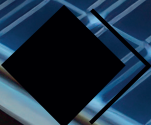


Junior Torres Yucra
Juan Churata Huaraya
Huber Rony Hurtado Arhuata
Vilma Sarmiento Mamani
Reynaldo Condori Yucra

Julissa Condori Ramos
Fredy Gonzalo Copari Romero
Norman Jesús Beltrán Castañón
María Del Carmen Ponce Mejía
Washington Miguel Soncco Vilcapaza

INNOVACIÓN Y EVALUACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

UN ENFOQUE EN BRASIL Y PERÚ



científica digital



EDITORA CIENTÍFICA DIGITAL LTDA

Guarujá - São Paulo - Brasil

www.editoracientifica.com.br - contato@editoracientifica.com.br

Diagramação e Arte	Edição © 2025 Editora Científica Digital
Equipe Editorial	Texto © 2025 Os Autores
Imagens da Capa	1ª Edição - 2025
Adobe Stock - 2025	Acesso Livre - Open Access



© COPYRIGHT DIREITOS RESERVADOS. A editora detém os direitos autorais pela edição e projeto gráfico. Os autores detêm os direitos autorais dos seus respectivos textos. Esta obra foi licenciada com uma Licença de Atribuição Creative Commons – Atribuição 4.0 Internacional, permitindo o download e compartilhamento integral ou em partes, desde que seja citada a fonte, com os créditos atribuídos aos autores e obrigatoriamente no formato Acesso Livre (Open Access) e sem a possibilidade de alteração de nenhuma forma. É proibida a catalogação em plataformas com acesso restrito e/ou com fins comerciais.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

I58 Innovación y evaluación de sistemas fotovoltaicos: un enfoque en Brasil y Perú / Junior Torres Yucra, Juan Churata Huaraya, Huber Rony Hurtado Arhuata, et al. – Guarujá-SP: Científica Digital, 2025.

Outros autores: Vilma Sarmiento Mamani, Reynaldo Condori Yucra, Julissa Condori Ramos, Fredy Gonzalo Copari Romero, Norman Jesús Beltrán Castañón, María Del Carmen Ponce Mejía, Washington Miguel Soncco Vilcapaza.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui Bibliografia

ISBN 978-65-5360-962-4

DOI 10.37885/978-65-5360-962-4

1. Brasil. 2. Peru. 3. Engenharia elétrica. I. Yucra, Junior Torres. II. Huaraya, Juan Churata. III. Arhuata, Huber Rony Hurtado. IV. Título.

CDD 980

Elaborado por Janaína Ramos – CRB-8/9166

Índice para catálogo sistemático:

I. Brasil : Peru

E-BOOK

ACESSO LIVRE ON LINE - IMPRESSÃO PROIBIDA

2025

Junior Torres Yucra	Julissa Condori Ramos
Juan Churata Huaraya	Fredy Gonzalo Copari Romero
Huber Rony Hurtado Arhuata	Norman Jesús Beltrán Castañón
Vilma Sarmiento Mamani	María Del Carmen Ponce Mejía
Reynaldo Condori Yucra	Washington Miguel Soncco Vilcapaza

Innovación y Evaluación de Sistemas Fotovoltaicos: un enfoque en Brasil y Perú

1ª EDIÇÃO



científica digital

2025 - GUARUJÁ - SP

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. André Cutrim Carvalho
Prof. Dr. Antônio Marcos Mota Miranda
Profª. Ma. Auristela Correa Castro
Prof. Dr. Carlos Alberto Martins Cordeiro
Prof. Dr. Carlos Alexandre Oelke
Profª. Dra. Caroline Nóbrega de Almeida
Profª. Dra. Clara Mockdece Neves
Profª. Dra. Claudia Maria Rinhel-Silva
Profª. Dra. Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco
Prof. Dr. Cristiano Marins
Profª. Dra. Cristina Berger Fadel
Prof. Dr. Daniel Luciano Gevehr
Prof. Dr. Diogo da Silva Cardoso
Prof. Dr. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes
Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves
Profª. Dra. Fernanda Rezende
Prof. Dr. Flávio Aparecido de Almeida
Profª. Dra. Francine Náthalie Ferraresi Queluz
Profª. Dra. Geuciane Felipe Guerim Fernandes

Prof. Dr. Humberto Costa
Prof. Dr. Joachin Melo Azevedo Neto
Prof. Dr. Jónata Ferreira de Moura
Prof. Dr. José Aderval Aragão
Prof. Me. Julianno Pizzano Ayoub
Prof. Dr. Leonardo Augusto Couto Finelli
Prof. Dr. Luiz Gonzaga Lapa Junior
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva
Profª. Dra. Maria Cristina Zago
Profª. Dra. Maria Otília Zangão
Prof. Dr. Mário Henrique Gomes
Prof. Dr. Nelson J. Almeida
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes
Prof. Dr. Pedro Afonso Cortez
Prof. Dr. Reinaldo Pacheco dos Santos
Prof. Dr. Rogério de Melo Grillo
Profª. Dra. Rosenery Pimentel Nascimento
Prof. Dr. Rossano Sartori Dal Molin
Prof. Me. Silvio Almeida Junior
Profª. Dra. Thays Zigante Furlan Ribeiro
Prof. Dr. Wescley Viana Evangelista
Prof. Dr. Willian Carboni Viana
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Acesse a lista completa dos Membros do Conselho Editorial em www.editoracientifica.com.br/conselho

Parecer e revisão por pares

Este livro é fruto de uma pesquisa científica dedicada às atividades de ciência e tecnologia. Antes de sua publicação, os textos que compõem esta obra foram submetidos à avaliação criteriosa do Conselho Editorial e à revisão por pares acadêmicos externos (Peer Review), sendo, posteriormente, recomendados para publicação.

Nota: Esta é uma produção independente, tornando-se uma obra com reservas de direitos autorais para os autores. Alguns textos podem ser derivados de outros trabalhos já apresentados ou defendidos, todavia, os autores foram instruídos ao cuidado com o autoplágio. A responsabilidade pelo conteúdo é exclusiva dos autores, não representando, necessariamente, a opinião da editora, tampouco dos organizadores, revisores e membros do Conselho Editorial.

RESUMEN

La energía solar fotovoltaica se ha convertido en una parte esencial para la transición hacia fuentes de energía renovable, ofreciendo soluciones sostenibles para la generación de electricidad en todo el mundo. Este libro explora la evolución, innovación y evaluación de sistemas fotovoltaicos con un enfoque en Brasil y Perú, dos países que, gracias a sus condiciones geográficas privilegiadas, representan casos destacados en América Latina. Brasil, con políticas públicas sólidas y avances tecnológicos, lidera la región en adopción fotovoltaica, mientras que Perú sobresale por su potencial solar en regiones como Puno y Juliaca, promoviendo proyectos de electrificación rural y generación distribuida. A través de métodos de caracterización en laboratorio y campo, el análisis de factores ambientales, tecnológicos y operativos, y la implementación de normas técnicas avanzadas, se profundiza en la optimización de estos sistemas. Además, el libro contiene y amplía las investigaciones previas realizadas en trabajo de investigación titulada "Evaluación y Caracterización de un Sistema Fotovoltaico Conectado a La Red de 3.24 kW Con Inversor String Bajo Norma Técnica Brasileña ABNT-NBR-16274 A 3824 msnm" presentada en la Universidad Nacional del Altiplano, integrando hallazgos técnicos y científicos que aportan al desarrollo sostenible de esta tecnología. Este trabajo, dirigido a estudiantes, investigadores y profesionales, no solo resalta la importancia de los sistemas fotovoltaicos para descarbonizar la matriz energética, sino que también subraya su rol primordial en la promoción de un futuro más limpio y sostenible, tanto en América Latina como a nivel global.

Palabras Clave: Brasil y Energía Fotovoltaica, Evaluación de Sistemas Solares, Impacto de Condiciones Ambientales, Innovación en Módulos Solares, Potencial Solar en Perú.

ABSTRACT

Solar photovoltaics have become an essential part of the transition towards renewable energy sources, offering sustainable solutions for electricity generation worldwide. This book explores the evolution, innovation and evaluation of photovoltaic systems with a focus on Brazil and Peru, two countries that, thanks to their privileged geographical conditions, represent outstanding cases in Latin America. Brazil, with solid public policies and technological advances, leads the region in photovoltaic adoption, while Peru stands out for its solar potential in regions such as Puno and Juliaca, promoting rural electrification and distributed generation projects. Through laboratory and field characterization methods, the analysis of environmental, technological and operational factors, and the implementation of advanced technical standards, the optimization of these systems is deepened. Furthermore, the book continues and expands on previous research conducted in the research paper entitled "Evaluation and Characterization of a 3.24 kW Grid-Connected Photovoltaic System with String Inverter Under Brazilian Technical Standard ABNT-NBR-16274 at 3824 masl" presented at the National University of Altiplano, integrating technical and scientific findings that contribute to the sustainable development of this technology. This work, aimed at students, researchers and professionals, not only highlights the importance of photovoltaic systems in decarbonizing the energy matrix, but also underlines their essential role in promoting a cleaner and more sustainable future, both in Latin America and globally.

Keywords: Brazil and Photovoltaic Energy, Evaluation of Solar Systems, Impact of Environmental Conditions, Innovation in Solar Modules, Solar Potential in Peru.

