede limpiar la superficie del panel fotovoltaico, más aún, las condiciones climáticas variadas del Altiplano de Puno, son factores importantes para la presencia de días soleados, días lluviosos, días nublados y parcialmente nublados, ocasionando que la producción de electricidad sea irregular.

**Palabras clave:** Efecto del polvo, irradiación solar, precipitación, rendimiento fotovoltaico, producción de electricidad.



## ABSTRACT

The production of photovoltaic energy is currently of great importance; however, its use can be affected by seasonality due to the varied climatic conditions of the area. The objective of this research is to determine the effect of particulate matter (dust) and precipitation on the production of electricity in the city of Puno. To develop this research project, two photovoltaic solar panels were used, one with periodic cleaning and the other without periodic cleaning, connected to a programmable logic controller (PLC), in charge of processing the solar irradiation signal through the Ladder programming language and record the data in real time during the experimentation period, to determine the loss of performance due to the accumulation of dust and rain on the surface of the solar panel, in addition, the comparison of the photovoltaic performance of both systems was carried out, determining the significance in the loss of performance in the photovoltaic module without cleaning. The results determined that the photovoltaic solar panel without periodic cleaning loses photovoltaic performance of 6.20% per month due to the effect of dust, however, the rain to a certain extent can clean the surface of the photovoltaic panel, moreover, the varied climatic conditions of the Altiplano de Puno, are important factors for the presence of sunny days, rainy days, cloudy and partially cloudy days, causing electricity production to be irregular.

**Keywords:** Effect of dust, solar irradiation, precipitation, photovoltaic performance, electricity production.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación refiere al tema de los efectos del polvo y lluvia en el rendimiento de sistemas fotovoltaicos fijos instalados en la ciudad de Puno. En tal sentido, la región altoandina presenta uno de los climas más variados del mundo, debido a que está situado a más de 3800 msnm, altitud muy elevada con presencia irregular de lluvias leves, moderadas y fuertes, días con nubosidad parcial y total, días soleados con presencia ligera de nubes y días completamente soleados. Sin embargo, el clima variado del Altiplano de Puno, también incluye la presencia de vientos irregulares, leves y fuertes, que ocasionan la pérdida de rendimiento de los sistemas fotovoltaicos, por la acumulación de polvo en la superficie del panel solar bloqueando parcialmente la captación de la luz del sol y reduciendo la producción de electricidad, además, la lluvia leve forma una capa de mayor espesor que bloquea aún más el paso de los rayos solares.

Por esa razón, se tiene muy pocos estudios del efecto de la deposición del polvo y la lluvia en sistema solares fotovoltaicos, en zonas de altitudes elevadas por encima de los 1000 msnm e incluso superiores a los 3800 msnm. Debido a esta razón, las características de los paneles solares fotovoltaicos o el desarrollo tecnológico influyen significativamente en la producción de electricidad, como son: los módulos fotovoltaicos monocristalinos, policristalinos y amorfos compuestos de Silicio (Si).

Para desarrollar este proyecto de investigación se utilizaron módulos fotovoltaicos monocristalinos de Si, porque tienen un buen comportamiento ante la variación climática de la zona (cambios bruscos de temperatura, presencia variable de lluvias, e incluso presencia de nieve). Esta tecnología en la actualidad ha reducido sus costos, siendo muy



accesible para la población, por ser un sistema fotovoltaico de fácil instalación y cero mantenimientos, simplemente limpieza de la superficie del panel solar.

Pero la acumulación de polvo con el pasar de los meses influye de manera significativa en el rendimiento, reduciendo la producción de electricidad del panel solar fotovoltaico, por esa razón, en esta tesis se estudia ese comportamiento, que en largo plazo no solo afecta en la reducción del rendimiento fotovoltaico, también, afecta en la degradación prematura del panel solar, ocasionando otro tipo de fallas por operación en condiciones de clima variado.

Este proyecto de investigación se divide en varias secciones, donde en la primera parte se detalla la problemática de la investigación referente a los problemas de la acumulación de material particulado en la superficie del panel solar fotovoltaico, el comportamiento del panel solar fotovoltaico frente a la precipitación (lluvias fuertes y leves) y otros factores como la variación del clima (cambios de temperatura bruscos, humedad y otros) por la altitud elevada de la región de Puno.

Seguidamente se hace referencias a varios antecedentes por efectos del polvo en la pérdida del rendimiento en sistemas fotovoltaicos y consecuencias de la lluvia en la producción de electricidad de paneles solares fotovoltaicos, relacionados con este proyecto de investigación.

Además, se detalla un marco teórico que aborda temas de energía solar, sistemas fotovoltaicos, recurso energético solar, rendimiento fotovoltaico, curvas de operación de tensión, corriente y potencia en paneles solares fotovoltaicos, efectos del polvo y lluvia en el rendimiento de sistemas fotovoltaicos y otras características de la energía solar fotovoltaica.



Continúa con los materiales y métodos utilizados en esta investigación, con la finalidad de determinar el efecto del polvo y lluvia en los sistemas fotovoltaicos instalados en altitud elevada aproximadamente a más de 3800 msnm.

Los resultados obtenidos permiten evaluar la producción electricidad de paneles solares y determinar las diferencias en el rendimiento, en la ciudad de Puno en condiciones climáticas variadas.

Finalmente, este proyecto de investigación se ha estructurado de la siguiente manera: primeramente, se muestra el resumen en español e inglés, seguidamente se da una introducción a la presente tesis con el planteamiento del problema, la hipótesis y los objetivos, luego se detalla la revisión de la literatura con el marco teórico y antecedentes, además especificamos los materiales y métodos utilizados en la presente investigación, para mostrar los resultados y discusiones con otros autores, para terminar con las conclusiones, recomendaciones y anexos desarrollados en la presente investigación.

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El cambio climático, el incremento de la temperatura ambiental en todo el mundo y la contaminación del medio ambiente, por causa de la matriz energética mundial por el uso del combustible fósil (energía derivada del petróleo y gas natural), ocasionan un desequilibrio en la naturaleza.

Mas aun, en la matriz energética nacional, compuesta por más del 54 % por centrales de generación térmica, que operan con combustibles fósiles, incrementando los gases de efecto invernadero y la contaminación de ciertas zonas con productos derivados de carbono, por esa razón, en estudio de investigación se propone el uso de las energías renovables, en especial la energía solar fotovoltaica, por ser un sistema energético limpio y amigable para el medio ambiente con 0 % de emisiones de gases de efecto invernadero en su funcionamiento y una durabilidad aproximada de 25 años.



En la región de Puno, se tiene muy pocos estudios sobre los efectos de la acumulación del polvo en los paneles solares fotovoltaicos, debido a la altitud elevada aproximadamente 3800 msnm, clima irregular, que presenta una variación estacional a lo largo del año, que varía la temperatura, humedad, viento, precipitación, y otros factores ambientales. Por esa razón, todos estos factores ambientales y la presencia de lluvias, causan la reducción gradual de la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos, por ende, disminuye el rendimiento fotovoltaico de la energía solar.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema general**

- a) ¿Cómo determino el efecto del polvo y lluvia en el rendimiento de un sistema fotovoltaico en la ciudad de Puno?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a) ¿Cuál será el diseño de un sistema fotovoltaico sin limpieza y con limpieza periódica para determinar la acumulación de polvo y el efecto de la lluvia en la superficie del panel solar?
- b) ¿Cómo determino la pérdida de rendimiento de panel solar fotovoltaico por efecto de la acumulación de polvo y lluvia?

## **1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. Hipótesis general**

- a) La acumulación de polvo en la superficie del módulo fotovoltaico en periodos largos, reduce significativamente el rendimiento fotovoltaico.



### 1.3.2. Hipótesis específicas

- a) La implementación del diseño fotovoltaico con limpieza periódica y sin limpieza, permitirá determinar el efecto del polvo y lluvia en los módulos fotovoltaicos.
- b) El rendimiento en el módulo fotovoltaico con limpieza periódica es mayor en días soleados, que un sistema fotovoltaico sin limpieza debido a que este último acumula polvo en la superficie del vidrio del panel por lo que su rendimiento sea menor.

### 1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Justificación teórica; el estudio de este tipo de energía es muy importante, porque puede reemplazar el uso constante de los hidrocarburos, no emite gases de efecto invernadero y contaminantes, en la actualidad es la energía renovable que más se ha masificado a nivel mundial, por la reducción de costos en su fabricación, accesible y de fácil instalación. Por esa razón, los sistemas fotovoltaicos contribuyen a preservar el medio ambiente con emisiones cero de gases de efecto invernadero.

Justificación legal; la normativa en el territorio peruano, referente a energías renovables es muy escasa, solo en el DL-1002 fomenta el uso de las energías renovables, pero no de forma específica de la energía solar fotovoltaica y su aplicación en el sector residencial, comercial e industrial.

Justificación metodológica; en actualidad hay algunos estudios en la comunidad científica global sobre el efecto del polvo que afecta el rendimiento de sistemas fotovoltaicos. Estos estudios fueron realizados por debajo de los 1000 msnm, en zonas costeras y desérticas, pero en zonas elevadas por encima de los 3000 msnm, siendo este



estudio de importancia, porque la presencia de lluvia también influye en el rendimiento de sistemas fotovoltaicos.

Justificación práctica; la energía solar fotovoltaica es una alternativa de solución frente al uso de las energías convencionales (combustible fósil), con bastante aplicación en la actualidad, altamente sostenible para el medio ambiente. Sin embargo, la aplicación de esta energía tendría mayor énfasis en el sector residencial y comercial, reemplazando el uso de los hidrocarburos con cero emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes, además, en la producción de electricidad, compitiendo con otras energías renovables.

## **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. Objetivo general**

- a) Determinar el efecto del polvo y lluvia en el rendimiento de un sistema fotovoltaico en la ciudad de Puno.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- a) Diseñar un sistema fotovoltaico con limpieza periódica y sin limpieza para determinar la acumulación de polvo en la superficie del módulo y el efecto de la lluvia.
- b) Determinar la pérdida de rendimiento fotovoltaico por el efecto del polvo y la lluvia en la superficie del módulo fotovoltaico.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

La energía es un factor importante para el desarrollo de la humanidad, fundamental para cualquier proceso productivo y avance tecnológico (Ullah *et al.*, 2021), más aún, las energías renovables son de gran importancia, porque se relacionan directamente con el desarrollo sostenible, promoción de energía verde, mitigación de cambio climático y minimización de impactos al medio ambiente (Asumadu-Sarkodie y Owusu, 2016), por esa razón, estas energías tienen impactos significativos en la matriz energética y la sostenibilidad ambiental (Abid y Dabboussi, 2022). Sin embargo, la energía solar parte de las energías renovables, ha masificado su implementación sustancialmente en los últimos años (Valentín *et al.*, 2022).

En el desierto de Atacama en Chile, se tiene niveles de irradiación solar muy elevada, y temperaturas muy altas, se desarrolló un modelo térmico computacional unidimensional para evaluar de manera cuantitativa el efecto de la acumulación de polvo en la superficie del panel solar y la influencia térmica en la producción de electricidad, encontrando un aumento de temperatura hasta 40 % reduciendo significativamente el rendimiento del panel solar (Garrido Jimenez, 2020).

Otro estudio realizado en la ciudad de Lima, sobre dos string de módulos fotovoltaicos, se encontró una ligera diferencia en la reducción del rendimiento de ambos sistemas fotovoltaicos por efectos del polvo, en cielo despejado, influenciado por el viento, la humedad y el cambio de temperatura. Demostrando que el polvo genera una caída progresiva en la producción de electricidad en función al tiempo (Angulo-Abanto *et al.*, 2020).



Seguidamente, en un estudio realizado en la ciudad de Arequipa sobre el efecto de la deposición del polvo en la superficie de tres paneles solares fotovoltaicos de igual característica, estudiando la densidad de polvo y el material particulado acumulado durante el periodo de investigación, se concluyó mediante un análisis de laboratorio, en la reducción de la corriente de corto circuito del panel solar sin limpieza. Demostrando la pérdida de rendimiento por efecto de la deposición de polvo en la superficie del panel solar fotovoltaico (Callo Conto, 2022).

La presencia de lluvias en el Altiplano peruano es variable disminuyendo la captación de la irradiación solar por los módulos fotovoltaicos, reduciendo la producción de electricidad, sin embargo, en la estación seca sin presencia de lluvias la captación de la irradiación solar aumenta produciéndose más cantidad de energía eléctrica, de modo que, estas estaciones típicas de esta región provocan que los sistemas fotovoltaicos tengan un comportamiento irregular en la producción de electricidad. Por esa razón, hay pocos estudios sobre la influencia del efecto del goteo provocado por las lluvias en la superficie de los módulos fotovoltaicos y su comportamiento de estos sistemas fotovoltaicos en la producción de electricidad (Esmeijer, 2014). En esta zona a gran altitud la estación seca esta entre invierno – otoño y la estación lluviosa esta entre primavera – verano, sin embargo, en otros estudios con climas templados muestran la presencia de lluvias está entre invierno y otoño causado generalmente por las masas de aire húmedo y la superficie cálida del suelo (Rulfová *et al.*, 2017).

La acumulación de polvo acumulado en superficie del panel solar fotovoltaico reduce el rendimiento fotovoltaico entre 8% a 16% en zonas desérticas de Arabia Saudita, influenciado también por la temperatura (Said y Walwil, 2014). Además, esta deposición de polvo en el panel solar reduce significativamente la captación de irradiación solar,

disminuyendo la producción de electricidad poco a poco a lo largo del tiempo (Fan *et al.*, 2021).

Por lo tanto, el objetivo de este estudio de investigación es determinar el efecto del material particulado (polvo) y precipitación en la producción de electricidad en la ciudad de Puno. La energía solar en el Altiplano peruano es abundante, la implementación de sistemas fotovoltaicos fijos en condiciones climáticas variadas contribuye a optimizar la generación fotovoltaica y tener una mayor visión del comportamiento de estos sistemas en condiciones climáticas muy variadas con presencias de lluvias y días completamente soleados, más aún, con la presencia variable del viento que acumula el polvo en la superficie del panel solar fotovoltaico, disminuyendo el rendimiento fotovoltaico en la producción de electricidad sostenible para el medio ambiente en la ciudad de Puno y la región de Puno.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Energías renovables**

Las energías renovables constituyen un factor fundamental para el desarrollo energético y sostenible de la humanidad (Wang y Liu, 2020), siendo importante por ser limpia, amigable con el medio ambiente y para proteger a la atmósfera (Azam *et al.*, 2021), pudiendo ser una opción para reducir los problemas de cambio climático y evitando la quema de combustibles fósiles (Mohd Chachuli *et al.*, 2021), cubriendo parte de la demanda de energía a nivel mundial, como la energía solar, por la abundancia de la radiación solar, la energía eólica por la variabilidad del recurso del viento (Praveen *et al.*, 2020).

Las energías renovables son aquellas que se obtienen a partir de fuentes naturales que producen energía de forma inagotable e indefinida. Por ejemplo, la energía solar, la

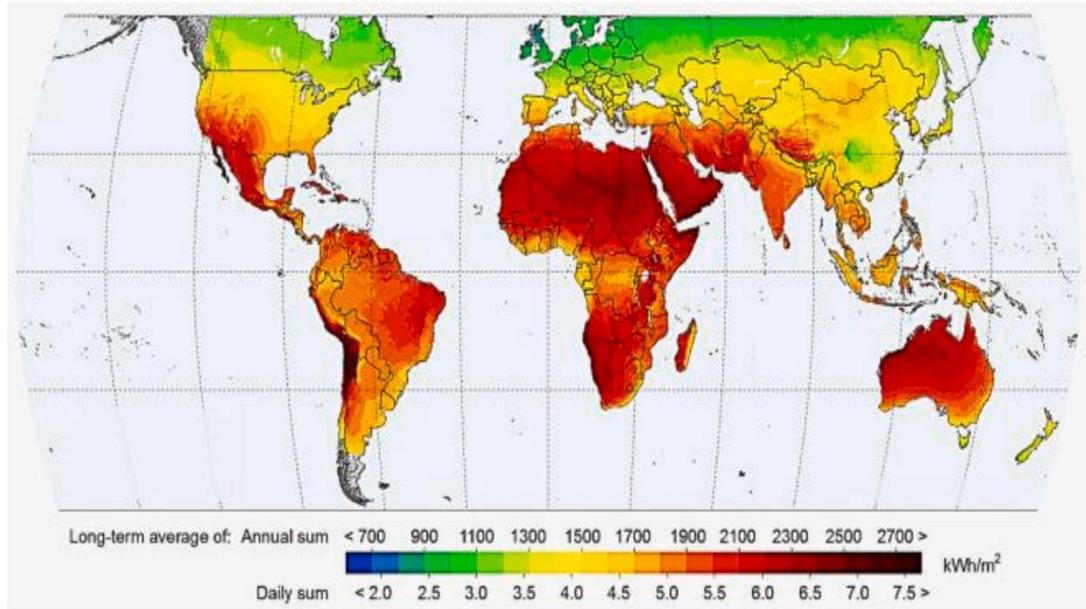


energía eólica o la energía mareomotriz son fuentes renovables de energía. También se consideran renovables cuando se obtienen a partir de fuentes que se regeneran con el tiempo de manera natural, como la masa forestal.

### 2.2.2. Energía solar

La energía solar es limpia e inagotable, por esa razón, su uso en la actualidad se está incrementando de manera masiva, sin embargo, el aprovechamiento de esta energía se sigue estudiando con sistemas térmicos y fotovoltaicos cada día más eficientes (Demirbas, 2000). La energía solar a nivel mundial mostrada en la Figura 1, representa  $1.2 \times 10^5$  TW (Makarieva *et al.*, 2008), por ello, estos mecanismos de conversión energética están avanzando en conjunto con el avance tecnológico y desarrollo industrial (Baba *et al.*, 2020).

La energía solar es una de las fuentes más accesibles a nivel mundial, debido a su disponibilidad local, siendo un recurso muy abundante (Das *et al.*, 2015). Mientras tanto, la energía solar fotovoltaica es considerada una de las fuentes de energía renovable más populares de bajo costo, a pesar de tener baja eficiencia (Zhen *et al.*, 2017), convirtiendo rápidamente la luz del sol en energía eléctrica, que puede ser aprovechada de forma directa con equipos eléctricos o ser almacenada en baterías solares incrementando su autonomía (Barbosa de Melo *et al.*, 2022). Esta energía puede alcanzar hasta finales del 2022 en producción de electricidad cerca de los 1200 GW (Salim *et al.*, 2019).



