



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



**“CARACTERIZACIÓN DE OPERACIÓN DE UN
MICROINVERSOR SOLAR FOTOVOLTAICO DE CONEXIÓN A
LA RED SOBRE LOS 3824 METROS DE ALTITUD, EN LA
REGIÓN PUNO”**

TESIS

PRESENTADA POR:

ELOY YONY CAMASITA BENDITA

GROVER CASTRO POMA

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

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a Dios por haberme dado salud, muchas bendiciones y sabiduría.

A mis padres por brindarme el apoyo moral que fueron necesarios para ejecutar este proyecto de investigación. A mis hermanos y demás familiares por el apoyo y motivación permanente.

Eloy Yony Camasita Bendita



DEDICATORIA

A mi padre y madre por el cariño y apoyo en el desarrollo de esta investigación. Además, el apoyo de mis hermanos y familiares cercanos que estuvieron a mi lado durante el desarrollo de este trabajo.

Grover Castro Poma



AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial al Ing. José Manuel Ramos Cutipa por su apoyo incondicional y motivación para el desarrollo de este proyecto de investigación.

A la Universidad Nacional del Altiplano por proporcionarme los conocimientos necesarios que serán útiles en nuestra vida profesional.

Agradecemos infinitamente a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la UNA-Puno, por haber compartido conocimientos y experiencias.

A los integrantes del jurado por el apoyo y por brindarme las sugerencias necesarias para la mejora de este trabajo de investigación.

A todos mis amigos y compañeros que en algún momento nos apoyaron para la culminación de este trabajo.

Eloy Yony Camasita Bendita

Grover Castro Poma



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ANEXOS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 14

ABSTRACT..... 15

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..... 18

1.4 JUSTIFICACIÓN 18

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 19

1.5.1 Objetivo general 19

1.5.2 Objetivos específicos..... 19



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES	20
2.2 MARCO TEÓRICO.....	22
2.2.1 Energía solar.....	22
2.2.2 Energía solar en el Perú.....	23
2.2.3 Radiación solar	24
2.2.4 Tipos de radiación solar.....	26
2.2.5 La constante solar	28
2.2.6 La irradiancia.....	28
2.2.7 La irradiación.....	29
2.2.8 Potencia, voltaje y corriente	29
2.2.9 Factor de potencia.....	29
2.2.10 Hora solar pico.....	29
2.2.11 Medidores de radiación solar.....	30
2.2.12 Factor AM (Masa de Aire)	30
2.2.13 Efecto fotovoltaico	31
2.2.14 Celda fotovoltaica.....	31
2.2.15 Tipos de celdas fotovoltaicas.....	33
2.2.16 Inclinação y orientación de los módulos fotovoltaicos	36
2.2.17 Tipos de instalaciones.....	36
2.2.18 Inversor solar	37
2.2.19 Sistema fotovoltaico interconectado a red.....	38
2.2.20 Inversores fotovoltaicos de conexión a red	39
2.2.21 Rendimiento del inversor.....	42



2.2.22 El microinversor	42
2.2.23 Protección de SFV contra Sobretensiones Transitorias.....	42

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGÍA	44
3.2 ESTUDIO EXPERIMENTAL	44
3.3 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	44
3.4 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	44
3.4.1 Tipo de investigación.....	44
3.4.2 Diseño de la investigación.....	45
3.4.3 Nivel y Alcance de investigación	45
3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.....	45
3.5.1 Población	45
3.5.2 Muestra	45
3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	45
3.6.1 Lugar de estudio	45
3.6.2 Descripción del uso de equipos, materiales e instrumentos.	45
3.6.3 Materiales	46

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS.....	55
4.1.1 Resultados a la entrada del microinversor (corriente continua)	55
4.1.2 Resultados a la salida del microinversor (corriente alterna).....	58
4.1.3 Análisis de potencia (w) en el lado de corriente continua y alterna	65
4.1.4 Determinación de la eficiencia del microinversor	72



4.1.5 Eficiencia del microinversor.....	75
4.2 DISCUSIÓN.....	77
V. CONCLUSIONES.....	80
VI. RECOMENDACIONES	81
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXOS.....	89

ÁREA: Energía

LÍNEA: Energías Renovables

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 18 de noviembre del 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	El sol como fuente de energía	23
Figura 2:	Mapa solar del Perú	24
Figura 3:	Mapa de la radiación solar mundial.....	25
Figura 4:	Espectro de la radiación solar extraterrestre y a nivel del mar	26
Figura 5:	Radiación solar sobre un receptor	28
Figura 6:	Concepto de horas sol pico.....	30
Figura 7:	Efecto fotovoltaico	31
Figura 8:	Celda Solar Fotovoltaica	32
Figura 9:	Partes de una celda fotovoltaica	32
Figura 10:	Modelo de celda SFV simplificado	33
Figura 11:	Celda de silicio monocristalino	34
Figura 12:	Diferentes configuraciones de inversores en una instalación solar fotovoltaica	38
Figura 13:	Sistema interconectado a red	39
Figura 14:	Diagrama de un sistema fotovoltaico de conexión a red	39
Figura 15:	Algoritmo MPPT en inversores FV	41
Figura 16:	Descarga eléctrica entre nube y tierra.....	43
Figura 17:	Descargador contra sobretensiones	43
Figura 18:	Diagrama de la instalación del sistema fotovoltaico conectado a red	46
Figura 19:	Módulo fotovoltaico de 270 W instalado en la EPIME.....	47
Figura 20:	Placa de características del panel FV- 270 W	48
Figura 21:	Microinversor solar REPLUS instalado en el Laboratorio de Control y Automatización de Procesos de EPIME.....	49
Figura 22:	Sensor de corriente	51



Figura 23: Sensor de tensión.....	52
Figura 24: Controlador Lógico Programable (PLC) S7-1200 marca SIEMENS.....	53
Figura 25: Imagen de una computadora.....	54
Figura 26: Tensión de ingreso al microinversorREPLUS-250 W	57
Figura 27: Corriente de ingreso al microinversor REPLUS-250 W	58
Figura 28: Tensión en la salida del microinversor REPLUS-250 W.....	60
Figura 29: Corriente a la salida del microinversor REPLUS-250 W.....	61
Figura 30: Comportamiento del factor de potencia en el día 14 de marzo del 2022 ...	63
Figura 31: Comportamiento de la frecuencia en el día 14 de marzo del 2022	64
Figura 32: Potencia reactiva en VAR medida el día 14 de marzo del 2022	64
Figura 33: Potencia registrada en corriente continua y corriente alterna durante el día 14/03/2022.....	66
Figura 34: Gráficas del comportamiento de potencia en CC y potencia en CA desde el 01 al 31 de marzo del 2022.....	72
Figura 35: Eficiencia del microinversor durante el periodo del análisis.....	76



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Características de celda monocristalino.....	34
Tabla 2:	Características de celda policristalino.....	35
Tabla 3:	Características del módulo FV.....	48
Tabla 4:	Características del microinversor solar REPLUS – 250 A	50
Tabla 5:	Ficha técnica del convertidor RMCA61BD modelo SCHNEIDER ELECTRIC	51
Tabla 6:	Ficha técnica del convertidor RMCV60BD modelo SCHNEIDER ELECTRIC	52
Tabla 7:	Datos adquiridos por el sistema de medición en CC	56
Tabla 8:	Datos adquiridos por el sistema de medición en CA	59
Tabla 9:	Corriente mínima registrada en el día 14 de marzo del 2022.	61
Tabla 10:	Valor de la potencia registrada en corriente continua y corriente alterna durante el día.....	65
Tabla 11:	Energía teórica y medida en el lado de corriente continua.	72
Tabla 12:	Energía teórica y medida en el lado de corriente alterna.	74
Tabla 13:	Eficiencia del microinversor durante el periodo del 01 al 31 de marzo del 2022.....	75



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Norma Técnica EM 080	89
ANEXO 2: Norma IEC 61215	90
ANEXO 3: Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos	91



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

FV	:	Fotovoltaica
CC	:	Corriente continua
CA	:	Corriente alterna
BT	:	Baja tensión
W	:	Watts
A	:	Amperios
V	:	Voltios
VAR	:	Volt Amper Reactivo
PLC	:	Controlador Lógico Programable
NTCSE	:	Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos
IEC	:	Comisión Electrotécnica Internacional



RESUMEN

En la actualidad, la aplicación de sistemas solares fotovoltaicos se ha convertido en una de las tecnologías más importantes en los países desarrollados, ya que al utilizar el recurso natural se disminuye el uso de combustibles fósiles que provocan el impacto negativo hacia el medio ambiente. Además, la región Puno cuenta con la mayor irradiación solar según el Ministerio de Energía y Minas. En ese contexto surge el presente trabajo de investigación con el objetivo de caracterizar la operación de un microinversor conectado a la red en las condiciones geográficas del altiplano sobre los 3824 m.s.n.m. Para ello se implementó un sistema fotovoltaico conectado a red ubicado en el laboratorio de Control y Automatización de Procesos de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, en lo cual se utilizó un panel de 270 W policristalino para fines de análisis, un microinversor de 250 W, un sistema de medición en corriente continua y alterna, un PLC y una computadora para la adquisición de datos. Se midió tensión, corriente y la potencia en el lado de corriente continua, como también la tensión. Corriente y la potencia activa en el lado de corriente alterna. Se hizo esta investigación por un periodo de un mes, lográndose obtener una eficiencia máxima de hasta 93.86 % en el día 15 de marzo del 2022, lo que demuestra que es posible implementar este tipo de tecnologías con paneles solares en la región Puno. Por lo que se concluye que la instalación de sistemas fotovoltaicos con microinversores es viable.

Palabras Clave: Conexión a la red, energía solar, microinversor, operación, sistema fotovoltaico.



ABSTRACT

Currently, the application of photovoltaic solar systems has become one of the most important technologies in developed countries, since by using the natural resource, the use of fossil fuels that cause a negative impact on the environment is reduced. In addition, the Puno region has the highest solar irradiation according to the Ministry of Energy and Mines. In this context, the present research work arises with the objective of characterizing the operation of a microinverter connected to the network in the geographical conditions of the highlands above 3824 m.a.s.l. For this, a photovoltaic system connected to the network was implemented, located in the Process Control and Automation Laboratory of the Professional School of Electrical Mechanical Engineering of the National University of the Altiplano-Puno, in which a 270 W polycrystalline panel was used for purposes of analysis, a 250 W microinverter, a measurement system in direct and alternating current, a PLC and a computer for data acquisition. Voltage, current and power on the DC side were measured, as well as voltage, current and active power on the alternating current side. This research was carried out for a period of one month, achieving a maximum efficiency of up to 93.86% on March 15, 2022, which shows that it is possible to implement this type of technology with solar panels in the Puno region. Therefore, it is concluded that the installation of photovoltaic systems with microinverters is viable.

Keywords: Grid connection, solar energy, microinverter, operation, photovoltaic system.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Dado que en la región Puno se tiene muy poca información sobre la utilización de microinversores en los sistemas fotovoltaicos conectados a red y su funcionamiento en estas condiciones; como también, debido a que existe una buena irradiación solar en nuestra región altiplánica para realizar investigaciones referentes a sistemas fotovoltaicos; por lo que en el presente proyecto de investigación se pretende caracterizar la operación de un microinversor fotovoltaico de conexión a la red sobre los 3824 m.s.n.m.

El trabajo de investigación está conformado de la siguiente manera: en el Capítulo I se muestra el planteamiento del problema, en la que se indica que existe poca información sobre este tipo de tecnologías en la región Puno; en los objetivos y las hipótesis, se hace referencia en cuanto al comportamiento del microinversor en las condiciones climatológicas y climatológicas del altiplano puneño sobre los 3824 m.s.n.m.; en el Capítulo II se considera la revisión de literatura tanto los antecedentes y el marco teórico referido al tema de la instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a red a nivel internacional, nacional y local, además se pretende explicar los conceptos más importantes como la radiación, sistemas conectados a la red y entre otros; en el Capítulo III se muestra la metodología de la investigación y materiales donde se da a conocer un esquema del funcionamiento del prototipo del sistema fotovoltaico de conexión a red con sus respectivos componentes ; en el Capítulo IV se detalla los resultados obtenidos y su correspondiente discusión respecto a las teorías; en el Capítulo V se muestra las conclusiones a la cual se llegó; y en el Capítulo VI las recomendaciones que serán útiles para los futuros investigadores o tesis. Finalmente, en la parte de anexos se adjuntan las normativas utilizadas en el presente trabajo de investigación.



1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad el uso de los sistemas fotovoltaicos representa una alternativa de solución por tratarse de una energía limpia. Es una de las tecnologías muy importantes ya que estos dispositivos permiten captar la energía proveniente del sol, Además, la generación de la energía eléctrica a través del uso de paneles fotovoltaicos se ha convertido en uno de los temas más importantes, ya que permite aprovechar la energía proveniente del sol. por lo que al utilizar este tipo de recurso energético se puede reducir el impacto negativo provocado por el uso excesivo de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica en el país.

Los sistemas fotovoltaicos con microinversor permiten aprovechar al máximo esta energía que es captada por las células fotovoltaicas, puesto que son dispositivos que se pueden instalar sin ningún inconveniente junto a cada panel fotovoltaico. Los microinversores en comparación a los inversores comunes funcionan de manera independiente y trabajando en su punto óptimo de máxima potencia permitiendo maximizar la generación de energía del panel fotovoltaico; es decir, estos dispositivos mejoran la producción total de energía y garantiza la generación máxima de energía incluso en situaciones climatológicas adversas o presencia de sombras.

Debido a que se observó que existe escasos proyectos de investigación referidos al funcionamiento del microinversor en zonas altiplánicas, por lo que es necesario caracterizar la operación de un microinversor conectado a red en condiciones geográficas y climatológicas de la región Puno con la finalidad de conocer y analizar los parámetros eléctricos encontrados durante la investigación respecto a las literaturas existentes.



1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿En qué nivel es que la caracterización de operación del microinversor solar fotovoltaico a 3824 metros de altitud, mejora su comportamiento en sistemas conectados a la red en la región Puno?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo es que los datos obtenidos por el sistema de adquisición de datos permiten caracterizar la operación del microinversor fotovoltaico?
- ¿Cómo es que el sistema solar fotovoltaico conectado a la red operará de forma regular en las condiciones geográficas y climatológicas de la región Puno?

1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Hipótesis general

La caracterización de operación del microinversor solar fotovoltaico a 3824 metros de altitud, nos permitirá comprender el comportamiento en las condiciones geográficas y climatológicas de la región Puno.

1.3.2 Hipótesis específicas

- Los datos obtenidos por el sistema de adquisición de datos permiten caracterizar la operación del microinversor fotovoltaico.
- El sistema solar fotovoltaico conectado a la red operará de forma regular en las condiciones geográficas y climatológicas de la región Puno.

1.4 JUSTIFICACIÓN

En el Perú se tiene un buen potencial energético solar debido a las características geográficas y climatológicas de las regiones que la conforman, tal es el caso de nuestra región de Puno donde la irradiación solar alcanza los valores de hasta 5.19 kWh/m² como



promedio anual (MINEM, 2001), por lo que es posible instalar el sistema fotovoltaico en nuestro altiplano peruano.

La energía solar es un recurso energético sostenible que permite el desarrollo sin poner en riesgo las futuras generaciones. Además, la utilización de este recurso energético favorece al medio ambiente ya que se disminuirá la emisión de gases de efecto invernadero.

En los últimos años, el precio de los módulos fotovoltaicos ha estado disminuyendo, lo que facilita la adquisición de estos dispositivos; por consiguiente, se garantiza la factibilidad económica de este tipo de tecnología.

El microinversor solar fotovoltaico utilizado en el presente trabajo de investigación, se puede conectar en cualquier parte del sistema de Baja Tensión (BT) compatible con la tensión y frecuencia.

El presente proyecto de investigación con el uso de microinversor se realiza para generar nuevas informaciones, además sirva de base para las futuras investigaciones, ya que se logra el comportamiento aceptable de este tipo de tecnologías gracias al recurso energético solar.

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Objetivo general

Caracterizar la operación de un microinversor fotovoltaico de conexión a la red eléctrica a 3824 metros de altitud, en la región Puno.

1.5.2 Objetivos específicos

- Desarrollar un sistema de adquisición de datos que permita caracterizar la operación del microinversor fotovoltaico conectado a red.
- Analizar la operación del microinversor solar fotovoltaico conectado a red en las condiciones geográficas y climatológicas de la región Puno.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Según (Campos, 2017), en su tesis “Sistema para la evaluación de parámetros eléctricos de microinversores de sistemas fotovoltaicos” desarrolló un emulador de red eléctrica a través del diseño de algoritmos en Python con la finalidad de estimar los parámetros como tensión, frecuencia y respuesta frente a las armónicas en la red; además, hizo el diseño de un sistema de análisis de calidad de energía para verificar el nivel de distorsión armónica, los desfases y amplitudes. En ello concluye que fue posible conseguir el emulador de red en la que los valores de parámetros obtenidos cumplen lo establecido por la norma IEEE 1547.

(S. et al., 2016) en su artículo “Puesta en marcha y estudio de la operación en campo de microinversores de potencia para aplicaciones fotovoltaicas”, examina la operación de dos microinversores con su respectivo panel solar durante tres semanas correspondiente al mes de abril; como también realiza una comparación del funcionamiento de microinversores frente a inversores comunes que operan en el laboratorio de Facultad de Ingeniería de Mar de Plata. Llegó a la conclusión que el rendimiento de los microinversores tiene un rendimiento aproximado en comparación a los inversores comerciales.

(Trujillo, 2011) en su tesis “Concepción de controladores reconfigurables para micrinversores fotovoltaicos operando como unidades autónomas de generación de energía en microrredes” propone un sistema de implementación para el control de operación del microinversor tanto en el modo interconectado a red como en el modo isla. En dicho trabajo se obtuvieron resultados que validan las hipótesis planteadas, estos



valores experimentales (tensión y corriente) fueron favorables ante las variaciones de corriente de ingreso al microinversor.

(Claudia et al., 2020) en su artículo “Análisis experimental del desempeño de un sistema solar fotovoltaico con inversor centralizado y con microinversores: caso de estudio Manizales” analiza el rendimiento de un sistema fotovoltaico con la utilización de inversores centralizados y con los microinversores. En su trabajo de investigación concluye que debido a factores adversos del medio ambiente (precipitaciones y nubosidades mayores) el sistema fotovoltaico con microinversores tiene 16.5 % de energía producida de más frente a un sistema fotovoltaico con inversor centralizado. También concluye que el sistema con inversor centralizado presenta mayores registros con ceros de generación de energía comparado con el sistema que usa microinversores, puesto que la generación de energía total para el primer caso fue de 593.2 kWh y para el segundo fue de 691kWh, lo que hace notar que el uso de microinversores es confiable.

ANTECEDENTES NACIONALES

La investigación hecha por (Capcha, 2017), en su tesis “Análisis y diseño de un microinversor y su conexión a la red eléctrica monofásica” hizo el diseño del microinversor para poder conectar a la red, utilizando un software llamado PSIM, obteniendo una buena eficiencia de todo el sistema. Además, comprobó el adecuado funcionamiento del sistema fotovoltaico con microinversor conectado a la red eléctrica.