SUMÁRIO

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I	
1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN BRASIL Y SU PERSPECTIVA GLOBAL	13
1.1 INTRODUCCIÓN	13
1.2 PANORAMA DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN BRASIL	14
1.2.1 Potencial solar de Brasil	14
1.2.2 Situación actual del sector fotovoltaico	15
1.2.3 Políticas y regulaciones	16
1.2.4 Desafíos locales	16
1.3 IMPACTO GLOBAL DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BRASIL	16
1.4 PERSPECTIVAS FUTURAS	17
1.4.1 Innovación tecnológica y avances en Brasil	17
1.4.2 Integración en mercados globales	18
CAPÍTULO II	
2 METODOS DE CARACTERIZACION DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	19
2.1 INTRODUCCIÓN	19
2.2 MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN EN LABORATORIO	20
2.2.1 Caracterización de Módulos Fotovoltaicos	20
2.2.2 Caracterización de Materiales Fotovoltaicos	20
2.2.3 Innovaciones en Métodos de Laboratorio	21
2.3 MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN EN CAMPO	21
2.3.1 Monitoreo del Rendimiento Energético	22
2.3.2 Métodos de Diagnóstico en Sitio	22
2.3.3 Evaluación de Factores Ambientales	23
2.4 NORMAS Y PROTOCOLOS DE ENSAYO	23

2.4.1 Normas Internacionales	23
2.4.2 Normas para Caracterización de Módulos y Materiales	24
2.4.3 Protocolos Avanzados y Regionales.....	24

CAPÍTULO III

3 CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y SU APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL PERÚ

3.1 ENERGÍA SOLAR.....	25
3.2 HORAS SOLAR PICO (H.S.P).....	26
3.3 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	27
3.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	27
3.5 CLASIFICACIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	28
3.6 PARÁMETROS DE UN PANEL SOLAR.....	29
3.7 CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO	30
3.7.1 Sistema fotovoltaico aislado	31
3.7.2 Sistema fotovoltaico conectado a la red	32
3.8 LA ENERGÍA SOLAR EN EL PERÚ - PUNO - JULIACA.....	34
3.9 OPERACIÓN DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS CON SOMBREA MIENTO PARCIAL, TOTAL, NULO.....	34
3.10 SUBASTA DE ELECTRICIDAD CON RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES	35
3.11 SUBASTA DE ELECTRICIDAD CON RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES	35
3.12 ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE LA ENERGÍA SOLAR Y SUS EVALUACIONES	36

CAPÍTULO IV

4 EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED DE 3.24 KW CON INVERSOR STRING BAJO NORMA TÉCNICA BRASILEÑA ABNT-NBR-16274 A 3824

4.1 INTRODUCCIÓN	39
4.2 ENUNCIADOS DEL PROBLEMA	40
4.2.1 Enunciado general.....	40
4.2.2 Enunciados específicos.....	40
4.3 JUSTIFICACIÓN.....	40
4.3.1 Justificación social.....	40

4.3.2 Justificación económica	41
4.4 OBJETIVOS	41
4.4.1 Objetivo general	41
4.4.2 Objetivos específicos	41
4.5 HIPÓTESIS	41
4.5.1 Hipótesis general	41
4.5.2 Hipótesis específicas	41
4.6 MATERIALES Y MÉTODOS	42
4.6.1 Lugar de estudio	42
4.6.2 Población	43
4.6.3 Muestra	44
4.6.4 Método de investigación	44
4.6.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	44
4.6.5.1 Caracterización de la curva I-V en la salida en DC del generador FV a la salida y entrada al inversor, según la Norma Técnica Brasileña ABNT-NBR-16274	45
4.6.5.2 Medición de la curva I-V: Potencia del conjunto F.V.	46
4.6.5.3 Medición de la curva I-V: Identificación de efectos en módulos/conjuntos fotovoltaicos o problemas de sombreado	47
4.6.5.4 Evaluación del desempeño del SFCR	50
4.6.5.5 Medición de la potencia nominal del sistema fotovoltaico	50
4.6.5.6 Resolución de problemas (opcional)	51
4.6.5.7 Resolución de problemas (opcional)	51
4.6.5.8 Análisis de las causas de los problemas	51
4.6.5.9 Primera lectura de medidores de energía	52
4.6.5.10 Medida de irradiancia, temperatura de celda y potencia a la entrada a la salida del inversor ... 52	
4.6.5.11 Proyección de rendimiento global (PR) anual	52
4.7 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	53
4.7.1 Caracterización de la curva I-V en la salida en DC del generador FV a la salida y entrada al inversor, según la NORMA TÉCNICA BRASILEÑA ABNT-NBR-16274	53
4.7.1.1 Información básica del SFCR	53
4.7.1.2 Información del proyectista - instalador del SFCR	55

4.7.1.3 Esquema de conexiones	56
4.7.1.4 Estructuras de soporte del generador fotovoltaico.....	56
4.7.1.5 Operación y mantenimiento durante la puesta en marcha de la planta.....	57
4.7.1.6 Curva I-V	61
4.7.2 Determinar la potencia nominal del sistema fotovoltaico conectado a la red según la norma técnica brasileña ABNT-NBR-16274.....	62
4.7.3 Proyección del desempeño global en la salida en AC del inversor string con MPPT, según la norma técnica brasileña ABNT-NBR-16274.....	64
4.8 CONCLUSIONES.....	66
4.9 RECOMENDACIONES.....	68

CAPÍTULO V

5 FACTORES DETERMINANTES EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	69
5.1 INTRODUCCIÓN	69
5.2 FACTORES AMBIENTALES	69
5.2.1 Radiación Solar	69
5.2.2 Temperatura Ambiental y del Módulo	70
5.2.2.1 Impacto de la Temperatura en el Rendimiento	71
5.2.2.2 Factores que Contribuyen al Calentamiento del Módulo	71
5.2.2.3 Estrategias para Mitigar el Impacto de la Temperatura	71
5.2.2.4 Evaluación de la Temperatura Operativa del Módulo (NOCT)	72
5.2.2.5 Importancia del Monitoreo de la Temperatura	72
5.2.3 Condiciones Climáticas.....	72
5.2.3.1 Efectos de la Nubosidad y la Intermitencia Solar.....	72
5.2.3.2 Impacto de la Humedad y las Precipitaciones	73
5.2.3.3 Influencia del Polvo y los Contaminantes Atmosféricos.....	73
5.2.3.4 Rol del Viento y la Ventilación Natural	73
5.2.3.5 Estrategias de Mitigación	73
5.2.4 Acumulación de Suciedad y Polvo (Soiling)	74
5.2.4.1 Efectos del Ensuciamiento en el Rendimiento.....	74
5.2.4.2 Factores que Contribuyen al Ensuciamiento	74
5.2.4.3 Impactos Económicos del Ensuciamiento.....	75

5.2.4.4 Estrategias para Mitigar el Ensuciamiento	75
5.3 FACTORES TECNOLÓGICOS	75
5.3.1 Materiales de las Células Solares.....	75
5.3.1.1 Tipos de Materiales en las Células Solares.....	75
5.3.1.2 Impacto de los Materiales en el Rendimiento y la Sostenibilidad.....	77
5.3.1.3 Tendencias Futuras y Desafíos	77
5.3.2 Diseño y Configuración del Sistema.....	77
5.3.3 Degradación de los Módulos	79
5.4 FACTORES OPERATIVOS	81
5.4.1 Monitoreo y Mantenimiento.....	81
5.4.1.1 Importancia del Monitoreo	81
5.4.1.2 Prácticas de Mantenimiento en Sistemas Fotovoltaicos.....	82
5.4.1.3 Impacto del Monitoreo y Mantenimiento en el Rendimiento	82
5.4.1.4 Desafíos y Mejores Prácticas	83
5.4.2 Pérdidas en el Sistema.....	83
5.4.3 Vida Útil del Sistema.....	84
REFERENCIAS	85

INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, posicionándose como una solución viable para satisfacer las necesidades energéticas globales de manera sostenible. Países como Brasil y Perú, con una irradiación solar privilegiada, han liderado esfuerzos notables en la implementación y optimización de esta tecnología en América Latina. La diversidad climática, geográfica y socioeconómica de estas regiones ofrece un contexto único para analizar los desafíos y oportunidades en el desarrollo de sistemas fotovoltaicos.

Brasil ha avanzado considerablemente en la adopción de sistemas fotovoltaicos, respaldado por políticas públicas, inversiones en tecnología e infraestructura, y una normativa técnica sólida. Este progreso ha consolidado al país como líder regional en energía solar, con proyectos de gran escala y un mercado en constante expansión (ANEEL, 2025). Por otro lado, Perú destaca por su potencial solar en regiones como Puno y Juliaca, donde se presentan condiciones ideales para el desarrollo de proyectos de generación distribuida y electrificación rural (MINEM, 2021).

La importancia de caracterizar y evaluar los sistemas fotovoltaicos radica en su capacidad para garantizar un desempeño eficiente y sostenible. Métodos avanzados de ensayo en laboratorio y campo, así como la implementación de normas internacionales, son fundamentales para optimizar su rendimiento y reducir costos. Además, factores como las condiciones ambientales, los materiales utilizados y las estrategias de operación y mantenimiento son determinantes en la vida útil y la rentabilidad de estos sistemas (Fraunhofer ISE, 2021).

Este libro incluye y amplía las investigaciones realizadas en la tesis titulada "Evaluación Y Caracterización De Un Sistema Fotovoltaico Conectado A La Red De 3.24 Kw Con Inversor String Bajo Norma Técnica Brasileña ABNT-NBR-16274 A 3824 msnm" presentada en la Universidad Nacional del Altiplano en 2023, enfocada en la evaluación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red bajo normativa brasileña. La integración de estos hallazgos permite un análisis más profundo y relevante sobre el impacto y las perspectivas de esta tecnología en el contexto regional y global. En un momento donde la transición energética es una prioridad global, el estudio y la implementación de sistemas fotovoltaicos desempeñan un rol esencial en la descarbonización de la matriz energética y en la promoción de un desarrollo sostenible.