**Figura 1:** Mapa de irradiación solar global

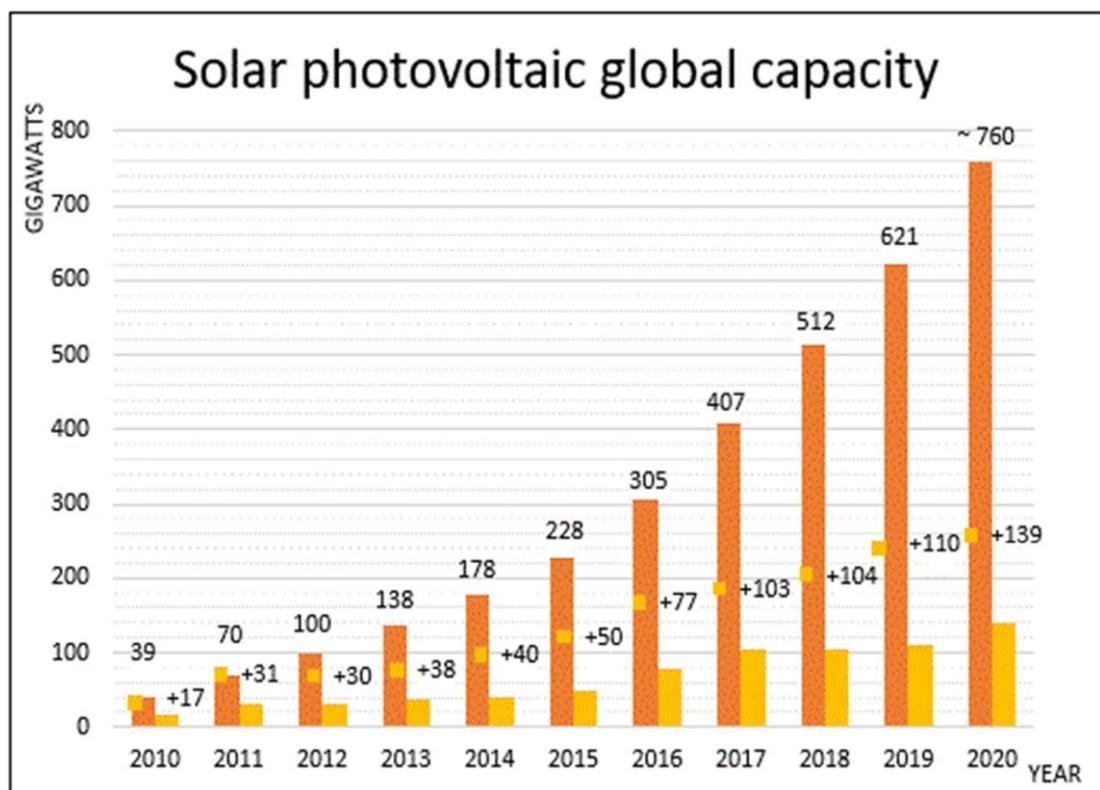
Fuente: (Kannan y Vakeesan, 2016)

### 2.2.3. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una fuente energética que no contamina al medio ambiente, abundante por provenir del sol, sostenible para el medio ambiente pudiendo satisfacer la creciente demanda energética a nivel mundial, (Figura 2) (Kumari *et al.*, 2022). Sin embargo, la energía solar fotovoltaica se puede aprovechar en paneles solares que convierten los fotones del sol en energía eléctrica, sin contar con mecanismos móviles y desgastes mecánicos en sus piezas, con una durabilidad aproximada entre 20 a 25 años (Zheng *et al.*, 2012), por esa razón, esta energía es de fácil acceso y sus costos de implementación son accesibles para la población, con una producción energética razonable para diversos lugares a nivel mundial (Ismael *et al.*, 2021).

La energía fotovoltaica es captada por módulos fotovoltaicos constituido por un diseño sencillo que no requiere mantenimiento especializado (Thiaux *et al.*, 2019), la agrupación de estos módulos en serie y paralelo pueden suministrar energía eléctrica a sistemas de bombeo solar, viviendas, residencias autónomas y conectadas a red pública,

sistemas de comunicación, vehículos eléctricos y centrales solares fotovoltaicas (Parida *et al.*, 2011). La captación de la irradiación solar por los módulos fotovoltaicos, es influenciado por varios factores como el bloqueo total o parcial del paso de la luz del solar por las nubes, los días con nubosidad, la altitud de la zona, la presencia de lluvias, el incremento de temperatura y la acumulación de polvo en la superficie del módulo fotovoltaico (Kaldellis *et al.*, 2011).



**Figura 2:** Producción de energía solar fotovoltaica global desde 2010 hasta 2022

Fuente: (Pvps, 2020)

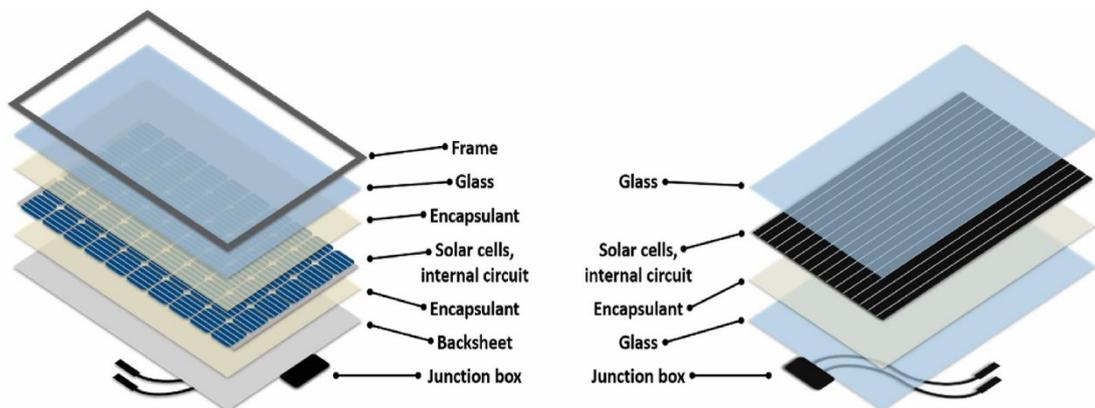
#### 2.2.4. Paneles solares fotovoltaicos

Los paneles solares fotovoltaicos son dispositivos compuestos de Silicio que convierten la energía proveniente de la luz del sol en energía eléctrica, mediante el efecto fotovoltaico del dopaje de la energía de los fotones al pasar por los electrones libres compuestos de boro y fósforo en el módulo fotovoltaico (Lee y Ebong, 2017). Estos dispositivos captan la irradiancia solar en condiciones ambientales de una determinada

zona para producir electricidad, su composición base es el Silicio (C-Si) (Stuckelberger *et al.*, 2017).

Los paneles solares se dividen en varios modelos:

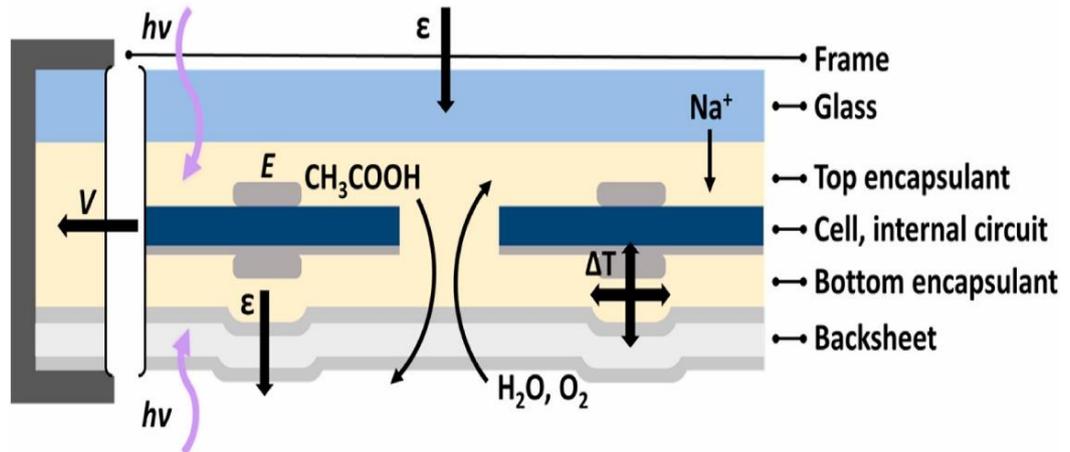
- a) Tecnología Monocristalina; compuesto de silicio cristalino de alta pureza dándole un color negro intenso mostrado en Figura 3, siendo el más utilizado en el mundo, con una participación del 95 % en Asia en la producción de electricidad (Kumari *et al.*, 2022).
- b) Tecnología Policristalina; también compuesto de silicio con menor pureza, se compone de muchos fragmentos de menor pureza como los lingotes, el cual les da un color azul oscuro (Jiang *et al.*, 2020).



**Figura 3:** Tecnología Monocristalina y Policristalina de silicio, construida por capas

Fuente: (Ramanujam *et al.*, 2020)

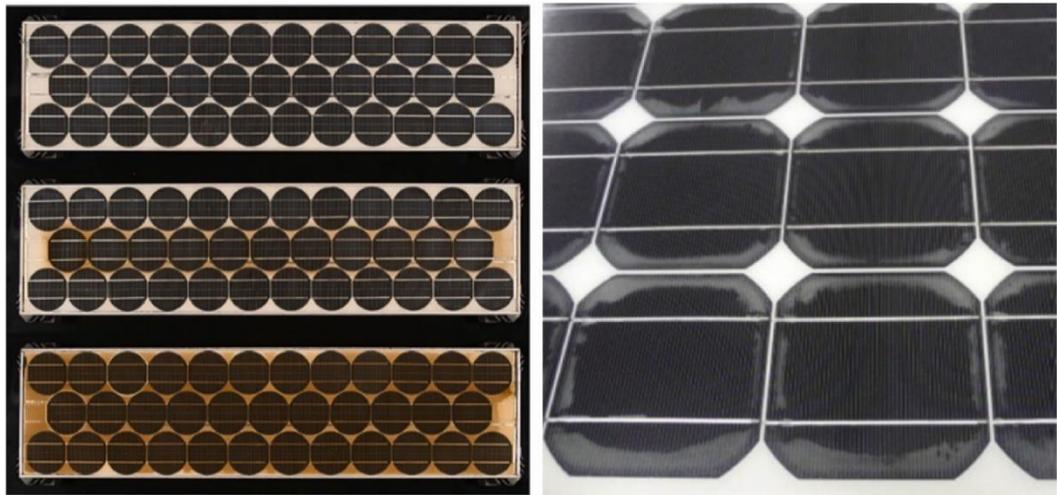
- c) Celda posterior de emisor pasivo (PERC); es una tecnología actual de silicio modificado (Figura 4), con rendimiento mejorado en la captación de la irradiación solar, costo elevado en la actualidad y un rendimiento entre el 20 % al 22 % en la producción de energía eléctrica (Peters *et al.*, 2019).



**Figura 4:** Celda posterior de emisor pasivo (PERC)

Fuente: (Aghaei *et al.*, 2022)

- d) Célula fotovoltaica bifacial; es la evolución de la tecnología de silicio convencional, su fabricación es de bajo costo mostrado en la Figura 5, altamente viable para satisfacer la demanda energética de electricidad, pero hay varios vacíos sobre el funcionamiento en condiciones climáticas variadas (Guerrero-Lemus *et al.*, 2016).



**Figura 5:** Célula fotovoltaica bifacial

Fuente: (Köntges *et al.*, 2014)

### 2.2.5. Rendimiento en paneles solar fotovoltaicos

El rendimiento fotovoltaico es influenciado por diversos factores, generalmente por factores de estrés ambiental, siendo la variación de la temperatura ambiente y del panel solar fotovoltaico mostrado en la Figura 6 y 7, los efectos de la humedad, la deposición de polvo en la superficie del panel solar y otros factores más (Quansah y Adaramola, 2019).

Relación de rendimiento en unidades fotovoltaicas, expresado por la ecuación (1) y (2) (Dag y Buker, 2019):

$$rR = \frac{Y}{Y_p} \cdot 100 \quad (1)$$

Dónde:

$rR$ ; es la Relación de Rendimiento.

$Y$ ; es el rendimiento del módulo fotovoltaico instalado.

$Y_p$ ; es el rendimiento en condiciones estándares de medición (CEM).

Rendimiento del módulo o sistemas fotovoltaico en operación (in situ).

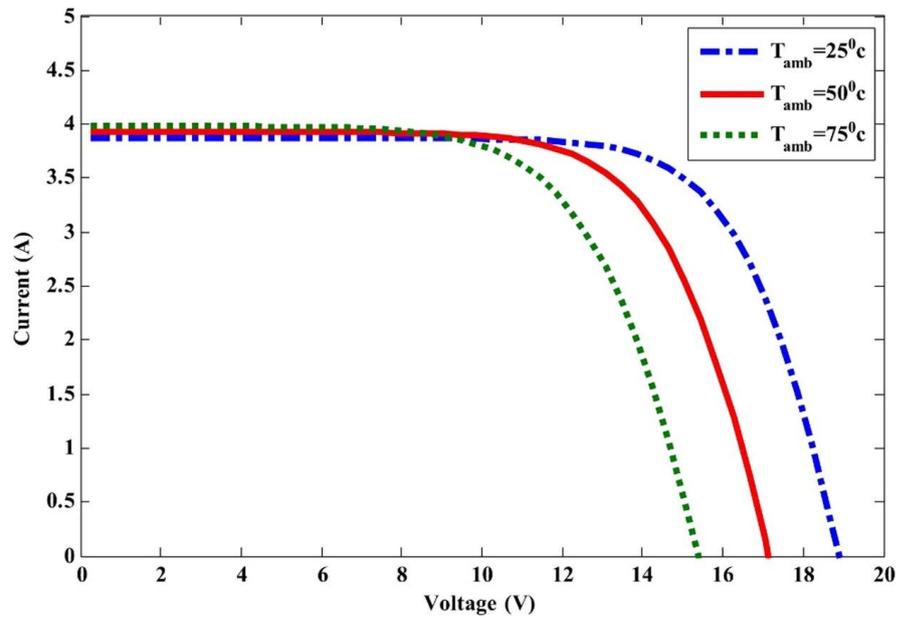
$$R = \frac{E}{P_{MM}} \cdot 100 \quad (2)$$

Dónde:

$R$ ; Rendimiento del sistema fotovoltaico instalado.

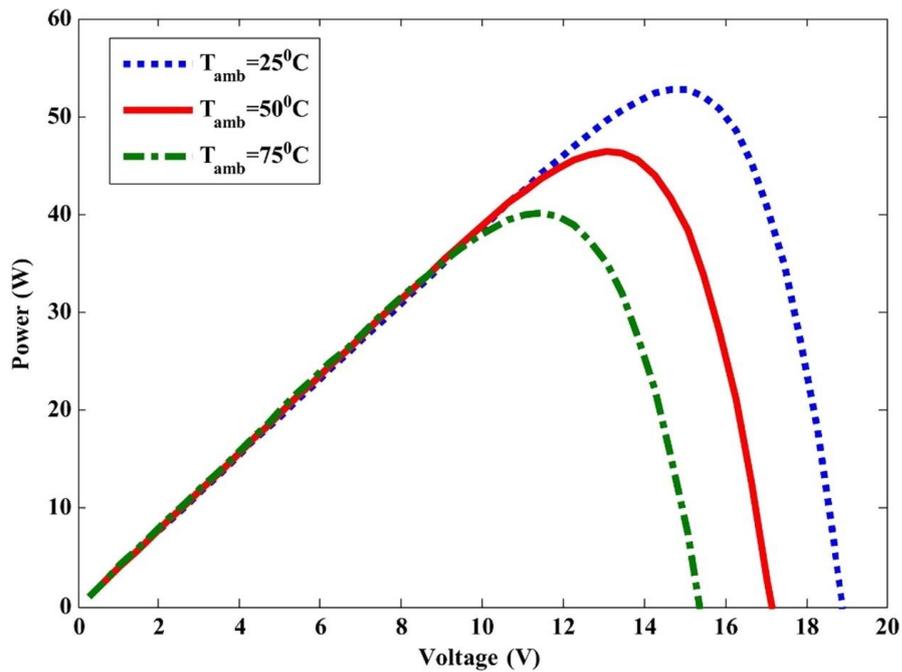
$E$ ; Energía de salida.

$P_{MM}$ ; Energía durante en función a irradiación solar.



**Figura 6:** Curva de operación de tensión y corriente del panel solar fotovoltaico con variación de temperatura

Fuente: (Kane *et al.*, 2017)



**Figura 7:** Curva de operación de tensión y potencia del panel solar fotovoltaico con variación de temperatura

Fuente: (Kane *et al.*, 2017)

### 2.2.6. Deposición de polvo en la superficie del panel solar fotovoltaico

El ensuciamiento de los paneles solares fotovoltaicos, es un factor de estrés ambiental que reduce el rendimiento de estos dispositivos, más aún, la acumulación de polvo en la superficie del módulo fotovoltaico, mostrado en la Figura 8 y 9 (Köntges *et al.*, 2017), sin embargo, el grado de suciedad depende de la zona, la altitud de operación, la presencia de lluvias, los días parcialmente nublados y se manifiesta con mayor frecuencia en las zonas desérticas (Cordero *et al.*, 2018).



**Figura 8:** Acumulación de polvo en la superficie del panel solar con efectos de lluvia parcial

Fuente: (Ali Sadat *et al.*, 2021)

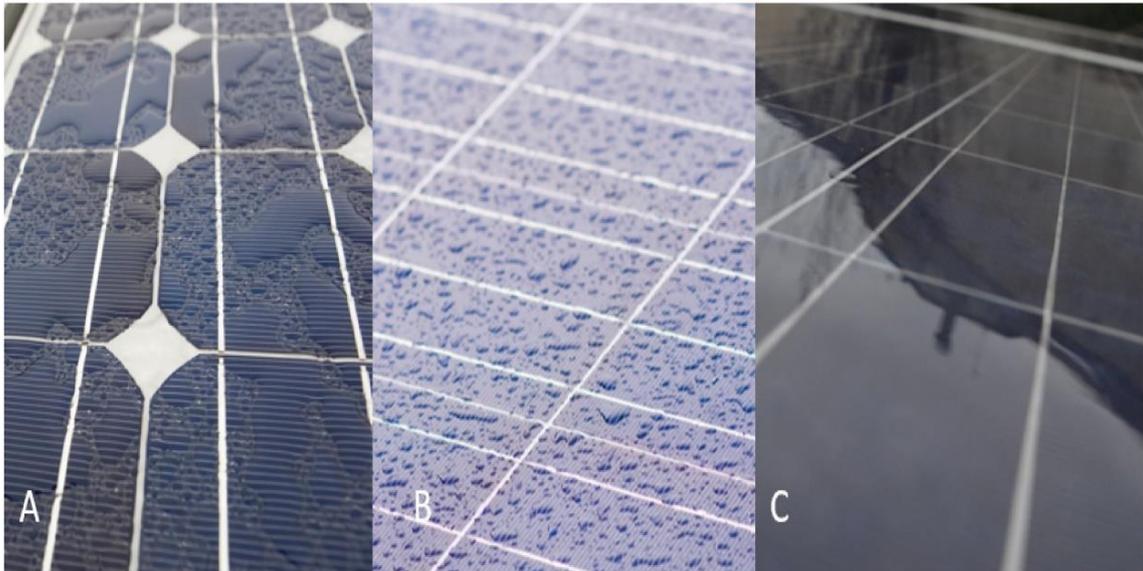


**Figura 9:** Acumulación de polvo a diferentes ángulos de inclinación del panel solar

Fuente: (Khodakaram-Tafti y Yaghoubi, 2020)

### 2.2.7. Presencia de lluvia en el funcionamiento de paneles solares fotovoltaicos

La pérdida de potencia en la producción de electricidad de los paneles solares fotovoltaicos, también es influenciado por la precipitación en diversas zonas y altitudes variadas (Egri *et al.*, 2010), por esa razón, la cantidad de lluvia (Figura 10), puede tener efectos negativos y positivos en el rendimiento de los paneles solares fotovoltaicos, como en la limpieza gradual debido a la acumulación del polvo, si en ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico es elevado o reducir la captación de irradiación solar si lluvia es menor cantidad por debajo de 20 mm (Cano *et al.*, 2014).