ANTECEDENTES LOCALES

La tesis realizada por (Vilca, 2020), sobre “Diseño, implementación y análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCRs) DE 2.16 kW con microinversor analizado en las condiciones geográficas y climatológicas de la ciudad de Juliaca” utilizó 8 paneles fotovoltaicos con su respectivo microinversor en la que determinó que la producción de energía de 4561.62 kW/año y el rendimiento del



microinversor utilizado fue de 96.13 %. Concluye que la implementación de microinversores conectados a red es viable e indica que la mayor eficiencia se presenta en los meses de diciembre, enero y febrero debido a la irradiación alta.

En el siguiente trabajo de investigación elaborada por (Monroy, 2022) en su tesis “Evaluación del desempeño de operación de un microinversor enganchado a la red a 3824 metros de altitud, en la región altiplánica, Puno” realizó la medición de variables eléctricos en el Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Juliaca – Sede Ayabacas, en donde determinó que la eficiencia del microinversor es mayor al 90% a una capacidad superior al 20% del microinversor; también determinó que la máxima eficiencia del microinversor es de 93.366%. Además, concluye que las distintas variables medidas en dicho instituto están en el rango de los parámetros establecidos según la Norma Técnica de la Calidad de los Servicios Eléctricos.

2.2 MARCO TEÓRICO

A continuación, se detalla el fundamento teórico del presente trabajo de investigación.

2.2.1 Energía solar

Es una energía obtenida a partir del aprovechamiento directo de la radiación electromagnética que proviene del Sol. Existen dos formas de utilización según cada tecnología: energía solar térmica y energía solar fotovoltaica. La fotovoltaica es la que aprovecha la radiación para poder producir electricidad a través de materiales semiconductores y el efecto fotovoltaico; mientras que la térmica aprovecha la energía para calentar un fluido para su uso en una turbina (Tejada, 2018) p. 13

La luz captada para la generación de electricidad se llama efecto fotovoltaico, y fue revelado por el físico Antoine Becquerel, en 1839. Para lograr este fenómeno fue necesario material que capta la luz del Sol y que pueda convertir la energía proveniente

del sol en energía eléctrica, gracias a la acción de las células fotovoltaicas. (Pep, 2007) p.

02

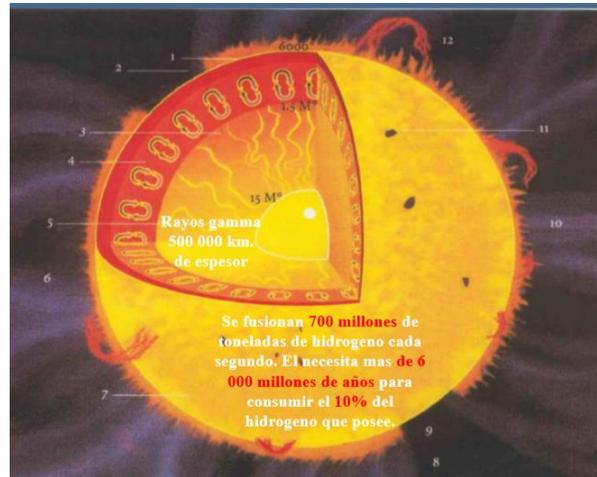


Figura 1: El sol como fuente de energía

Fuente: (Velázquez, 2010)

2.2.2 Energía solar en el Perú

Una de las alternativas que reemplazan el uso de combustibles fósiles, es la utilización de energía proveniente del Sol. El Perú está más cerca del ecuador y por tanto tiene una buena radiación solar durante el año. En la mapa solar del Perú, que fue hecha por el Ministerio de Energía y Minas, indica que “el Perú tiene una elevada radiación solar anual siendo en la Sierra de aproximadamente 5,5 a 6,5 kWh/m²; 5,0 a 6,0 kWh/m² en la Costa y en la Selva de aproximadamente 4,5 a 5,0 kWh/m²” (Chonto, 2018) p.17.



Figura 2: Mapa solar del Perú

Fuente: (Senamhi, 2003) p. 20

2.2.3 Radiación solar

La radiación se ve afectada por diferentes factores durante el paso por la atmósfera, “esta se ve debilitada por la difusión, reflexión en las nubes y absorción por

las moléculas de gases (como el ozono y el vapor de agua) así como partículas en suspensión, etc.” (Chambi, 2018) p. 22

La radiación solar que llega a la superficie terrestre (Figura 03) tiene mucho que ver con la latitud del lugar, cuanto más cerca del ecuador mayor es la incidencia perpendicular de la luz sobre la tierra, por otra parte “ como la posición de la tierra con respecto al sol cambia constantemente, el ángulo de incidencia de la luz solar sobre la superficie cambia según la hora del día y según el día del año” (García, 2019) p.28 y p.29

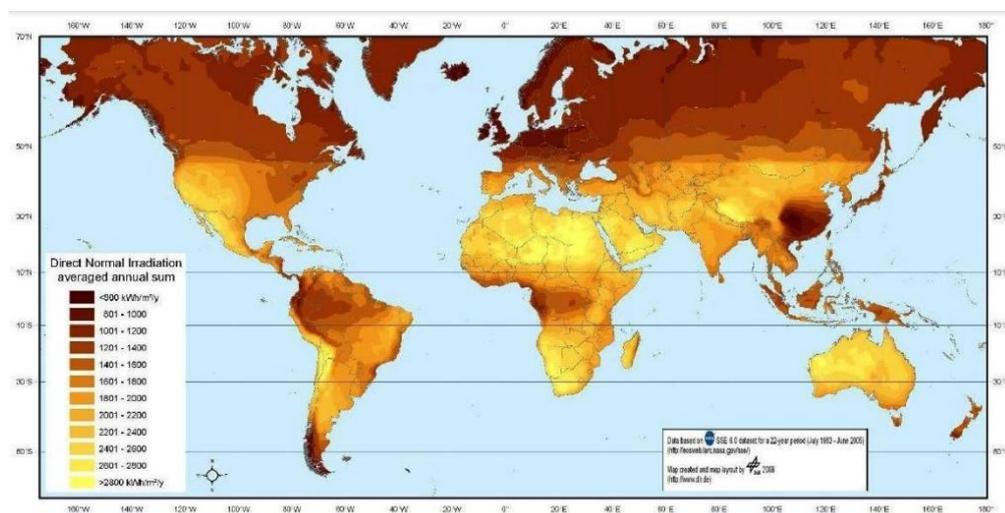


Figura 3: Mapa de la radiación solar mundial

Fuente: (García, 2019)

La radiación solar “es el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta)” (Paredes, 2017) p. 27

En la figura 4 se muestra el comportamiento del “espectro de la radiación solar extraterrestre, así como el espectro de la radiación solar recibida sobre la superficie terrestre a nivel del mar, considerando una masa de aire de valor 1.5”

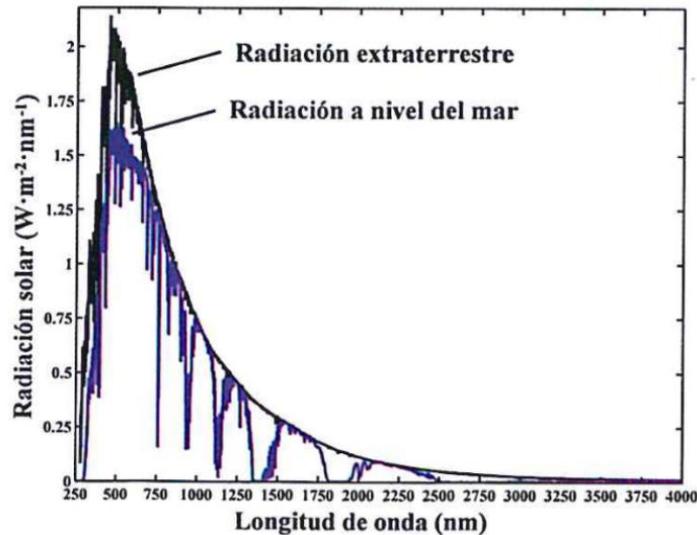


Figura 4: Espectro de la radiación solar extraterrestre y a nivel del mar

Fuente: (Máscaros, 2016)

2.2.4 Tipos de radiación solar

- **Radiación directa (B)**

Es la radiación que llega de manera directa desde el Sol hacia la superficie terrestre sin ningún cambio en su dirección. “Este tipo de radiación tiene la característica de proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan” (Chambi, 2018) p.26

Es la radiación que “no sufre ninguna atenuación en su trayecto, en general, esto ocurre en los días soleados; la radiación directa en un día soleado puede llegar a los 1000 W/m²” (Acevedo, 2016) p.29

- **Radiación difusa (D)**

“Se conoce como radiación difusa a la que se recibe del sol después de ser desviada por dispersión en la atmósfera; es la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul” (Velázquez, 2010).



- **Radiación reflejada o de albedo (R)**

También denominado albedo, es el tipo de radiación solar que es reflejada por la superficie de la Tierra. “Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben” (Chambi, 2018) p. 26

La radiación de albedo se refiere a la relación entre energía incidente y reflejada en la superficie terrestre, “ el albedo de la nieve es alto y puede llegar a 90%, en cambio el albedo del lodo tiene un valor bajo, 5%”, lo que indica que la mayor cantidad de energía solar en incidencia es captada por el agua y tierra (Acevedo, 2016) p.29.

- **Radiación global (G)**

Es la suma de todos los tipos de radiaciones, como: radiación directa, radiación difusa y la radiación reflejada o de albedo. “En un día despejado, con cielo limpio, la radiación directa es preponderante sobre la radiación difusa; por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa” (Paredes, 2017) p.30.

$$G = B + D + R$$

Donde:

G :Radiación global

B :Radiación directa

D :Radiación difusa

R :Radiación reflejada o de albedo

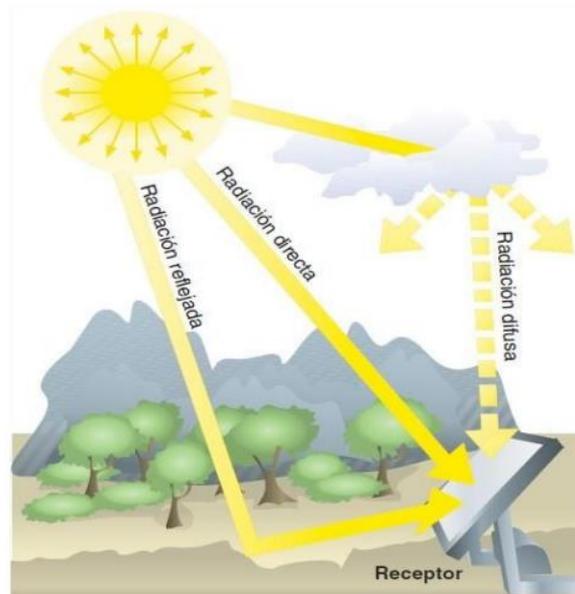


Figura 5: Radiación solar sobre un receptor

Fuente: (García, 2019)

2.2.5 La constante solar

La energía solar que llega a la parte externa de la atmósfera es de 1367 W/m^2 en promedio; el 30 % de ésta retorna al espacio debido a que es reflejado por la presencia de nubes y por el aire circundante; del 70 % de la energía solar que no es reflejada, aproximadamente las dos terceras porciones del total se encargan de calentar la atmósfera, tierra y océanos, el tercio restante es absorbida durante la evaporación, y una mínima cantidad es utilizada por las plantas durante el proceso llamado fotosíntesis. Una vez utilizada la energía solar, una buena cantidad de energía retorna hacia la atmósfera como calor (Acevedo, 2016) p.28.

2.2.6 La irradiancia

Es la magnitud que se utiliza para describir “la potencia de la radiación solar incidente por unidad de superficie, y se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2) o kilovatios por metro cuadrado (kW/m^2)” (Máscaros, 2016) p.41.

2.2.7 La irradiación

(Máscaros, 2016) refiere que la irradiación “es la energía recibida por unidad de superficie durante un tiempo determinado y se mide en W.h/m² o kW.h/m² y que también se puede medir en megajulios por metro cuadrado (mJ/m²)” (p.41).

A continuación, se muestra las diferentes unidades que obedecen la relación:

$$1W.h = 3600J$$

$$1kW.h = 3600kJ = 3.6mJ$$

(García, 2019) indica que “en buenas condiciones de irradiación el valor es de aproximadamente 1000 W/m² en la superficie terrestre” (p.28).

2.2.8 Potencia, voltaje y corriente

La potencia eléctrica es el trabajo producido en un determinado tiempo, “se mide en watts(W) y se representa con letra P, un watt o vatio equivale a 1J/seg (joule sobre segundo) de trabajo gastado en cierto tiempo” (Gómez, 2018) p.35.

$$P = I * V$$

2.2.9 Factor de potencia

Es el término que se utiliza para conocer el comportamiento de la energía eléctrica que se transforma en trabajo, y se obtiene de la división de entre la potencia activa y aparente (Ormaechea, 2012) p.156.

2.2.10 Hora solar pico

La hora solar pico, se puede definir como la energía por unidad de la superficie que se recibe con una hipotética irradiancia solar de 1000 W/m²; es decir, es la cantidad de energía solar que recibe un metro cuadrado de superficie. La HSP permite conocer la potencia generada por paneles solares fotovoltaicos (Chonto, 2018) p.21.

La figura 6 muestra la distribución de radiación solar en el transcurso del día y el concepto de hora solar pico (HSP).

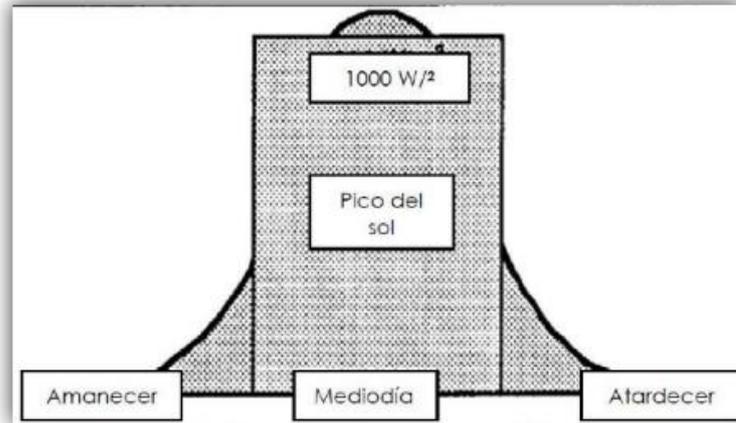


Figura 6: Concepto de horas sol pico

Fuente: (Chonto, 2018)

2.2.11 Medidores de radiación solar

Según (Cuchicóndor, 2019) refiere que las mediciones exactas no son posibles debido a que éstos requieren costosa instrumentación como también de mano de obra calificada para que los instrumentos puedan medir de manera eficiente (p.9).

Existen una variedad de instrumentos, pero las más comunes son:

- Pirheliómetro
- Piranómetro
- Heliógrafo o heliofanógrafo
- Pirgeómetro
- Pirradiómetro

2.2.12 Factor AM (Masa de Aire)

La radiación solar tiene cambios durante su trayectoria por la atmósfera debido a la masa de aire existente en cada capa. Esta masa adquiere valores más altos cuando el sol se encuentra cerca del horizonte. Para la medición de radiación es usado un instrumento llamado pirómetro (Erazo, 2017) p.28.

2.2.13 Efecto fotovoltaico

Se denomina efecto fotovoltaico al resultado de la producción de corriente eléctrica debido al contacto de dos piezas que no están hechas por el mismo material y que se encuentran expuestas a una radiación electromagnética como por ejemplo la luz solar. Este efecto es la base del principio de funcionamiento de las celdas solares fotovoltaicas para generar electricidad (P. Romero, 2018) p.29.

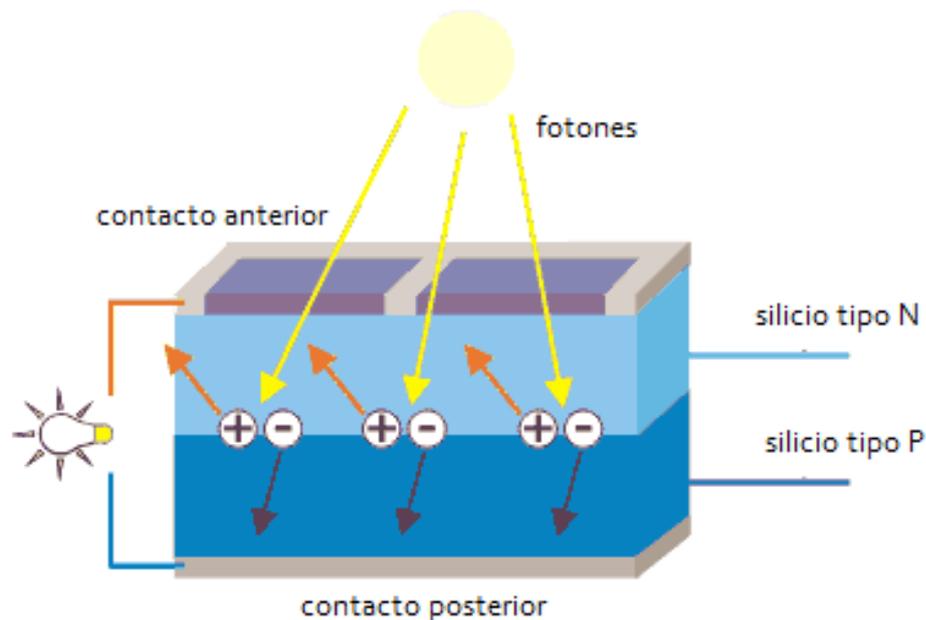


Figura 7: Efecto fotovoltaico

Fuente: (Fernández & Cervantes, 2017)

2.2.14 Celda fotovoltaica

También llamada celda solar, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía solar en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico. Están conformadas por capa semiconductor negativa y por capa semiconductor positiva (Cuchicóndor, 2019) p.19.

Es el componente primordial para generar electricidad a través de la luz solar. “Una celda fotovoltaica posee su propia potencia, tensión y corriente, aunque por sus características

modulares permite que combinando celdas entre ellas se pueden lograr unidades de generación más grandes, como los módulos fotovoltaicos (Morróné, 2019) p. 8.



Figura 8: Celda Solar Fotovoltaica

Fuente: (Argentieri & Magi, 2019)

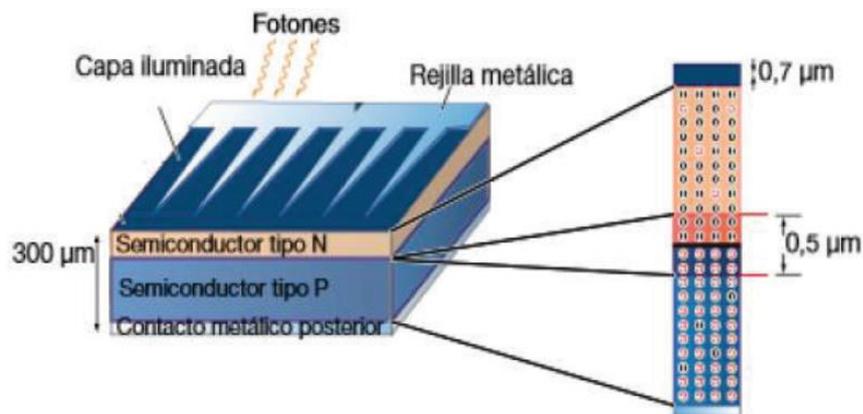


Figura 9: Partes de una celda fotovoltaica

Fuente: (Cuchicóndor, 2019)

2.2.14.1 Principio de Funcionamiento de una celda fotovoltaica (celda solar)

En la figura 19 se muestra el principio de funcionamiento de la celda fotovoltaica, y se explica de la siguiente manera: la luz solar incide sobre la celda fotovoltaica, y es donde una parte de ella es absorbida por el material semiconductor generando la excitación de electrones y así se va formando el par electrón-hueco; los electrones y los

huecos se recombinan para que vuelvan a liberar la energía almacenada en el fotón y por último las cargas eléctricas son retiradas de las celdas a través de contactos eléctricos para efectuar trabajo en el circuito exterior, una vez que los electrones atravesaron el circuito, estas vuelven a recombinarse con los huecos (Morroné, 2019) p.6.