CAPÍTULO I

1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN BRASIL Y SU PERSPECTIVA GLOBAL

1.1 Introducción

Los sistemas fotovoltaicos, que convierten la luz solar en electricidad, son fundamentales en la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. A nivel mundial, la energía solar ha experimentado un crecimiento notable, consolidándose como una de las principales alternativas a los combustibles fósiles (Guterres, 2024). En este contexto, Brasil emerge como un actor importante debido a su alto potencial solar y a las políticas implementadas para aprovecharlo.

Brasil, con su privilegiada ubicación geográfica y alta radiación solar en diversas regiones, ha incrementado significativamente su capacidad de energía renovable, aprovechando su potencial solar y eólico. Este compromiso ha posicionado al país como líder en la transición energética en América Latina (Foro Económico Mundial, 2024). La energía solar se ha convertido en la segunda fuente de electricidad de Brasil, solo por detrás de la hidroeléctrica (Dialogue Earth, 2024).

El desarrollo de los sistemas fotovoltaicos en Brasil no solo contribuye a la diversificación de su matriz energética, sino que también tiene implicaciones en el mercado energético global. La expansión de la energía solar en el país ha superado las previsiones más optimistas, consolidándose como una de las principales fuentes de electricidad a nivel mundial (Martín, 2024).

Este capítulo tiene como objetivo analizar el estado actual de los sistemas fotovoltaicos en Brasil, explorando su desarrollo, las políticas que han facilitado su crecimiento y los desafíos que enfrenta. Además, se evaluará la perspectiva de Brasil en el contexto mundial de la energía solar, considerando cómo su experiencia puede servir de referencia para otros países en la transición hacia energías renovables.

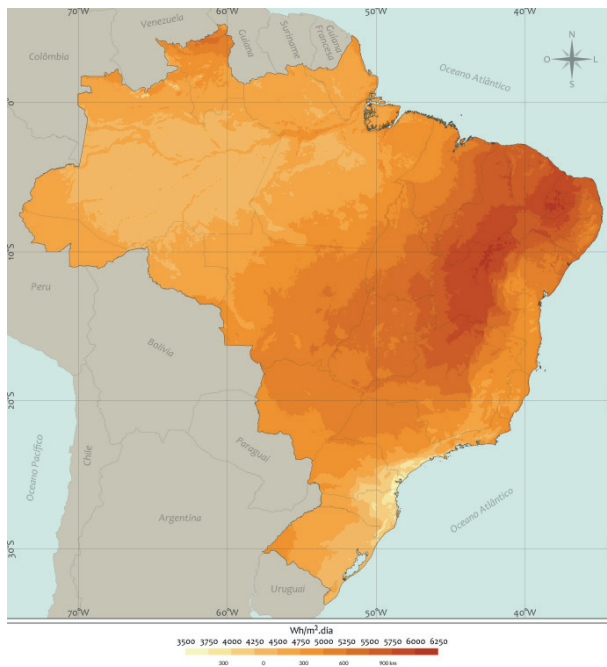
1.2 Panorama de los sistemas fotovoltaicos en Brasil

1.2.1 Potencial solar de Brasil

Brasil posee un notable potencial para la generación de energía solar, gracias a su vasta extensión territorial y a una alta incidencia de radiación solar en la mayor parte de su territorio. Según el Atlas Brasileño de Energía Solar, desarrollado por el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), el país recibe una irradiación solar promedio que varía entre 4,5 y 6,5 kWh/m²/día, dependiendo de la región (Pereira *et al.*, 2017).

Esta abundante disponibilidad de recursos solares posiciona a Brasil como uno de los países con mayor potencial para la generación de energía solar en el mundo. Estudios indican que, incluso en las regiones menos favorecidas, la radiación solar en Brasil supera a la de países líderes en energía solar, como Alemania (De Pierro, 2017).

Figura 1 - Radiación total global horizontal INPE - Brasil.



El potencial solar brasileño se distribuye de manera relativamente uniforme a lo largo del territorio nacional, con variaciones que permiten identificar áreas especialmente propicias para la instalación de sistemas fotovoltaicos. Por ejemplo, el noreste de Brasil se destaca por su alta irradiación solar, lo que ha incentivado la implementación de numerosos proyectos de energía solar en esa región (Gabrielle, 2023).

1.2.2 Situação atual do setor fotovoltaico

Brasil ha alcanzado un crecimiento notable en el sector fotovoltaico, con una capacidad instalada de 52 GW en 2024, representando un aumento del 40% respecto al año anterior (Ewind, 2025). Este avance ha posicionado al país como el sexto en capacidad solar instalada a nivel mundial (Neves, 2024). Como se muestra en Clasificación mundial de las fuentes solares fotovoltaicas (IRENA, 2024).

Figura 2 - Clasificación mundial de las fuentes solares fotovoltaicas.

Capacidade instalada anual			Capacidade instalada acumulada			
1º		China	216.9 GW	1º	 China	609.3 GW
2º		EUA	24.8 GW	2º	 EUA	137.7 GW
3º		Alemanha	14.2 GW	3º	 Japão	87.1 GW
4º		Brasil	11.9 GW	4º	 Alemanha	81.7 GW
5º		Índia	9.7 GW	5º	 Índia	72.7 GW
6º		Itália	5.2 GW	6º	 Brasil	37.4 GW
7º		Espanha	4.8 GW	7º	 Austrália	33.6 GW
8º		Japão	4.0 GW	8º	 Itália	29.8 GW
9º		Austrália	3.7 GW	9º	 Espanha	28.7 GW
10º		Polónia	3.6 GW	10º	 República da Coreia	27.0 GW



Associação Brasileira
do Setor
Global
Solar Council

Fonte: IRENA, Renewable capacity statistics, 2024. Adaptada pela ABSOLAR.



Fonte: IRENA, Renewable capacity statistics, 2024. Adaptada pela ABSOLAR.

Fuente: IRENA, Renewable energy statistics 2024, Adaptada por ABSOLAR.

El crecimiento se distribuye entre plantas centralizadas y generación distribuida, siendo esta última esencial para el incremento en instalaciones residenciales y comerciales (Neves, 2024). En términos de inversión, el sector atrajo aproximadamente 38.900 millones de reales en 2024 (NBamericas, 2024).

1.2.3 Políticas y regulaciones

En 2022, Brasil aprobó la Ley N.º 14.300, que establece el marco legal para la micro y mini generación distribuida. Esta ley regula la generación de energía eléctrica por parte de consumidores que producen su propia energía a partir de fuentes renovables, incluyendo la solar fotovoltaica. La Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL) ha implementado medidas para estimular aún más el sector solar, facilitando la integración de estas fuentes en la matriz energética nacional.

1.2.4 Desafíos locales

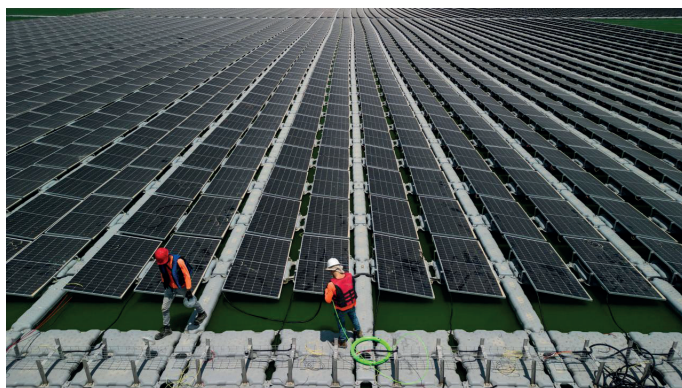
A pesar de los avances, existen desafíos en la implementación de políticas que permitan un desarrollo equitativo del sector. La Asociación Brasileña de Energía Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) ha señalado la necesidad de corregir desequilibrios en los subsidios para las energías renovables, enfatizando la importancia de incentivos adecuados para garantizar un crecimiento sostenible.

Se puede afirmar que Brasil ha avanzado significativamente en la creación de un entorno regulatorio favorable para la energía solar fotovoltaica, mediante incentivos fiscales y la implementación de marcos legales específicos. No obstante, es esencial continuar ajustando estas políticas para enfrentar los desafíos y asegurar un desarrollo inclusivo y sostenible del sector.

1.3 Impacto Global de los Sistemas Fotovoltaicos de Brasil

El avance de Brasil en el sector de los sistemas fotovoltaicos ha generado un impacto significativo en el contexto global. Su posición como líder en energías renovables en América Latina y su constante crecimiento en la capacidad instalada de energía solar lo han convertido en un referente para países en vías de desarrollo y economías emergentes, tal como se muestra en la figura "Clasificación mundial de las fuentes solares fotovoltaicas".

Figura 3 - Las obras, que forman parte de la propuesta de una nueva política industrial en Brasil.



1.4 Perspectivas Futuras

1.4.1 Innovación tecnológica y avances en Brasil

Brasil ha experimentado avances significativos en el ámbito de la energía solar fotovoltaica, consolidándose como un referente en innovación tecnológica dentro de este sector. Se destacan algunos de los desarrollos más relevantes (ACETECH, 2024):

- Los precios han disminuido notablemente, pasando de más de 100 USD/MWh en 2013 a aproximadamente 32 USD/MWh en 2022, alcanzando un mínimo histórico de poco más de 20 USD/MWh en 2019.
- El proyecto UFF Araucária, la mayor planta solar flotante de Brasil, cuenta con 10,500 paneles solares ubicados en la superficie del agua.
- Proyectos como Ilumina Pantanal del Grupo Energisa han desarrollado metodologías para suministrar energía a través de sistemas individuales de generación solar fotovoltaica y almacenamiento en baterías de litio, ampliando el acceso a energías renovables en regiones remotas.
- Empresas como Nextracker han ampliado sus Centros de Excelencia Solar en Brasil, dedicados al avance de la tecnología de seguimiento solar.
- La planta solar Luzia, operada por Neoenergia, cuenta con 228,000 paneles y representa un paso significativo en la expansión de la capacidad instalada de energía solar en el país.