**Figura 10:** Presencia de lluvias en los módulos fotovoltaicos

Fuente: (Del Pero *et al.*, 2021)

### 2.2.8. Controlador industrial

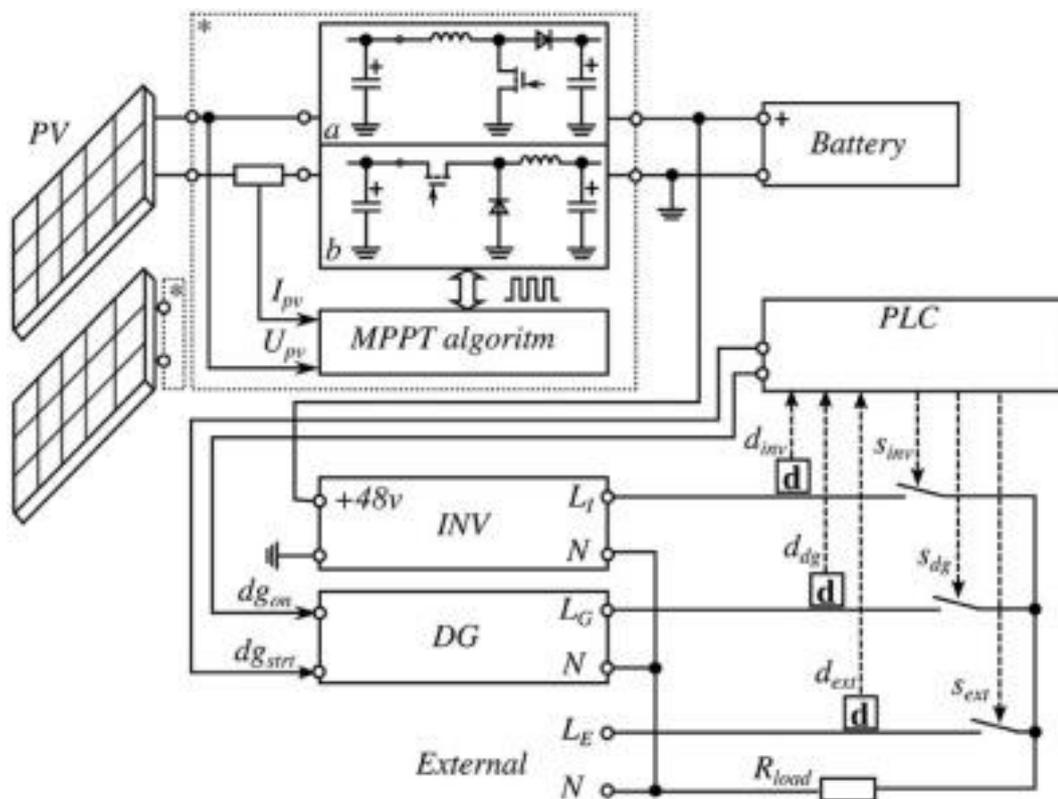
Un controlador industrial es un dispositivo electrónico, encargado de realizar procesos de control digital y analógico, está conformado por las siguientes partes:

- Un microprocesador
- Una memoria RAM
- Una memoria ROM
- Entradas digitales
- Salidas digitales
- Entradas analógicas
- Salidas analógicas
- Fuente de alimentación

Estos equipos industriales se programan mediante un software que el fabricante proporciona, en varios lenguajes de programación, según la norma IEC 61131-3, los cuales son:

- Ladder
- Diagrama de Bloques Funcional BDF
- Diagrama secuencial
- Texto estructurado
- Lista de instrucciones

En la Figura 11 se muestra un sistema de control utilizando un PLC para procesar y registrar datos de un sistema fotovoltaico.



**Figura 11:** PLC aplicado a sistemas fotovoltaicos

Fuente: (Shilin *et al.*, 2016)

### 2.2.9. Sensores de irradiación solar

La medición de la irradiación solar de un sistema fotovoltaico, se realiza para varios métodos, muchos de ellos consideran la corriente de corto circuito en células calibradas, algunos utilizan diversos tipos de módulos fotovoltaicos como los



monocristalinos, policristalinos, de materiales amorfo y otros modelos, sin embargo, todos estos instrumentos de medición de irradiancia solar, requieren estar expuestos el mayor tiempo posible en condiciones ambientales variables, como: los cambios de temperatura brusco, la presencia de humedad, la variación de viento, los días con nubosidad parcial, los días completamente soleados y otros factores ambientales.

A continuación, se muestran los instrumentos de medición más usados en sistemas fotovoltaicos, para mediciones de radiación solar, irradiación solar e irradiancia solar:

- Solarímetro
- Piranómetro
- Células fotovoltaicas calibradas
- Módulos fotovoltaicos calibrados

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

Este proyecto de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Control y Automatización de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Figura 12), ubicado en las coordenadas geográficas, 15°50'32" de latitud sur y 70°01'12" de longitud oeste del meridiano de Greenwich.



**Figura 12:** Ubicación geográfica del proyecto de investigación, EPIME, UNA-Puno  
Elaborado por el equipo de trabajo

#### 3.2. DISEÑO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Para determinar la acumulación de polvo en la superficie del panel solar fotovoltaico, se utilizaron dos módulos fotovoltaicos monocristalinos de 120 W de potencia, con 12 V de generación en plena carga instalados en la azotea de la EPIME, orientadas al norte con un ángulo de inclinación referente a la latitud de estudio de 15°. Para medir la irradiación solar en los módulos fotovoltaicos, se calibraron con un instrumento de medición de irradiancia solar (Solar Power Meter), conectado a un

Controlador Lógico Programable (PLC), modelo MODICON M241 de la marca Schneider Electric, para la adquisición de datos en tiempo real (Figura 13), instalado en el Laboratorio de Control y Automatización de la EPIME-UNA-Puno.

La experimentación se realizó en el mes de setiembre y octubre del año 2022.



**Figura 13:** PLC Modicon, modelo M241, Schneider Electric

Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.2.1. Panel solar fotovoltaico

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se utilizaron dos paneles solares fotovoltaicos de 120 W, monocristalinos, idénticos con las siguientes características mostradas en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Especificación técnica del panel solar fotovoltaico de 120 W.

<b>CNBM International Corporation</b>	
<b><i>Parámetros</i></b>	<b><i>Especificación</i></b>
Tecnología	Monocrystalino
Máxima potencia (W)	120
Máximo voltaje (V)	17.6
Máxima corriente (A)	6.82
Voltaje de circuito abierto (V)	22.4
Corriente de corto circuito (A)	7.09
Temperatura de operación (°C)	45 +- 2 %
Área (mm <sup>2</sup> )	1010 x 660
STC	AM1.5, 1000W/m <sup>2</sup> , 25 °C

Fuente: International Corporation

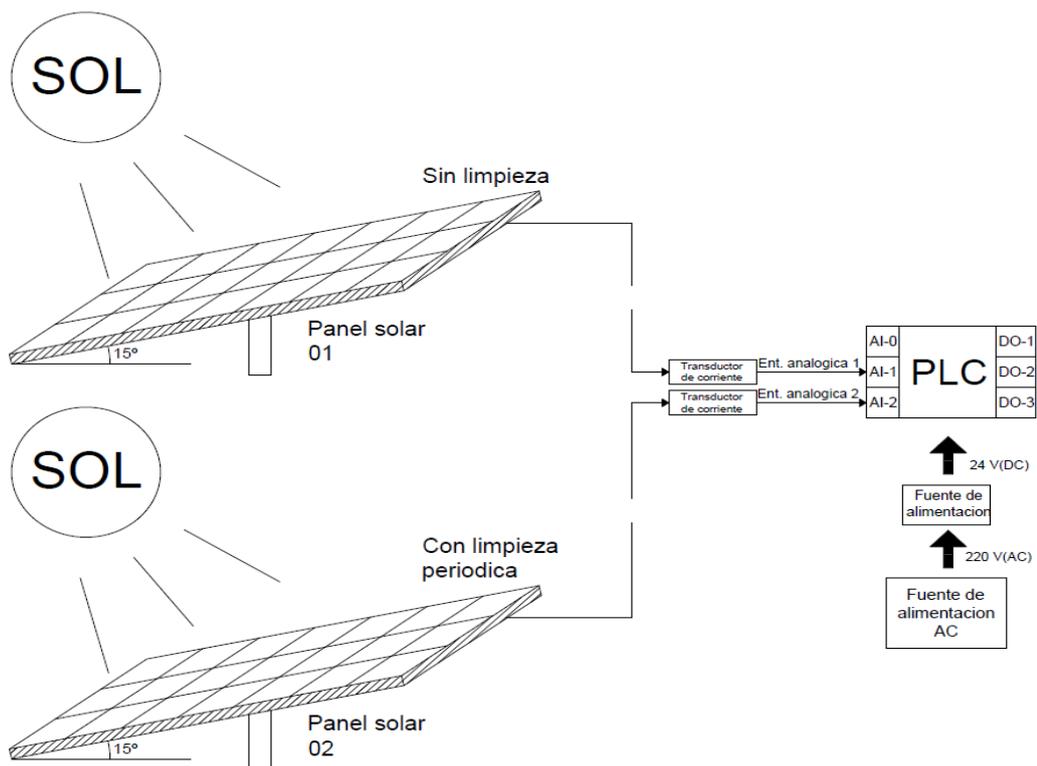
### 3.2.2. Transductor de corriente industrial

Se utilizaron sensores de corriente para la conversión de la magnitud de la irradiancia solar a corriente, modelo: RMCA61BD (Schneider Electric) conectado en corto circuito a los paneles solares fotovoltaicos (Figura 14). La relación directa de la irradiancia solar con la corriente de corto circuito, por el circuito equivalente de una célula fotovoltaica, porque en esencia son sistemas productores de corriente (Chouder *et al.*, 2012). En la Figura 15 se muestra el esquema de conexiones.



**Figura 14:** Conversor (sensor) de corriente a tensión, Schneider Electric

Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 15:** Diseño experimental, esquema de conexiones eléctricas de los paneles solares fotovoltaicos

Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.2.3. Controlador Lógico Programable (PLC)

Para el procesamiento y adquisición de datos en tiempo real, se utilizó un PLC, de la marca Schneider Electric, modelo M241CE24T MODICON, con resolución de procesamiento de datos de 32 bit, con fuente independiente de 120/240 VAC y salida de 24 VDC, el lenguaje de programación utilizado fue Ladder y Diagrama de Bloques Funcional (BDF), según la norma IEC 1131, mostrado en la figura 16.



**Figura 16:** Controlador Lógico programable (PLC), MODICON M241CE24T, Schneider Electric

Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.2.4. Interruptor termomagnético, indicadores luminosos y pulsadores

En controlador PLC, estuvo implementado con un interruptor termomagnético de 32 A, indicadores luminosos de color verde (Encendido) y rojo (Apagado), pulsadores de marcha y paro (verde y rojo), con la finalidad de energizar el PLC.

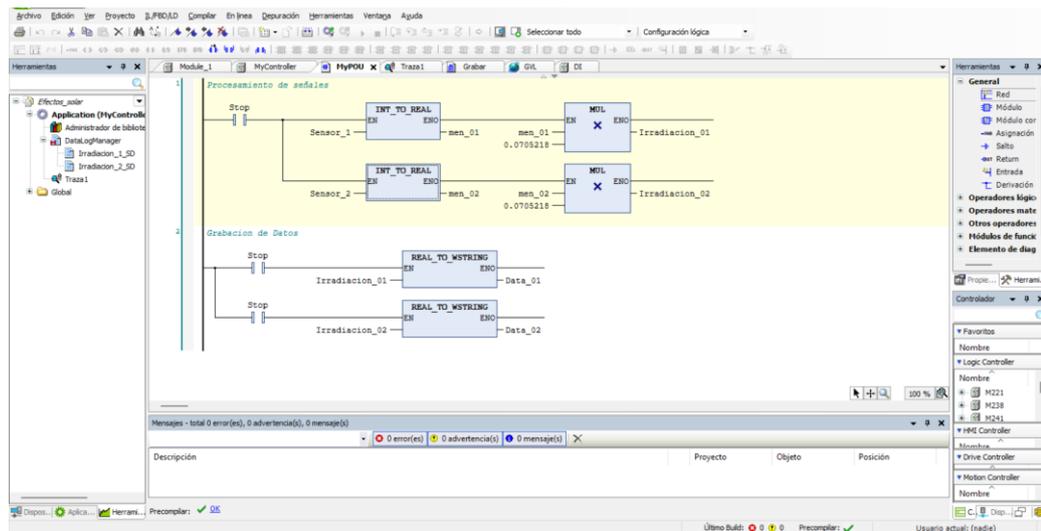


**Figura 17:** Interruptor termomagnético, indicadores luminosos y pulsadores

Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.2.5. Software del PLC SOMACHINE CENTRAL

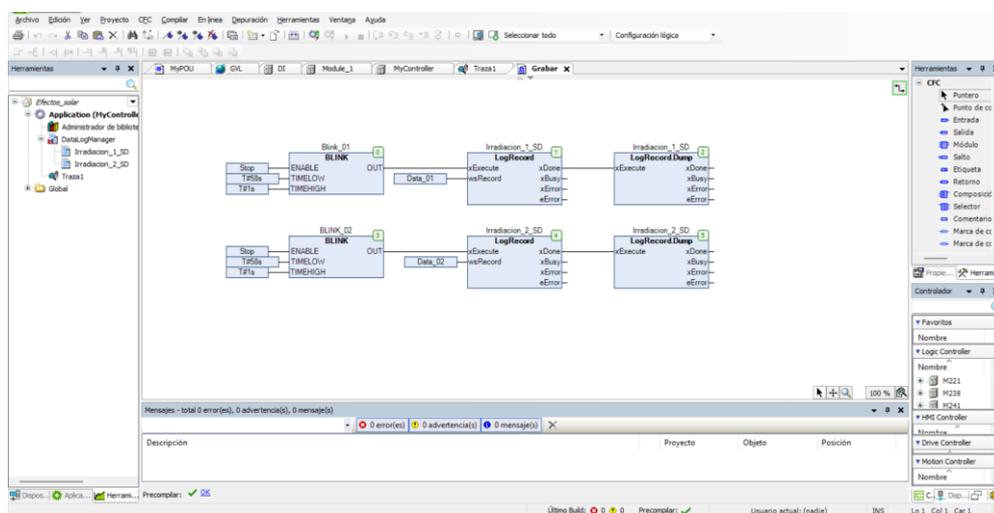
En este software SOMACHINE CENTRAL, se realizó la programación del PLC, considerando dos lenguajes de programación: Ladder y BDF. Primeramente, se escaló la señal eléctrica de corriente (A) de los paneles solares a (4-20) mA con el transductor de corriente, después se convirtió la señal eléctrica a números enteros (INT) en el software del PLC, para procesar la señal en números reales y realizar el escalamiento respectivo en el Software.



**Figura 18:** Software: SOMACHINE CENTRAL, Schneider Electric

Elaborado por el equipo de trabajo

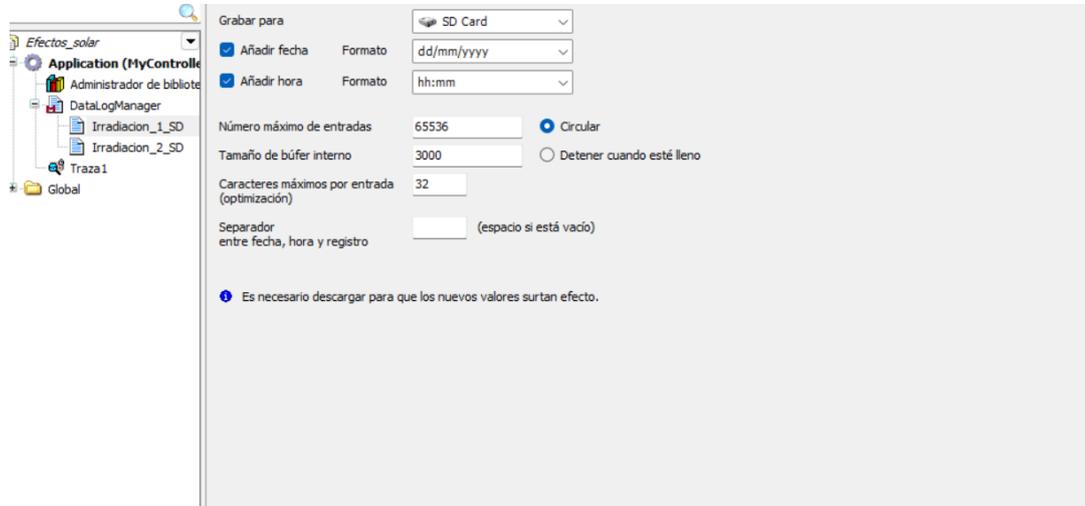
Con este software se registraron los datos y guardaron en una tarjeta SD de 16 GB, se programó en otra subrutina en lengua de Diagrama de Bloques Funcional, considerando 2 filas de bloques y una capacidad de memoria máxima, en la Figura 19 se muestra la subrutina programada.



**Figura 19:** Subrutina en lenguaje de programación BDF en el software SOMACHINE CENTRAL.

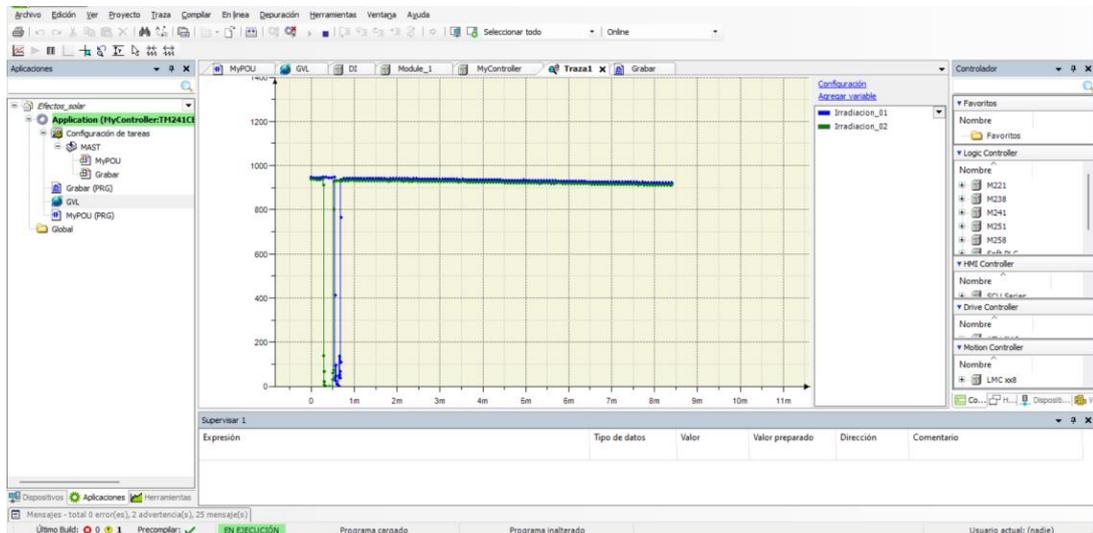
Elaborado por el equipo de trabajo

Finalmente, el programa de la tarjeta SD se muestra en la Figura 18 para una máxima capacidad de memoria y el registro de traza para evaluar la irradiación solar en tiempo real se muestra en la Figura 20.



**Figura 20:** Registro de datos en la tarjeta SD en el software SOMACHINE CENTRAL.

Elaborado por el equipo de trabajo



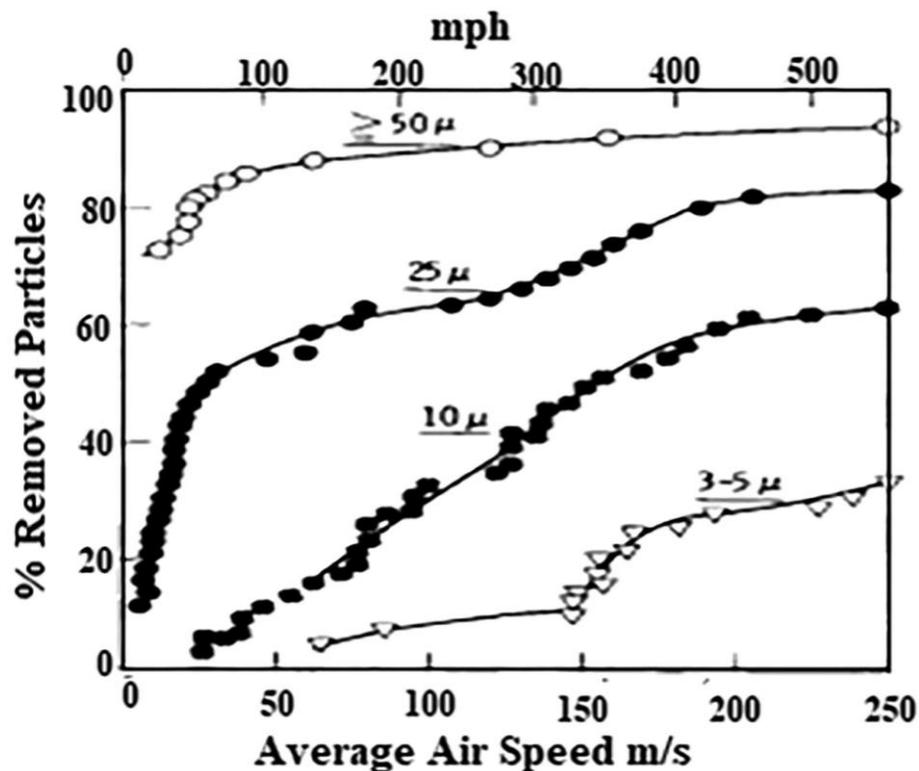
**Figura 21:** Registro de traza en el software SOMACHINE CENTRAL.

Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.3. VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO

Es el principal factor en la acumulación y deposición de material particulado en la superficie del panel solar fotovoltaico. La velocidad del viento por encima de los 3 m/s

acumula progresivamente polvo en superficie de vidrio del panel fotovoltaico (Goossens y Offer, 1995), más aún, la dirección del viento acumula en mayor proporción polvo en el módulo fotovoltaico. La deposición de polvo en la superficie de vidrio del panel solar fotovoltaico, es perjudicial, porque reduce de manera gradual el rendimiento del sistema fotovoltaico, bloqueando con una fina capa de material particulado la captación de la irradiación solar reduciendo la producción de electricidad, mostrado en la Figura 22.



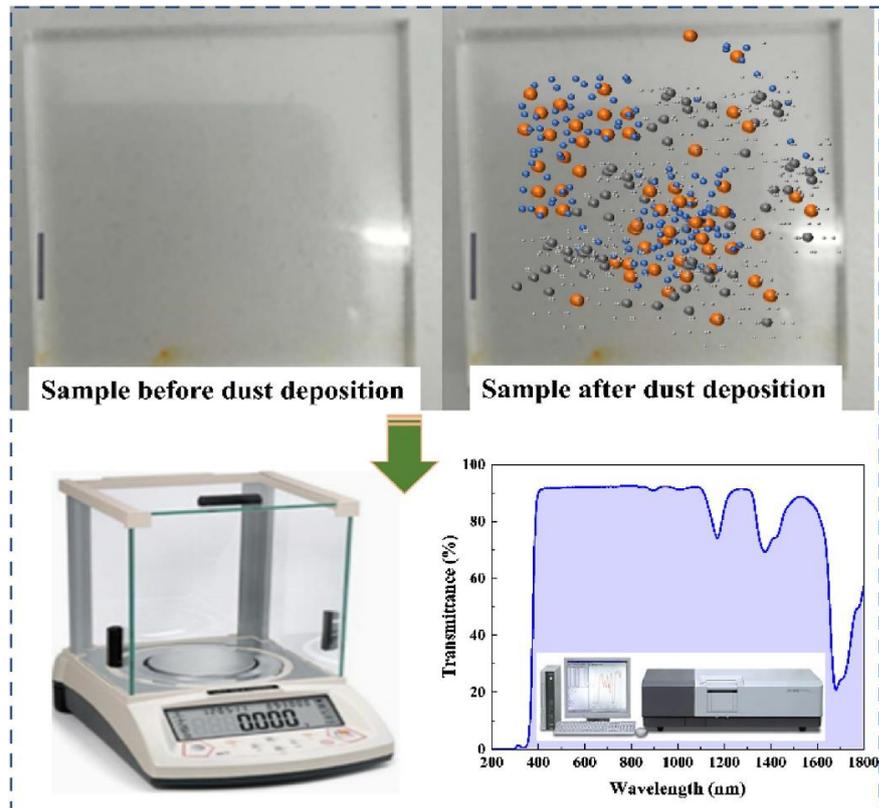
**Figura 22:** Remoción de material particulado en función a la velocidad del viento

Fuente: (Gupta *et al.*, 2019)

### 3.4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL DE LA ACUMULACIÓN DE POLVO

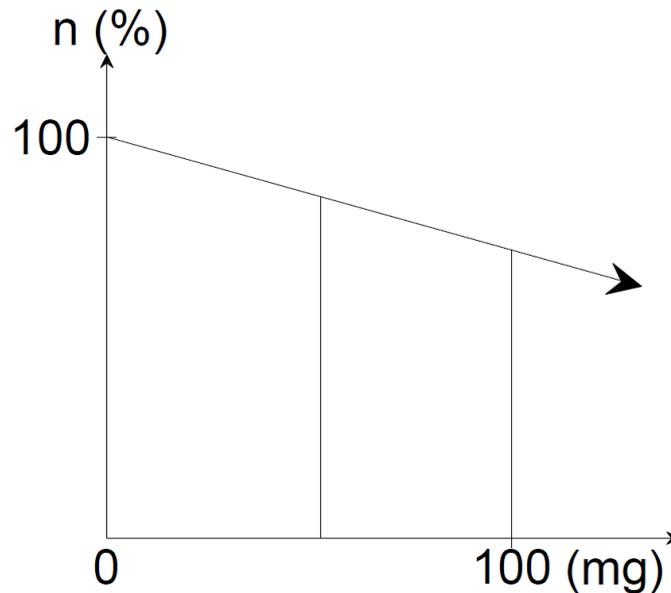
Para determinar la pérdida de rendimiento fotovoltaico en panel solar fotovoltaico por efecto del polvo, se midió diariamente la irradiación solar en ambos paneles solares, limpiando diariamente un panel y el otro sin limpieza, además, durante el mes se retiró el material particulado del panel solar para pesarlo y determinar la pérdida de rendimiento

por efecto del polvo. Se utilizó una balanza de precisión para pesar el polvo acumulado en la superficie del panel solar, para realizar una regresión lineal de acumulación de polvo y reducción del rendimiento fotovoltaico. En la Figura 23 se muestra el proceso experimental de la acumulación del polvo y en la Figura 24 se muestra la regresión lineal en la pérdida de rendimiento.



**Figura 23:** Procedimiento experimental en la toma de muestra de material particulado (polvo)

Fuente: (Zhao *et al.*, 2022)



**Figura 24:** Regresión lineal de la pérdida de rendimiento fotovoltaico

Elaborado por el equipo de trabajo

### **3.5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR EL EFECTO DE LA LLUVIA**

La precipitación se divide en dos tipos, mostrado en la Figura 25:

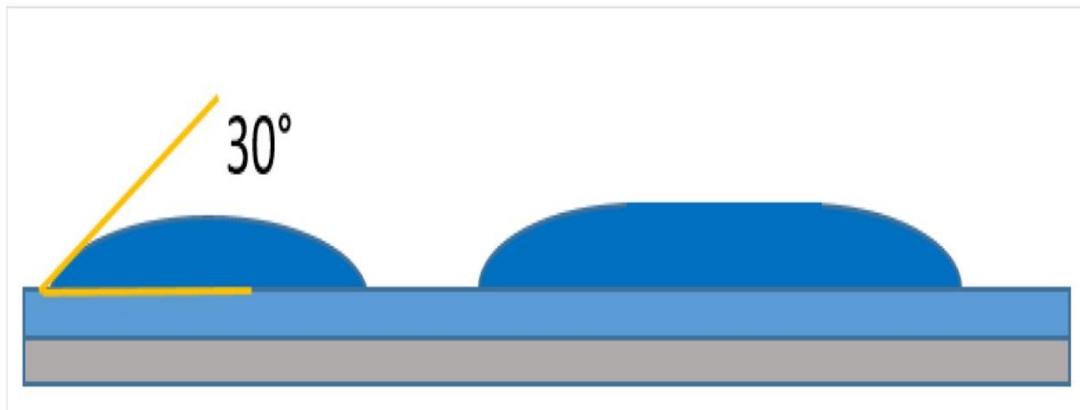
#### **3.5.1. Lluvia estratiforme**

Es un tipo de precipitación que cae de las nubes nimboestratos, cuando un frente meteorológico trae lluvia estratiforme, generalmente se caracteriza por cielos grises continuos, con lluvia que cae constantemente durante una gran parte del día y también durante varios días, la intensidad de las precipitaciones suele ser media baja (Del Pero *et al.*, 2021).

#### **3.5.2. Lluvia convectiva**

Es un tipo de lluvia que generalmente cae de nubes individuales como cúmulos y cumulonimbos; esta es la condición típica de chubascos de intensidad media-alta, durante

un momento específico del día, con una alta variabilidad espacial (frecuente alternancia con condiciones de sol parcial) (Del Pero *et al.*, 2021).



**Figura 25:** Posibles formas de gotas por efecto de la lluvia en la superficie del panel solar fotovoltaico

Fuente: (Del Pero *et al.*, 2021)

### 3.6. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LOS PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

Tenemos las siguientes ecuaciones que se utilizaron en este proyecto de investigación:

#### 3.6.1. Potencia nominal del módulo fotovoltaico

Para el cálculo de la potencia nominal, se tiene la ecuación (3):

$$P_{\max} = P_n \times \frac{G}{G_r} \times (1 + \gamma \times (T_m - 25^\circ C)) \quad (3)$$

Donde:  $G_r$  es la irradiación en condiciones ideales,  $P_n$  es la potencia nominal del panel solar,  $T_m$  temperatura de operación.

#### 3.6.2. Factor de reducción por efecto del polvo

La potencia nominal de la ecuación (3) es en condiciones ideales (soleado), sin embargo, cuando hay reducción de potencia por efecto del polvo, debemos considerar la siguiente ecuación (4).

$$P_{\max} = P_n \times n_{\text{polvo}} \times \frac{G}{G_r} \times (1 + \gamma \times (T_m - 25^\circ C)) \quad (4)$$

Donde:  $n_{\text{polvo}}$  es el factor de reducción por efecto del tiempo, sombreado parcial y acumulación de polvo. En la ecuación (5 y 6), mostramos la energía acumulada durante el día y el efecto del polvo.

$$n_{\text{polvo}} = \frac{E_{\text{polvo}}}{E_{\text{limpio}}} \quad (5)$$

$$E_i = \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} P_{dc} dt \quad (6)$$

Donde: E es la energía entregada en panel solar fotovoltaico en un determinado tiempo,  $t_0$  es tiempo de inicio de la medición y  $\Delta t$  es el tiempo transcurrido.

### 3.6.3. Instrumentos utilizados para medir los parámetros físicos y eléctricos

En la Tabla 2 se muestra los instrumentos utilizados en la medición de parámetros físicos y eléctricos:

**Tabla 2:** Parámetros físicos y eléctricos de los instrumentos y equipos.

<b>Instrumentos de medición</b>				
<i>Item</i>	<i>Instrumento o Equipo</i>	<i>Parámetro medido</i>	<i>Rango de validez</i>	<i>Marca</i>
01	Solarímetro	Irradiación solar (W/m <sup>2</sup> )	(0-2000) W/m <sup>2</sup>	AMPROBE
02	Pinza amperimétrica	Corriente (A)	(0-1000) A	AMPROBE
03	Panel solar	Voltaje (V) y corriente (A)	(0-21) VDC, (0-7) A	CNBM International
04	PLC	Variables digitales y analógicas	Programación en lenguaje Ladder y BDF	Schneider Electric
05	Multímetro digital	Parámetros eléctricos básicos	Estándar	Lucas Nulle
06	Transductor de corriente	Corriente (A)	(0-15) A conversión a: (0-10) V	Schneider Electric

Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.6.4. Promedio de datos obtenidos en los sistemas fotovoltaicos

En la Tabla 3, se muestra los datos obtenidos de irradiación solar cada minuto en la azotea de la EPIME del sistema fotovoltaico con limpieza periódica y sin limpieza, registrados y almacenados cada minuto desde las 5:30 h hasta las 17:30 h por el PLC, modelo MODICON M241, de la marca Schneider Electric. Estos datos fueron procesados por el programa Excel, guardados con el archivo de origen CVS.

**Tabla 3:** Irradiación solar del panel solar fotovoltaico con limpieza periódica y sin limpieza.

<b>Datos</b>	<b>Hora</b>	<b>Irradiación 01 (con limpieza periódica)</b>	<b>Irradiación 02 (sin limpieza)</b>
1	5:30	6.8517	7.6979
2	5:40	14.9242	19.1973
3	5:50	56.2852	71.0816
4	6:00	116.2045	81.7127
5	6:20	106.3998	171.2270
6	6:30	203.1998	150.9299
7	6:40	254.2862	243.8137
8	6:50	311.9113	203.0301
9	7:00	378.7484	352.4415
10	7:10	403.2855	284.4497
11	7:20	418.8620	418.6924
12	7:30	542.9320	372.2736
13	7:40	671.6717	402.1903
14	7:50	661.2058	479.7202
15	8:00	690.4525	473.0272
16	8:10	823.3486	605.3702
17	8:20	716.7726	529.6342
18	8:30	517.1144	505.3879
19	8:40	550.5637	497.8509
20	8:50	759.2686	554.9074



Continuación de la tabla 3

---

21	9:00	978.4439	550.1714
22	9:10	560.2891	551.7648
23	9:20	611.9816	601.4364
24	9:30	1048.9899	1008.9092
25	9:40	685.3948	630.9299
26	9:50	1029.9754	880.2642
27	10:00	1087.4199	842.9075
28	10:10	1082.3180	1112.1180
29	10:20	1118.9473	1115.6504
30	10:30	1155.1230	1134.7732
31	10:40	679.9580	620.1710
32	10:50	1105.0238	1020.5342
33	11:00	1109.6715	629.9866
34	11:10	1132.2935	947.5773
35	11:20	1093.7230	1053.7370
36	11:30	832.4394	1017.9822
37	11:40	1167.2770	1217.7710
38	11:50	1171.2260	934.6254
39	12:00	881.1699	1209.9430
40	12:10	1163.6800	997.0372
41	12:20	1139.7030	1156.4870
42	12:30	1107.2630	878.8427
43	12:40	1160.4360	1000.2812
44	12:50	1161.7760	936.4590
45	13:00	550.3521	1081.7340
46	13:10	435.8953	870.5211
47	13:20	988.2925	946.5436
48	13:30	463.2577	589.6328
49	13:40	622.3549	661.7061
50	13:50	1004.3010	442.3833
51	14:00	910.7186	870.8032
52	14:10	644.9924	755.8527
53	14:20	762.1291	583.7089

---



Continuación de la tabla 3

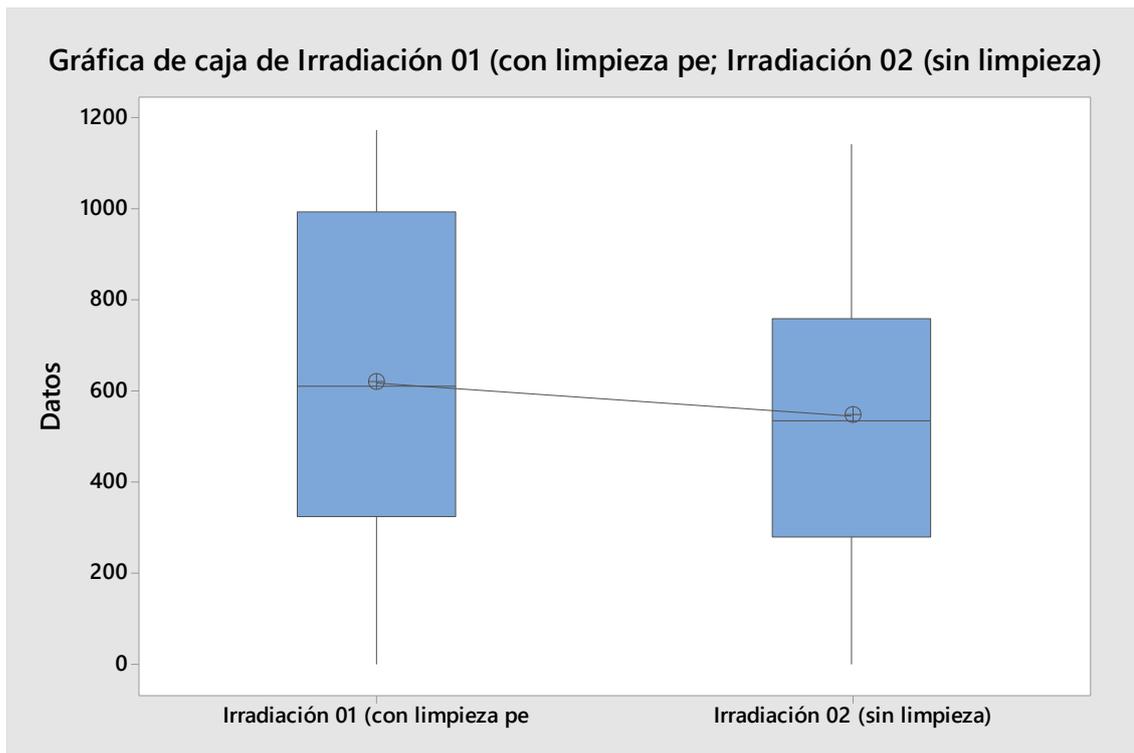
54	14:30	366.8544	479.6893
55	14:40	560.6483	404.6541
56	14:50	485.4016	424.3297
57	15:00	552.9615	536.9530
58	15:10	304.0195	372.5667
59	15:20	518.0532	307.6866
60	15:30	453.1731	397.3198
61	15:40	459.8022	184.2029
62	15:50	336.1069	274.0477
63	16:00	262.3191	230.9611
64	16:10	233.6453	197.8269
65	16:20	134.9347	147.6043
66	16:30	109.2691	94.5279
67	16:40	68.2320	55.6968
68	16:50	36.7110	27.4418
69	17:00	20.6717	14.3490
70	17:10	12.5639	9.7232
71	17:20	4.8351	4.8462
72	17:30	1.3311	1.3487

Elaborado por el equipo de trabajo

**Tabla 4:** Cuadro de estadística de prueba

	<i>con limpieza</i>	<i>sin limpieza</i>
Media( $\bar{x}$ )	618.728112	548.042594
Varianza ( $\sigma^2$ )	137261.71	110068.99
número de datos	733	733
max	1174.0802	1143.0506
min	1.3311	1.3487
P valor	0.000	

Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 26:** Diagrama de caja y bigotes

Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.6.5. Mantenimiento del sistema fotovoltaico con limpieza

Para el monitoreo de operación del panel solar fotovoltaico, se realizó el mantenimiento preventivo, considerando los siguientes aspectos:

- Mantener la instalación en buen estado, verificando los bornes de conexión del sistema fotovoltaico y los empalmes realizados.
- Detectar a tiempo posibles fallas o zonas defectuosas que reduzcan el rendimiento del panel solar fotovoltaico.
- Realizar la inspección del arreglo fotovoltaico, verificando las conexiones en serie y paralelo.
- Considerar las zonas de sombreado total y parcial durante el día, para evitar la instalación en zonas críticas.



- e) Las inspecciones del sistema eléctrico son realizadas por el personal capacitado en sistemas fotovoltaicos.

Para la limpieza del panel solar fotovoltaico, se consideraron varias tareas programadas:

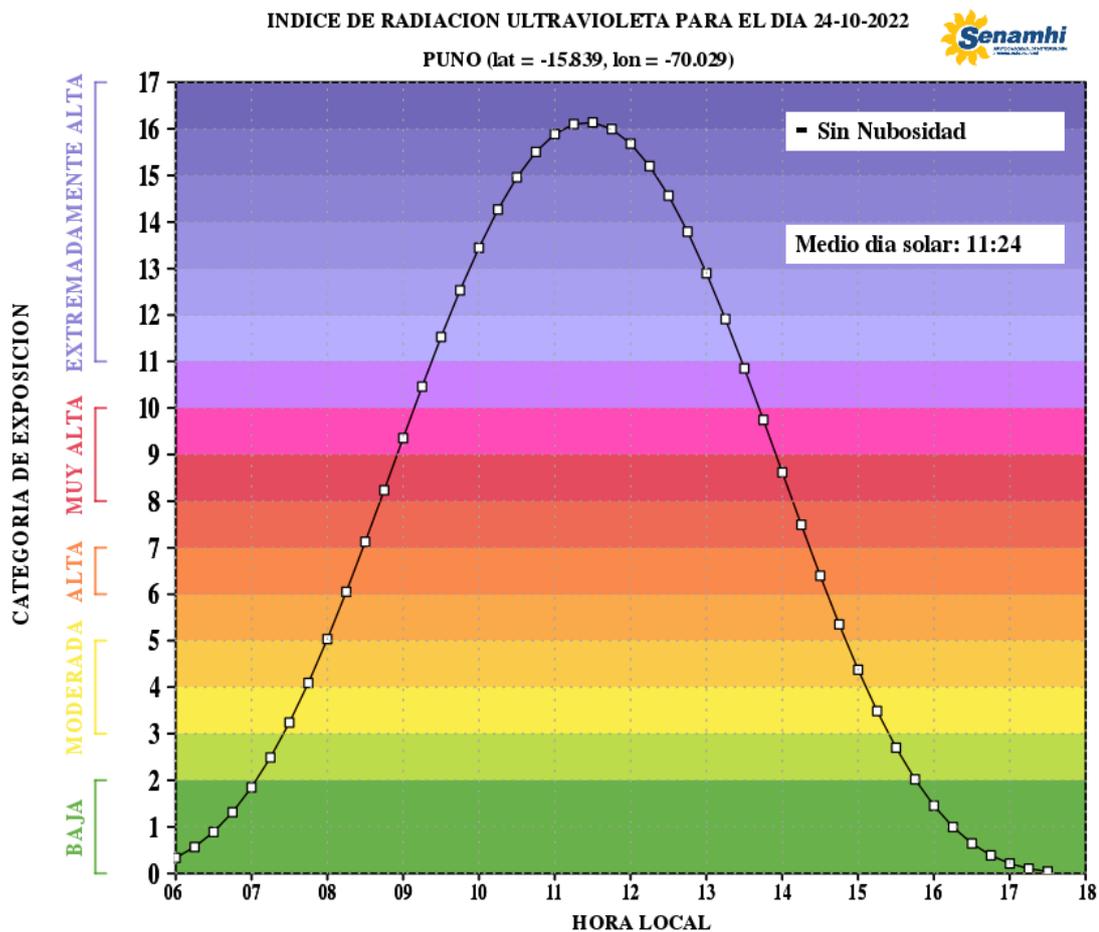
- a) La limpieza se realizó de forma manual, utilizando agua, jabón y un trapo que no pueda rasgar la superficie de vidrio del panel solar fotovoltaico.
- b) Esta limpieza se realizó de manera periódica, con una frecuencia de cada día, por las tardes.
- c) Se revisó y observó la estructura en general para evitar la corrosión del mismo y las zonas de sujeción.
- d) Realizado la limpieza de la superficie del panel solar fotovoltaico, se observa la mejora del rendimiento en software.
- e) El software utilizado en PLC, permite el monitoreo en tiempo real y el registro durante el día.