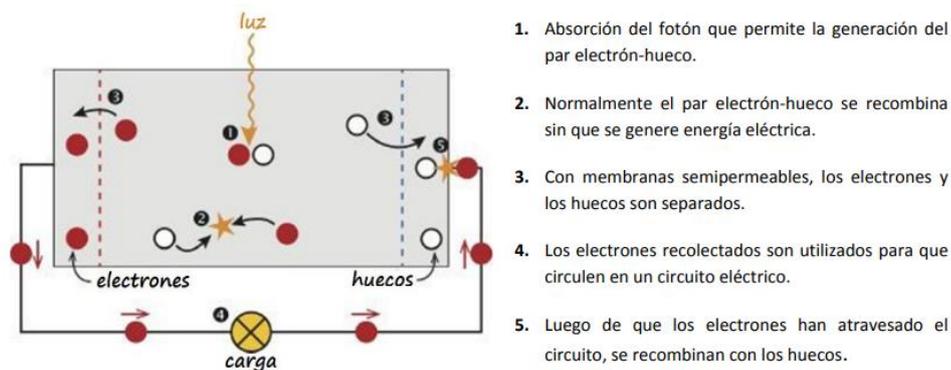


Figura 10: Modelo de celda SFV simplificado

Fuente: (Morroné, 2019)

2.2.15 Tipos de celdas fotovoltaicas

En el mercado existen diferentes tipos de celdas o células fotovoltaicas, pero comúnmente se utilizan dos tipos, tales como el monocristalino y el policristalino. En el siguiente apartado hace una descripción de cada una de ellas:

Celda fotovoltaica de silicio monocristalino

El silicio que conforma la celda fotovoltaica está constituido de cristales orientados de igual forma; la red cristalina es homogéneo en la totalidad del material y presenta menores imperfecciones. La cristalización de este material es tediosa y tiene un coste económico alto; sin embargo, estas celdas fotovoltaicas tienen un rendimiento elevado (Tejada, 2018) p.22.

Son fabricados de un solo cristal con una pureza alta, y la eficiencia de estas celdas fotovoltaicas alcanzó el 17%. Los fabricantes garantizan que los módulos con este tipo de celdas pueden tener una vida útil de hasta 25 años (Quispe, 2021) p.31.



Figura 11: Celda de silicio monocristalino

Fuente: (I. C. Vega & Sutherland, 2020)

Las características de celdas monocristalinos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Características de celda monocristalino

Celda Monocristalino	Características
Características	Cristal templado de alta transmisión, perdurable, excelente resistencia al clima
Garantía de vida útil	Vida Útil de 25 años
Utilización	Sistema de generación de energía eléctrica
Voltaje a circuito abierto	37.62V
Voltaje de operación	31.30V
Corriente de corto circuito	8.53 ^a
Operación de corriente	7.96 ^a
Poder máximo	250Wp
Temperatura de operación	-40C a 85C
Voltaje máximo del sistema	100 VDC(IEC)/600VDC(UL)
Tolerancia de poder	+/-3%
Especificación de la celda	Monocristalina 156x156mm
Cantidad de celdas	60(6x10)
Tamaño	1650x992x50mm

(continuación...)

Especificaciones del cristal	Cristal templado
Marco	Aleación de aluminio
Temperatura de operación	45+-2C
Costo	Us234

Fuente: (I. C. Vega & Sutherland, 2020)

Celda fotovoltaica de silicio policristalino

Están constituidas por muchos cristales de silicio. Este tipo de celdas fotovoltaicas tienen un coste económico inferior y el rendimiento es menor con respecto a las monocristalinas. La eficiencia de estas celdas puede llegar a 15%; y la vida útil de estos materiales es de aproximadamente 20 años (Quispe, 2021) p.31.

Las características de celdas policristalinos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Características de celda policristalino

Celdas Policristalinos	Características
Voltaje a circuito abierto	37V
Voltaje de operación	30V
Corriente de corto circuito	8.18A
Operación de corriente	7.66A
Poder máximo	230Wp
Temperatura de operación	-40C a 85C
Voltaje máximo del sistema	100 VDC(IEC)/600VDC(UL)
Valor de fusible en serie	16A
Especificación de la celda	Policristalina 156x156mm(6in)
Cantidad de celdas	60(6x10)
Tamaño	1650x992x50mm(65x39.1x2.0in)
Especificaciones del cristal	3.3mm(0.13in) vidrio templado
Marco	Aleación de aluminio anodizado



(continuación...)

Temperatura de operación	45+-2C
Costo	299us panel solar

Fuente: (I. C. Vega & Sutherland, 2020)

2.2.16 Inclinación y orientación de los módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos se encargan de captar la máxima radiación proveniente del Sol, y la colección de la mayor cantidad de energía se produce cuando el ángulo del módulo FV coincide con el ángulo de latitud. “El ángulo mínimo de inclinación debería ser de por lo menos 15° para asegurar que el agua de las lluvias drene fácilmente, lavando el polvo al mismo tiempo”. Además, para una orientación correcta del módulo, se debería usar una brújula (Ramos & Luna, 2014) p.40.

2.2.17 Tipos de instalaciones

a. Instalación solar fotovoltaica autónoma o aislada

(J. F. Romero & Flores, 2019) señala que las instalaciones solares fotovoltaicas aisladas “necesitan acumular la energía para utilizar en horas de la noche o cuando existe poca irradiación solar; pero no todas las instalaciones aisladas de la red necesitan sistemas de acumulación, pues en algunos casos no es necesario” (p.37).

b. Instalación solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica

(Pep, 2007) refiere que una instalación solar fotovoltaica conectada a red, no requiere de ningún almacenamiento de energía, “simplemente constan de los sistemas de captación y de conversión de la electricidad generada (de corriente continua a corriente alterna), y de conexión a la red” (p.13). Este tipo se instala generalmente en zonas urbanas.



2.2.18 Inversor solar

Según (Cuadros, 2020) señala que el inversor es el componente imprescindible en una instalación fotovoltaica para que la corriente continua producida en las placas solares se pueda convertir en corriente alterna para su respectiva utilización (p.18).

Así también (Ccahuana, 2020) precisa que los equipos que convierten la corriente continua a alterna se denominan inversores (DC/AC). “Los inversores reciben corriente continua generando una onda de impulsos y eliminan los armónicos inservibles mediante el filtro” (p.10).

Configuración de inversores en sistemas fotovoltaicos

Los inversores que se encuentran en el mercado son los llamados centrales, microinversores, los tipos string o inversores centrales con optimizadores:

- Microinversores: Funcionan con uno o dos paneles solares; además, la potencia unitaria de algunos microinversores es de cientos de watts.
- String: Los inversores se conectan a una cadena de paneles; sin embargo, no trabajan con potencias altas.
- Central con optimizador: son similares a los inversores centrales pero incluyen un optimizador que hace que funcionen a una potencia óptima para que después se pueda convertirla en inversor central (Morróné, 2019) p.13.

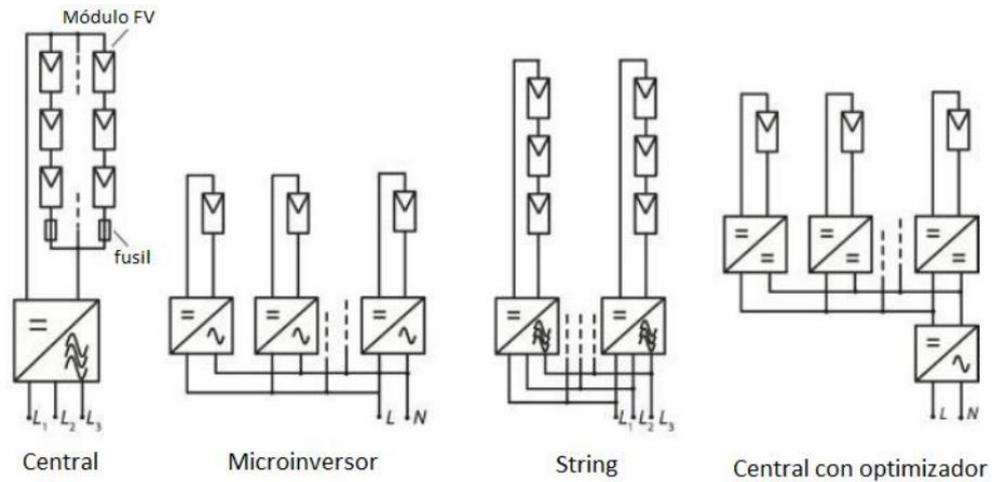


Figura 12: Diferentes configuraciones de inversores en una instalación solar fotovoltaica

Fuente: (Morrone, 2019)

2.2.19 Sistema fotovoltaico interconectado a red

Este sistema permite el abastecimiento propio de energía de los consumidores para los establecimientos. Se caracterizan por la ausencia de acumuladores para su funcionamiento y su operación se produce por la irradiación del sol sobre los módulos fotovoltaicos. La vida útil de este tipo de sistema es de 25 años. (Fernández & Cervantes, 2017) p.30

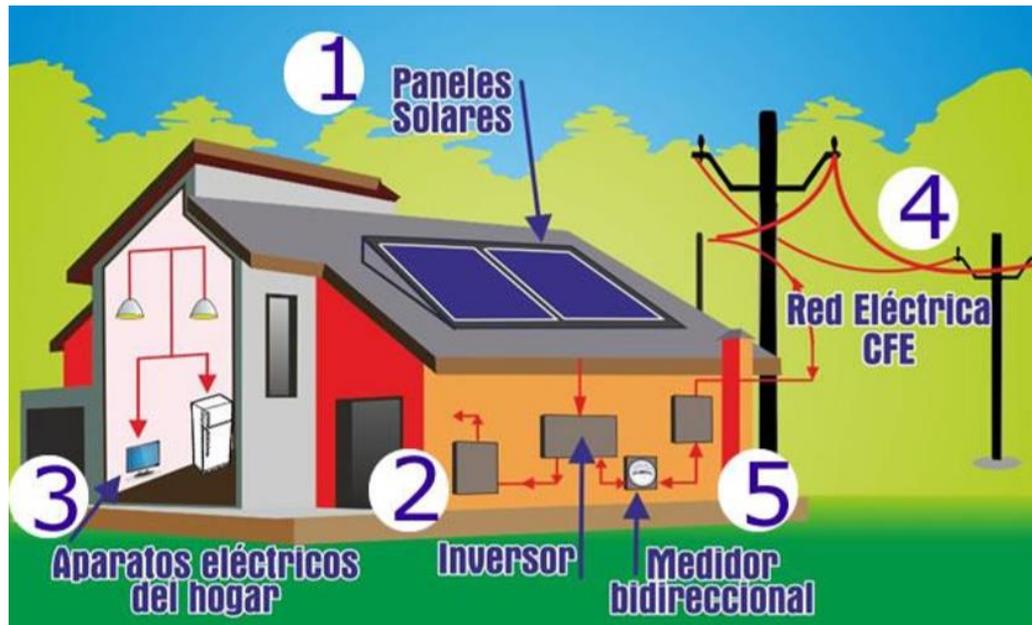


Figura 13: Sistema interconectado a red

Fuente: (Fernández & Cervantes, 2017)

2.2.20 Inversores fotovoltaicos de conexión a red

Un Sistema fotovoltaico conectado a la red hace que se capte la energía solar para luego convertirla en energía eléctrica y adecuarla en corriente alterna de la red eléctrica, para lo cual se utiliza el siguiente sistema:

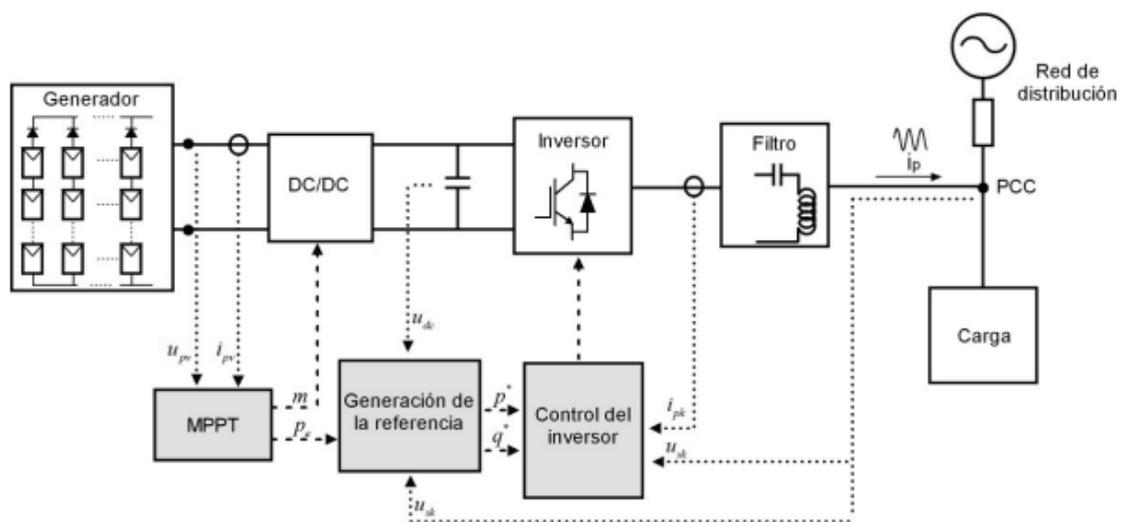


Figura 14: Diagrama de un sistema fotovoltaico de conexión a red

Fuente: (Mantilla et al., 2014)

El objetivo del sistema mostrado en la figura anterior es garantizar una extracción máxima de potencia activa del módulo fotovoltaico, además inyectar corriente alterna con buena calidad de energía al sistema eléctrico (Mantilla et al., 2014) p.48.

Inversor

Es un dispositivo que sirve para suministrar potencia producida al sistema eléctrico; y, su función fundamental es la de convertir corriente continua generada por el panel fotovoltaico en corriente alterna con un valor de 220 V y 60 Hz (Cohaila, 2018) p. 18.

Las partes principales del inversor son los siguientes que se detallan a continuación:

Control principal

“Incluye todos los elementos de control general, los sistemas de generación de onda basados en sistemas de modulación de anchura de pulsos (PWM) y parte del sistema de protecciones.” (L. E. S. Vega, 2019) p.37.

Etapas de potencia

La etapa de potencia podría ser individual o modular dependiendo de la potencia requerida. La tecnología de baja frecuencia es seleccionada por su mayor confiabilidad, menor costo y mejores resultados. En esta etapa es necesario incorporar un filtro de salida (LC) para ondas y así evitar el rizado de tensión que proviene de los paneles fotovoltaicos (Cohaila, 2018) p.18.

Control de red

"Es la interface entre la red y el control principal. Proporciona el correcto funcionamiento del sistema al sincronizar la forma de onda generada a la de la red eléctrica, ajustando tensión, fase, sincronismo, etc.” (L. E. S. Vega, 2019) p.37.

Seguidor del punto de máxima potencia (MPPT)

El MPPT tiene la función de “monitorizar la variable corriente (i_{pv}) y tensión (v_{pv}) con la finalidad de determinar el punto de trabajo del conjunto fotovoltaico para el cual la potencia en bornes sea máxima (Chavarría, 2010) p.17.

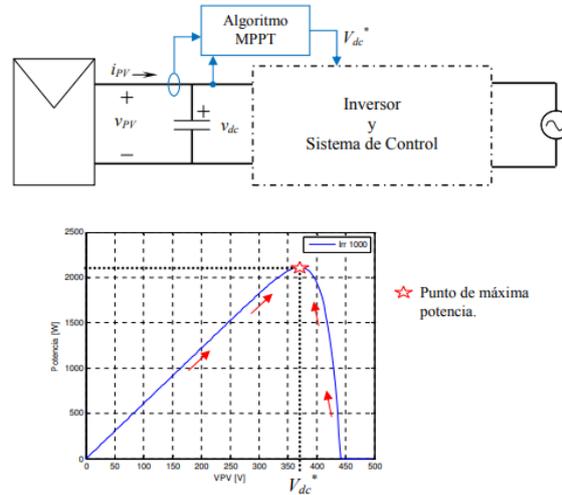


Figura 15: Algoritmo MPPT en inversores FV

Fuente: (Chavarría, 2010)

Además, (Ormaechea, 2012) afirma que la misión del seguidor de máxima potencia es de “acoplar la entrada del inversor a los valores de potencia variables que produce el generador, obteniendo en todo momento la mayor cantidad de energía disponible, la máxima potencia” (p.44).

Protecciones

Los inversores deberían de estar protegidas frente a tensiones, frecuencias, temperaturas e intensidades que no están en el rango permitida. Como también “de las protecciones pertinentes contra daños a personas y compatibilidad electromagnética” (Tavera & Cardona, 2015).

Monitorización de datos

Los microprocesadores de los inversores permiten almacenar un buen número de datos tales como: corriente, tensión, frecuencia, temperatura ambiental, radiación solar,



etc. El uso de inversores debería garantizar la obtención de mayor eficiencia y la fiabilidad (Ormaechea, 2012) p.44.

2.2.21 Rendimiento del inversor

Resulta de la relación existente entre la potencia producida por el inversor y la potencia de generación del mismo. Además, el rendimiento real resultante tiene mucho que ver con las pérdidas internas del inversor (Gonza, 2018) p.17.

2.2.22 El microinversor

Dispositivo que está hecho para que se pueda conectar a la matriz del panel fotovoltaico para su funcionamiento de manera independiente lo que diferencia del inversor central (Rodríguez, 2018) p. 17.

Es un tipo de inversor de tamaño y capacidad reducida. Los microinversores se colocan en cada panel solar para que pueda convertir de CC a CA. Con respecto a los inversores centrales o de cadena, son nominados de eficiencia baja; pero, como cada microinversor se conecta a un único panel solar, se puede prevenir el efecto “cuello de botella” que afecta a los paneles con un inversor central; y por tanto, se puede afirmar que los micro inversores pueden alcanzar eficiencias altas (Saborío, 2018) p.19 y p.20.

2.2.23 Protección de SFV contra Sobretensiones Transitorias

(Máscaros, 2016) refiere que “las instalaciones solares fotovoltaicas están expuestas a la actividad atmosférica; por tanto, pueden resultar dañadas debido al efecto de las sobretensiones transitorias ocasionadas por los rayos” (p.76).



Figura 16: Descarga eléctrica entre nube y tierra

Fuente: (Máscaros, 2016)

En las instalaciones solares fotovoltaicas se deben instalar descargadores o limitadores que permitan controlar las sobretensiones ocasionados por rayos (p.76).