1.4.2 Integración en mercados globales

Brasil se ha posicionado como líder en el sector de energía solar fotovoltaica, alcanzando una capacidad instalada de 52 GW en 2025, lo que refleja inversiones acumuladas superiores a los 39 mil millones de dólares desde 2012 (Pv magazine LatAm, 2025). Este crecimiento ha permitido que el país participe activamente en cadenas de suministro internacionales y atraiga a empresas multinacionales, fortaleciendo su integración en los mercados globales.

Además, Brasil ha avanzado en la regulación para exportar excedentes de energía renovable a países vecinos como Argentina y Uruguay, promoviendo la cooperación energética regional (Energía Estratégica, 2019). El sector ha generado más de 1,5 millones de empleos verdes, contribuyendo significativamente al desarrollo económico sostenible del país (Pv magazine LatAm, 2025).

Figura 4 - Planta solar Capão Seco, en Brasília, DF.



Sin embargo, enfrenta desafíos relacionados con la infraestructura y políticas inclusivas. A pesar de ello, Brasil se mantiene como un referente en la transición energética global y en la promoción de energías limpias.

CAPÍTULO II

2 METODOS DE CARACTERIZACION DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

2.1 Introducción

La caracterización de los sistemas fotovoltaicos es un proceso fundamental para garantizar su eficiencia, durabilidad y óptimo desempeño en diversas condiciones de operación. Este procedimiento abarca el análisis de los módulos, componentes y materiales que conforman estos sistemas, evaluando su rendimiento bajo condiciones específicas de laboratorio y campo (Nie *et al.*, 2022). La importancia de la caracterización radica en que permite identificar pérdidas energéticas, optimizar diseños y desarrollar tecnologías más avanzadas, contribuyendo a la transición energética global y a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (Fraunhofer ISE, 2021).

En Brasil, el auge de la energía solar fotovoltaica ha impulsado la necesidad de implementar métodos de caracterización más rigurosos y adaptados a las condiciones climáticas locales. Esto no solo mejora la integración de los sistemas en el mercado energético nacional, sino que también fortalece la posición del país en la industria global de energías renovables (ANEEL, 2023). La caracterización también permite evaluar el impacto de factores ambientales como radiación solar, temperatura y suciedad, que son determinantes en el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos (Iranmanesh *et al.*, 2020).

Por último, la implementación de estándares internacionales y la adopción de nuevas tecnologías, como la inteligencia artificial y el modelado computacional, están transformando los métodos de caracterización, haciéndolos más precisos y eficientes. Esto subraya la necesidad de un enfoque integral que combine análisis técnicos, ambientales y económicos para garantizar la sostenibilidad de los sistemas fotovoltaicos (IRENA, 2021).

2.2 Métodos de Caracterización en Laboratorio

Los métodos de caracterización en laboratorio son esenciales para evaluar el rendimiento, la durabilidad y la confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos bajo condiciones controladas. Estos métodos permiten identificar las propiedades físicas y eléctricas de los módulos y materiales, contribuyendo al desarrollo de tecnologías más eficientes y resistentes (Fraunhofer ISE, 2021).

2.2.1 Caracterización de Módulos Fotovoltaicos

La evaluación de los módulos fotovoltaicos incluye mediciones bajo condiciones estándar de prueba (Standard Test Conditions, STC), que consideran una irradiancia de 1.000 W/m^2 , una temperatura de $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y un espectro de referencia AM1.5 (IEC, 2020b). Las pruebas de curva corriente-voltaje (I-V) son fundamentales para determinar parámetros como la potencia máxima (Pmax), el voltaje en circuito abierto (Voc) y la corriente de cortocircuito (Isc) (Nie *et al.*, 2022).

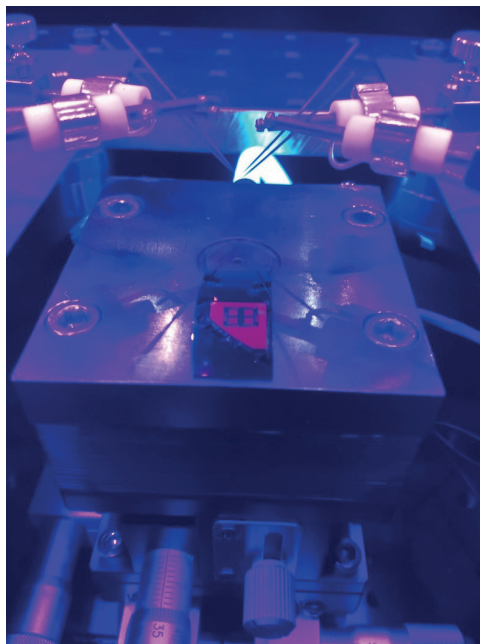
Además, se realizan pruebas de degradación acelerada mediante cámaras climáticas que simulan condiciones extremas, como altas temperaturas, humedad y ciclos térmicos. Estas pruebas permiten prever el comportamiento de los módulos a largo plazo y garantizar su durabilidad en distintas condiciones ambientales (Barragán-Escandón *et al.*, 2020).

2.2.2 Caracterización de Materiales Fotovoltaicos

El análisis de los materiales utilizados en la fabricación de células solares incluye el estudio de sus propiedades ópticas, eléctricas y mecánicas. Métodos como la espectroscopia de reflectancia y absorción permiten evaluar la capacidad del material para captar y convertir la luz solar en electricidad (IRENA, 2021).

La movilidad de los portadores de carga y la resistividad del material son analizadas mediante técnicas como la medición de efecto Hall y la espectroscopía de impedancia eléctrica. Estas pruebas son importantes para optimizar la eficiencia de conversión energética en las células solares. El uso de tecnologías avanzadas, como simuladores solares con espectros ajustables y herramientas de caracterización en tiempo real, ha revolucionado los métodos de laboratorio.

Figura 5 - caracterización de células solares - Instituto De Energía Solar. E.T.S.I.



Estas innovaciones permiten obtener datos más precisos y rápidos, reduciendo los costos y tiempos asociados al desarrollo de nuevos sistemas fotovoltaicos (Fraunhofer ISE, 2021).

2.2.3 Innovaciones en Métodos de Laboratorio

El uso de tecnologías avanzadas, como simuladores solares con espectros ajustables y herramientas de caracterización en tiempo real, ha revolucionado los métodos de laboratorio. Estas innovaciones permiten obtener datos más precisos y rápidos, reduciendo los costos y tiempos asociados al desarrollo de nuevos sistemas fotovoltaicos (Fraunhofer ISE, 2021).

2.3 Métodos de Caracterización en Campo

La caracterización de sistemas fotovoltaicos en campo se realiza para evaluar el rendimiento y la eficiencia de los módulos en condiciones reales de operación. Estos métodos son esenciales para identificar pérdidas energéticas,

optimizar el diseño del sistema y garantizar un funcionamiento confiable a lo largo de su vida útil (Fraunhofer ISE, 2021).

2.3.1 Monitoreo del Rendimiento Energético

El monitoreo de sistemas fotovoltaicos en campo incluye la medición continua de parámetros clave como la potencia generada, el voltaje, la corriente y la temperatura del módulo. Los sistemas de monitoreo suelen estar equipados con sensores para registrar condiciones ambientales como irradiancia solar, temperatura ambiente y velocidad del viento (Iranmanesh *et al.*, 2020).

Figura 6 - sistema de monitoreo de energía solar.



Las mediciones de eficiencia energética bajo condiciones reales son fundamentales para detectar discrepancias entre la energía generada y la proyectada durante la etapa de diseño. Esto permite identificar factores como suciedad, sombras y degradación, que afectan el rendimiento del sistema (IRENA, 2021).

2.3.2 Métodos de Diagnóstico en Sitio

La termografía infrarroja es una técnica ampliamente utilizada para identificar defectos en módulos fotovoltaicos, como puntos calientes, celdas dañadas o conexiones deficientes. Este método permite inspeccionar rápidamente grandes áreas sin necesidad de desconectar el sistema (Barragán-Escandón *et al.*, 2020).

En instalaciones más extensas, el uso de drones equipados con cámaras térmicas y ópticas se ha convertido en una herramienta eficiente para realizar diagnósticos detallados, especialmente en ubicaciones remotas. Por otro lado, las pruebas de curva corriente-voltaje (I-V) en condiciones de operación permiten evaluar el desempeño eléctrico del sistema, comparando su rendimiento real con los valores teóricos definidos en laboratorio (Nie *et al.*, 2022).

2.3.3 Evaluación de Factores Ambientales

Las condiciones ambientales desempeñan un rol fundamental en la eficiencia y el desempeño de los sistemas fotovoltaicos instalados en campo. La radiación solar, la temperatura del módulo y la acumulación de suciedad son variables que pueden reducir significativamente la eficiencia del sistema. Para mitigar estos efectos, se implementan estrategias como la limpieza programada de módulos y el ajuste óptimo de la orientación e inclinación del sistema. Además, se utilizan simulaciones para prever cómo estas variables afectan el rendimiento anual del sistema (IRENA, 2021).

2.4 Normas y Protocolos de Ensayo

La caracterización de sistemas fotovoltaicos está regulada por estándares y protocolos internacionales que garantizan la calidad, confiabilidad y seguridad de los módulos y componentes. Estas normas abarcan pruebas de rendimiento, durabilidad y seguridad, y son utilizadas tanto en laboratorio como en campo.