La recolección de polvo en la superficie de vidrio del panel solar fotovoltaico, se realizó de la siguiente manera:

- a) La frecuencia de recolección de la cantidad de polvo acumulado se realizó de manera mensual.
- b) El material de partícula acumulado se pesó, utilizando una balanza de precisión, con mucho cuidado.
- c) Los resultados obtenidos fueron utilizados para determinar el rendimiento fotovoltaico y compararlo con el otro panel solar fotovoltaico.

### 3.6.6. Características de la radiación ultravioleta y la temperatura en Puno

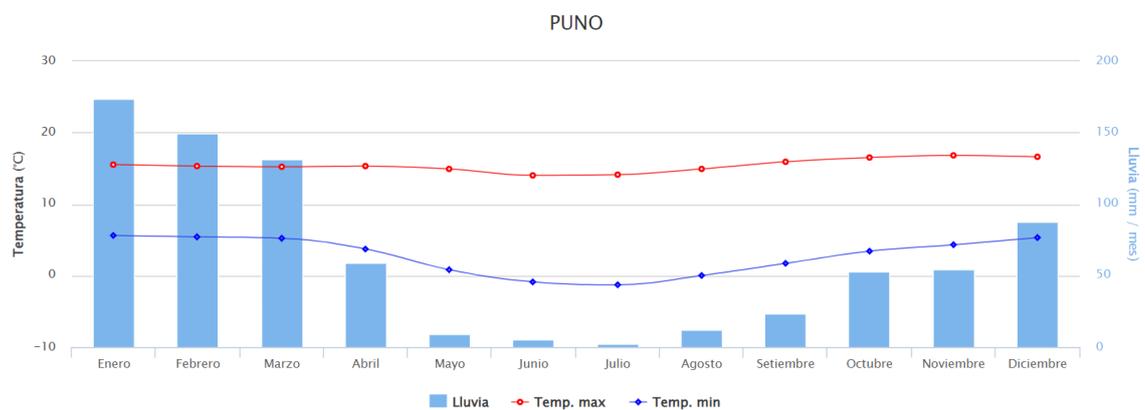
La región altoandina de Puno, presenta uno de los climas más variados del mundo a lo largo del año considerando las cuatro estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno). Sin embargo, en la ciudad de Puno se tiene una alta radiación ultravioleta según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), observándose que la radiación solar es muy elevada a partir de las 11:00 h hasta las 13:00 h, pudiéndose aprovechar en sistemas fotovoltaicos y térmicos, pero siendo perjudicial para la salud pública. En la Figura 26 se muestra la curva de radiación ultravioleta en la ciudad de Puno, registrada por el SENAMHI.



**Figura 27:** Índice de radiación ultravioleta por día en la ciudad de Puno.

Fuente: (SENAMHI, 2022)

El comportamiento de la temperatura en la ciudad de Puno es irregular, debido a las diversas estaciones del año y las variaciones del clima por el cambio climático y la contaminación medio ambiental, sin embargo, esto influye sobre todo en los sistemas fotovoltaicos cuando hay presencia de nubosidad total y parcial, lluvias leves y fuertes, reduciendo parcialmente la captación de la irradiación solar, afectando al rendimiento fotovoltaico de los paneles solares. En la Figura 28 se observa el comportamiento de la temperatura en la ciudad de Puno.



**Figura 28:** Comportamiento de la temperatura en la ciudad de Puno.

Fuente: (SENAMHI, 2022)

### 3.6.7. Factores que influyen en la pérdida de rendimiento fotovoltaico

Existen muchos factores que reducen el rendimiento de un panel solar fotovoltaico, entre ellas tenemos:

- Las pérdidas por espectro solar, son pérdidas que están referidas al estándar de medición CEM, implican pérdida por ausencia de fotones por condiciones de nubosidad parcial y total, reduciendo significativamente la producción de electricidad del panel solar.
- Pérdida por temperatura, es muy frecuente en zonas desérticas y áridas, influyen en la pérdida de la tensión, reduciendo la potencia generación. No es

lo mismo la generación de electricidad de un panel solar fotovoltaico en un clima frío, que en un clima cálido.

- c) Pérdida por eficiencia del inversor, eso se debe principalmente a la calidad de los componentes electrónicos, la eficiencia del inversor, la temperatura de operación del inversor y condiciones ambientales de operación como la humedad, viento, etc.
- d) Pérdidas por polvo y suciedad, eso se debe principalmente al grado de ensuciamiento de la superficie del panel solar fotovoltaico, la interacción con la precipitación leve y fuerte, la humedad de la zona. Estos componentes generan puntos calientes en la superficie del panel de manera no simétrica, ocasionando posibles fallas en el sistema eléctrico y reduciendo la potencia de generación del panel solar.

### 3.6.8. Contrastación de hipótesis

Para contrastar las hipótesis nula y alterna, seguimos los siguientes pasos:

- i. Planteamiento de hipótesis
  - $H_0$ : El rendimiento del sistema fotovoltaico con limpieza es igual que el sistema fotovoltaico sin limpieza (por efecto del polvo y lluvia).  
 $H_0: \mu_1 = \mu_2$
  - $H_a$ : El rendimiento del sistema fotovoltaico con limpieza es mayor que el sistema fotovoltaico sin limpieza (por efecto del polvo y lluvia).  
 $H_a: \mu_1 > \mu_2$
  - $\mu_1$ : media de irradiación 01 (con limpieza periódica).
  - $\mu_2$ : media de irradiación 02 (sin limpieza).
- ii. Nivel de significancia
  - $\alpha = 5\%$



iii. Estadístico de prueba

para obtener estos datos se trabajó con la tabla del Anexo 05

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (7)$$

$$\bar{x}_1 = 618.73$$

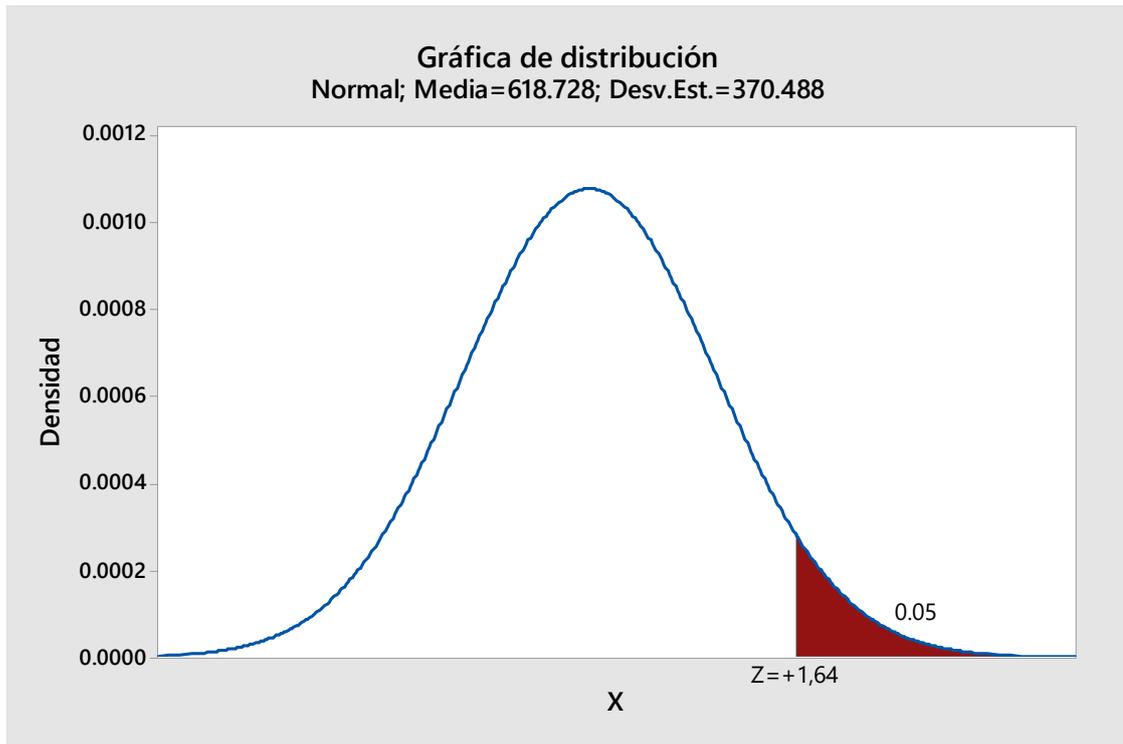
$$\bar{x}_2 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (8)$$

$$\bar{x}_2 = 548.04$$

$$H_a = 6.89 \text{ kWh/m}^2/\text{d} \neq 6.66 \text{ kWh/m}^2/\text{d}$$

$$Z = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (9)$$

$$z = \frac{618.73 - 548.04}{\sqrt{\frac{137261.71}{733} + \frac{110068.99}{733}}} = 3.848$$



**Figura 29:** Prueba de hipótesis al 5 %.

Elaborado por el equipo de trabajo

iv. Interpretación de la prueba estadística

Según los resultados de este proyecto de investigación, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna debido a que, existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula ya que el valor calculado de  $z=3.84$  se encuentra en la zona de rechazo, siendo mayor a 1.64, según el gráfico de distribución normal mostrado en la Figura 29. Por lo tanto, se concluye que el panel solar fotovoltaico con limpieza periódica tiene mayor rendimiento frente al panel solar fotovoltaico sin limpieza por efecto del polvo y lluvia.

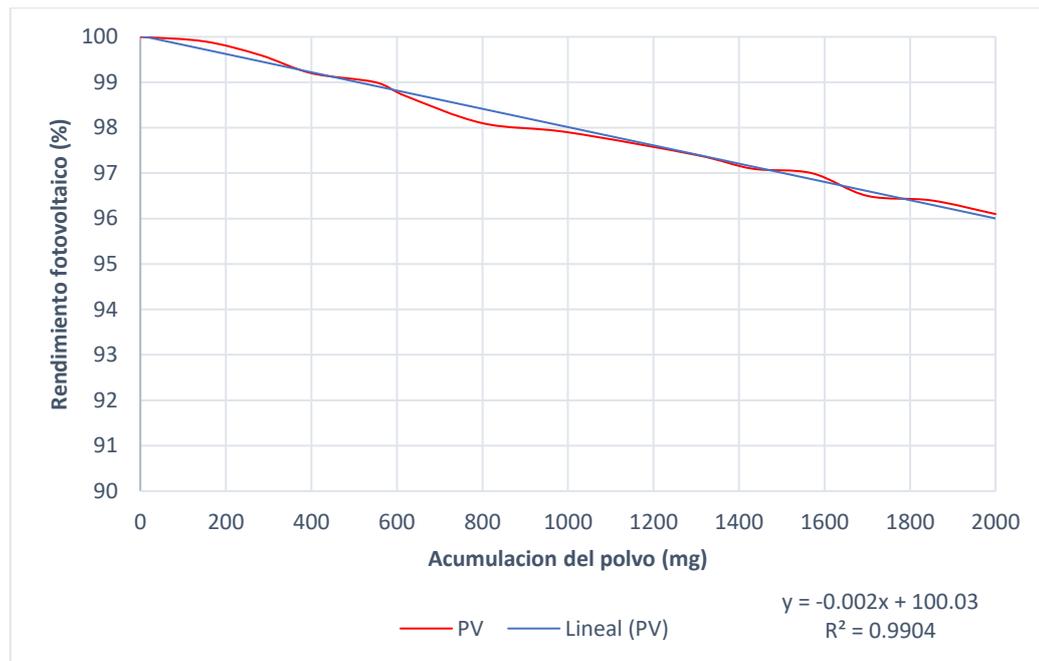


## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. TASA DE ACUMULACIÓN DE POLVO EN LA SUPERFICIE DEL PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO

La tasa de acumulación de material particulado (polvo) en la superficie de vidrio del panel solar fotovoltaico, tiene pendiente negativa en días soleados, debido a que se acumula polvo en la superficie del panel gradualmente con el paso de los días, sin embargo, la pendiente aproximada fue de  $-0.002$ , equivalente a la tasa de reducción del rendimiento en el panel solar fotovoltaico sin limpieza periódica, con un ajuste lineal del  $99.04\%$  (Figura 30). La acumulación progresiva del polvo es perjudicial sobre todo en días soleados en la ciudad de Puno, esta pérdida de rendimiento fotovoltaico a largo plazo reduce significativamente la producción de electricidad, sin embargo, la presencia de viento de manera eventual, limpia regularmente la superficie del panel solar, pero no en su totalidad. Otros estudios muestran que la acumulación de polvo en la superficie del panel solar, bloquea la radiación solar directa reduciendo el rendimiento de los paneles solares, siendo la tasa de acumulación de polvo entre  $1$  y  $50$  mg/d (Laarabi *et al.*, 2020).

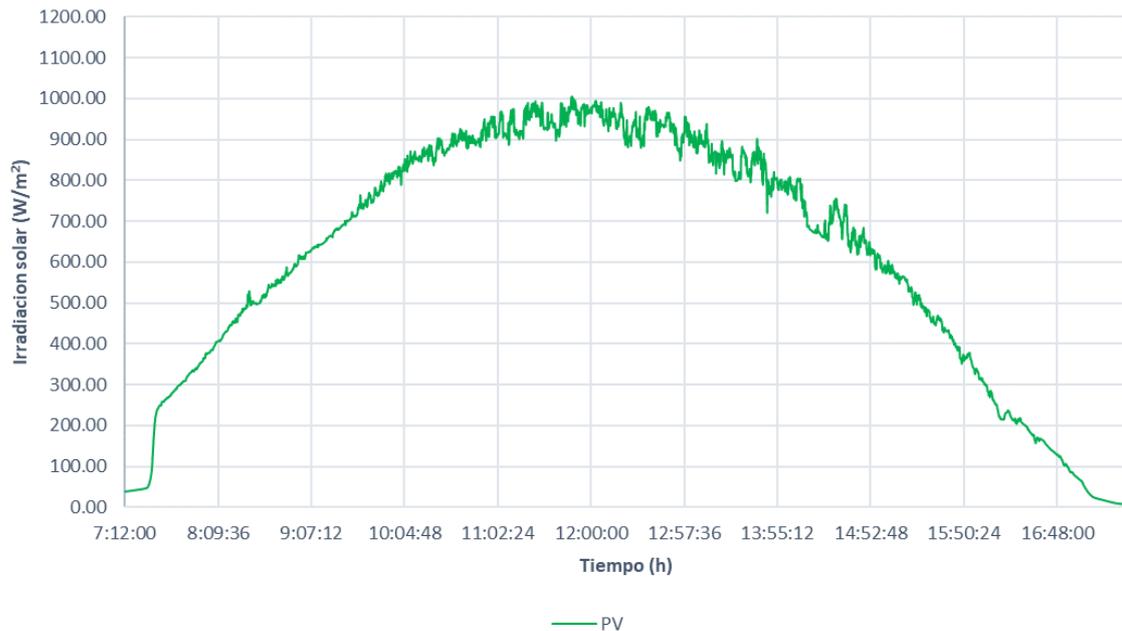


**Figura 30:** Tasa de acumulación de polvo y efectos en el rendimiento fotovoltaico

Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.2. COMPORTAMIENTO DE LA IRRADIACIÓN SOLAR

La irradiación solar en la ciudad de Puno, es variable por las estaciones del año, sin embargo, en los días soleados el comportamiento de la irradiación solar es aproximadamente a una curva con un pico máximo de  $1143 \text{ W/m}^2$ , sin embargo, el pico máximo pudo ser mayor, esta debido a la acumulación de polvo en la superficie del panel solar fotovoltaico, que bloqueó parcialmente la captación de la irradiación solar. La deposición de polvo en la superficie del panel solar, altera las características ópticas, térmicas y eléctricas del sistema fotovoltaico reduciendo la producción de energía eléctrica del panel, además en estaciones secas la acumulación de polvo en estos sistemas es aún mayor (Tanesab *et al.*, 2017).



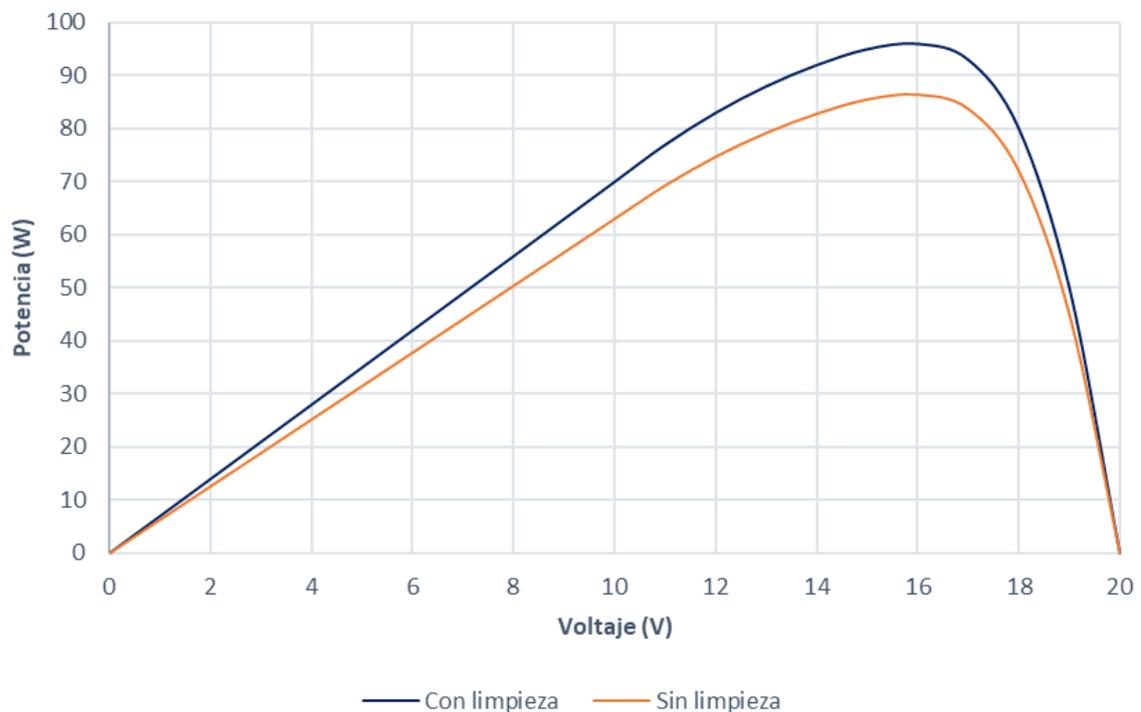
**Figura 31:** Irradiación solar en la ciudad de Puno

Elaborado por el equipo de trabajo

#### **4.3. EFECTOS DEL POLVO EN EL RENDIMIENTO DEL PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO**

La reducción en el rendimiento del panel solar fotovoltaico sin limpieza, es significativo frente al otro sistema con limpieza periódica, la Figura 30 muestra la comparación de ambos paneles solares, observándose que el panel solar sin limpieza periódica reduce su rendimiento en un 6.20 % aproximadamente durante el mes de experimentación (Figura 32), siendo esta pérdida de rendimiento perjudicial en la producción de electricidad, además, con el paso del tiempo la reducción de rendimiento aumenta progresivamente. Uno de los factores ambientales que beneficia a los paneles solares fotovoltaicos, disminuyendo la acumulación de polvo en la superficie del panel, es la presencia de viento, que puede limpiar la superficie de estos sistemas hasta cierto grado, pero no en su totalidad. Muchos autores afirman que la densidad de polvo acumulada en la superficie del módulo fotovoltaico reduce el rendimiento más del 20 %,

evaluado en un periodo de 45 días, en zonas desérticas de Arabia Saudita, con gran cantidad de material particulado (polvo) (Said y Walwil, 2014).