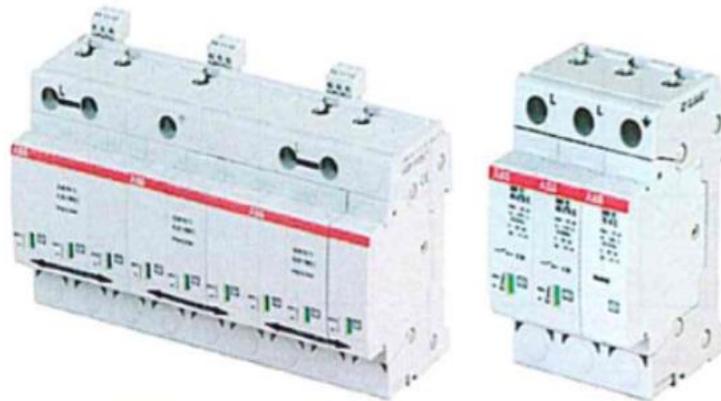


Figura 17: Descargador contra sobretensiones

Fuente: (Máscaros, 2016)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGÍA

El presente proyecto de tesis se desarrolló en las instalaciones del laboratorio de EPIME para comprobar la teoría y la práctica.

3.2 ESTUDIO EXPERIMENTAL

Ubicación:

Se desarrolló en la ciudad universitaria de la UNA-Puno (laboratorio de EPIME)

Departamento : Puno

Provincia : Puno

Distrito : Puno

3.3 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para este proyecto se ha desarrollado los siguientes procedimientos que se mencionan a continuación:

- Primeramente, se recolecta información teórica necesaria para la investigación entre ellas artículos, tesis y otros.
- Seguidamente se adquiere los materiales y los equipos que formarán parte del sistema fotovoltaico para su conexión a red.
- Montaje del sistema fotovoltaico para caracterizar la operación del microinversor.
- Verificar el correcto funcionamiento del sistema para obtener un resultado certero.
- Se compara los resultados prácticos y teóricos para las conclusiones.

3.4 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.4.1 Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo cuantitativo porque se basa en la recopilación y el análisis de datos.



3.4.2 Diseño de la investigación

En esta investigación se considera el diseño preexperimental

3.4.3 Nivel y Alcance de investigación

La investigación tiene un alcance exploratorio-descriptivo-explicativo.

3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.5.1 Población

(Sampieri, 2014) define que una población o universo es el “conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” p.174. Para el presente trabajo de investigación la población está compuesto por toda la información adquirida por el sistema de medición.

3.5.2 Muestra

(Sampieri, 2014) refiere que una muestra es “un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población” p.175. La muestra para el presente trabajo de investigación ha sido la información obtenida durante el periodo del 01 al 31 de marzo del 2022, días en los cuales hubo variaciones de la radiación solar que permiten analizar el comportamiento del microinversor.

3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1 Lugar de estudio

Laboratorio de Control y Automatización de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, en donde se instaló un sistema de generación FV con el uso de un microinversor.

3.6.2 Descripción del uso de equipos, materiales e instrumentos.

El presente trabajo de investigación está conformado por un panel fotovoltaico (silicio policristalino) con un ángulo de inclinación de 15° y orientación hacia el Norte,

- Computadora
- Otros accesorios

Módulo fotovoltaico

El generador fotovoltaico está conformado por un módulo fotovoltaico y ésta contiene 60 células de silicio policristalino, de fabricante TELESUN, modelo TP660P, con potencia nominal de 270W.



Figura 19: Módulo fotovoltaico de 270 W instalado en la EPIME.

Fuente: Manual del fabricante

En la Figura 19 se muestra la placa del módulo fotovoltaico adquirido para fines de estudio, fabricante TELESUN – 270 W.



Figura 20: Placa de características del panel FV- 270 W

Fuente: Manual del fabricante

En la Tabla 3 se da a conocer las características más relevantes del módulo FV fabricante TELESUN modelo TP660P – 270 W.

Tabla 3: Características del módulo FV

Características del módulo fotovoltaico TELESUN – modelo TP660P	
Potencia máxima (Pmax)	270 W
Voltaje de circuito abierto (Voc)	38,5 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9,09 A
Voltaje máximo (Vmpp)	31,3 V
Corriente de máxima potencia (Impp)	8,63 A
Temperatura nominal de operación de la célula (TNOC)	45°C±2°C
Tipo de celda	Silicio Policristalino

Fuente: Manual del fabricante

Microinversor

Es un dispositivo inteligente que se utiliza para sistemas fotovoltaicos conectados a red para sistemas fotovoltaicos que y tiene la función de convertir la corriente continua

en alterna para que se pueda inyectar a la red de distribución. El microinversor utilizado es Micro Replus ReneSola – 250 A-Modelo Grid-Tie 250 W y tiene las siguientes especificaciones como se muestra en Tabla 4.



Figura 21: Microinversor solar REPLUS instalado en el Laboratorio de Control y Automatización de Procesos de EPIME.

Fuente: Manual del fabricante

Tabla 4: Características del microinversor solar REPLUS – 250 A

Características del microinversor con una potencia de 250 W	
Potencia máxima en DC	250 W
Voltaje máximo en DC	60 V
Funcionamiento del MPPT en DC	22 V – 55 V
Rango de funcionamiento de corriente en DC	0 A – 14 A
Corriente máxima en DC	12 A
Potencia máxima en CA	220 W
Tensión nominal en CA/Rango	211V-240 V-264 V
Corriente máxima en CA	1.0 A
Frecuencia	59.3-60-60.5Hz
Temperatura de operación	-40°C a +65°C
Máxima eficiencia	96.3 %
THD	< 4%
Factor de potencia	>95%
Humedad relativa	0-95%
Garantía	25 años

Fuente: Manual del fabricante del microinversor eléctrico REPLUS – 250 A adquirido

Convertidor de corriente

Es un convertidor de tensión/corriente que es parte de Harmony Analog, que tiene la función de convertir las señales eléctricas de CA como de CC. Además, es usado para aumentar la distancia del conexionado que existe entre el sensor y el equipo de medición.



Figura 22: Sensor de corriente

Fuente: Manual del fabricante

Tabla 5: Ficha técnica del convertidor RMCA61BD modelo SCHNEIDER

ELECTRIC

Características del convertidor analógico aislado - RMCA61BD	
Tipo de entrada analógica	Corriente 0...1,5 A CA/CC 50/60 Hz
Tipo de salida analógica	Corriente 0...15 A CA/CC 50/60 Hz Corriente 0...5 A CA/CC 50/60 Hz Corriente 0...20 mA \leq 500 Ohm con cableado
Tensión de alimentación Nominal	Corriente 4...20 mA \leq 500 Ohm con cableado Tensión 0...10 V \geq 100 kOhm con cableado 24 V CC +/- 20%, aislado
Consumo de corriente	\leq 70mA para salida tensión \leq 90 mA para salida corriente
Señalización local	Para encendido, estado 1 LED (Verde)
Error de medida	+/- 10 % de escala completa en 20 °C - tipo de cable: interfaz electromagnética de 10 V/m +/-5 % de escala completa en 20 °C
Temperatura ambiente de Almacenamiento	-40...85 °C
Peso	160.0 g

Fuente: Manual del fabricante

Convertidor de tensión

Estos convertidores facilitan la conversión de señales de sensores en las señales eléctricas analógicas que tienen compatibilidad con equipos del sistema de control. Estos convertidores son útiles para el uso universal conforme a normas IEC.



Figura 23: Sensor de tensión

Fuente: Manual del fabricante

Tabla 6: Ficha técnica del convertidor RMCV60BD modelo SCHNEIDER
ELECTRIC

Características del convertidor analógico aislado - RMCV60BD	
Tipo de entrada analógica	Tensión 0...300 V CA/CC 50/60 Hz Tensión 0...50 V CA/CC 50/60 Hz Tensión 0...500 V CA/CC 50/60 Hz
Tipo de salida analógica	Corriente 0...20 mA \leq 500 Ohm Conmutable Corriente 4...20 mA \leq 500 Ohm Conmutable Tensión 0...10 V \geq 100 kOhm Conmutable
Tensión de alimentación nominal	24 V CC \pm 20%, aislado
Consumo de corriente	\leq 70mA para salida tensión \leq 90 mA para salida corriente
Error de medida	\pm 10 % de escala completa en 20 °C - tipo de cable: interfaz electromagnética de 10 V/m) \pm 5 % de escala completa en 20 °

(continuación...)

Temperatura ambiente de almacenamiento	-40...85 °C
Peso	115.0 g

Fuente: Manual del fabricante

PLC (Controlador Lógico Programable)

Controlador de diseño compacto que permite desarrollar la automatización en las industrias. Con los controladores S7-1200 se puede obtener información de diferentes actividades de investigación.



Figura 24: Controlador Lógico Programable (PLC) S7-1200 marca SIEMENS

Fuente: Manual del fabricante

Descripción de las características más importantes del PLC S7-1200:

- CPU 1214C CPU compacta, AC/DC/relé.
- Alimentación alterna de amplio intervalo de 85...264V AC.
- Su tiempo de ejecución booleana es de 0.1 μ s.
- Posee 14 entradas 10 salidas digitales más 2 entradas analógicas.
- Las entradas digitales utilizables como HCS con 100kHz.

Computadora

Es utilizado para recopilar la gran cantidad de datos durante el proceso de investigación para caracterizar la operación del microinversor en las condiciones climatológicas de la región Puno.



Figura 25: Imagen de una computadora.

Fuente: Sitio web Tecnología Informática (<https://www.tecnologia-informatica.com/caracteristicas-de-una-computadora/>)

Tratamiento de los datos

En el SFV conectado a red se utiliza un sistema de adquisición de datos en el que se usa el software TIA Portal V17 la que se encarga de almacenar los parámetros eléctricos (tensión CC/CA, corriente CC/CA, potencia CC, potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia y frecuencia) en el formato csv.

El programa de automatización TIA Portal V17 se configura con la finalidad de que se pueda tomar datos con un intervalo de un minuto desde 5:30 hasta las 6:30 horas. Los datos obtenidos son procesados para su respectivo análisis y comparación con los valores teóricos.

Normatividad

La instalación del sistema fotovoltaicos está basada de acuerdo a las siguientes normas que se mencionan a continuación:

- Norma Técnica de Edificación EM 080 Instalaciones con energía solar (Anexo 1).
- Norma IEC 61215 Módulos Fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para uso terrestre (Anexo 2).



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

De los resultados obtenidos del experimento realizado en el laboratorio de Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica (EPIME) respecto a los valores de tensión, corriente y potencia, se realiza el análisis correspondiente de los parámetros eléctricos en función de la irradiación solar. Los datos fueron obtenidos del 01 al 31 de marzo del 2022 con un ángulo de inclinación del panel solar de 15° y con una orientación hacia el Norte con el fin de que se garantice la máxima radiación solar durante el día.

La cantidad total de datos fueron 24211 y que corresponden al periodo de un mes, dichos datos se registraron cada minuto desde las 5:30 am hasta las 6:30 pm.

4.1.1 RESULTADOS A LA ENTRADA DEL MICROINVERSOR

(CORRIENTE CONTINUA)

En Tabla 7 se muestran los datos por un intervalo de 01 minuto del día 14 de marzo del 2022, donde se presentaron mayores variaciones de los parámetros eléctricos, lo que permite analizar de manera más detallada.

Tabla 7: Datos adquiridos por el sistema de medición en CC

Día	Hora	Voltaje en CC (V)	Corriente en CC (A)	Potencia Activa (W)	Energía Inyectada a la Red (kWh)
14/03/2022	05:30:00	8.67996	0	0	66.038
14/03/2022	05:31:00	10.74572	0	0	66.038
14/03/2022	05:32:00	13.97713	0	0	66.038
14/03/2022	05:33:00	18.17693	0	0	66.038
14/03/2022	05:34:00	4.05962	0	0	66.038
14/03/2022	05:35:00	2.10568	0	0	66.038
14/03/2022	05:36:00	9.06734	0	0	66.038
14/03/2022	05:37:00	19.91755	0	0	66.038
14/03/2022	05:38:00	13.85991	0	0	66.038
14/03/2022	05:39:00	12.28514	0	0	66.038
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
14/03/2022	18:21:00	0	0	0	67.157
14/03/2022	18:22:00	0	0	0	67.157
14/03/2022	18:23:00	0	0	0	67.157
14/03/2022	18:24:00	0	0	0	67.157
14/03/2022	18:25:00	0	0	0	67.157
14/03/2022	18:26:00	0	0	0	67.157
14/03/2022	18:27:00	0	0	0	67.157
14/03/2022	18:28:00	0	0	0	67.157
14/03/2022	18:29:00	0	0	0	67.157
14/03/2022	18:30:00	0	0	0	67.157

Elaborado por el equipo de trabajo

4.1.1.1 Tensión a la entrada del microinversor

En la Figura 26 se representa la gráfica del comportamiento de la tensión generada por el módulo fotovoltaico en el transcurso del día en análisis.

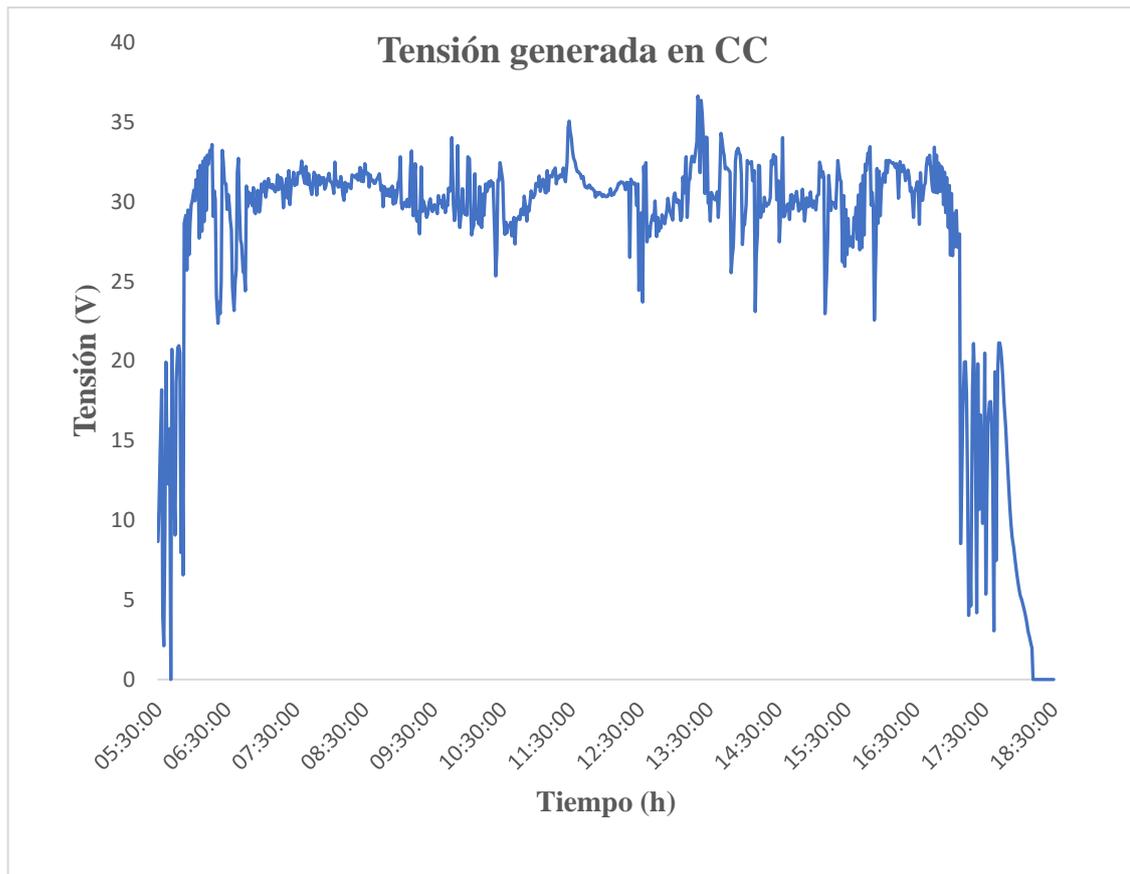


Figura 26: Tensión de ingreso al microinversorREPLUS-250 W

Elaborado por el equipo de trabajo

La tensión máxima producida por el generador fue a las 13: 20:00 pm del día 14 de marzo del 2022 con un valor de 36.630 voltios, y el mínimo voltaje obtenido fue de 1.991 voltios a las 18:11:00 pm de ese día.

4.1.1.2 Corriente a la entrada del microinversor

En la siguiente Figura 27 se representa la variabilidad de la corriente de generación fotovoltaico con respecto al tiempo analizado en el día 14 de marzo del 2022.

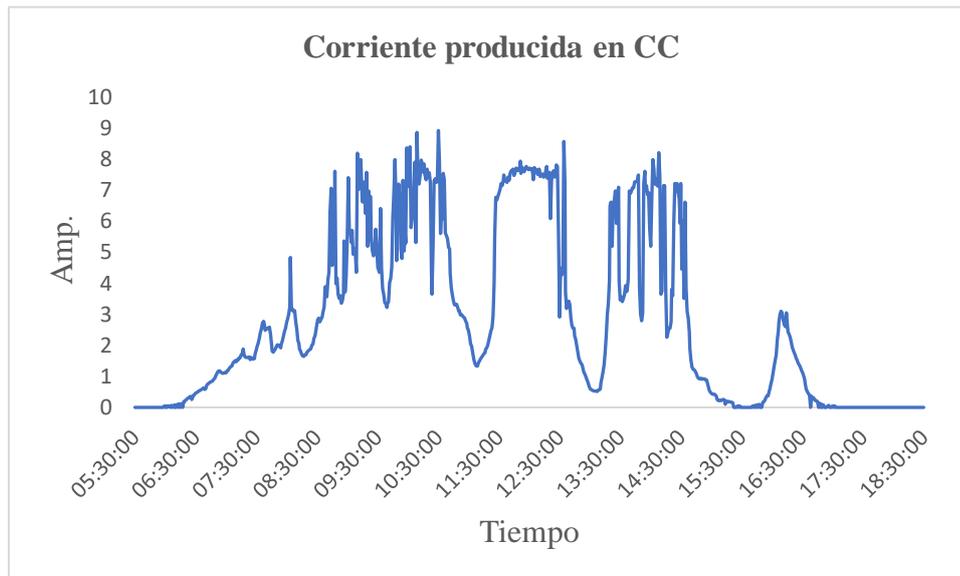


Figura 27: Corriente de ingreso al microinversor REPLUS-250 W

Elaborado por el equipo de trabajo

La máxima corriente eléctrica producida en el día de análisis fue de 8.921 amperios que corresponde a 10:30:00 del día 14 de marzo del 2022, mientras que la corriente mínima registrada fue de 0.04758 amperios que corresponde a 17:59:00 pm del mismo día. La variación de la corriente es debido a la inestabilidad de la radiación solar sobre el panel fotovoltaico instalado en la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la UNA-Puno.

4.1.2 RESULTADOS A LA SALIDA DEL MICROINVERSOR (CORRIENTE ALTERNA)

En Tabla 8 se representa la información obtenida del sistema de adquisición de datos que corresponde al día 14 de marzo del 2022 en el lado de corriente alterna.