2.4.1 Normas Internacionales

- **IEC 61215:** Establece los criterios para la evaluación del diseño y la certificación de los módulos fotovoltaicos terrestres. Incluye pruebas de envejecimiento, temperatura, humedad y cargas mecánicas (IEC, 2020).
- **IEC 61730:** Establece los requisitos de seguridad para módulos fotovoltaicos, incluyendo su diseño y construcción (IEC, 2020).
- **IEC 60904:** Proporciona métodos para medir parámetros eléctricos y curvas I-V de módulos y células solares bajo condiciones estándar (IEC, 2019).

- **ISO 14001:** Especifica los requisitos para un sistema de gestión ambiental aplicado a la fabricación de módulos fotovoltaicos (ISO, 2015).
- **ASTM E1036:** Protocolo para realizar pruebas al rendimiento de sistemas fotovoltaicos en condiciones reales (ASTM, 2022).

2.4.2 Normas para Caracterización de Módulos y Materiales

- **IEC 60891:** Describe los procedimientos para corregir curvas I-V bajo condiciones estándar, considerando factores como temperatura y radiación solar (IEC, 2018).
- **IEC 61853:** Incluye métodos para evaluar el desempeño energético de módulos fotovoltaicos en condiciones específicas de operación (IEC, 2017).
- **ASTM E2848:** Protocolo para medir el rendimiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red (ASTM International, 2021).

2.4.3 Protocolos Avanzados y Regionales

- **UL 1703:** Norma para la seguridad de módulos fotovoltaicos utilizados en aplicaciones residenciales y comerciales (Underwriters Laboratories, 2021).
- **ABNT NBR 16274:** Norma brasileña para pruebas de seguridad y rendimiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red (ABNT, 2022).

CAPÍTULO III

3 CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y SU APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL PERÚ

3.1 Energía solar

La energía solar es generada por el proceso de fusión nuclear que ocurre en el núcleo del sol, liberando enormes cantidades de energía en forma de fotones que viajan a través del espacio. Sin esta fuente energética fundamental, la vida en la Tierra no sería posible. El sol no solo sustenta los ecosistemas, sino que también es la base indirecta de otras formas de energía, como los combustibles fósiles, el viento y el agua, todas ellas originadas o influenciadas por la energía solar (Orbegozo & Arivilca, 2010).

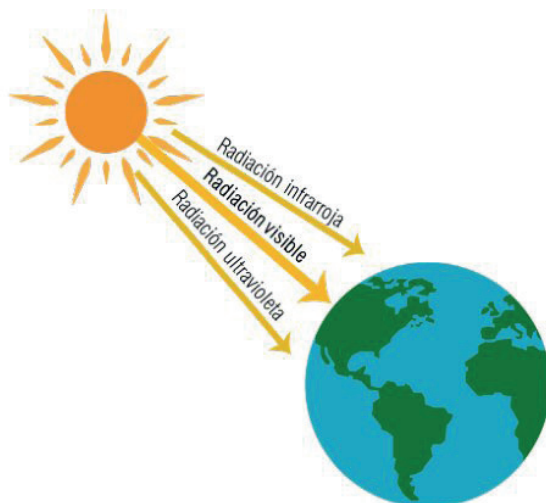
La energía solar es la radiación electromagnética que el Sol emite y que llega a la Tierra, generada a partir de un proceso continuo de fusión nuclear en el núcleo solar. En este proceso, átomos de hidrógeno se fusionan para formar helio, liberando enormes cantidades de energía en forma de luz y calor. Aunque solo una pequeña fracción de esta energía alcanza nuestro planeta, una parte significativa es reflejada de regreso al espacio por la atmósfera terrestre, mientras el resto es aprovechado para sustentar la vida y los procesos energéticos en la Tierra. (Foro Nuclear, 2023).

La energía solar se aprovecha de maneras diferentes una de estas es mediante el proceso solar térmico este se aprovecha por medio de colectores solares los cuales transforman la energía solar en calor que es capturado por los temas solares (Segui, 2023).

En el núcleo del Sol, las enormes presiones y temperaturas, que exceden varios millones de grados, generan reacciones de fusión nuclear. En este proceso, los átomos de hidrógeno se fusionan para formar helio, liberando una gran cantidad de energía en forma de radiación, que se dispersa por el espacio, alcanzando una mínima parte la Tierra. Gracias a la tecnología moderna, esta radiación solar puede ser aprovechada mediante paneles fotovoltaicos, que

transforman la luz en electricidad, y colectores solares térmicos, que convierten la energía en calor, permitiendo así su uso sostenible en diversas aplicaciones (Endesa Energía, 2023).

Figura 7 - Energía solar (Gomez, 2019).



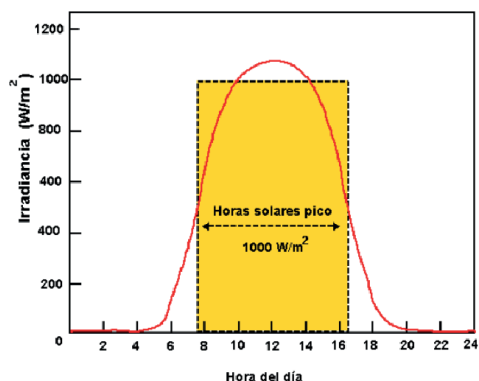
Otra forma de aprovechar la energía solar es mediante su transformación en energía eléctrica de corriente continua, un proceso conocido como energía solar fotovoltaica. Esta se genera utilizando módulos fotovoltaicos, que convierten la radiación solar en electricidad de manera eficiente y sostenible (BUN-CA, 2002).

Las energías renovables destacan por su bajo impacto ambiental en comparación con las fuentes convencionales, que generan electricidad a partir de combustibles fósiles como carbón, gas y petróleo. De acuerdo con un análisis sobre los "Impactos Ambientales de la Producción de Electricidad", las tecnologías convencionales producen un impacto ambiental que es hasta 31 veces mayor que el generado por las energías renovables, lo que resalta su importancia en la transición hacia un modelo energético más sostenible (Ciencia Plus, 2002).

3.2 Horas Solar Pico (H.S.P)

Las horas solar pico se definen como la cantidad de horas al día con una irradiación de 1000 w/m^2 a una temperatura de 25°C y con una masa de aire (AM) de 1.5.

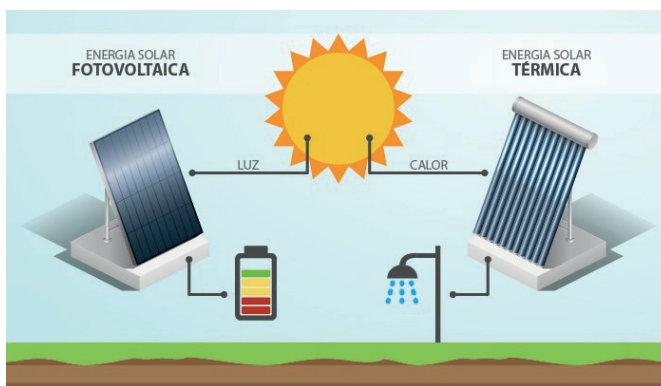
Figura 9 - Hora solar pico (Clemente-Morales Rodríguez & Castro, 2017).



3.3 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se genera al transformar directamente la radiación solar en electricidad mediante el uso de celdas solares. Estas celdas funcionan al absorber los fotones emitidos por el sol, lo que provoca la liberación de electrones en materiales semiconductores, generando así una corriente eléctrica. Generalmente, los módulos solares están compuestos por 36 celdas, aunque esta cantidad puede variar en función de la potencia requerida por el módulo (BUN-CA, 2002).

Figura 10 - Ejemplo de energía solar fotovoltaica.



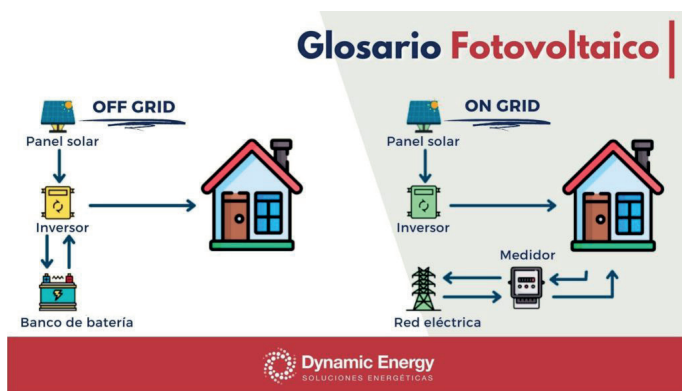
3.4 Sistemas fotovoltaicos

Es un sistema compuesto por diversos componentes diseñados para generar, transformar y almacenar energía eléctrica, aprovechando la radiación

electromagnética emitida por el Sol como resultado de la fusión de átomos de hidrógeno en helio (Aranda *et al.*, 2013).

Inicialmente, los sistemas fotovoltaicos (SFV) se empleaban principalmente para suministrar electricidad en áreas rurales con acceso limitado o nulo a la red eléctrica convencional, donde los requerimientos energéticos eran relativamente bajos. Sin embargo, con el tiempo, los SFV han evolucionado significativamente, hasta convertirse en una tecnología clave para generar energía y contribuir directamente a la red eléctrica convencional (Colmenar *et al.*, 2015).

Figura 11 - Tipos de sistema fotovoltaico.