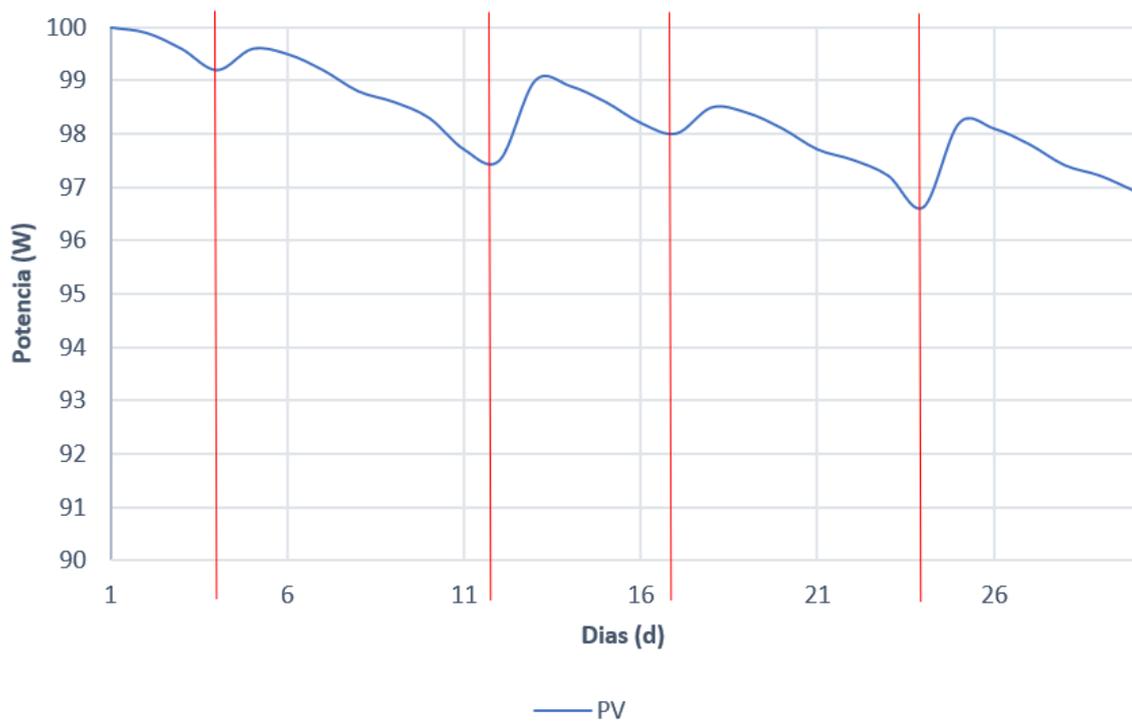
**Figura 32:** Rendimiento fotovoltaico en los paneles solares fotovoltaicos

Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.4. EFECTOS DE LA LLUVIA EN EL RENDIMIENTO DEL PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO

La lluvia es un factor ambiental que no se puede controlar, tiene efectos negativos y positivos en los sistemas fotovoltaicos. En la ciudad de Puno, la presencia de lluvias ocasiona los días parcialmente nublados, bloqueando el paso de radiación solar directa en los paneles solares fotovoltaicos, reduciendo significativamente la producción de electricidad, sin embargo, no todo es negativo, porque también limpia la superficie de los paneles solares, sobre todo las lluvias intensas. En el periodo de experimentación, la presencia de lluvias aparte de reducir el rendimiento fotovoltaico, también limpió a los paneles solares fotovoltaicos hasta cierto límite, esto hace que para los días posteriores se

mejore la captación de la irradiación solar, aumentando la producción de energía eléctrica (Figura 33).



**Figura 33:** Presencia de lluvias y comportamiento del sistema fotovoltaico  
Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.5. MANTENIMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

La irradiación solar en la ciudad de Puno es muy elevada, llegando por encima de los  $1000 \text{ W/m}^2$ , por esa razón, su óptimo aprovechamiento en paneles solares fotovoltaicos es influenciado por factores ambientales y la acumulación de polvo en la superficie de vidrio del panel solar, reduciendo progresivamente el rendimiento del panel solar sin limpieza con el paso de los días.

Sin embargo, el mantenimiento periódico de los paneles solares fotovoltaicos es muy importante, porque estos sistemas están compuestos de células fotovoltaicas que están conectados en serie, al bloquearse al menos uno de ellos, la pérdida de rendimiento del panel solar fotovoltaico es en su totalidad, como si una célula fotovoltaica es equivalente al módulo.



La limpieza del panel solar fotovoltaico no es una actividad complicada, más bien algo sencillo con una frecuencia entre un día a una semana, utilizando un trapo húmedo de algodón que no disperse pelusas cuando se limpie el panel solar. En algunos casos solo es necesario utilizar un chorro con ligera presión de agua en la superficie de vidrio, optimizando de esa forma la captación de irradiación solar para incrementar la potencia en la producción de electricidad.

De esa forma evitamos los puntos ciegos o calientes en el panel solar fotovoltaico, que podría ser perjudicial en la operación de estos sistemas en mediano y largo plazo, he incluso este tipo de fallas puede degradar rápidamente a los paneles solares fotovoltaicos, reduciendo su vida útil.



## V. CONCLUSIONES

Para determinar los efectos del polvo y las lluvias en un panel solar fotovoltaico, se diseñó un sistema fotovoltaico con dos paneles solares, uno con limpieza periódica y el otro sin limpieza, instalado con dos transductores de corriente conectados a las entradas analógicas del PLC, en este controlador se procesó y registro los datos en tiempo real cada minuto de manera automatizada, guardados en una tarjeta SD. Mientras tanto, este sistema fotovoltaico estuvo en operación continua en condiciones climáticas variadas de la ciudad de Puno, determinado el efecto del polvo reduce el rendimiento fotovoltaico en aproximadamente 6.20 %.

La acumulación del polvo en superficie de vidrio del panel solar fotovoltaico, durante el tiempo reduce progresivamente el rendimiento en la producción de electricidad, más aún, cuando hay mayor presencia de días soleados y el flujo del viento tiene menor velocidad, sin embargo, cuando hay mayor flujo de viento, limpia ligeramente la superficie del panel solar. En esta investigación el rendimiento del panel solar sin limpieza se redujo en aproximadamente 6.20 % durante el periodo de experimentación, aceptando la hipótesis alterna, con un Z calculado igual a 3.848, también mediante el P valor calculado igual a 0.00 y que es menor a 0.05. tenemos donde el promedio de irradiación solar del panel fotovoltaico con limpieza fue de  $618.73 \text{ W/m}^2$  teniendo como energía total durante el día de  $6.89 \text{ kWh/m}^2/\text{d}$  y el panel sin limpieza en promedio fue de  $548.04 \text{ W/m}^2$  acumulando energía durante el día de  $6.66 \text{ kWh/m}^2/\text{d}$ . Por lo tanto, el efecto del polvo en los sistemas fotovoltaicos es perjudicial, porque reduce el rendimiento de manera gradual.

Sin embargo, el comportamiento de lluvia en panel solar fotovoltaico, tiene características favorables, porque limpia la superficie del panel solar de manera progresiva, y características negativas, porque bloquea el paso de la irradiación solar



reduciendo la producción de electricidad y con el paso del tiempo oxida lentamente la estructura del sistema fotovoltaico reduciendo su efectividad mecánica.



## VI. RECOMENDACIONES

Los autores de este proyecto de investigación, recomendamos seguir investigando en sistemas solares fotovoltaicos autónomos, incluyendo en el diseño los efectos de los cambios de temperatura, la variación del viento y otros factores más. Además, incluir los diferentes tipos de paneles solares fotovoltaicos que hay hasta la actualidad como las tecnologías: policristalinas, de Si Amorfo, Perovskita, de películas delgadas GIGS, de Si HIT y otras tecnologías más, siendo la tecnología de Perovskita la más eficiente en la actualidad.

Con los datos obtenidos se podría realizar estudios con sistemas autónomos y sistemas fotovoltaicos conectados a red pública que beneficien a la región de Puno, incluyendo estos proyectos en la construcción de viviendas eco sostenibles o confortables usando la energía solar. En los sistemas fotovoltaicos conectados, en actualidad hay una gran variedad de inversores conectados a red, e incluso sistemas híbridos utilizando baterías y combinados con sistema eólicos (aerogeneradores de eje vertical y horizontal), estos inversores podrían utilizarse para reducir el consumo energético de la red pública convencional y pagar una menor tarifa eléctrica a la entidad suministradora de energía eléctrica.

Finalmente, el recurso solar en la ciudad de Puno es abundante a lo largo del año para los sistemas fotovoltaicos, sin embargo, en la noche no es posible generar electricidad con paneles solares, teniendo la necesidad de almacenar esta energía con banco de baterías. En tal sentido, recomendamos estudiar las formas de almacenar energía de los sistemas fotovoltaicos, que puedan ser aplicados durante la noche y proponer tecnologías de almacenamiento adecuadas para la región de Puno.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abid, M., & Dabboussi, M. (2022, 2022/04/20/). A comparative study of sectoral renewable energy consumption and GDP in the U.S.: Evidence from a threshold approach. *Renewable Energy*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.057>
- Aghaei, M., Fairbrother, A., Gok, A., Ahmad, S., Kazim, S., Lobato, K., Oreski, G., Reinders, A., Schmitz, J., Theelen, M., Yilmaz, P., & Kettle, J. (2022, 2022/05/01/). Review of degradation and failure phenomena in photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159, 112160.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112160>
- Ali Sadat, S., Faraji, J., Nazififard, M., & Ketabi, A. (2021, 2021/10/01/). The experimental analysis of dust deposition effect on solar photovoltaic panels in Iran's desert environment. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101542. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101542>
- Angulo-Abanto, J., Calsi-Silva, B., Alfaro-Collazos, E., Conde-Mendoza, L., Muñoz-Cerón, E., Grieseler, R., Guerra-Torres, J., Palomino-Töfflinger, J., Espinoza-Paredes, R., & Casa-Higueras, J. D. I. (2020). Estudio del efecto del polvo y estimación de la potencia nominal en un string fotovoltaico. *Tecnia*, 30, 27-33.  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2309-04132020000100027&nrm=iso](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2309-04132020000100027&nrm=iso)
- Asumadu-Sarkodie, S., & Owusu, P. A. (2016). A review of Ghana's energy sector national energy statistics and policy framework. *Cogent Engineering*, 3(1), 1155274.



- Azam, A., Rafiq, M., Shafique, M., Zhang, H., & Yuan, J. (2021, 2021/03/15/). Analyzing the effect of natural gas, nuclear energy and renewable energy on GDP and carbon emissions: A multi-variate panel data analysis. *Energy*, 219, 119592. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119592>
- Baba, Y. F., Al Mers, A., & Ajdad, H. (2020). Dimensionless model based on dual phase approach for predicting thermal performance of thermocline energy storage system: Towards a new approach for thermocline thermal optimization. *Renewable Energy*, 153, 440-455.
- Barbosa de Melo, K., Kitayama da Silva, M., Lucas de Souza Silva, J., Costa, T. S., & Villalva, M. G. (2022, 2022/06/01/). Study of energy improvement with the insertion of bifacial modules and solar trackers in photovoltaic installations in Brazil. *Renewable Energy Focus*, 41, 179-187. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ref.2022.02.005>
- Callo Conto, M. (2022). *Estudio de los efectos del polvo en deposicion sobre modulos fotovoltaicos* [Cuantitativo, Universidad Nacional de San Agustin Arequipa].
- Cano, J., John, J. J., Tatapudi, S., & TamizhMani, G. (2014). Effect of tilt angle on soiling of photovoltaic modules. 2014 IEEE 40th photovoltaic specialist conference (PVSC),
- Chouder, A., Silvestre, S., Sadaoui, N., & Rahmani, L. (2012). Modeling and simulation of a grid connected PV system based on the evaluation of main PV module parameters. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 20(1), 46-58.
- Cordero, R., Damiani, A., Laroze, D., MacDonell, S., Jorquera, J., Sepúlveda, E., Feron, S., Llanillo, P., Labbe, F., & Carrasco, J. (2018). Effects of soiling on photovoltaic (PV) modules in the Atacama Desert. *Scientific reports*, 8(1), 1-14.



- Dag, H. I., & Buker, M. S. (2019, 2019/11/29/). Performance evaluation and degradation assessment of crystalline silicon based photovoltaic rooftop technologies under outdoor conditions. *Renewable Energy*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.141>
- Das, P. K., Habib, M. A., & Mynuddin, M. (2015). Microcontroller based automatic solar tracking system with mirror booster. *Int. J. Sustain. Green Energy*, 4(4), 125-136.
- Del Pero, C., Aste, N., & Leonforte, F. (2021, 2021/12/01/). The effect of rain on photovoltaic systems. *Renewable Energy*, 179, 1803-1814.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.07.130>
- Demirbas, A. (2000). Recent advances in biomass conversion technologies. *Energy Edu Sci Technol*, 6, 19-41.
- Egri, A., Horváth, A., Kriska, G., & Horváth, G. (2010). Optics of sunlit water drops on leaves: conditions under which sunburn is possible. *New Phytologist*, 185(4), 979-987.
- Esmeijer, K. B. (2014). *PV performance during low irradiance and rainy weather conditions*
- Fan, S., Wang, Y., Cao, S., Sun, T., & Liu, P. (2021, 2021/11/01/). A novel method for analyzing the effect of dust accumulation on energy efficiency loss in photovoltaic (PV) system. *Energy*, 234, 121112.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121112>
- Garrido Jimenez, J. (2020). *Estudio de la influencia del ensuciamiento por polvo en la temperatura de un panel solar fotovoltaico mediante un modelo computacional*



*unidimensional* [Cuantitativa, Universidad de Chile]. Repositorio Academico.  
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/176602>

- Goossens, D., & Offer, Z. Y. (1995). Comparisons of day-time and night-time dust accumulation in a desert region. *Journal of Arid Environments*, 31(3), 253-281.
- Guerrero-Lemus, R., Vega, R., Kim, T., Kimm, A., & Shephard, L. (2016). Bifacial solar photovoltaics—A technology review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1533-1549.
- Gupta, V., Sharma, M., Pachauri, R. K., & Dinesh Babu, K. N. (2019, 2019/10/01/). Comprehensive review on effect of dust on solar photovoltaic system and mitigation techniques. *Solar Energy*, 191, 596-622.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.079>
- Ismaeel, A. A., Wahhab, H. A. A., & Naji, Z. H. (2021). Performance Evaluation of Updraft Air Tower Power Plant Integrated with Double Skin Solar Air Heater.
- Jiang, L., Cui, S., Sun, P., Wang, Y., & Yang, C. (2020). Comparison of monocrystalline and polycrystalline solar modules. 2020 IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC),
- Kaldellis, J., Fragos, P., & Kapsali, M. (2011). Systematic experimental study of the pollution deposition impact on the energy yield of photovoltaic installations. *Renewable Energy*, 36(10), 2717-2724.
- Kane, A., Verma, V., & Singh, B. (2017). Optimization of thermoelectric cooling technology for an active cooling of photovoltaic panel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1295-1305.



- Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016, 2016/09/01/). Solar energy for future world: - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1092-1105.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.022>
- Khodakaram-Tafti, A., & Yaghoubi, M. (2020, 2020/12/01/). Experimental study on the effect of dust deposition on photovoltaic performance at various tilts in semi-arid environment. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 42, 100822.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100822>
- Köntges, M., Kurtz, S., Packard, C., Jahn, U., Berger, K. A., Kato, K., Friesen, T., Liu, H., Van Iseghem, M., & Wohlgemuth, J. (2014). Review of failures of photovoltaic modules.
- Köntges, M., Oreski, G., Jahn, U., Herz, M., Hacke, P., Weiss, K.-A., Razongles, G., Paggi, M., Parlevliet, D., & Tanahashi, T. (2017). Assessment of photovoltaic module failures in the field. *Report IEA-PVPS T13-09, 2017*.
- Kumari, N., Kumar Singh, S., & Kumar, S. (2022, 2022/07/12/). A comparative study of different materials used for solar photovoltaics technology. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.06.403>
- Laarabi, B., El Baqqal, Y., Dahrouch, A., & Barhdadi, A. (2020). Deep analysis of soiling effect on glass transmittance of PV modules in seven sites in Morocco. *Energy*, 213, 118811.
- Lee, T. D., & Ebong, A. U. (2017). A review of thin film solar cell technologies and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1286-1297.



- Makarieva, A. M., Gorshkov, V. G., & Li, B.-L. (2008). Energy budget of the biosphere and civilization: Rethinking environmental security of global renewable and non-renewable resources. *Ecological complexity*, 5(4), 281-288.
- Mohd Chachuli, F. S., Mat, S., Ludin, N. A., & Sopian, K. (2021, 2021/01/01/). Performance evaluation of renewable energy R&D activities in Malaysia. *Renewable Energy*, 163, 544-560.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.160>
- Parida, B., Iniyan, S., & Goic, R. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1625-1636.
- Peters, I. M., Gallegos, C. D. R., Sofia, S. E., & Buonassisi, T. (2019). The value of efficiency in photovoltaics. *Joule*, 3(11), 2732-2747.
- Praveen, R. P., Keloth, V., Abo-Khalil, A. G., Alghamdi, A. S., Eltamaly, A. M., & Tlili, I. (2020, 2020/12/01/). An insight to the energy policy of GCC countries to meet renewable energy targets of 2030. *Energy Policy*, 147, 111864.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111864>
- Pvps, I. E. A. (2020). Snapshot of Global PV Markets 2021. *International Energy Agency (IEA): Paris, France*.
- Quansah, D. A., & Adaramola, M. S. (2019). Assessment of early degradation and performance loss in five co-located solar photovoltaic module technologies installed in Ghana using performance ratio time-series regression. *Renewable Energy*, 131, 900-910.



- Ramanujam, J., Bishop, D. M., Todorov, T. K., Gunawan, O., Rath, J., Nekovei, R., Artegiani, E., & Romeo, A. (2020). Flexible CIGS, CdTe and a-Si: H based thin film solar cells: A review. *Progress in Materials Science*, *110*, 100619.
- Rulfová, Z., Beranová, R., & Kyselý, J. (2017). Climate change scenarios of convective and large-scale precipitation in the Czech Republic based on EURO-CORDEX data. *International Journal of Climatology*, *37*(5), 2451-2465.
- Said, S. A., & Walwil, H. M. (2014). Fundamental studies on dust fouling effects on PV module performance. *Solar Energy*, *107*, 328-337.
- Salim, H. K., Stewart, R. A., Sahin, O., & Dudley, M. (2019). Drivers, barriers and enablers to end-of-life management of solar photovoltaic and battery energy storage systems: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, *211*, 537-554.
- SENAMHI. (2022). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*.  
<https://www.senamhi.gob.pe/>
- Shilin, A. A., Savrasov, F. V., & Kriger, A. P. (2016, 2016/09/01/). A methodology for the construction of efficient PLC based low-power photovoltaic generation plants. *Resource-Efficient Technologies*, *2*(3), 105-110.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.reffit.2016.06.005>
- Stuckelberger, M., Biron, R., Wyrsh, N., Haug, F.-J., & Ballif, C. (2017). Progress in solar cells from hydrogenated amorphous silicon. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *76*, 1497-1523.