Tabla 8: Datos adquiridos por el sistema de medición en CA

Día	Hora	Voltaje en CA (V)	Corriente en CA (A)	Potencia activa en CA (W)	Energía inyectada a la red (kWh)	Factor de potencia	Frecuencia (Hz)
14/03/2022	05:30:00 a. m.	217.4	0	0	406.65	1	60.07
14/03/2022	05:31:00 a. m.	217.2	0	0	406.65	1	60.01
14/03/2022	05:32:00 a. m.	216.4	0	0	406.65	1	59.96
14/03/2022	05:33:00 a. m.	216.6	0	0	406.65	1	59.94
14/03/2022	05:34:00 a. m.	216.6	0	0	406.65	1	60.07
14/03/2022	05:35:00 a. m.	215.9	0	0	406.65	1	59.95
14/03/2022	05:36:00 a. m.	216.2	0	0	406.65	1	59.99
14/03/2022	05:37:00 a. m.	215.9	0	0	406.65	1	59.91
14/03/2022	05:38:00 a. m.	215.9	0	0	406.65	1	59.98
14/03/2022	05:39:00 a. m.	216.6	0	0	406.65	1	60.00
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
14/03/2022	06:21:00 p. m.	209.5	0	0	407.61	1	60.02
14/03/2022	06:22:00 p. m.	208.2	0	0	407.61	1	59.97
14/03/2022	06:23:00 p. m.	208.9	0	0	407.61	1	59.99
14/03/2022	06:24:00 p. m.	208.7	0	0	407.61	1	59.94
14/03/2022	06:25:00 p. m.	208.3	0	0	407.61	1	59.93
14/03/2022	06:26:00 p. m.	208.9	0	0	407.61	1	60.01
14/03/2022	06:27:00 p. m.	208.6	0	0	407.61	1	59.92
14/03/2022	06:28:00 p. m.	208.9	0	0	407.61	1	60.06
14/03/2022	06:29:00 p. m.	208.8	0	0	407.61	1	59.97
14/03/2022	06:30:00 p. m.	208.5	0	0	407.61	1	59.97

Elaborado por el equipo de trabajo

La tensión es medida en unidades internacionales que es el Voltio (V), la corriente eléctrica en su respectiva unidad Amperios (A), la potencia en Watts (W), energía inyectada a la red en kilo Watts por Hora (kW/h), factor de potencia adimensional y la frecuencia en Hertz (Hertz).

4.1.2.1 Tensión a la salida del microinversor

La siguiente Figura 28 indica la variación de la tensión a la salida del microinversor de acuerdo a las condiciones climatológicas del día.

Figura 28: Tensión en la salida del microinversor REPLUS-250 W



Elaborado por el equipo de trabajo

De los valores registrados se determinó que a las 12:34:00 horas se obtuvo la máxima tensión con un valor de 223.6 voltios, mientras que la mínima fue 205.2 voltios que corresponden a 17:44:00 y 17:47:00 horas.

4.1.2.2 Corriente a la salida del microinversor

En la Figura 29 se muestra el comportamiento de la corriente en la salida del microinversor desde 5:30 am hasta 18:30 horas del día 14 de marzo del 2022.

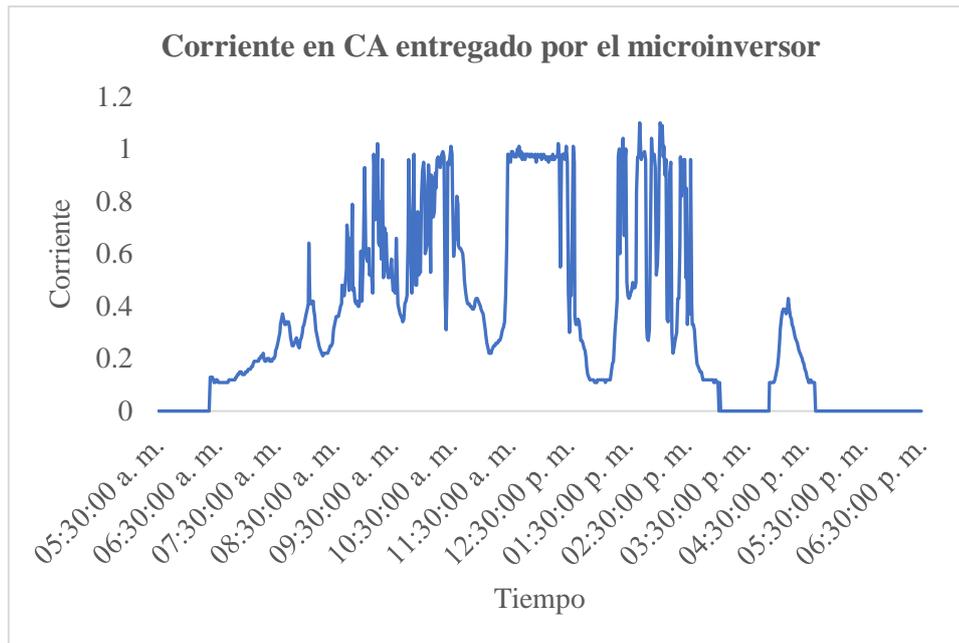


Figura 29: Corriente a la salida del microinversor REPLUS-250 W

Elaborado por el equipo de trabajo

De los datos obtenidos se aprecia que la corriente máxima de inyección a la red fue de 1.1 amperios a horas 13 horas con 42 minutos y 14 horas con 03 minutos con una potencia de 237.50 W en promedio; pero, la corriente mínima registrada fue de 0.11 amperios con una potencia promedio de 6.94 W. Los horarios donde se presentó la corriente mínima de 0.11 A, se presentan en Tabla 9.

Tabla 9: Corriente mínima registrada en el día 14 de marzo del 2022.

Día	Hora	Voltaje (V)	Corriente Mínima (A)
14/03/2022	06:27:00 a. m.	216.2	0.11
14/03/2022	06:28:00 a. m.	215.6	0.11
14/03/2022	06:31:00 a. m.	216.0	0.11
14/03/2022	06:32:00 a. m.	216.3	0.11
14/03/2022	06:33:00 a. m.	216.4	0.11
14/03/2022	06:34:00 a. m.	216.3	0.11
14/03/2022	06:35:00 a. m.	215.1	0.11
14/03/2022	06:36:00 a. m.	215.8	0.11
14/03/2022	06:37:00 a. m.	216.4	0.11



(continuación...)

14/03/2022	06:38:00 a. m.	216.9	0.11
14/03/2022	06:39:00 a. m.	216.5	0.11
14/03/2022	06:40:00 a. m.	216.1	0.11
14/03/2022	06:41:00 a. m.	215.9	0.11
14/03/2022	12:56:00 p. m.	217.9	0.11
14/03/2022	12:57:00 p. m.	217.7	0.11
14/03/2022	12:58:00 p. m.	218.1	0.11
14/03/2022	01:07:00 p. m.	217.6	0.11
14/03/2022	02:58:00 p. m.	215.1	0.11
14/03/2022	02:59:00 p. m.	214.6	0.11
14/03/2022	03:01:00 p. m.	215.1	0.11
14/03/2022	03:02:00 p. m.	215.5	0.11
14/03/2022	03:04:00 p. m.	216.0	0.11
14/03/2022	03:55:00 p. m.	214.7	0.11
14/03/2022	03:56:00 p. m.	214.7	0.11
14/03/2022	03:57:00 p. m.	214.9	0.11
14/03/2022	03:58:00 p. m.	215.5	0.11
14/03/2022	03:59:00 p. m.	215.1	0.11
14/03/2022	04:35:00 p. m.	215.0	0.11
14/03/2022	04:36:00 p. m.	215.1	0.11
14/03/2022	04:38:00 p. m.	215.6	0.11
14/03/2022	04:39:00 p. m.	215.2	0.11
14/03/2022	04:40:00 p. m.	215.1	0.11
14/03/2022	04:41:00 p. m.	215.2	0.11

Elaborado por el equipo de trabajo

Las variaciones de la figura 34 se presentan debido a los factores climatológicas en el transcurso del día, como la nubosidad y las precipitaciones pluviales lo que influye directamente en la generación de energía eléctrica por parte del sistema fotovoltaico instalado en las instalaciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la UNA -Puno.

4.1.2.3 Factor de potencia ($\text{Cos } \varphi$)

En la Figura 30 se puede apreciar la variación del factor de potencia o también llamado $\text{cos } \varphi$, durante el día 14 de marzo del 2022.

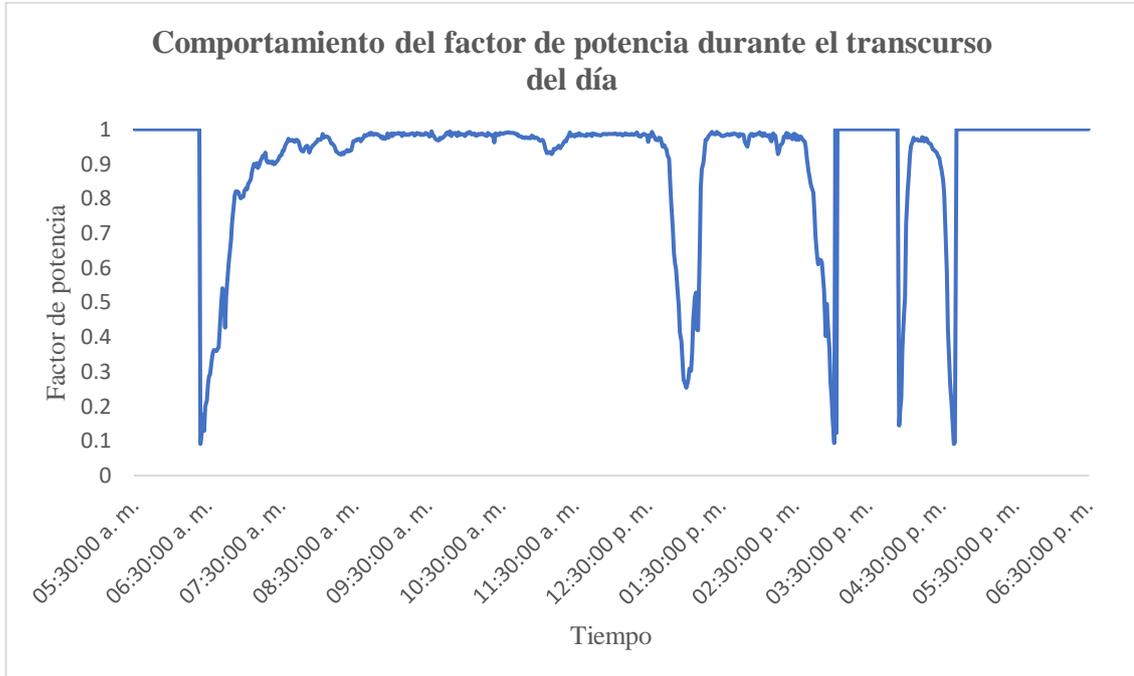


Figura 30: Comportamiento del factor de potencia en el día 14 de marzo del 2022

Elaborado por el equipo de trabajo

Realizando un análisis de la figura anterior se puede verificar que el factor de potencia máximo fue de 0.994 correspondiente a 9 horas con 33 minutos y a las 9 horas con 48 minutos; mientras que el factor de potencia mínima fue de 0.091, ocurrido a las 6 horas con 24 minutos y a las 16 horas con 40 minutos.

4.1.2.4 Frecuencia

Los valores de frecuencia durante el transcurso del día de evaluación, toman valores que están cercanos a 60 Hz.

A continuación, en la Figura 31 se puede observar el comportamiento de la frecuencia correspondiente al día 14 de marzo del 2022 medidos desde las 5:30 a.m. hasta 6:30 p.m.

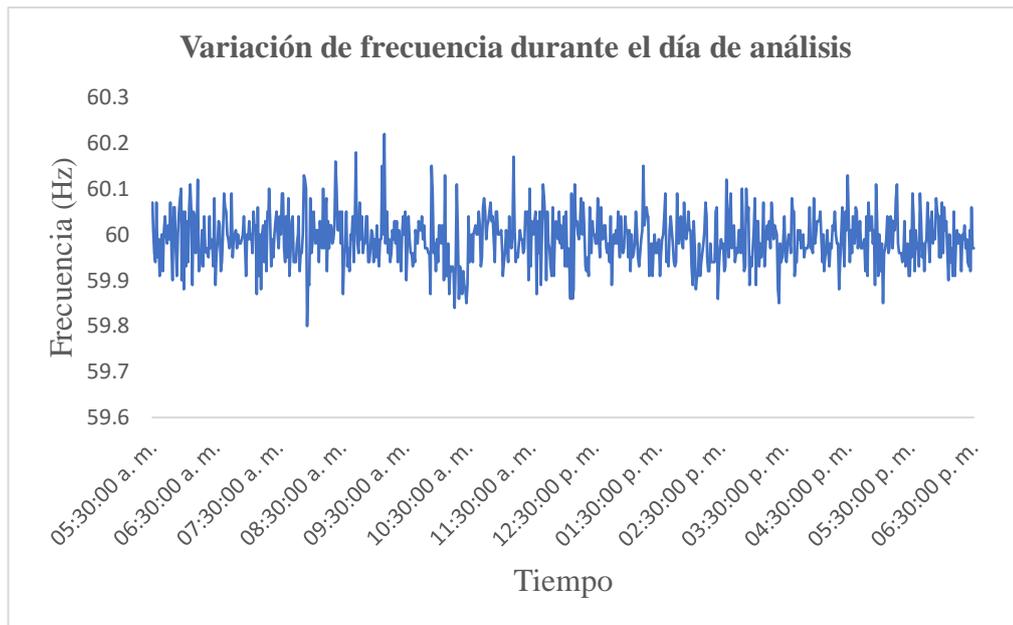


Figura 31: Comportamiento de la frecuencia en el día 14 de marzo del 2022

Elaborado por el equipo de trabajo

4.1.2.5 Potencia reactiva

En la presente Figura 32 se puede verificar la potencia reactiva medida durante el periodo del 05:30 horas hasta 18:30 horas del día.

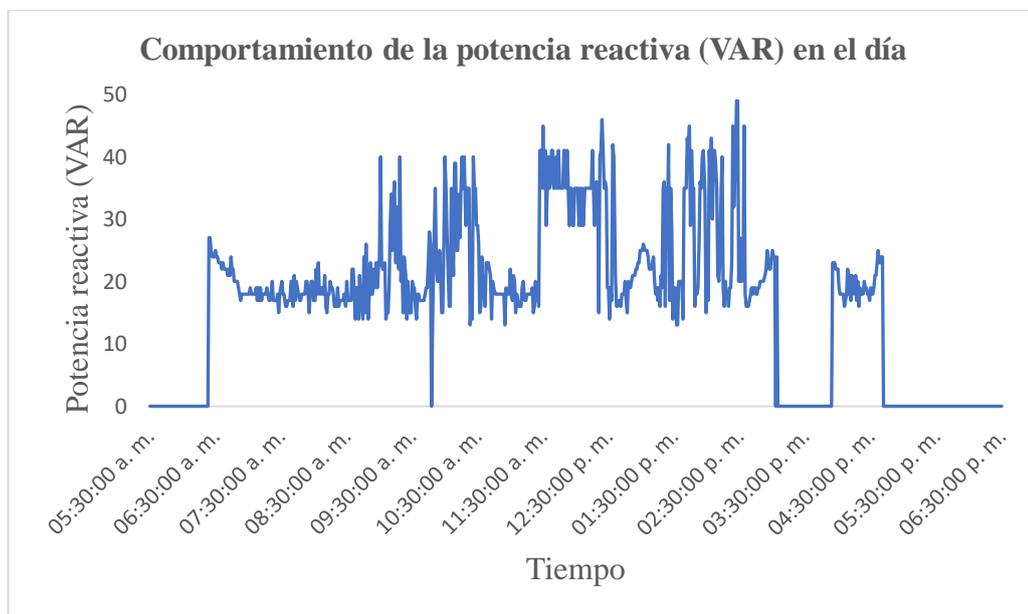


Figura 32: Potencia reactiva en VAR medida el día 14 de marzo del 2022

Elaborado por el equipo de trabajo



La potencia reactiva máxima registrada en el día del análisis fue de 49 VAR correspondientes a 14 horas con 27 minutos y en el minuto 28 de la misma hora; además, la potencia reactiva mínima registrada fue de 13 VAR a las 9 horas con 49 minutos, 10 horas con 23 minutos, 10 horas con 55 minutos, 13 horas 32 minutos y a las 13 horas con 33 minutos.

4.1.3 ANÁLISIS DE POTENCIA (W) EN EL LADO DE CORRIENTE

CONTINUA Y ALTERNA

La potencia medida en corriente continua y en corriente alterna se muestra en la Tabla 10 que corresponde al día 14 de marzo del 2022.

Tabla 10: Valor de la potencia registrada en corriente continua y corriente alterna durante el día.