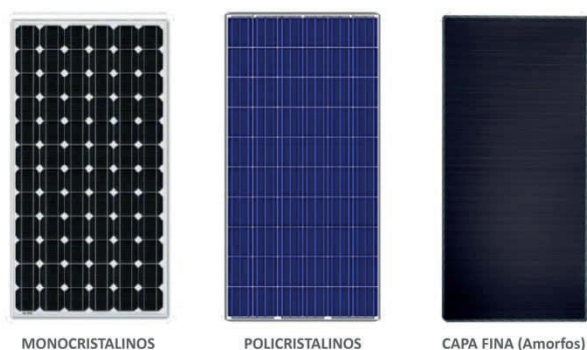


3.5 Clasificación de los Módulos Fotovoltaicos

Según (Grupo TRITEC, 2017) a lo largo del tiempo se han desarrollado múltiples tecnologías para módulos solares fotovoltaicos. Sin embargo, los tres tipos de paneles solares más utilizados en los proyectos de generación de energía eléctrica a través de sistemas fotovoltaicos se clasifican según el material con el que están elaborados, siendo los siguientes:

- Módulo fotovoltaico de silicio amorfo.
- Módulo fotovoltaico de silicio monocristalino.
- Módulo fotovoltaico de silicio policristalino.

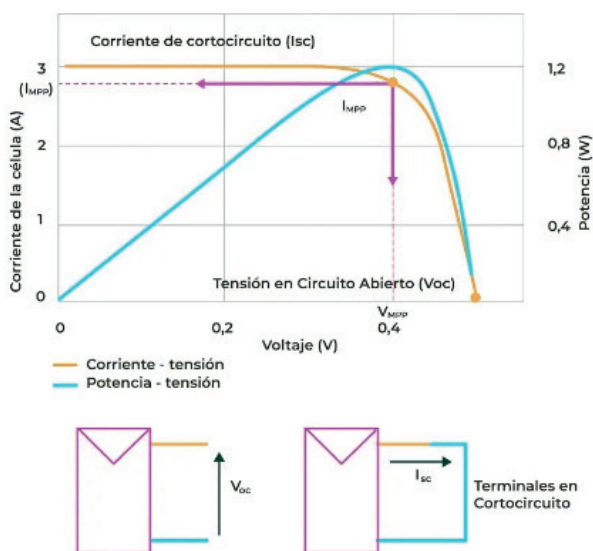
Figura 12 - Clasificación de los Módulos Fotovoltaicos.



3.6 Parámetros de un panel solar

De acuerdo con (TECNOSOL, 2019) Los parámetros técnicos de un panel solar se especifican en una ficha técnica, que generalmente se encuentra en el lado opuesto al área de operación del panel. En ella, se detallan la intensidad de corriente y la tensión, los cuales se definen bajo condiciones estándar conocidas como STC (Standard Testing Conditions, por sus siglas en inglés). Estos parámetros incluyen:

Figura 13 - Características Eléctricas de Paneles Solares.

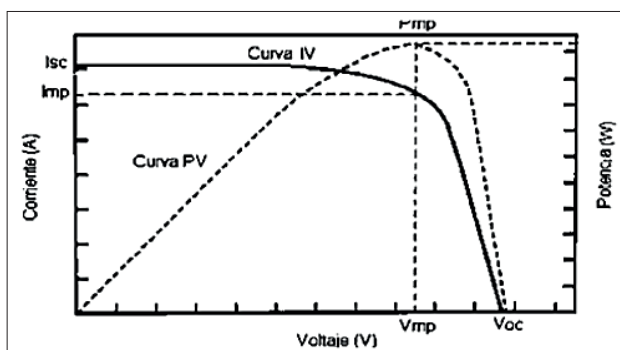


- Irradiación: 1000 W/m^2
- Temperatura del módulo: 25°C
- Masa de Aire (AM): 1.5

Los catálogos técnicos (fichas técnicas) proporcionados por los proveedores, además de incluir los parámetros mencionados, presentan las curvas características de los paneles solares, como se ilustra en la figura 2.

- Curva de Intensidad de Corriente (A) vs Tensión (V)
- Curva de Potencia (W) vs Tensión (V)

Figura 14 - Curva I-V de un módulo solar.

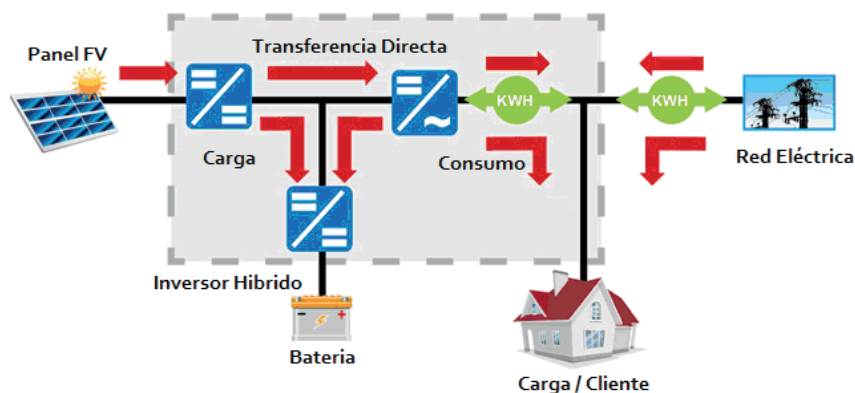


Fuente: (Torres, 2015).

3.7 Configuración de un sistema fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos se componen de una serie de equipos diseñados para convertir la energía solar en electricidad. Los principales componentes de un sistema fotovoltaico incluyen el módulo fotovoltaico, el inversor, el regulador de carga, el banco de baterías, el sistema de cableado y el sistema de control. La configuración y el uso de estos elementos determinan la clasificación del sistema, ya sea **off-grid** (desconectado de la red) o **on-grid** (conectado a la red eléctrica) (AutoSolar, 2023).

Figura 15 - Análisis de las configuraciones de los sistemas híbridos fotovoltaicos.

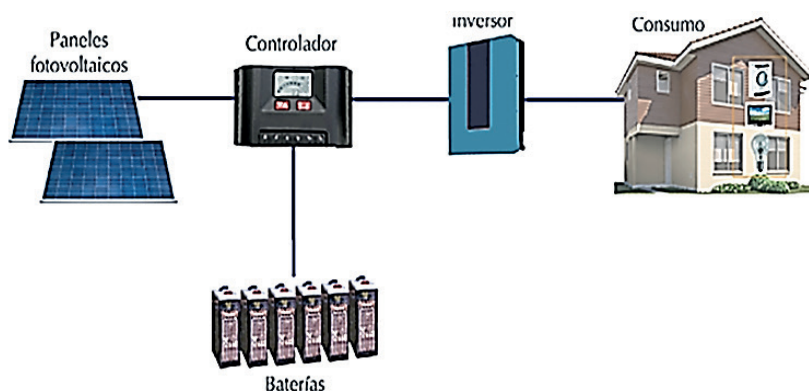


Un sistema fotovoltaico tiene la capacidad de generar la cantidad de energía necesaria para un usuario específico; sin embargo, su desempeño depende de factores como la irradiación en el lugar de instalación, la eficiencia del sistema fotovoltaico y la capacidad de almacenamiento del banco de baterías utilizado (Torres, 2015). La clasificación de los sistemas fotovoltaicos varía según la disponibilidad de redes eléctricas convencionales y la cantidad de energía que se requiere, pudiendo diferenciarse en:

3.7.1 Sistema fotovoltaico aislado

Los sistemas aislados (off grid) son una alternativa de fuente renovable para la generación de energía eléctrica en lugares de difícil acceso y que estas no cuenten con la energía convencional que son transportadas a base de redes eléctricas estas por su lejanía y difícil acceso esta por sus condiciones geográficas un sistema aislado se basa a los siguientes equipos: módulo fotovoltaico, grupo de acumuladores (baterías) y un regulador de carga (Bester Energy, 2013).

Figura 16 - Diagrama de un sistema fotovoltaico aislado.

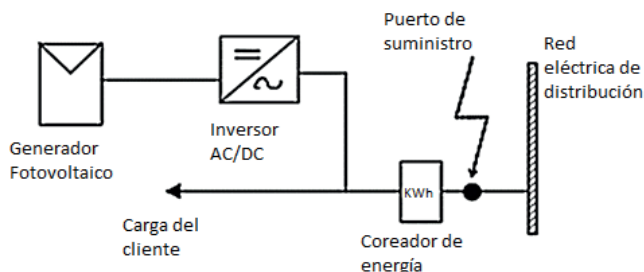


Fuente: (Bester Energy, 2013).

3.7.2 Sistema fotovoltaico conectado a la red

Una opción común en países con regulaciones adecuadas es la instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica. Estos sistemas pueden colocarse en los techos de viviendas o edificios, o en espacios abiertos sin edificaciones, aprovechando la radiación solar para generar electricidad. De esta manera, se reduce la dependencia de la energía suministrada por la empresa concesionaria, y cualquier exceso de energía generado puede ser vendido de nuevo a la concesionaria a través de la misma red convencional. La Figura 4 muestra un diagrama esquemático de un sistema fotovoltaico conectado a la red, que consta de dos componentes principales: un conjunto de módulos fotovoltaicos y un inversor encargado de la conexión a la red. (Orosco, 2013b).

Figura 17 - Diagrama de un Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica.



Fuente: (Orosco, 2013a).