- Tanesab, J., Parlevliet, D., Whale, J., & Urmee, T. (2017). Seasonal effect of dust on the degradation of PV modules performance deployed in different climate areas. *Renewable Energy*, *111*, 105-115.
- Thiaux, Y., Dang, T. T., Schmerber, L., Multon, B., Ahmed, H. B., Bacha, S., & Tran, Q. T. (2019). Demand-side management strategy in stand-alone hybrid photovoltaic systems with real-time simulation of stochastic electricity consumption behavior. *Applied Energy*, *253*, 113530.
- Ullah, A., Ahmed, M., Raza, S. A., & Ali, S. (2021). A threshold approach to sustainable development: Nonlinear relationship between renewable energy consumption, natural resource rent, and ecological footprint. *Journal of Environmental Management*, *295*, 113073.
- Valentín, D., Valero, C., Egusquiza, M., & Presas, A. (2022, 2022/05/01/). Failure investigation of a solar tracker due to wind-induced torsional galloping. *Engineering Failure Analysis*, *135*, 106137.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106137>
- Wang, Q., & Liu, Y. (2020, 2020/10/05/). India's renewable energy: New insights from multi-regional input output and structural decomposition analysis. *Journal of Cleaner Production*, 124230.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124230>
- Zhao, N., Yan, S., Zhang, N., & Zhao, X. (2022, 2022/05/01/). Impacts of seasonal dust accumulation on a point-focused Fresnel high-concentration photovoltaic/thermal system. *Renewable Energy*, *191*, 732-746.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.04.039>



Zhen, Z., Zengwei, Z., Li, S., Jun, W., Wuchun, P., Zhikang, L., Lei, W., Wei, C., & Yunhua, S. (2017). The Effects of Inclined Angle Modification and Diffuse Radiation on the Sun-Tracking Photovoltaic System. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 7(5), 1410-1415.  
<https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2017.2715718>

Zheng, W., Cui, S., & Zhang, X. (2012). The research of CaO/TiO<sub>2</sub> nanocrystalline film for dye-sensitized solar cell. 2012 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST),

## ANEXOS

### ANEXO 1. Solarímetro SOLAR-100 (AMPROBE)

- a) El Mide la energía solar y la transmisión hasta 2000 W/m<sup>2</sup>, 634BTU / (ft<sup>2</sup>xh)
- b) Modo de potencia: medición de la potencia por unidad de área de la radiación solar incidente.
- c) Modo de transmisión: calcula el porcentaje de transmisión de energía solar del material, por ejemplo, cuánta energía solar en % se transmitirá a través de la ventana.
- d) Pantalla conveniente para leer con tecnología de sensor remoto
- e) Unidades de medida seleccionables, ya sea W/m<sup>2</sup> o BTU/(ft<sup>2</sup> xh)
- f) retención de datos.
- g) Funciones max/min para identificar ubicaciones con potencia máxima o mínima.



Solarímetro SOLAR AMPROBE 100.

## ANEXO 2. Panel solar fotovoltaico de 120 W, monocristalino



Modulo fotovoltaico monocristalino de 120 W.

AMC	
<i>Parameters</i>	<i>Specifications</i>
Technology	Monocrystalline
Maximum power (W)	120
Maximum voltage (V)	17.6
Maximum current (A)	6.82
Open circuit voltage (V)	22.4
Short circuit current (A)	7.09
Operating temperature (°C)	45 +- 2 %
Area (mm <sup>2</sup> )	1010 x 660
STC	AM1.5, 1000W/m <sup>2</sup> , 25 °C

### ANEXO 3. Pinza amperimétrica

TRMS		✓
AC Current	40.00 A , 400.0 A	40.00 A , 400.0 A
AC Voltage	4.000 V, 40.00 V, 400.0 V, 600.0 V	4.000 V, 40.00 V, 400.0 V, 600.0 V
DC Voltage	400.0 mV, 4.000 V, 40.00 V, 400.0 V, 600.0 V	400.0 mV, 4.000 V, 40.00 V, 400.0 V, 600.0 V
Resistance	400.0 $\Omega$ , 4.000 k $\Omega$ , 40.00 k $\Omega$ , 400.0 k $\Omega$ , 4.000 M $\Omega$ , 40.00 M $\Omega$	400.0 $\Omega$ , 4.000 k $\Omega$ , 40.00 k $\Omega$ , 400.0 k $\Omega$ , 4.000 M $\Omega$ , 40.00 M $\Omega$
Capacitance	4.000 $\mu$ F, 40.00 $\mu$ F, 400.0 $\mu$ F, 4.000 $\mu$ F	4.000 $\mu$ F, 40.00 $\mu$ F, 400.0 $\mu$ F, 4.000 $\mu$ F
Temperature	-30 °F → 400 °F	-30 °F → 400 °F, (-35 °C → 400 °C)
Diode test		
Backlight		✓



Pinza Amperimétrica.

#### ANEXO 4. Galería fotográfica



Medidor solar: Amprobe Solar 100 – USA, día nublado.



Medición de la irradiancia solar en la ciudad de Puno.



Medición de la irradiancia solar en un día soleado.



Solarímetro Amprobe solar 100 – USA, en un día soleado.



Limpieza periódica del módulo fotovoltaico



Instalación de los módulos fotovoltaicos de 120 W.



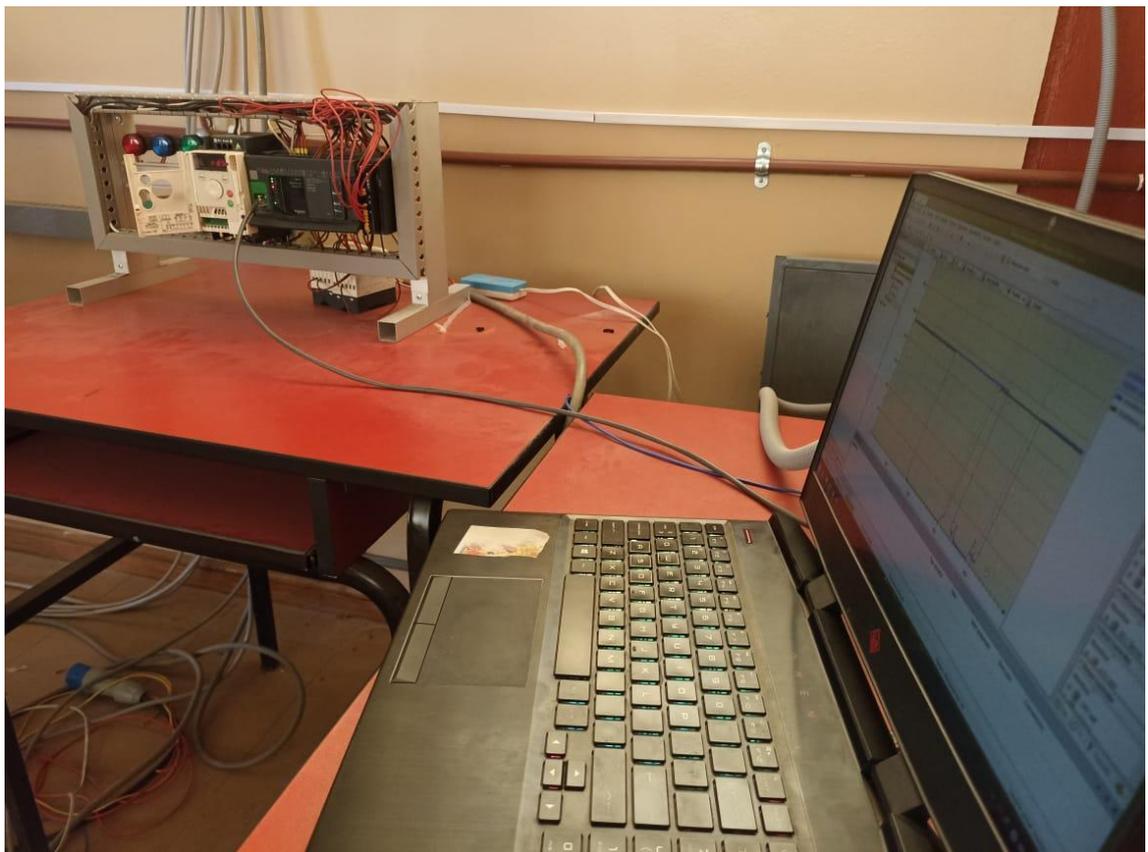
Instalación del PLC, Modicon M241, Schneider Electric y los sensores de Corriente.



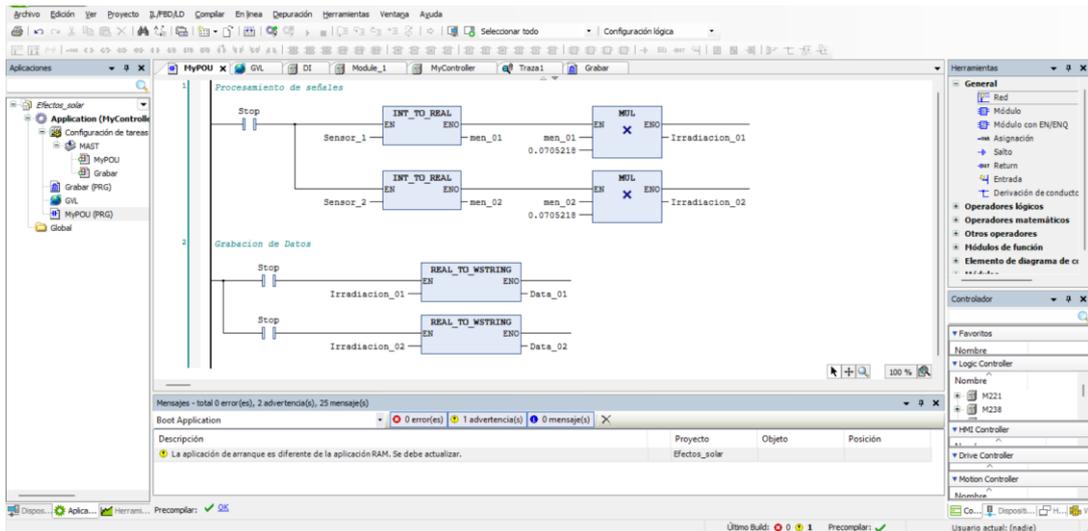
Programación del PLC para la adquisición de datos.



Medición de la tensión de salida del panel solar fotovoltaico de 21.30 v.



Calibración de los transductores de corriente con el PLC Modicon M241, Schneider Electric.



Programación en el PLC Somachine Central, en lenguaje Ladder.



Programación en el PLC Somachine Central, registro de gráfico en tiempo real.

## ANEXO 5. Datos de la medición de los paneles solares.

Datos	Hora	Irradiación 01 (con limpieza periódica)	Irradiación 02 (sin limpieza)
1	05:30	6.8517	7.6979
2	05:31	7.6120	8.8130
3	05:32	8.2643	9.2957
4	05:33	9.3441	9.7739
5	05:34	10.2543	10.5518
6	05:35	11.3077	11.6118
7	05:36	11.9953	13.0069



8	05:37	12.2929	14.1727
9	05:38	12.6719	15.2327
10	05:39	13.6217	16.7423
11	05:40	14.9242	19.1973
12	05:41	16.2310	22.9042
13	05:42	17.5842	27.4131
14	05:43	20.0326	31.0120
15	05:44	25.4650	34.2516
16	05:45	31.1751	37.9363
17	05:46	34.9612	41.7269
18	05:47	38.8091	45.0833
19	05:48	43.0888	50.9542
20	05:49	46.9433	63.3748
21	05:50	56.2852	71.0816
22	05:51	70.1251	93.4634
23	05:52	70.6452	100.4605
24	05:53	73.1884	104.3568
25	05:54	78.2197	96.1587
26	05:55	91.4822	99.1030
27	05:56	105.7320	107.9490
28	05:57	110.7104	109.7055
29	05:58	102.9795	106.6180
30	05:59	107.1866	77.8164
31	06:00	116.2045	81.7127
32	06:01	121.4187	86.0454
33	06:02	122.3443	95.8435
34	06:03	89.4481	100.9938
35	06:04	90.0497	136.7109
36	06:05	94.7130	92.8199
37	06:06	101.0798	93.2541
38	06:07	116.4447	94.0474
39	06:08	151.2560	98.5608
40	06:09	106.5078	104.9298
41	06:10	106.3998	171.2270
42	06:11	106.6598	134.4388
43	06:12	108.9606	157.9556
44	06:13	122.6529	186.4420
45	06:14	182.5236	169.6005
46	06:15	178.8455	190.8629
47	06:16	181.8625	195.3608
48	06:17	196.0418	197.8533
49	06:18	154.1849	142.1676
50	06:19	185.0779	203.6692
51	06:20	203.1998	150.9299
52	06:21	209.0729	204.7248
53	06:22	160.6707	217.5642



54	06:23	209.6040	229.3083
55	06:24	202.6665	233.8635
56	06:25	215.7901	225.4825
57	06:26	214.0711	238.9301
58	06:26	239.6089	244.9553
59	06:27	244.1156	250.3017
60	06:28	243.5889	258.0150
61	06:29	253.6978	262.5791
62	06:30	254.2862	243.8137
63	06:31	260.8844	221.4980
64	06:32	267.5994	247.2979
65	06:33	269.3558	235.9549
66	06:34	274.8080	288.6171
67	06:35	197.2120	286.8893
68	06:36	239.6155	294.0605
69	06:37	197.7299	299.4135
70	06:38	294.0517	314.3598
71	06:39	283.4646	258.6542
72	06:40	311.9113	203.0301
73	06:41	307.0277	206.8162
74	06:42	325.1408	213.9499
75	06:43	340.0606	223.7657
76	06:44	222.3486	217.8353
77	06:45	245.9294	219.2104
78	06:46	344.5387	227.2565
79	06:47	370.4665	239.2012
80	06:48	375.3876	237.4558
81	06:49	377.4944	244.6335
82	06:50	378.7484	352.4415
83	06:51	382.3803	374.5920
84	06:52	385.6573	375.7490
85	06:53	389.2208	381.6927
86	06:54	389.5426	385.8777
87	06:55	385.4700	386.0452
88	06:56	387.4820	386.9510
89	06:57	390.3492	399.8432
90	06:58	396.6587	291.4093
91	06:59	397.2207	401.0311
92	07:00	403.2855	284.4497
93	07:01	408.9273	390.9068
94	07:02	445.5987	413.3900
95	07:03	415.1773	406.8006
96	07:04	403.1049	370.1249
97	07:05	435.6793	327.6818
98	07:06	363.0617	348.8581
99	07:07	478.9708	409.6986



100	07:08	465.0450	397.1017
101	07:09	465.9310	437.7487
102	07:10	418.8620	418.6924
103	07:11	426.3021	419.0494
104	07:12	397.0466	388.8991
105	07:13	421.8901	424.7749
106	07:14	421.7380	417.1056
107	07:15	458.3675	431.6309
108	07:16	434.5025	396.0152
109	07:17	437.2176	434.1895
110	07:18	452.2828	424.5193
111	07:19	464.2054	440.6247
112	07:20	476.4078	444.8978
113	07:21	480.3504	445.9975
114	07:22	494.3204	451.7891
115	07:23	500.6894	440.1376
116	07:24	505.1719	475.9319
117	07:25	513.3260	481.3466
118	07:25	523.8514	514.2979
119	07:26	537.8896	518.6548
120	07:27	543.3903	520.4972
121	07:28	541.8146	522.8839
122	07:29	536.7018	397.0907
123	07:30	542.9320	372.2736
124	07:31	556.0028	405.6481
125	07:32	614.2427	573.3202
126	07:33	612.9182	375.8085
127	07:34	387.7443	405.2624
128	07:35	399.9820	393.3993
129	07:36	628.6600	393.3993
130	07:37	633.8235	395.1976
131	07:38	638.2488	417.8593
132	07:39	664.1964	402.3578
133	07:40	671.6717	402.1903
134	07:41	645.0938	403.4641
135	07:42	647.9631	456.4810
136	07:43	676.1212	714.7980
137	07:44	625.2155	611.3976
138	07:45	698.4810	715.8624
139	07:46	464.9172	478.2370
140	07:47	711.4151	703.9971
141	07:48	723.4215	688.5705
142	07:49	617.6784	540.1177
143	07:50	661.2058	479.7202
144	07:51	724.6534	666.4244
145	07:52	666.5413	613.3392



146	07:53	677.7564	520.1049
147	07:54	678.6864	635.2935
148	07:55	683.5458	673.0314
149	07:56	681.7695	669.1396
150	07:57	573.6662	610.3794
151	07:58	681.8996	479.8877
152	07:59	671.8965	506.9129
153	08:00	690.4525	473.0272
154	08:01	699.0584	540.2940
155	08:02	608.1558	534.5839
156	08:03	663.4162	625.2177
157	08:04	697.0463	491.7133
158	08:05	800.1712	499.3120
159	08:06	820.1686	617.9341
160	08:07	809.6343	539.9678
161	08:08	833.9467	807.9705
162	08:09	813.6034	565.3645
163	08:10	823.3486	605.3702
164	08:11	752.7564	518.4234
165	08:12	850.0544	510.7938
166	08:13	579.5063	534.2974
167	08:14	576.3879	550.2706
168	08:15	710.6857	554.9890
169	08:16	698.5074	525.2751
170	08:17	719.0557	531.6242
171	08:18	696.8304	538.1806
172	08:19	570.6249	527.7389
173	08:20	716.7726	529.6342
174	08:21	720.1709	519.7501
175	08:22	560.7695	510.8247
176	08:23	537.7111	504.1516
177	08:24	528.8386	495.0873
178	08:24	513.2643	501.9610
179	08:25	506.0909	502.4591
180	08:26	497.7891	498.9748
181	08:27	496.2046	488.8814
182	08:28	503.5455	490.1001
183	08:29	518.4256	506.5339
184	08:30	517.1144	505.3879
185	08:31	515.0229	507.9377
186	08:32	515.7414	510.8181
187	08:33	518.7364	509.7691
188	08:34	519.9705	518.7804
189	08:35	514.9987	512.2417
190	08:36	513.8968	501.9940
191	08:37	519.7435	482.5851



192	08:38	513.2643	473.7016
193	08:39	518.0532	488.6280
194	08:40	550.5637	497.8509
195	08:41	498.3930	524.0277
196	08:42	486.6026	532.7129
197	08:43	465.8295	519.0096
198	08:44	486.0252	512.9756
199	08:45	519.9771	535.6594
200	08:46	818.4320	523.9175
201	08:47	700.3300	554.4997
202	08:48	539.5601	535.8665
203	08:49	548.7037	536.7833
204	08:50	759.2686	554.9074
205	08:51	795.3030	591.4553
206	08:52	872.9409	552.7807
207	08:53	582.2412	556.4347
208	08:54	760.3110	561.0560
209	08:55	946.7775	565.7083
210	08:56	947.0306	769.8799
211	08:57	612.4708	570.0939
212	08:58	621.4161	549.1004
213	08:59	952.7586	522.7825
214	09:00	978.4439	550.1714
215	09:01	618.9544	551.8177
216	09:02	573.4701	545.9952
217	09:03	557.7613	543.6063
218	09:04	553.3912	546.0944
219	09:05	559.5641	551.7427
220	09:06	556.7278	543.8069
221	09:07	555.3173	542.9341
222	09:08	557.6622	546.0790
223	09:09	558.8632	551.6237
224	09:10	560.2891	551.7648
225	09:11	572.1721	543.6570
226	09:12	554.5085	520.7198
227	09:13	556.6550	524.5831
228	09:14	566.1050	543.6306
229	09:15	587.9028	572.9389
230	09:16	596.3434	583.4996
231	09:17	602.1019	585.2516
232	09:18	781.0643	587.7221
233	09:19	832.7986	592.0393
234	09:20	611.9816	601.4364
235	09:21	628.8760	611.1155
236	09:22	888.7466	684.3436
237	09:23	935.9103	684.7381