Fecha	Hora	Potencia en el lado CC	Potencia en el lado CA
14/03/2022	05:30:00 a. m.	00.000	0
14/03/2022	06:30:00 a. m.	13.616	6
14/03/2022	07:30:00 a. m.	56.926	47
14/03/2022	08:30:00 a. m.	84.038	70
14/03/2022	09:30:00 a. m.	134.069	99
14/03/2022	10:30:00 a. m.	276.359	214
14/03/2022	11:30:00 a. m.	229.789	205
14/03/2022	12:30:00 p. m.	80.065	63
14/03/2022	01:30:00 p. m.	105.981	93
14/03/2022	02:30:00 p. m.	223.832	183
14/03/2022	03:30:00 p. m.	00.000	0
14/03/2022	04:30:00 p. m.	34.799	34
14/03/2022	05:30:00 p. m.	00.000	0
14/03/2022	06:30:00 p. m.	00.000	0

Elaborado por el equipo de trabajo

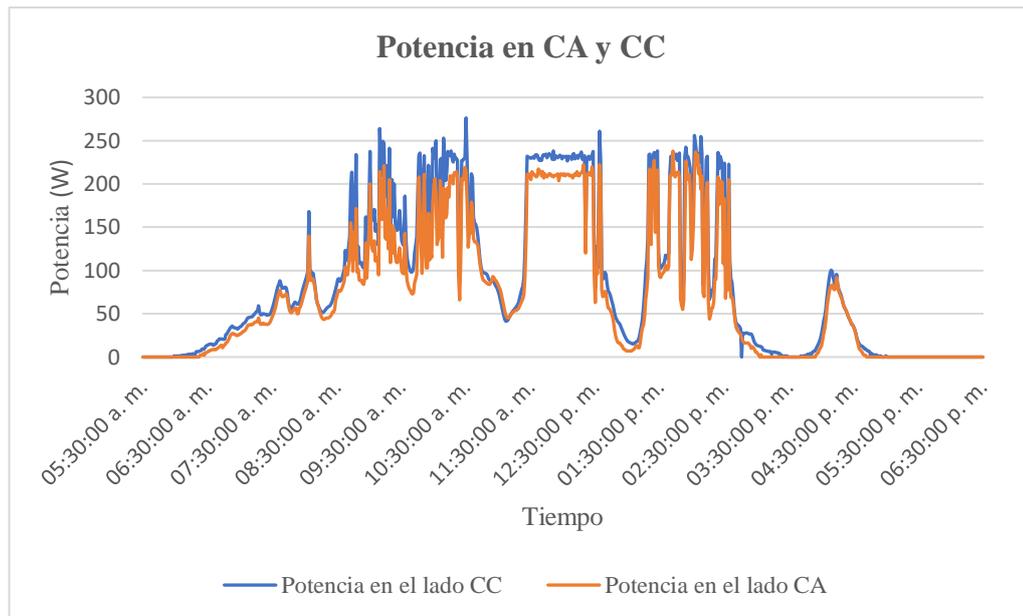
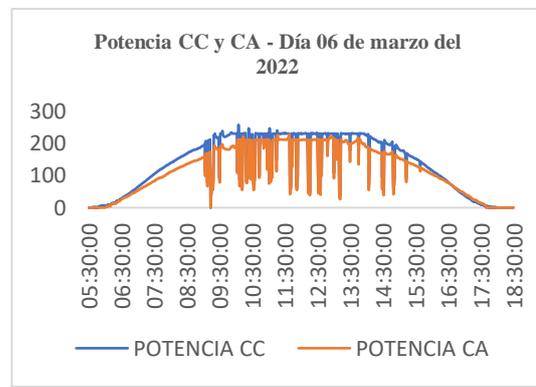
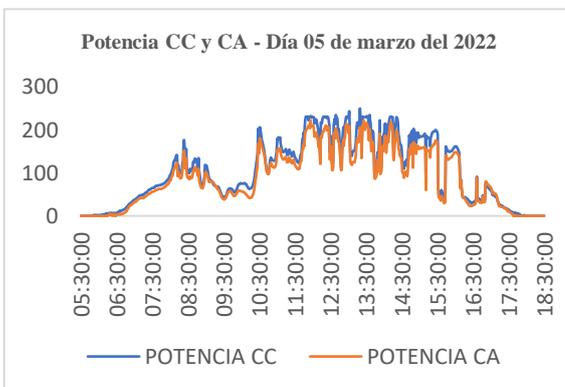
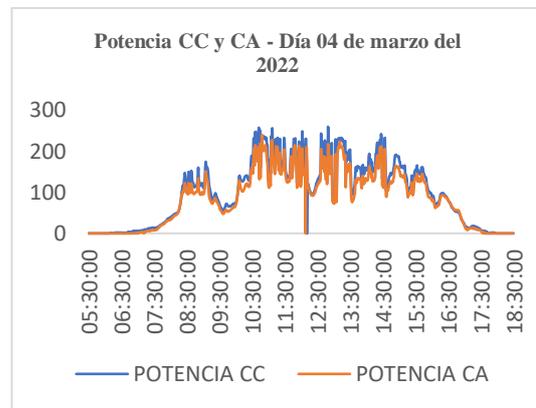
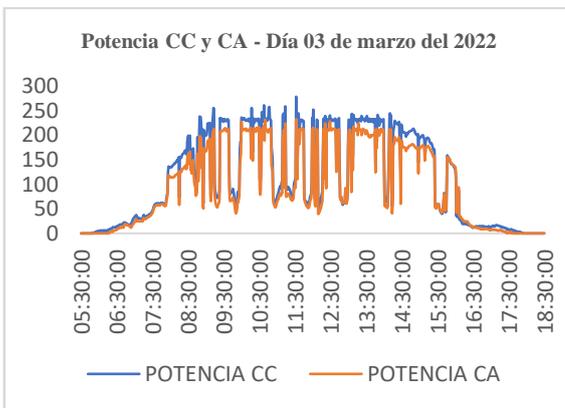
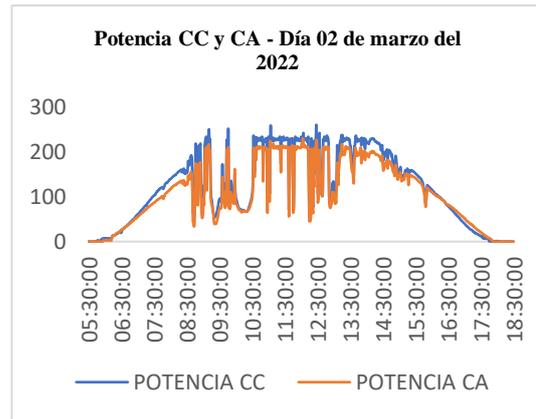
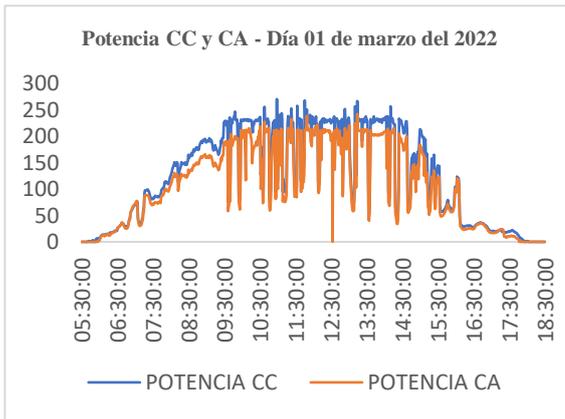


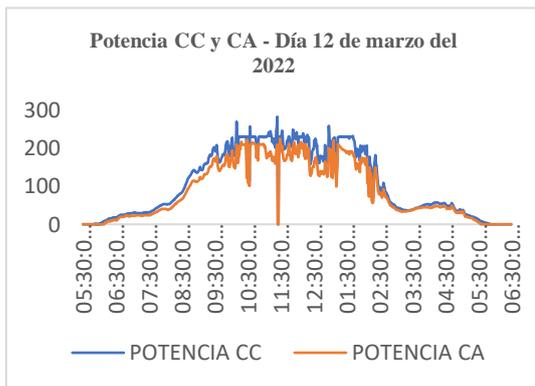
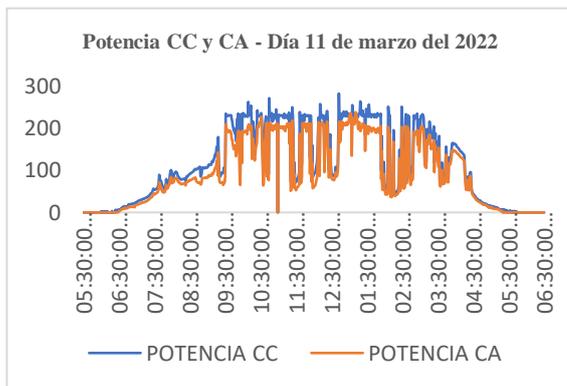
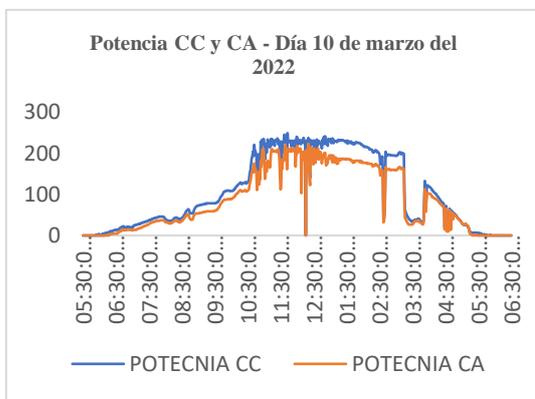
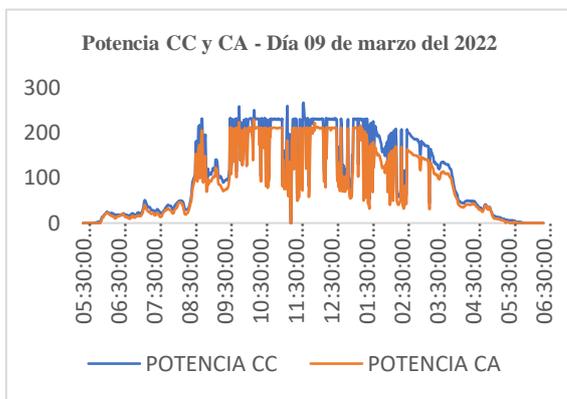
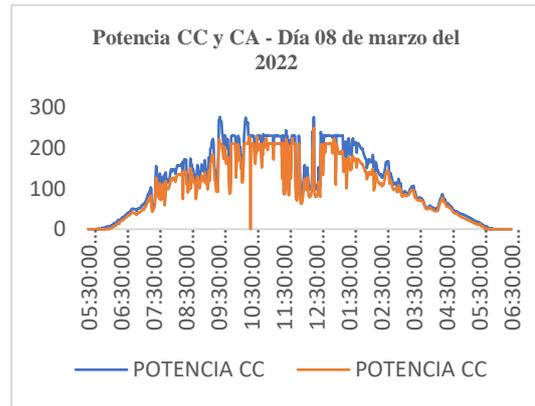
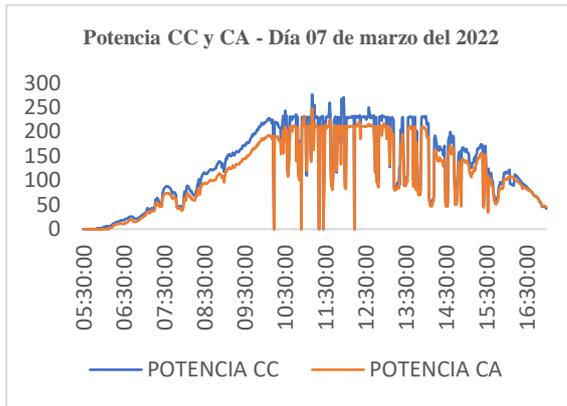
Figura 33: Potencia registrada en corriente continua y corriente alterna durante el día 14/03/2022.

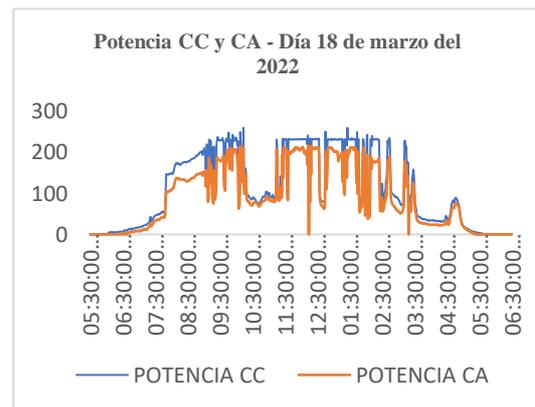
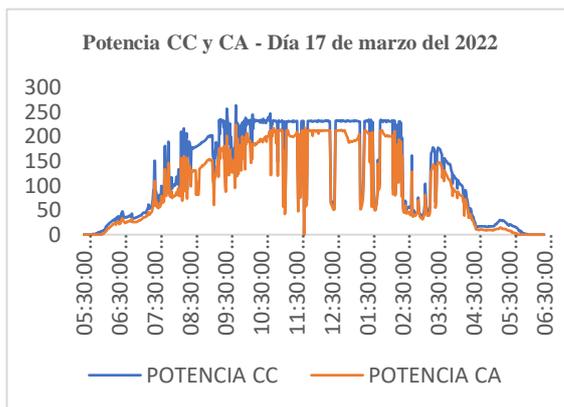
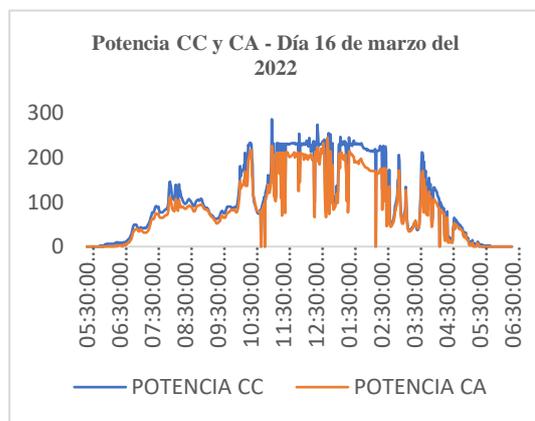
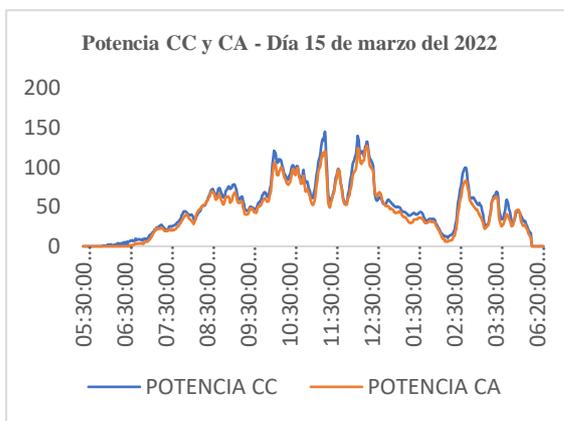
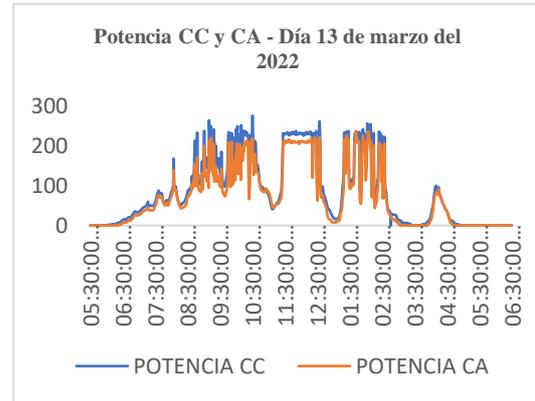
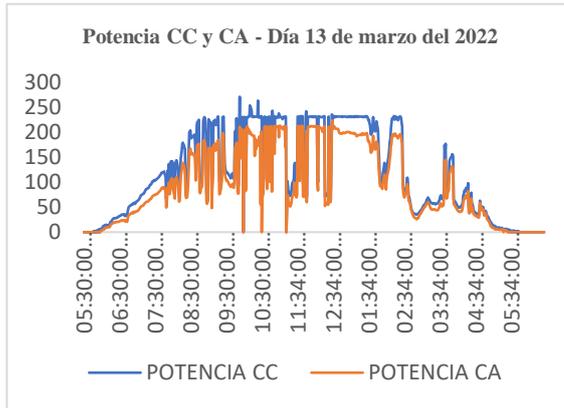
Elaborado por el equipo de trabajo

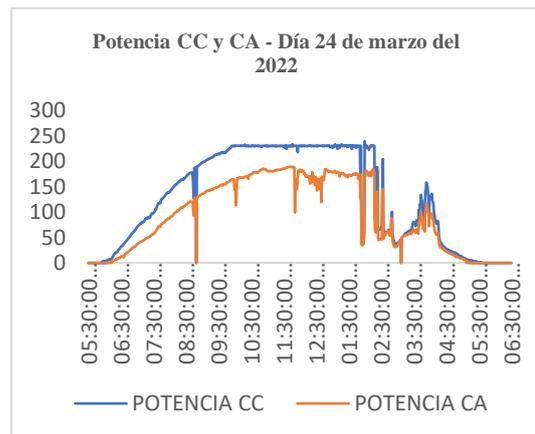
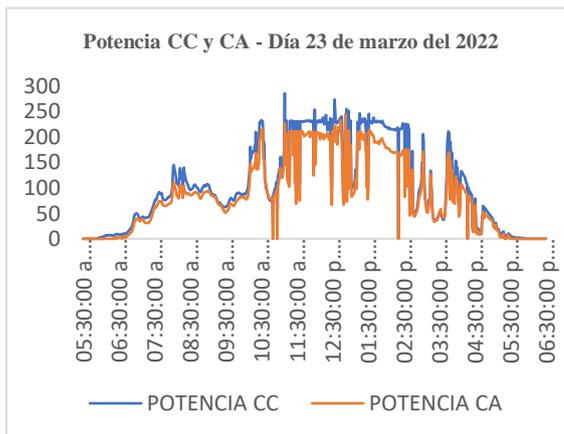
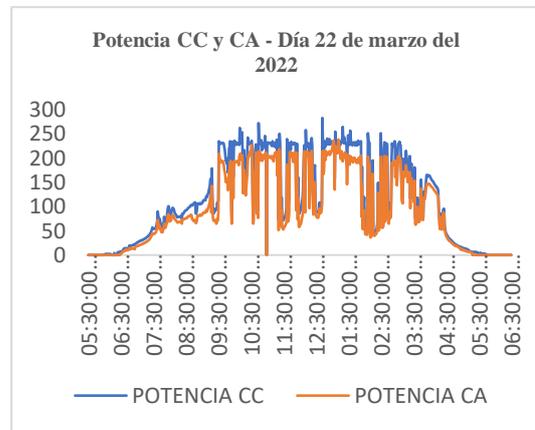
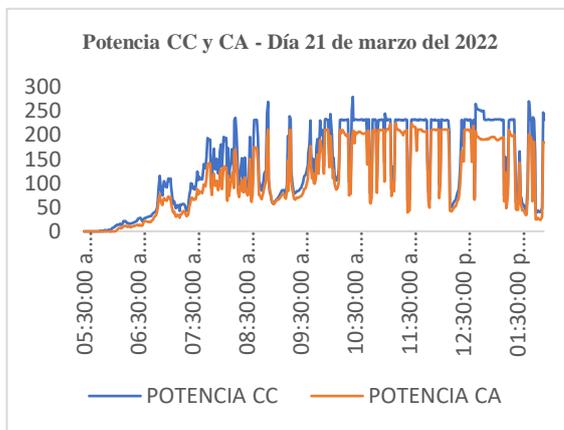
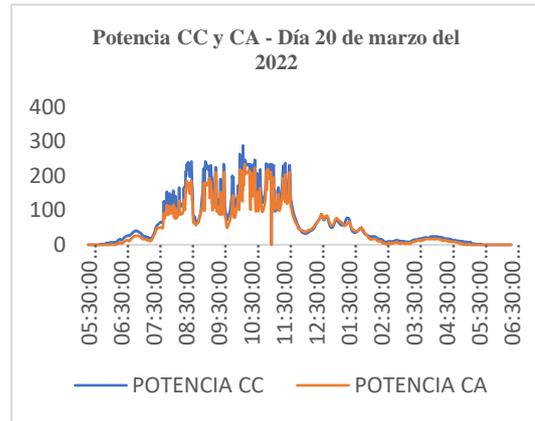
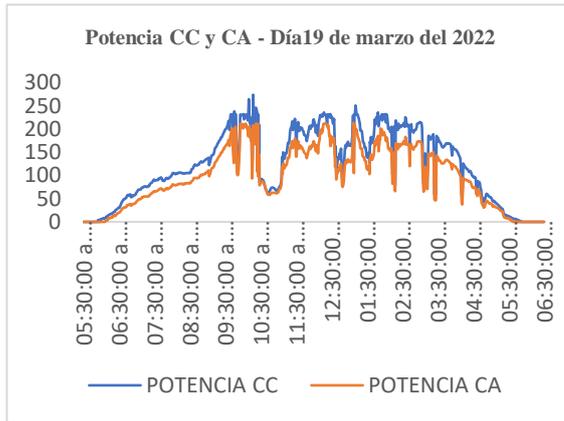
Durante el periodo del análisis (Fig.33), la potencia máxima en el lado de corriente continua fue de 276.358 watts registrado a las 10 horas con 30 minutos del día 14 de marzo del 2022; mientras la potencia mínima fue de 1.284 watts correspondiente 5 horas con 59 minutos del mismo día. La potencia máxima en el lado de corriente alterna medida se dio a las 13 horas con 42 minutos con un valor de 238 watts, y la mínima fue de 2.00 watts que corresponde a 6 horas con 23 minutos, 6 horas con 24 minutos, 6 horas con 27 minutos; 15 horas con 2 minutos, 16 horas con 40 minutos y 16 horas con 41 minutos del día 14 de marzo del 2022.