En los sistemas fotovoltaicos conectados a la red encontramos: sistemas fotovoltaicos en edificios. Los edificios fotovoltaicos conectados a la red (EFCR) tienen la función de inyectar la electricidad generada en sistemas fotovoltaicos conectados a la red. (Cornejo, 2013) menciona que estos pueden abastecer la energía que se consume en el edificio para abaratar el costo por energía consumida de la red eléctrica. Estos sistemas son de pequeña o mediano tamaño, es así que suponen una producción en el orden de KW.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red incluyen aquellos instalados en edificios. Los edificios fotovoltaicos conectados a la red (EFCR) tienen como objetivo inyectar la electricidad generada por los sistemas fotovoltaicos a la red, lo que permite abastecer el consumo energético del edificio y, de esta forma, reducir el costo de la energía tomada de la red eléctrica. Según Cornejo, (2013), estos sistemas suelen ser de pequeño o mediano tamaño, con una capacidad de producción en el rango de kilovatios (kW).

Figura 18 - Representación de un sistema fotovoltaico conectado a red.



Fuente: (Caamaño Martín, 1998).

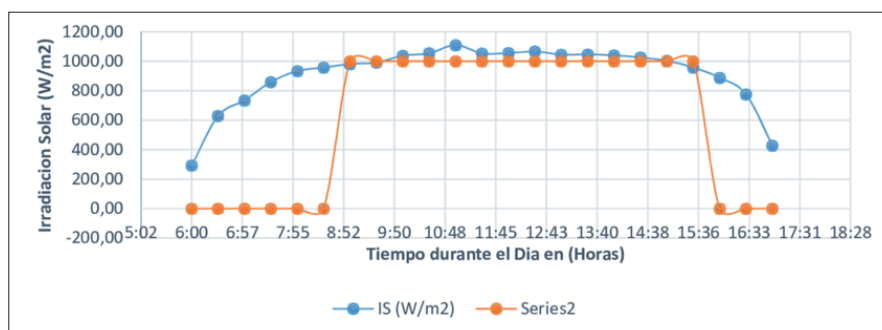
Las plantas solares fotovoltaicas consisten en grandes conjuntos de sistemas fotovoltaicos individuales que se conectan a la red eléctrica con el objetivo de vender la energía generada al sistema de interconexión nacional.

Este tipo de instalaciones contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, como el CO₂, al integrarse en proyectos de energías renovables y reemplazar la necesidad de construir plantas de energía convencionales, como las de carbón. Debido a su capacidad, estos sistemas son de gran escala, produciendo energía en el rango de megavatios (MW) y gigavatios (GW). (Uscuvilca, 2016).

3.8 La energía solar en el Perú - Puno - Juliaca

La energía solar se ha convertido en una de las fuentes renovables más explotadas en el Perú, desempeñando un papel clave en la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Según el atlas solar y los datos proporcionados por la NASA, el recurso solar en el Perú es excepcionalmente alto. En Juliaca, Puno, se observa un notable índice de radiación solar, con valores que oscilan entre un mínimo de 5.5 kW/día y un máximo de 6.72 kWh/m²/día. Estos valores posicionan a la región como una de las más privilegiadas para el aprovechamiento de la energía solar en el país.

Figura 19 - Hora Solar Pico (HSP) promedio en Juliaca de Julio a Setiembre del 2017.



3.9 Operación de módulos fotovoltaicos con sombra miento parcial, total, nulo

Cuando un generador fotovoltaico experimenta sombreado parcial o total, la producción de energía de todo el sistema se ve significativamente reducida. Incluso si solo algunos módulos están sombreados, esto puede generar un efecto similar al de las lámparas conectadas en serie: cuando una lámpara se apaga,

todas las demás también dejan de funcionar. De manera similar, el sombreado afecta a los módulos fotovoltaicos, limitando la corriente de salida y reduciendo la potencia de todo el generador fotovoltaico (Teles, 2017).

3.10 Subasta de electricidad con recursos energéticos renovables

- Decreto Legislativo N° 1002 (02/05/2008), Ley de promoción de la inversión para la generación de electricidad con energías renovables
- Decreto Supremo N° 012-2011-EM (23/03/2011), Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables.

3.11 Subasta de electricidad con recursos energéticos renovables

- Osinergmin es la entidad encargada de organizar y gestionar las subastas, que se realizan cada dos años.
- En estas subastas se licita la energía solicitada, así como una cantidad adicional proveniente de fuentes hidroeléctricas de menor capacidad (< 20 MW).
- Conforme a la política energética, el MINEM establece un porcentaje objetivo de energía renovable que debe ser alcanzado cada cinco años.
- Durante los primeros cinco años, este porcentaje se fijó en un 5% de la producción eléctrica nacional.
- Los Contratos de Recursos Energéticos Renovables (RER) derivados de las subastas tienen una vigencia de 20 años.
- El adjudicatario se compromete a diseñar, financiar, suministrar los bienes y servicios necesarios para la construcción, operación y mantenimiento de la planta fotovoltaica o de otra fuente de energía renovable.

El ingreso garantizado se calcula teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Por la venta de energía a costo marginal y potencia firme, lo que asegura una remuneración por la energía generada y entregada a la red eléctrica, en función de los costos de generación y demanda del mercado.

- Además, se contempla una prima adicional (Ingreso 2) en caso de que los ingresos generados no alcancen el monto del ingreso garantizado, proporcionando así un apoyo económico para cubrir la diferencia y asegurar la viabilidad financiera del proyecto (Echeandía, 2014).

3.12 Estudios realizados sobre la energía solar y sus evaluaciones

Se tomaron en cuenta diversos estudios relacionados con el tema de investigación, obtenidos de distintas bases de datos científicas y repositorios institucionales. Dado el enfoque del estudio, estos se agrupan en una sola categoría, citados de manera conjunta a continuación:

Debido a la creciente demanda y la expansión global de los sistemas fotovoltaicos, así como a su operación en diversas condiciones ambientales, ha surgido la necesidad de implementar procesos de supervisión e inspección rigurosos en estos sistemas. Como señala Teles (2017), el objetivo principal de estas prácticas es caracterizar las curvas de rendimiento y, además, determinar la potencia nominal del sistema fotovoltaico, lo cual es fundamental para garantizar su eficiencia y funcionamiento adecuado en el tiempo (Angulo, 2022).

Para evaluar de manera continua el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR), es esencial contar con una metodología que permita determinar la potencia que el sistema entrega sin interferir en su operación. Esta potencia debe ser comparada con el valor real que el sistema debería generar. En el presente estudio, se evalúa un algoritmo diseñado para identificar anomalías en la generación de energía de estos sistemas mediante el monitoreo constante de la potencia generada (Firman *et al.*, 2012).

El uso de energía solar ha experimentado un aumento exponencial a nivel mundial en los últimos años, impulsado por la necesidad de adoptar fuentes de energía más limpias y sostenibles. A pesar de este crecimiento global, en el Perú los sistemas fotovoltaicos todavía representan una proporción baja del total de la capacidad instalada en el país. Hasta la fecha, solo se han instalado 96 MW de energía solar fotovoltaica, lo que contribuye con un modesto 0.5 % de la energía total consumida en el Perú. Este bajo porcentaje refleja tanto los desafíos tecnológicos como los limitados incentivos y políticas públicas que afectan el despliegue de esta tecnología renovable en el país, a pesar de contar

con un recurso solar abundante y de alta calidad, especialmente en zonas como el sur del Perú. (Fuente: La industria de la Energía Renovable en el Perú, 2016). Además, están en proceso de construcción la planta fotovoltaica de Rubí (144.5 MW) e Intipampa de 40.0 MW (Chura, 2020).

Se llevó a cabo una evaluación experimental de tres tipos de tecnologías de inversores conectados a la red: inversor String, micro-inversor y convertidor CC-CC. El objetivo de este estudio fue contribuir al conocimiento científico sobre las diversas arquitecturas de sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Durante la investigación, se adquirieron y almacenaron los valores de potencia eléctrica en corriente alterna (CA) de un sistema fotovoltaico conectado a la red con inversor String, utilizando un registrador de datos (Teles, 2017). La evaluación consistió en comparar estos valores con los obtenidos mediante un modelo teórico desarrollado y con los medidos directamente con un vatímetro en el lado de CA del sistema, considerando los parámetros de tensión, corriente y potencia eléctrica. Este enfoque permitió un análisis integral y detallado de la eficiencia y desempeño de las distintas configuraciones tecnológicas (Neto, 2017).

Dado que este tema académico aún no ha sido completamente explorado en el Perú, resulta de gran interés cualquier tipo de investigación que no solo fomente el uso de la energía solar, sino que también contribuya al entendimiento y la mejora de los métodos de estudio para estimar la eficiencia y predecir la producción de energía bajo las condiciones meteorológicas propias del país (Gomez, 2019).

Para (Van-Dall & Correa, 2015) el desarrollo sostenible es un objetivo fundamental en la sociedad brasileña contemporánea, y se ha convertido en una prioridad para promover un futuro más equilibrado y respetuoso con el medio ambiente. En este contexto, se ha impulsado la adopción de fuentes de energía renovables, reduciendo gradualmente la dependencia de fuentes de energía convencionales y contaminantes. Una de las fuentes de energía más prometedoras en Brasil es la energía solar, que puede ser aprovechada a través de sistemas fotovoltaicos. Estos sistemas se presentan en dos formas principales: los sistemas fotovoltaicos autónomos (SFVI), que operan de manera independiente y no requieren conexión a la red eléctrica, y los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica pública (SFVCR), que permiten inyectar la energía

generada al sistema eléctrico nacional, contribuyendo tanto al abastecimiento local como a la reducción de la huella de carbono.

Fernández (2022) se propuso llevar a cabo un análisis detallado y el dimensionado de una instalación fotovoltaica conectada a la red para una vivienda unifamiliar en Sant Vicent del Raspeig (Alicante). El dimensionado se realizó conforme a la normativa vigente, calculando todos los parámetros esenciales para garantizar el máximo rendimiento del sistema. Además, se llevó a cabo un estudio tanto económico como energético, con el fin de determinar la inversión necesaria para llevar a cabo esta instalación, así como evaluar su rentabilidad en función de la situación actual del mercado energético.