238	09:23	960.8023	613.3281
239	09:24	972.7116	599.3384
240	09:25	1001.3370	898.2935
241	09:26	988.7574	893.8352
242	09:27	1021.5170	960.3791
243	09:28	1011.1039	943.5420
244	09:29	1031.8884	985.8090
245	09:30	1048.9899	1008.9092
246	09:31	1093.6871	1023.4479
247	09:32	1027.0399	642.5924
248	09:33	1047.0462	638.6476
249	09:34	1052.9259	636.4813
250	09:35	1091.3824	629.2727
251	09:36	718.8662	626.4188
252	09:37	1015.2982	641.0807
253	09:38	638.2929	628.9928
254	09:39	645.6932	631.2649
255	09:40	685.3948	630.9299
256	09:41	892.1206	796.0082
257	09:42	1054.4773	636.1111
258	09:43	672.8904	668.6701
259	09:44	988.1669	672.6281
260	09:45	1089.9893	1032.1022
261	09:46	1092.8059	679.7685
262	09:47	766.7306	696.4645
263	09:48	1017.5280	975.9645
264	09:49	1005.7974	755.8593
265	09:50	1029.9754	880.2642
266	09:51	989.5840	907.0117
267	09:52	910.9588	772.3702
268	09:53	714.2823	654.1779
269	09:54	701.4451	636.7435
270	09:55	802.6108	663.4096
271	09:56	1038.1428	1081.1721
272	09:57	1076.1474	683.4114
273	09:58	1077.1126	628.6886
274	09:59	1090.8888	655.2379
275	10:00	1087.4199	842.9075
276	10:01	1106.8067	1098.3551
277	10:02	1095.7105	955.8151
278	10:03	1087.2830	1076.2886
279	10:04	1108.7837	1114.0769
280	10:05	1121.7178	865.0205
281	10:06	1092.1714	1072.5750
282	10:07	1095.4726	1087.0475
283	10:08	1097.8110	1088.6870



284	10:09	1119.4543	1102.9081
285	10:10	1082.3180	1112.1180
286	10:11	1082.9900	1107.3464
287	10:12	1084.4379	1111.7169
288	10:13	1101.9144	1106.0177
289	10:14	1124.3822	1108.2481
290	10:15	1124.5031	1111.7145
291	10:16	1124.2143	1115.6858
292	10:17	1115.3154	1117.4794
293	10:18	1114.2535	1113.4489
294	10:19	1116.0075	1117.3980
295	10:20	1118.9473	1115.6504
296	10:21	1122.8022	1115.6173
297	10:22	1123.5223	1135.1077
298	10:22	1118.1014	1128.2653
299	10:23	1117.1624	1134.3122
300	10:24	1097.3017	699.8298
301	10:25	1128.8888	1136.1769
302	10:26	1137.0627	1035.9940
303	10:27	1132.3509	1143.0506
304	10:28	951.1232	895.7856
305	10:29	1149.5870	1139.2046
306	10:30	1155.1230	1134.7732
307	10:31	1144.8023	978.8205
308	10:32	1174.0802	703.4307
309	10:33	1046.0169	688.2422
310	10:34	1145.0187	664.6549
311	10:35	1133.4574	656.6572
312	10:36	1152.8638	679.3741
313	10:37	1160.8244	1137.5985
314	10:38	1134.3542	646.3500
315	10:39	889.2491	653.0693
316	10:40	679.9580	620.1710
317	10:41	1121.1007	851.6963
318	10:42	1146.9469	1114.5553
319	10:43	1153.4303	1109.4004
320	10:44	1107.6310	621.1451
321	10:45	1137.5409	982.5208
322	10:46	1126.6561	1117.0897
323	10:47	1125.9116	1123.9918
324	10:48	1128.8426	1118.3722
325	10:49	983.0629	958.5808
326	10:50	1105.0238	1020.5342
327	10:51	1102.5663	942.9339
328	10:52	1114.4383	1024.9617
329	10:53	1130.1185	1023.2516



330	10:54	1137.5300	913.1229
331	10:55	1092.9690	707.2257
332	10:56	1139.3680	703.8782
333	10:57	1054.8099	980.4051
334	10:58	991.7966	658.7904
335	10:59	861.5274	678.9135
336	11:00	1109.6715	629.9866
337	11:01	1109.9605	690.7700
338	11:02	1118.0177	631.4720
339	11:03	1121.8894	633.0941
340	11:04	1017.7398	651.2337
341	11:05	1007.5230	717.4955
342	11:06	1001.4934	664.0399
343	11:07	974.9375	654.1074
344	11:08	1133.3558	861.1329
345	11:09	932.1506	708.1337
346	11:10	1132.2935	947.5773
347	11:11	1124.7720	945.6402
348	11:12	1109.4600	959.3081
349	11:13	1115.9831	992.7090
350	11:14	1090.5758	1006.0486
351	11:15	1107.7674	1085.9056
352	11:16	1095.6689	1080.3965
353	11:17	1093.3016	1087.3097
354	11:18	1081.8397	1047.1231
355	11:19	1020.6511	1102.3813
356	11:20	1077.4963	1061.3312
357	11:21	1033.1773	1077.7627
358	11:21	1055.5440	1072.0726
359	11:22	1104.9068	1076.1560
360	11:23	1082.2100	1093.8527
361	11:24	1094.4017	1079.9180
362	11:25	1119.9590	1077.9745
363	11:26	1101.5618	919.7035
364	11:27	1081.8065	869.7630
365	11:28	1076.0129	804.5216
366	11:29	1063.3165	874.1442
367	11:30	1059.4468	962.7064
368	11:31	1119.9832	930.9650
369	11:32	1120.2434	842.8876
370	11:33	1094.1767	825.0038
371	11:34	1096.9029	1047.1584
372	11:35	1111.6663	1116.2788
373	11:36	1123.8511	1107.0471
374	11:37	1076.5552	1090.4036
375	11:38	1065.4764	1123.2270



376	11:39	1101.0550	1141.3467
377	11:40	1084.2596	1113.4095
378	11:41	1074.2388	1103.4680
379	11:42	1091.1112	1102.3966
380	11:43	1119.5469	1095.8251
381	11:44	1148.1854	1030.2222
382	11:45	1111.9767	1007.3621
383	11:46	1142.6470	1106.9302
384	11:47	1117.5615	1055.5904
385	11:48	1084.6275	1054.1994
386	11:49	1115.7720	1006.1940
387	11:50	1099.1924	984.8568
388	11:51	1087.6646	950.6912
389	11:52	1067.2417	901.9209
390	11:53	980.8128	985.1345
391	11:54	1048.3442	993.3988
392	11:55	1006.9941	987.6490
393	11:56	924.1729	964.8705
394	11:57	948.5161	980.8128
395	11:58	1068.3702	1099.5520
396	11:59	1150.9622	1031.3174
397	12:00	1121.7421	953.3887
398	12:01	1102.3085	884.0172
399	12:02	1076.7138	1129.4443
400	12:03	1155.6036	1125.8982
401	12:04	1140.6107	1111.1173
402	12:05	1129.3824	1105.7864
403	12:06	1118.8130	1083.8825
404	12:07	1113.6669	1027.3770
405	12:08	1107.3708	934.5703
406	12:09	1095.2959	924.8274
407	12:10	1083.2148	1003.7875
408	12:11	1073.8269	989.8066
409	12:12	944.9414	1041.4527
410	12:13	1071.0277	919.8291
411	12:14	1022.1519	1014.8484
412	12:15	1005.7423	1011.3730
413	12:16	1088.8304	1054.7926
414	12:17	1050.5525	1034.0020
415	12:18	1004.6227	975.2944
416	12:19	1000.0366	1023.4368
417	12:20	1073.7055	1085.9740
418	12:20	1018.5664	1046.9668
419	12:21	972.6521	1037.9554
420	12:22	958.0828	1054.4774
421	12:23	1097.7071	1092.7311



422	12:24	1081.1324	1060.9323
423	12:25	1075.7439	1044.1391
424	12:26	1055.7135	1076.5108
425	12:27	1082.9483	1050.5499
426	12:28	1091.9554	1010.8132
427	12:29	1039.3284	998.3088
428	12:30	1059.2288	948.8268
429	12:31	1107.9152	741.1290
430	12:32	986.5471	722.3901
431	12:33	1008.4442	708.2835
432	12:34	948.5667	694.5297
433	12:35	971.0102	974.7810
434	12:36	996.6825	766.7483
435	12:37	862.4486	659.1430
436	12:38	970.8450	673.3951
437	12:39	1063.1424	729.7420
438	12:40	1050.1092	973.6019
439	12:41	908.7087	838.1053
440	12:42	911.2563	923.2053
441	12:43	1056.4851	996.4775
442	12:44	1027.0949	1001.8680
443	12:45	1034.3521	891.7526
444	12:46	1033.6974	816.6359
445	12:47	991.8210	1052.0067
446	12:48	1019.5052	1041.2454
447	12:49	1029.5654	1001.0262
448	12:50	1040.6439	931.4365
449	12:51	1033.7636	947.6345
450	12:52	1035.9675	990.6680
451	12:53	1018.7031	808.7595
452	12:54	1005.7377	866.7196
453	12:55	964.6038	702.5448
454	12:56	1028.5011	784.3545
455	12:57	829.8565	840.2519
456	12:58	864.0684	954.8652
457	12:59	990.5604	802.6263
458	13:00	1001.3986	732.8074
459	13:01	897.4891	951.1276
460	13:02	947.5816	906.3242
461	13:03	1016.8716	672.2380
462	13:04	969.0467	659.8262
463	13:05	995.9353	655.6632
464	13:06	903.2212	692.1826
465	13:07	806.3706	696.4028
466	13:08	931.6393	638.2906
467	13:09	879.7418	651.3063



468	13:10	886.6949	666.1776
469	13:11	1052.3131	733.0918
470	13:12	842.5593	724.8407
471	13:13	961.6770	699.0716
472	13:14	820.5983	766.5742
473	13:15	995.5584	724.6027
474	13:16	929.3429	875.1381
475	13:17	912.7350	669.5604
476	13:18	978.0294	730.2004
477	13:19	940.8930	707.9728
478	13:19	834.2178	924.7391
479	13:20	931.5115	913.6518
480	13:21	925.5965	923.3022
481	13:22	986.9197	866.0298
482	13:23	873.8974	788.2751
483	13:24	938.3278	753.2257
484	13:25	905.9143	724.8540
485	13:26	892.0853	643.0002
486	13:27	797.4980	589.0686
487	13:28	709.6367	569.2718
488	13:29	676.5686	603.7151
489	13:30	610.3398	687.0609
490	13:31	863.4139	576.1786
491	13:32	756.6924	548.3489
492	13:33	811.1814	559.2026
493	13:34	750.3454	675.9713
494	13:35	820.0253	696.6166
495	13:36	878.8647	750.8478
496	13:37	705.5618	848.3178
497	13:38	781.3926	756.5843
498	13:39	665.7479	690.2785
499	13:40	708.2725	730.6918
500	13:41	855.1231	789.0398
501	13:42	784.6520	681.5227
502	13:43	759.0152	664.7980
503	13:44	698.7477	750.2484
504	13:45	878.7832	761.0140
505	13:46	877.2339	674.5102
506	13:47	680.9189	729.1337
507	13:48	719.1196	724.2788
508	13:49	854.8168	660.2494
509	13:50	857.8074	589.2956
510	13:51	774.6401	597.8574
511	13:52	718.3175	636.6576
512	13:53	673.1196	675.7399
513	13:54	601.0155	678.6798



514	13:55	761.9220	584.9012
515	13:56	827.1216	627.7476
516	13:57	833.8696	704.3343
517	13:58	815.9946	648.2034
518	13:59	800.3189	670.8387
519	14:00	800.0368	790.1197
520	14:01	808.6008	772.3702
521	14:02	807.8206	761.3644
522	14:03	789.4563	761.2696
523	14:04	779.5480	744.5494
524	14:05	784.2862	726.3107
525	14:06	796.2286	657.8340
526	14:07	764.0354	692.2200
527	14:08	757.5782	744.7168
528	14:09	724.8165	727.0181
529	14:10	662.1138	719.5626
530	14:11	674.6711	716.1071
531	14:12	707.5342	718.9411
532	14:13	731.0004	709.9739
533	14:14	652.8402	705.4913
534	14:15	697.0375	700.5570
535	14:16	709.0042	691.1687
536	14:17	708.2835	688.1386
537	14:18	714.7297	671.8414
538	14:18	711.7634	657.9045
539	14:19	704.1338	607.9178
540	14:20	699.6292	612.1072
541	14:21	658.3475	689.1104
542	14:22	645.9621	612.6053
543	14:23	551.6811	495.9247
544	14:24	540.7193	535.5404
545	14:25	691.3032	503.9444
546	14:26	629.4490	405.8023
547	14:27	542.0130	511.5343
548	14:28	547.2117	626.3857
549	14:29	646.5307	520.9336
550	14:30	485.6418	543.4807
551	14:31	587.9271	480.7560
552	14:32	607.5431	580.8462
553	14:33	610.7717	567.3876
554	14:34	556.5030	586.0560
555	14:35	601.7802	599.8474
556	14:36	593.1854	510.5118
557	14:37	603.9047	446.3986
558	14:38	602.1592	452.1836
559	14:39	603.4705	508.9052



560	14:40	569.1440	494.9925
561	14:41	510.6859	473.8470
562	14:42	443.2472	429.5197
563	14:43	535.9900	514.9678
564	14:44	507.4661	491.4202
565	14:45	503.5940	495.1027
566	14:46	509.8462	416.1139
567	14:47	465.7172	533.0589
568	14:48	498.2630	506.9526
569	14:49	493.9458	508.8259
570	14:50	498.9021	472.9192
571	14:51	524.1841	459.9388
572	14:52	504.3521	483.9317
573	14:53	509.6765	513.5133
574	14:54	488.0505	491.1337
575	14:55	485.9217	506.1681
576	14:56	498.1528	509.4054
577	14:57	506.9284	409.7096
578	14:58	514.9723	454.8766
579	14:59	468.0422	440.3404
580	15:00	511.8737	503.1048
581	15:01	439.8599	514.9039
582	15:02	406.9880	515.8912
583	15:03	394.2632	498.6795
584	15:04	434.1675	457.1312
585	15:05	512.8919	373.7744
586	15:06	517.2069	369.5431
587	15:07	506.4193	361.4331
588	15:08	488.8968	340.6093
589	15:09	386.5344	345.7376
590	15:10	374.1667	409.0088
591	15:11	370.6802	507.7261
592	15:12	359.0596	460.0931
593	15:13	341.4137	467.5155
594	15:14	378.3693	417.9078
595	15:15	507.3647	424.2702
596	15:16	494.4592	469.8802
597	15:17	430.1367	466.9535
598	15:17	391.4445	446.5815
599	15:18	396.2312	423.5562
600	15:19	450.1605	419.2786
601	15:20	463.3150	358.3389
602	15:21	451.1280	310.5978
603	15:22	436.8958	298.6224
604	15:23	426.6966	318.1856
605	15:24	415.7745	375.1804



606	15:25	397.8862	382.5676
607	15:26	325.2355	393.6197
608	15:27	317.2005	348.3402
609	15:28	369.1530	345.0764
610	15:29	370.0852	338.1498
611	15:30	392.3701	358.9758
612	15:31	357.7042	374.3143
613	15:32	341.8809	349.6823
614	15:33	341.5746	374.8873
615	15:34	362.3763	373.2829
616	15:35	361.8738	376.9391
617	15:36	356.9770	381.1020
618	15:37	358.1097	380.6899
619	15:38	366.1250	339.2099
620	15:39	382.8475	293.1790
621	15:40	376.9986	237.3543
622	15:41	371.1166	251.9766
623	15:42	369.2499	238.4827
624	15:43	336.1378	310.5692
625	15:44	330.4542	236.9863
626	15:45	313.2799	240.3251
627	15:46	283.1208	234.1170
628	15:47	285.4040	249.9844
629	15:48	334.8617	296.3414
630	15:49	322.8488	292.7338
631	15:50	302.9066	271.5398
632	15:51	273.9133	251.0025
633	15:52	259.2822	314.4236
634	15:53	303.2349	299.7221
635	15:54	247.8555	295.4665
636	15:55	230.2030	277.4195
637	15:56	305.0134	263.1014
638	15:57	300.3590	245.2506
639	15:58	292.8682	231.8228
640	15:59	281.7787	198.4153
641	16:00	262.3191	230.9611
642	16:01	247.9194	250.1320
643	16:02	232.5787	254.3192
644	16:03	197.1812	253.6295
645	16:04	204.7094	245.9096
646	16:05	219.4021	242.5884
647	16:06	248.2544	235.6089
648	16:07	246.9365	226.4808
649	16:08	242.4804	218.1349
650	16:09	236.9797	207.4751
651	16:10	233.6453	197.8269



652	16:11	227.9529	172.6352
653	16:12	219.7724	180.7870
654	16:13	208.4933	154.3039
655	16:14	200.1673	153.3210
656	16:15	175.7822	169.4396
657	16:16	177.4681	175.8285
658	16:16	164.1064	135.2740
659	16:17	153.7926	161.4531
660	16:18	159.7209	154.9981
661	16:19	169.3581	150.3768
662	16:20	134.9347	147.6043
663	16:21	143.1747	141.4271
664	16:22	152.1045	132.0300
665	16:23	147.2804	132.0697
666	16:24	143.1659	126.6968
667	16:25	139.2299	119.5918
668	16:26	134.8818	113.1214
669	16:27	125.2137	108.2245
670	16:28	120.3212	103.7067
671	16:29	113.9632	98.6291
672	16:30	109.2691	94.5279
673	16:31	100.9762	81.0648
674	16:32	96.6656	76.3222
675	16:33	90.7373	74.4313
676	16:34	87.2818	74.3983
677	16:35	77.6908	68.5472
678	16:36	72.7102	67.5312
679	16:37	70.6320	60.1683
680	16:38	70.0414	58.2753
681	16:39	70.9604	56.8097
682	16:40	68.2320	55.6968
683	16:41	59.4455	53.4026
684	16:42	62.1561	51.9922
685	16:43	57.3474	50.2798
686	16:44	53.1646	48.4991
687	16:45	48.3207	43.1131
688	16:46	45.5990	39.5054
689	16:47	42.7649	34.2008
690	16:48	42.1258	31.3007
691	16:49	39.9308	28.8963
692	16:50	36.7110	27.4418
693	16:51	32.7265	25.9190
694	16:52	28.2947	24.5658
695	16:53	26.2716	23.7636
696	16:54	25.1653	22.9350
697	16:55	24.4248	22.0799



698	16:56	23.6402	19.9290
699	16:57	23.0849	20.6452
700	16:58	22.5031	15.3517
701	16:59	21.4783	13.5909
702	17:00	20.6717	14.3490
703	17:01	19.7593	17.8927
704	17:02	18.8756	16.9583
705	17:03	17.9147	15.7881
706	17:04	17.3550	14.8603
707	17:05	16.9010	13.7650
708	17:06	16.1539	12.6587
709	17:07	15.2041	11.8962
710	17:08	14.3754	11.0940
711	17:09	13.4432	10.5518
712	17:10	12.5639	9.7232
713	17:11	11.6736	9.1921
714	17:12	10.9595	8.6147
715	17:13	9.8819	8.2797
716	17:14	9.3750	7.8522
717	17:15	8.6015	7.3739
718	17:15	7.9095	6.9927
719	17:16	7.3607	6.5629
720	17:17	6.7569	6.1288
721	17:18	6.1530	5.6792
722	17:19	5.3200	5.2407
723	17:20	4.8351	4.8462
724	17:21	4.4010	4.4363
725	17:22	4.0770	4.1123
726	17:23	3.7266	3.7928
727	17:24	3.3520	3.3983
728	17:25	2.9884	3.0060
729	17:26	2.6137	2.6358
730	17:27	2.2920	2.2721
731	17:28	1.9790	1.9680
732	17:29	1.6154	1.6551
733	17:30	1.3311	1.3487



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Luis Dario Machaca Quispe - Luis Coronel Rodriguez,  
identificado con DNI 7232671 - 74229614 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
Ingeniería Mecánica Eléctrica

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ EFECTO DEL POLVO Y LLUVIA EN EL RENDIMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LA CIUDAD  
DE PUNO, 2021 ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 17 de Abril del 2023

  
FIRMA (obligatoria)



Huella







## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Luis Dario Machaca Quispe - Luis Coronel Rodríguez,  
identificado con DNI 72326719 - 74229614 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

.. EFFECTO DEL POLVO Y LLUVIA EN EL RENDIMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LA CIUDAD DE PUNO, 2021

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

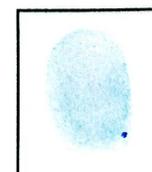
Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 17 de Abril del 20 23

  
\_\_\_\_\_  
FIRMA (obligatoria)





Huella