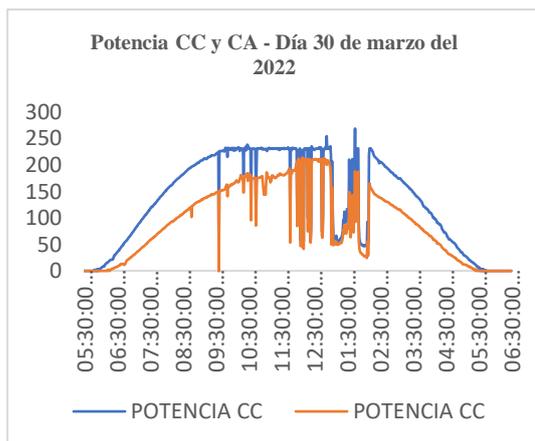
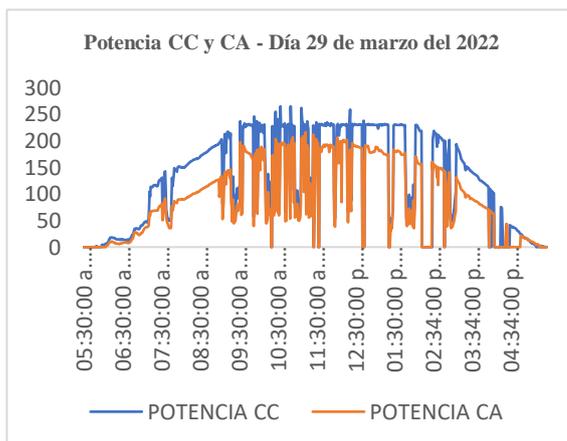
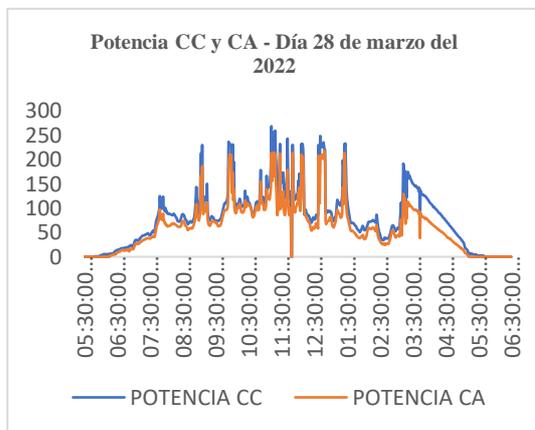
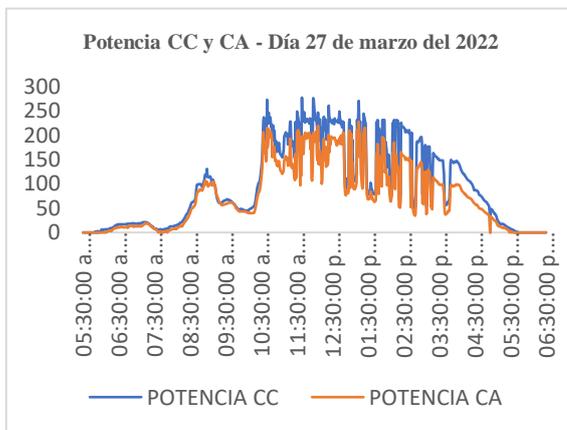
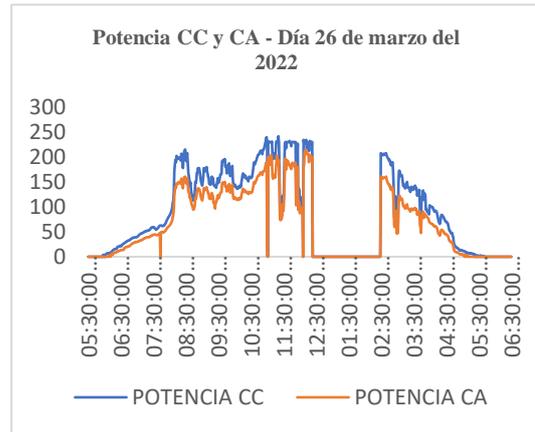
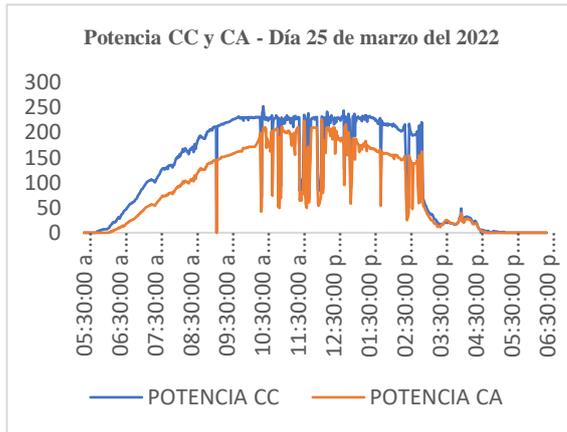
A continuación, se presentan las gráficas del comportamiento de potencia a la entrada y salida del miroinversor desde el 01 al 31 de marzo del 2022.











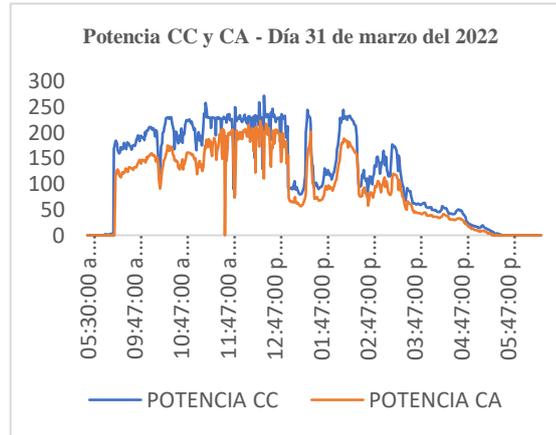


Figura 34: Gráficas del comportamiento de potencia en CC y potencia en CA desde el 01 al 31 de marzo del 2022.

Elaborado por el equipo de trabajo

4.1.4 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL MICROINVERSOR

La Tabla 11 se representa los valores de la energía deseada y la registrada en el lado de corriente continua a través de dispositivos instalados en el laboratorio de EPIME.

Tabla 11: Energía teórica y medida en el lado de corriente continua.

ENERGÍA DESEADA Y REGISTRADA EN CC			
Fecha	Energía deseada (kWh)	Energía registrada (kWh)	Variación (kWh)
1/03/2022	1.6192	1.6110	0.0082
2/03/2022	1.5988	1.5950	0.0038
3/03/2022	1.4320	1.4180	0.0140
4/03/2022	1.2665	1.2660	0.0005
5/03/2022	1.3381	1.3380	0.0001
6/03/2022	1.7348	1.7340	0.0008
7/03/2022	1.4938	1.4820	0.0118
8/03/2022	1.5339	1.5300	0.0039
9/03/2022	1.3647	1.3570	0.0077
10/03/2022	1.3732	1.3710	0.0022
11/03/2022	1.4565	1.4540	0.0025
12/03/2022	1.3904	1.3860	0.0044



(continuación...)

13/03/2022	1.4911	1.4890	0.0021
14/03/2022	1.1205	1.1190	0.0015
15/03/2022	0.5541	0.5540	0.0001
16/03/2022	1.3446	1.3420	0.0026
17/03/2022	1.5808	1.5790	0.0018
18/03/2022	1.4123	1.4080	0.0043
19/03/2022	1.5763	1.5750	0.0013
20/03/2022	0.8489	0.8460	0.0029
21/03/2022	1.5555	1.5470	0.0085
22/03/2022	1.5763	1.5750	0.0013
23/03/2022	1.1366	1.1260	0.0106
24/03/2022	1.6712	1.6660	0.0052
25/03/2022	1.6010	1.5890	0.0120
26/03/2022	1.1366	1.1260	0.0106
27/03/2022	1.2437	1.2410	0.0027
28/03/2022	1.0487	1.0430	0.0057
29/03/2022	1.4764	1.4760	0.0004
30/03/2022	1.7254	1.7190	0.0064
31/03/2022	1.2079	1.1960	0.0119

Elaborado por el equipo de trabajo

Al realizar una sumatoria (Tabla 11) de los valores de energía calculados teóricamente se tendrá un valor de 42.881 kWh y la energía medida que es de 42.759 kWh se tendrá una diferencia de 0.122 kWh, lo que indica que los valores medidos en el laboratorio son aproximados a los valores hallados teóricamente.

En Tabla 12 se representa la producción de energía por el microinversor, determinada teórica y medida en el lado de corriente alterna del microinversor.



Tabla 12: Energía teórica y medida en el lado de corriente alterna.

ENERGÍA DESEADA Y REGISTRADA EN AC			
Fecha	Energía deseada (kWh)	Energía registrada (kWh)	Variación (kWh)
1/03/2022	1.434	1.420	0.014
2/03/2022	1.470	1.460	0.010
3/03/2022	1.303	1.270	0.033
4/03/2022	1.139	1.120	0.019
5/03/2022	1.198	1.180	0.018
6/03/2022	1.543	1.530	0.013
7/03/2022	1.350	1.330	0.020
8/03/2022	1.345	1.330	0.015
9/03/2022	1.205	1.180	0.025
10/03/2022	1.178	1.160	0.018
11/03/2022	1.272	1.250	0.022
12/03/2022	1.206	1.180	0.026
13/03/2022	1.275	1.260	0.015
14/03/2022	0.980	0.960	0.020
15/03/2022	0.535	0.520	0.015
16/03/2022	1.175	1.160	0.015
17/03/2022	1.344	1.320	0.024
18/03/2022	1.187	1.170	0.017
19/03/2022	1.299	1.290	0.009
20/03/2022	0.771	0.710	0.061
21/03/2022	1.030	1.020	0.010
22/03/2022	1.299	1.290	0.009
23/03/2022	0.909	0.900	0.009
24/03/2022	1.253	1.240	0.013
25/03/2022	1.222	1.190	0.032
26/03/2022	0.909	0.900	0.009
27/03/2022	1.021	0.980	0.041
28/03/2022	0.853	0.840	0.013
29/03/2022	1.115	1.100	0.015
30/03/2022	1.224	1.200	0.024
31/03/2022	0.943	0.940	0.003

Elaborado por el equipo de trabajo

Similarmente como en el lado de corriente continua, en Tabla 12 se puede hacer una sumatoria de las energías halladas teóricamente y que resulta 35.980 kWh, mientras la energía total medida es 35.400 kWh, obteniéndose una diferencia de 0.580 kWh lo que demuestra que los datos medidos son cercanos a los valores teóricos.

4.1.5 EFICIENCIA DEL MICROINVERSOR

La tabla 13 representa los valores de la eficiencia del microinversor desde el 01 al 31 de marzo del 2022 realizando un previo análisis de la energía generada en el lado de corriente continua y en el lado de corriente alterna del equipo.

Tabla 13: Eficiencia del microinversor durante el periodo del 01 al 31 de marzo del 2022.

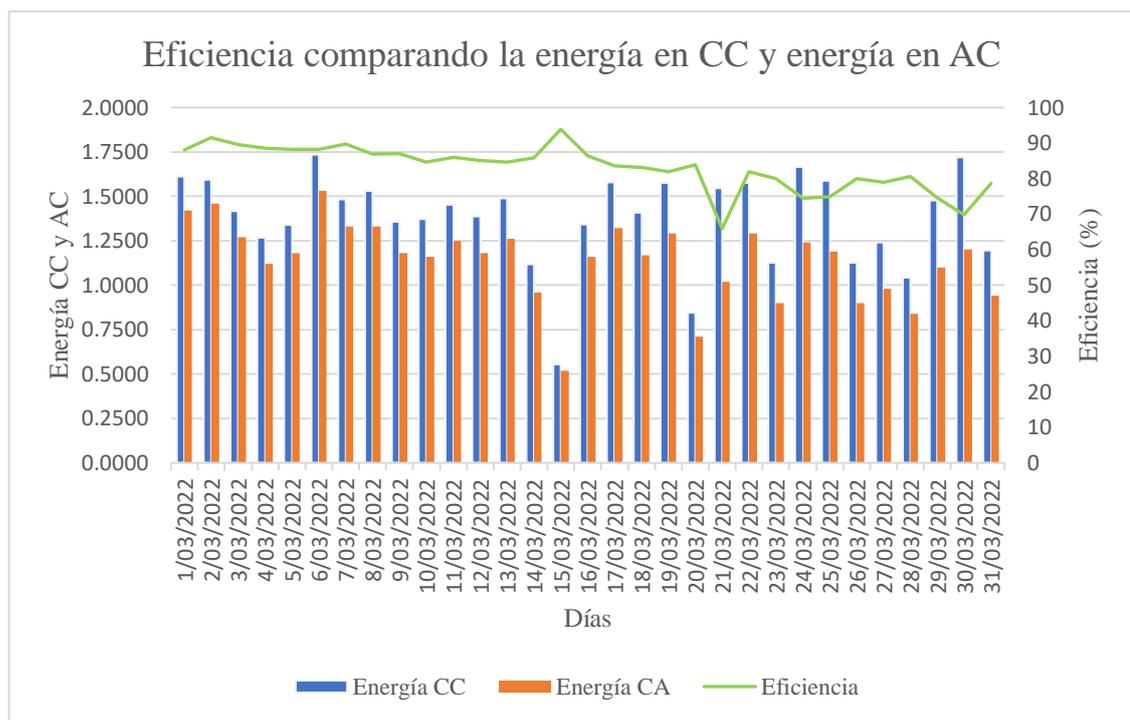
EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL MICROINVERSOR				
Fecha	Energía CC	Energía CA	Diferencia de energía	Eficiencia (%)
1/03/2022	1.611	1.420	0.191	88.144
2/03/2022	1.595	1.460	0.135	91.536
3/03/2022	1.418	1.270	0.148	89.563
4/03/2022	1.266	1.120	0.146	88.468
5/03/2022	1.338	1.180	0.158	88.191
6/03/2022	1.734	1.530	0.204	88.235
7/03/2022	1.482	1.330	0.152	89.744
8/03/2022	1.530	1.330	0.200	86.928
9/03/2022	1.357	1.180	0.177	86.957
10/03/2022	1.371	1.160	0.211	84.610
11/03/2022	1.454	1.250	0.204	85.970
12/03/2022	1.386	1.180	0.206	85.137
13/03/2022	1.489	1.260	0.229	84.621
14/03/2022	1.119	0.960	0.159	85.791
15/03/2022	0.554	0.520	0.034	93.863
16/03/2022	1.342	1.160	0.182	86.438
17/03/2022	1.579	1.320	0.259	83.597
18/03/2022	1.408	1.170	0.238	83.097
19/03/2022	1.575	1.290	0.285	81.905
20/03/2022	0.846	0.710	0.136	83.924
21/03/2022	1.547	1.020	0.527	65.934
22/03/2022	1.575	1.290	0.285	81.905
23/03/2022	1.126	0.900	0.226	79.929
24/03/2022	1.666	1.240	0.426	74.430
25/03/2022	1.589	1.190	0.399	74.890

(continuación...)

26/03/2022	1.126	0.900	0.226	79.929
27/03/2022	1.241	0.980	0.261	78.969
28/03/2022	1.043	0.840	0.203	80.537
29/03/2022	1.476	1.100	0.376	74.526
30/03/2022	1.719	1.200	0.519	69.808
31/03/2022	1.196	0.940	0.256	78.595

Elaborado por el equipo de trabajo

De la Tabla 13 también se puede afirmar que la variación promedio de energía de ingreso y de salida del microinversor es de 0.2374 kWh lo que representa el consumo del mismo. En la Figura 35 se representa el comportamiento de la eficiencia del microinversor de manera gráfica.



Durante el periodo de análisis se puede apreciar que la mayor eficiencia por el

Figura 35: Eficiencia del microinversor durante el periodo del análisis.

Elaborado por el equipo de trabajo

microinversor fue de 93.86 % correspondiente al día 15 del mes de marzo del 2022 lo que



indica mayor producción de energía; sin embargo, la menor eficiencia registrada corresponde al día 21 de marzo del 2022 con un porcentaje de 65.93 % lo que indica que hubo menor producción de energía debido a la radiación irregular.

4.2 DISCUSIÓN

De los resultados hallados durante la medición de los parámetros eléctricos, se acepta la hipótesis planteada ya que es posible caracterizar la operación del microinversor en las condiciones geográficas y climatológicas de la región Puno. Puesto que los resultados obtenidos están en concordancia con los datos obtenidos por diversos investigadores.

Los resultados que se obtuvieron son muy interesantes ya que ayuda a entender, explicar y comparar respecto a los valores obtenidos por otros investigadores que hicieron el estudio del microinversor en paneles solares, tal como (Cohaila, 2018) en su tesis de “Caracterización del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann utilizando un aplicativo informático”, donde desarrolló un aplicativo en el software Matlab para poder caracterizar la operación del SFV conectado a la red; en donde la corriente máxima en el lado continua fue de 10.42 Amperios, correspondiente al día 02 de enero del 2017 con una irradiancia máximo de 1492 W/m^2 . Durante la investigación en el presente trabajo, la máxima corriente CC encontrada fue de 8.92 amperios en el día 14 de marzo del 2022 a horas 10 horas con 30 minutos; con una diferencia de 1.5 amperios con respecto a la anterior. Por lo que los resultados conseguidos en la presente investigación están en concordancia con los obtenidos por el tesista mencionado.

La comparación realizada durante el periodo de análisis, donde se midió la potencia a la entrada y salida del microinversor, se puede verificar que el promedio de potencia registrada para el día 14 de marzo del 2022 en el lado de corriente continua es



de 66858.45 W y en el lado de corriente alterna es de 56331.00 W, con una diferencia de 10.53 W que corresponde el 15.75 %. En referencia, (Ormaechea, 2012) en su tesis realizó el estudio obteniendo el resultado máximo de potencia a la entrada del inversor con un valor de 2052 kW, mientras que el valor máximo de potencia de salida fue de 2000 kW, donde se apreció que el valor de potencia a la salida del inversor fue menor con respecto a la entrada, llegando a la conclusión de que la diferencia existente entre estos valores es por la pérdida ocurrida en el equipo. Por lo que los valores de potencia medidos en esta tesis de investigación cumplen las teorías y estudios que lo respaldan.

En teoría el valor de factor de potencia es igual a 1, puesto que así se tendría la mayor utilización de energía y tener menos pérdidas para finalmente lograr eficiencia mayor; sin embargo, en la práctica estos valores son inferiores como por ejemplo 0.95 (Fernández & Cervantes, 2017). El factor de potencia medido desde el día 01 al 31 de marzo del 2022 tiene un comportamiento variable en la que la mayoría de valores se aproximan a la unidad, por lo que los resultados obtenidos en esta tesis de investigación cumplen con las teorías y el autor anterior.

Según la (NTCSE, 1997) en su página 18 (Anexo 3), establece que los valores permisibles respecto a la frecuencia son $\pm 0.6\%$, lo que significa que la frecuencia máxima admitida es 60.36 Hz y la mínima 59.64 Hz. Los resultados obtenidos en el presente trabajo son 60.22 Hz como máximo y 59.8 Hz el valor mínimo. Estos datos son aceptables ya que están en el rango establecido por la norma.

Durante el periodo de investigación, el día 15 del mes de marzo del 2022 se obtuvo la mayor eficiencia del microinversor con un valor de 93.86 % Mientras que la investigación realizada por (Vilca, 2020) durante el periodo de 12 meses en la Universidad Nacional de Juliaca utilizando 8 paneles solares con la misma cantidad de microinversores de marca Enphase -M15, obteniendo una eficiencia máxima del



dispositivo de hasta 96.08%. Además, la ficha técnica del microinversor indica que el valor máximo que puede alcanzar es 96.3 %. Por consiguiente, las métricas obtenidas en la presente investigación no están lejanos al valor encontrado por el autor mencionado anteriormente, como también con respecto a las características propias de MicroReplus.

Los valores de tensión medidos en el lado CA del microinversor están en el rango establecido según las normativas, por lo que la inyección de energía a la red eléctrica es posible, esto debido a que el inversor permite adaptar los parámetros de salida del mismo, en tanto los valores de tensión en el lado de corriente alterna están cercanos al valor de tensión del sistema eléctrico tal como lo concluye (Ormaechea, 2012). Además, la investigación realizada por (Monroy, 2022), en las instalaciones del edificio de la Escuela Profesional de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Juliaca, donde la tensión CA media medida fue de 215.47 V, mientras que el valor promedio de tensión en este estudio fue de 216.35 V, existiendo una diferencia de 4.53 V y 3.65V respectivamente con respecto al valor teórico requerido que es 220V; los resultados obtenidos en el presente trabajo son cercanos a dicho valor, lo que indica que los datos hallados son alentadores para continuar con la investigación.

La principal contribución o aporte de esta investigación realizada en el laboratorio de Control y Automatización de Procesos de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, sobre el comportamiento del microinversor en condiciones atmosféricas y climatológicas de la región Puno. es dar mayores alcances e información a los estudiantes y/o profesionales dedicados en este tema, además este estudio sobre la caracterización de operación del microinversor permitirá y servirá de base para que se puedan desarrollar e implementar este tipo de tecnologías en nuestra región ya que los resultados obtenidos en esta investigación son positivos.



V. CONCLUSIONES

Se concluye que la caracterización de operación del microinversor conectado a la red a 3824 metros de altitud permite comprender el funcionamiento de sistemas fotovoltaicos en condiciones geográficas y climatológicas de la región Puno.

Se desarrolló un sistema de adquisición de datos que permitió comunicar el microinversor mediante la tecnología PLC utilizando el software TIA Portal V17, lográndose obtener los parámetros eléctricos como tensión, corriente, potencia, frecuencia y factor de potencia que están dentro de los valores establecidos por la teoría.

El análisis del comportamiento del microinversor conectado a red, permitió entender que su operación en las condiciones climatológicas de la región altiplánica es posible, debido a que la eficiencia de este dispositivo alcanza hasta 93.8628 % como máximo; mientras que las eficiencias mínimas se registraron cuando las energías generadas por el panel fotovoltaica fueron bajas.

La instalación del sistema fotovoltaico de conexión a red utilizando un microinversor en la región Puno es viable, puesto que se puede inyectar energía al sistema eléctrico de baja tensión.



VI. RECOMENDACIONES

Ya que se obtuvieron resultados favorables en cuanto al comportamiento del microinversor en la región Puno, se recomienda a los futuros investigadores desarrollar un estudio detallado sobre el efecto de sombras y las suciedades en el sistema fotovoltaico para mejorar su operación.

Realizar el mantenimiento preventivo del módulo fotovoltaico conectado a red con el fin de evitar el polvo y la suciedad que dificultan la captación de energía solar. Además, es necesario hacer el mantenimiento del microinversor y demás accesorios.

Se debe instalar sistemas fotovoltaicos de este tipo en el sector residencial ya que su uso disminuirá en el consumo de energía; además, al utilizar el recurso energético solar estaremos contribuyendo de manera positiva al medio ambiente por tratarse de una energía limpia y suficiente.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, F. de J. (2016). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios* [Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD].
<https://repository.unad.edu.co/handle/1051352>
- Argentieri, A., & Magi, J. P. (2019). *Diseño de planta solar fotovoltaica* [UTN La Plata].
<http://hdl.handle.net/20.500.12272/3731>
- Campos, J. (2017). *Sistema para la evaluación de parámetros eléctricos de micro inversores de sistemas fotovoltaicos*. <https://hdl.handle.net/2238/7288>
- Capcha, M. (2017). *Análisis y diseño de un microinversor y su conexión a la red eléctrica monofásica* [Universidad Nacional de Ingeniería].
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1588/1/lopez_pr.pdf
- Ccahuana, L. (2020). *Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para abastecer agua al caserío CP14 distrito Tambogrande - Piura 2019* [Univerisdad César Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/44779>
- Chambi, V. N. (2018). *Estudio y análisis de la actividad solar , radiación solar global y radiación UV en la Ciudad de Arequipa*. 104.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7602>
- Chavarría, J. (2010). *Diseño e implementación de un inversor multinivel para sistemas fotovoltaicos conectados a red* [Universidad Politécnica de Catalunya].
<http://hdl.handle.net/2099.1/9787>
- Chonto, L. J. (2018). *Dimensionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico para suministrar agua en el caserío Chillvaca en el distrito de Incahuasi-Ferreñafe-Lambayeque*. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/4102>



- Claudia, L., Gloria, S., Sandra, X., Betancur-londoño, F., & Guerrero-gonzález, N. (2020). *Análisis experimental del desempeño de un sistema solar fotovoltaico con inversor centralizado y con microinversores: caso de estudio Manizales*. 23. <https://doi.org/https://doi.org/10.22430/22565337.1403>
- Cohaila, J. K. (2018). *Caracterización del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la UNJBG utilizando un aplicativo informático, Tacna-2017* [Universidad Nacional Jorge Basadre Growman-Tacna]. http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/3578/1556_2018_cohaila_mayta_jk_faci_fisica.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cuadros, P. M. (2020). *Propuesta de equipación y evaluación económica de un sistema solar fotovoltaico conectado a red para el Centro Educativo “Hellen Keller”, Arequipa* [Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/10559>
- Cuchicóndor, S. (2019). *Estimación de irradiancia solar basada en modelos matemáticos y medición de variables eléctricas de paneles fotovoltaicos* (Vol. 1) [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20171/1/CD9640.pdf>
- Erazo, B. E. (2017). *Diseño eléctrico de una vivienda con paneles solares utilizando microinversores, conectados a la red mediante un medidor bidireccional* [UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/9106>
- Fernández, L. G., & Cervantes, A. (2017). *Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira*. <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1927/1/TESIS>



MER.pdf

- García, R. (2019). *Implementación de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red en la empresa INPUD* [Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas]. <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/handle/123456789/11654>
- Gómez, E. (2018). *Evaluación del desempeño de una instalación solar fotovoltaica de paneles mono cristalinos en el área metropolitana de Monterrey NL* [Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/16237>
- Gonza, H. (2018). *Estudio de factibilidad y rentabilidad de la micro generación fotovoltaica conectada a red, en la región de Arequipa*. [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7278/ELMgollh.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mantilla, M. A., Petit, J. F., & Ordóñez, G. (2014). Direct power control in grid-tied photovoltaic systems | Control directo de potencia aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados a la red. *Revista Facultad de Ingeniería*, 2377(72), 47–60. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302014000300005
- Máscaros, V. (2016). *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas* (Paraninfo (ed.); 1ra. Edici).
- MINEM. (2001). *Generación eléctrica a partir de fuentes nuevas: energía solar* [Ministerio de energía y minas - Atlas minería y Energía en el Perú]. https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/institucional/publicaciones/atlas/electricidad/energia_solar.pdf
- Monroy, K. J. (2022). “Evaluación del desempeño de operación de un microinversor



- enganchado a la red a 3800 metros de altitud, en la región altiplana, Puno*
[Universidad Nacional del Altiplano].
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/18064>
- Morróné, M. (2019). *Energía Solar Fotovoltaica*.
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/energia_solar_fotovoltaica_-_octubre_2019.pdf
- NTCSE. (1997). *Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos* [Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos].
https://www.osinergmin.gob.pe/cartas/documentos/electricidad/normativa/NTCSE_DS020-97-EM.pdf
- Ormaechea, C. (2012). Análisis comparativo de inversores fotovoltaicos de conexión a red con potencial igual o superior a 100 kW [Universidad Carlos III de Madrid]. In *Director*. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15497/PFC_Clara_Ormaechea_Ballesteros.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Paredes, P. I. (2017). *Diseño de un sistema de señalización utilizando sensores fotovoltaicos para la prevención de los efectos de la radiación solar para los estudiantes de la EPIE* [Universidad Nacional del Altiplano].
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3601>
- Pep, M. J. (2007). *Energía Solar Fotovoltaica*.
http://www.instalacionesindustriales.es/documentos/divrenovables/cuaderno_FOTOVOLTAICA.pdf
- Quispe, J. F. (2021). *Diseño y construcción de los sistemas de alimentación fotovoltaica para la reingeniería energética de un vehículo eléctrico para personas*



- discapacitadas para la región de Arequipa* [Universidad Autónoma San Francisco].
<http://repositorio.uasf.edu.pe/handle/UASF/606>
- Ramos, H., & Luna, R. (2014). *Diseño de una instalación fotovoltaico integrado a la red para el área de estacionamiento de la universidad tecnológica de Salamanca* [México].
[https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/521/1/Tesis Rafael Luna Puente%2C Humberto Ramos López.pdf](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/521/1/Tesis_Rafael_Luna_Puente%2C_Humberto_Ramos_López.pdf)
- Rodriguez, L. D. (2018). *Descripción del proceso de conexión de un sistema fotovoltaico a la red de energía eléctrica de estaciones aeroportuarias*.
<http://148.225.114.121/jspui/handle/unison/1686>
- Romero, J. F., & Flores, J. I. (2019). “*Estudio e implementación de un sistema de micro generación solar fotovoltaico para autoconsumo (caso de estudio considerando la regulación Nro. ARCONEL- 003/18)*” (Vol. 1) [Cuenca-Ecuador].
[http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/33564/1/Trabajo Titulación.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/33564/1/Trabajo_Titulación.pdf)
- Romero, P. (2018). *Estudio de alternativas para la implantación de una planta fotovoltaica en Illora (Granada)* [Universidad de Cantabria].
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/14855/PRG.pdf?sequence=1>
- S., J., S., T., G., M., J., B., J., F., J., S., & D., C. (2016). *Puesta en marcha y estudio de la operación en campo de microinversores de potencia para aplicaciones fotovoltaicas*. 4, 51–60.
- Saborío, M. (2018). *Propuesta de diseño de un sistema de generación fotovoltaica a nivel residencial* [Universidad Latina de Costa Rica, Campus Heredia].



- https://repositorio.ulatina.ac.cr/bitstream/20.500.12411/998/1/TFG_Ulatina_Mauricio_Saborio_Ordoñez.pdf
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación* (McGraw-Hill (ed.); Sexta Edic). <https://books.google.com.pe/books?id=5A2QDwAAQBAJ>
- Senamhi. (2003). *Atlas de energía solar del Perú*. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/343>
- Tavera, I. D., & Cardona, D. J. (2015). Utilización y análisis de microinversores en sistema de aire acondicionado híbrido con energía solar fotovoltaica y red convencional [Instituto Universitaria Pascual Bravo]. In *Ekp* (Vol. 13, Issue 3). https://repositorio.pascualbravo.edu.co/bitstream/pascualbravo/144/1/Rep_IUPB_Ing_Ele_Utilización.pdf
- Tecnología informática. (2022). Características de una computadora. Recuperado de <https://www.tecnologia-informatica.com/caracteristicas-de-una-computadora/>
- Tejada, J. (2018). *Caracterización de módulos fotovoltaicos e diversas tecnologías mediante la automatización de un sistema de medida instalado en un seguidor solar* [Universida Politécnica de Cartagena]. <http://hdl.handle.net/10317/7374>
- Trujillo, C. (2011). *Concepción de controladores reconfigurables para micrinversores fotovoltaicos operando como unidades autónomas de generación de energía en microrredes*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Vega, I. C., & Sutherland, K. G. (2020). *Diseño e Implementación de un prototipo de vehículo eléctrico basado en un sistema solar fotovoltaico con almacenamiento de carga y análisis de la eficiencia energética respecto a otros tipos de energía convencionales utilizadas en automóviles*. [Unidades Tecnológicas de Santander]. <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/3253>



- Vega, L. E. S. (2019). *Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a red de 3,7 kw para el laboratorio de electricidad y máquinas eléctricas del la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo* [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12893/3942>
- Velázquez, N. (2010). *Naturaleza de la E.S., Geometria Solar, Análisi del Clima y Estudio de disponibilidad del Recurso Solar.*
- Vilca, M. C. (2020). Diseño, implementación y análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red (sfcrs) de 2.16 kw con microinversor analizado en las condiciones geográficas y climatológicas de la ciudad de Juliaca. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 0, Issue 0).
<http://repositorio.unaj.edu.pe:8080/handle/UNAJ/116>

ANEXOS

ANEXO 1: Norma Técnica EM 080

**NORMA TECNICA DE EDIFICACION
EM080 INSTALACIONES CON ENERGIA
SOLAR**

En las siguientes tablas se muestran las características técnicas mínimas de los módulos fotovoltaicos que deberán ser proporcionados por el proveedor.

Características Físicas	Unidades
Altura	milímetros (mm)
Ancho	milímetros (mm)
Espesor	milímetros (mm)
Peso	kilogramos (kg)

Características Eléctricas	Unidades
Potencia pico (P _{máx})	watt (W)
Corriente cortocircuito (I _{sc})	ampere (A)
Tensión circuito abierto (V _{oc})	volt (V)
Corriente máxima potencia (I _{máx})	ampere (A)
Tensión máxima potencia (V _{máx})	volt (V)

6.2.2 LUGAR DE UBICACIÓN.

- Los paneles o módulos fotovoltaicos se pueden instalar en terrazas, tejados, patios, ventanas, balcones, paredes, cornisas, postes, etc. teniendo muy en cuenta que no deben existir obstáculos que les puedan dar sombra (como vegetación, nieve, tierra, elementos constructivos, otras edificaciones cercanas, otros módulos, etc.) al menos durante las horas centrales del día.
- Si se permite el montaje en los tejados, considere una separación adecuada entre los módulos y el tejado o cubierta para permitir la circulación del aire.
- Los paneles deben ser montados de tal manera que tengan un fácil acceso a los servicios de limpieza, mantenimiento así como los espacios mínimos para una buena circulación de los usuarios. Esto también se aplica a la batería y al controlador.
- Los paneles no deben colocarse cerca de fuentes contaminantes como chimeneas industriales de combustión, carreteras polvorientas, etc. así como de



ANEXO 2: Norma IEC 61215

ERICIAL USE OR REPRODUCTION

**NORMA
INTERNACIONAL**

**CEI
IEC
61215**

Segunda edición
2005-04

Versión en español

**Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para
uso terrestre**

Cualificación del diseño y homologación

- 5 -

61215 © IEC 2005

COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL

Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para uso terrestre

Cualificación del diseño y homologación

PRÓLOGO

- 1) IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) es una organización mundial para la normalización, que comprende todos los comités electrotécnicos nacionales (Comités Nacionales de IEC). El objetivo de IEC es promover la cooperación internacional sobre todas las cuestiones relativas a la normalización en los campos eléctrico y electrotécnico. Para este fin y también para otras actividades, IEC publica Normas Internacionales, Especificaciones Técnicas, Informes Técnicos, Recomendaciones Dependientes al Público (PAS) y Guías (de aquí en adelante "Publicaciones IEC"). Su elaboración se confía a los comités técnicos, cualquier Comité Nacional de IEC que esté interesado en el tema objeto de la norma puede participar en su elaboración. Organizaciones internacionales gubernamentales y no gubernamentales relacionadas con IEC también participan en la elaboración. IEC colabora estrechamente con la Organización Internacional de Normalización (ISO), de acuerdo con los condiciones determinados por acuerdo entre ambas.
- 2) Las decisiones firmadas o acordadas de IEC sobre materias técnicas, expresan en la medida de lo posible, un consenso internacional de opinión sobre los temas relativos a cada comité técnico en los que existe representación de todos los Comités.

ERICIAL USE OR REPRODUCTION

ANEXO 3: Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS
DIRECCIÓN GENERAL DE ELECTRICIDAD

NORMAS TÉCNICAS DE LOS SERVICIOS ELÉCTRICOS

1997-10-09.- D. S. N° 020-97-EM.- Aprueban la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (1997-10-11). Incluye modificaciones según Decreto Supremo N° 009-99-EM (1999-04-11), Decreto Supremo N° 013-2000-EM (2000-07-27), Decreto Supremo N° 040-2001-EM (2001-07-17), Decreto Supremo 004-2006-EM (2006-01-06), Decreto Supremo 026-2006-EM (2006-04-21), Decreto Supremo 002-2005-EM (2005-01-09), Decreto Supremo 015-2009-EM (2009-02-25), Decreto Supremo 059-2009-EM (2009-08-22), Decreto Supremo 057-2010-EM (2010-09-11) y Decreto Supremo 040-2011-EM (2011-07-20).

**DECRETO SUPREMO
N° 020-97-EM**

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA
CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Ley N° 25844, Ley de Concesiones Eléctricas y su Reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 009-93-EM, se dictaron normas para el desarrollo de las actividades de Generación, Transmisión, Distribución y Comercialización de la energía eléctrica;

Que, para asegurar un nivel satisfactorio de la prestación de los servicios eléctricos a que se

• *Fórmula N° 3 según D.S. N° 009-1999-EM, publicado el 1999. 04. 11*

5.2.3 Tolerancias.- Las tolerancias admitidas para variaciones sobre la frecuencia nominal, en todo nivel de tensión, son:

- Variaciones Sostenidas (Δf_s (%)) : $\pm 0.6\%$
- Variaciones Súbitas (VSF) : ± 1.0 Hz.
- Variaciones Diarias (IVDF) : ± 12.0 Ciclos.

5.2.3 Tolerancias.- Las tolerancias admitidas para variaciones sobre la frecuencia nominal, en todo nivel de tensión, son:

- Variaciones Sostenidas (Δf_s (%)) : $\pm 0.6\%$
- Variaciones Súbitas (VSF) : ± 1.0 Hz.
- Variaciones Diarias (IVDF) : ± 600.0 Ciclos.

• *Tolerancia sobre variaciones diarias según D.S. N° 009-1999-EM, publicado el 1999. 04. 11*

• *Nota 1.- El artículo 3° del D.S. N° 009-99-EM publicado el 1999. 04.11, dispone lo siguiente: "Incrementar en cincuenta por ciento (50%) las tolerancias del indicador Integral de Variaciones Diarias de Frecuencia (IVDF) para el Sistema Interconectado del Sur (SIS) y en cien por ciento (100%) para los Sistemas Aislados Mayores. Se incrementan en la misma proporción los límites del parámetro M_{12} contenidos en la tabla N° 4 del numeral 5.2.6 para el cálculo de compensaciones en tales sistemas.*

Los incrementos a que se hacen referencia en el párrafo que antecede, serán aplicables hasta la interconexión del SIS al Sistema Interconectado Centro Norte (SICN); y para el caso de los Sistemas Aislados Mayores, hasta cuando éstos se interconecten a un sistema mayor. De producirse las situaciones previstas, serán de aplicación las tolerancias establecidas para el sistema mayor.

Para efectos de este artículo, se considera como Sistema Aislado Mayor a todo sistema eléctrico cuya potencia instalada, en generación, es mayor de 3 MW y menor de 100 MW.?"