Hassaine (2010) investigó el control de la potencia inyectada a la red, centrando su estudio en la optimización del diseño y control de los inversores, los cuales actúan como interfaz entre los sistemas fotovoltaicos y la red eléctrica. Su enfoque se basó en el uso de la modulación por ancho de pulso sinusoidal digital (DSPWM, por sus siglas en inglés), un método que se asocia con el control del desfase entre la tensión de salida del inversor y la red eléctrica. (Chepp & Krenzinger, 2018) Se comparó la potencia y la energía generada por un inversor string y microinversores en condiciones de sombra (tanto con sombreado total como sin sombreado) en una instalación fotovoltaica ubicada en Porto Alegre.

Desde el punto de vista de Besso (2017) los modelos actuales de explotación y uso de recursos energéticos para satisfacer la demanda de electricidad y combustibles están asociados con varios problemas medioambientales, como las emisiones de gases de efecto invernadero. En este contexto, la energía fotovoltaica se presenta como una alternativa viable, ya que es una fuente de energía renovable que puede contribuir a mitigar estos impactos.

Estas energías renovables se presentan como una alternativa clave para reducir la dependencia del petróleo y desempeñar un papel fundamental en la lucha contra el cambio climático. Las principales fuentes de energía renovable incluyen la biomasa, la energía hidroeléctrica, eólica, solar, geotérmica y las energías marinas. Con la excepción de la energía geotérmica, todas estas fuentes derivan directa o indirectamente de la energía del sol, lo que subraya su capacidad para ofrecer soluciones sostenibles y respetuosas con el medio ambiente (Díaz, 2008).

CAPÍTULO IV

4 EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED DE 3.24 KW CON INVERSOR STRING BAJO NORMA TÉCNICA BRASILEÑA ABNT-NBR-16274 A 3824

4.1 Introducción

En la región de Puno y otras áreas del territorio peruano, los sistemas fotovoltaicos conectados a la red han sido instalados y puestos en funcionamiento sin llevar a cabo, antes o durante su operación, caracterizaciones ni evaluaciones exhaustivas de su desempeño. Esto ha impedido evaluar de manera adecuada el índice de rendimiento o Performance Ratio (PR), un indicador clave para garantizar la eficiencia y el funcionamiento óptimo de estos sistemas. Como resultado, se han presentado interrupciones recurrentes a lo largo de los años, y en algunos casos, los sistemas han dejado de operar debido a la falta de medidas preventivas o correctivas frente a problemas técnicos.

Entre las principales causas de estas fallas destacan el mal dimensionamiento de los sistemas, el deterioro de equipos y materiales, así como la falta de control de calidad durante las etapas de diseño, instalación y operación. Estos factores afectan directamente el desempeño y funcionamiento normal de los sistemas fotovoltaicos, problemas que a menudo no pueden ser detectados con una simple inspección o prueba inicial. En consecuencia, los componentes del sistema no alcanzan su ciclo de vida útil proyectado, generando desconfianza en el uso de estas tecnologías renovables.

Para abordar esta problemática, resulta imprescindible implementar programas de supervisión y mantenimiento basados en estándares técnicos reconocidos. La norma técnica brasileña ABNT-NBR-16274, por ejemplo, establece directrices para la supervisión y evaluación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red, asegurando su desempeño dentro de los parámetros esperados. Aplicar estas normativas permitirá identificar y corregir a tiempo

las deficiencias técnicas, asegurando que los sistemas cumplan con su vida útil prevista y desempeñen su función de manera eficiente.

4.2 Enunciados del problema

4.2.1 Enunciado general

¿Se podrá evaluar y caracterizar un sistema fotovoltaico conectado a la red de 324 kW con inversor String bajo Norma Técnica Brasileña ABNT-NBR-16274 a 3824 msnm?

4.2.2 Enunciados específicos

- ¿Cuáles serán los comportamientos de las curvas I-V en las estaciones a evaluar el sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) bajo Norma Técnica Brasileña ABNT-NBR-16274 a 3824 msnm?
- ¿En qué medida influirá el coeficiente térmico de potencia del arreglo fotovoltaico y la irradiación en la potencia nominal del sistema fotovoltaico conectado a la red con inversor String con MPPT bajo Norma Técnica Brasileña ABNT-NBR-16274 a 3824 msnm?
- ¿En qué medida influirá los parámetros eléctricos en AC y los factores ambientales en el desempeño global PR del sistema fotovoltaico conectado a la red con inversor String con MPPT, bajo Norma Técnica Brasileña ABNT-NBR-16274?

4.3 Justificación

4.3.1 Justificación social

El presente estudio de investigación permitirá mejorar la confiabilidad en la instalación de este tipo de sistemas y tener como referencia el presente trabajo cuando este tipo de instalaciones se masifique con la aprobación de la ley de generación distribuida en nuestro estado peruano.

4.3.2 Justificación económica

El estudio a realizarse garantizara el cumplimiento del ciclo de vida de los componentes de un sistema fotovoltaico conectado a la red y de esta manera poder recuperar en el tiempo determinado la inversión del sistema.

4.4 Objetivos

4.4.1 Objetivo general

Evaluar y caracterizar un sistema fotovoltaico conectado a la red de 3.24 kW con inversor String bajo Norma Técnica Brasileña ABNT-NBR-16274 a 3824 msnm.

4.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la curva I-V en la salida en DC del generador FV a la salida y entrada al inversor, según la norma técnica brasileña ABNT-NBR-16274.
- Determinar la potencia nominal del sistema fotovoltaico conectado a la red según la norma técnica brasileña ABNT-NBR-16274.
- Determinar la proyección del desempeño global PR en la salida en AC del Inversor String con MPPT, según la norma técnica brasileña ABNT-NBR-16274.

4.5 Hipótesis

4.5.1 Hipótesis general

La Norma Técnica Brasileña ABNT-NBR-16274, permitirá evaluar y caracterizar un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red de 3.24 kW con inversor Sting instalado en la ciudad de Juliaca a 3824 msnm.

4.5.2 Hipótesis específicas

- El sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) a 3824 msnm generarán curvas I-V con declive acentuado, normal ascendente.

- En el sistema fotovoltaico conectado a la red con inversor String con MPPT a 3824 msnm. Los parámetros ambientales serán directamente proporcionales a la potencia nominal.
- En el sistema fotovoltaico conectado a la red con inversor String con MPPT, los parámetros eléctricos en AC serán directamente proporcional al desempeño global PR.

4.6 Materiales Y Métodos

4.6.1 Lugar de estudio

Para el presente trabajo, la zona de estudio se realizará en la ciudad de Juliaca en el Instituto de Investigación de Energías Renovables y Eficiencia Energética – UNAJ Ayabacas. En el sistema fotovoltaico conectado a la red con inversor String de 3.24Kw.

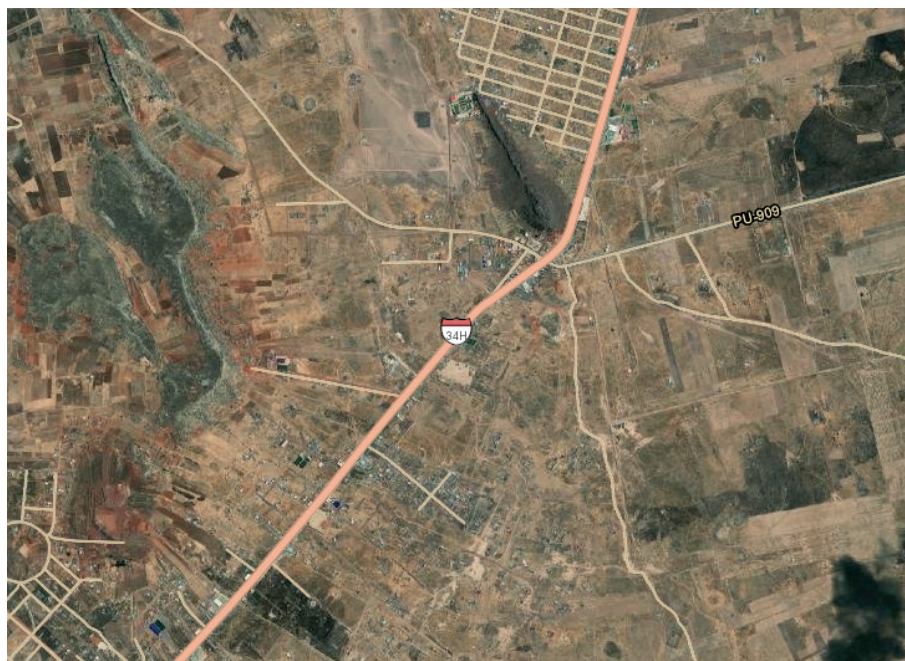
Figura 20 - Lugar de estudio.



- Lugar: Universidad Nacional de Juliaca -Ayabacas
- Latitud: -15.409522.
- Longitud: -70.090695.

- Altitud: 3837 msnm.
- Distrito: San Miguel.
- Provincia: San Román.
- Departamento: Puno – Perú.

Figura 21 - Mapa satelital de Ayabacas – San Román.



4.6.2 Población

En este estudio se consideró el equipo completo que se ha instalado para el sistema fotovoltaico conectado a la red de 3.24Kw con inversor Sting con su respectivo equipo de adquisición de datos para monitoreo en tiempo real el cual fue financiado por FONDECYT, por lo que este fue el motivo para la ejecución del presente estudio esta se encuentra situada en el pabellón del instituto de energías renovables y eficiencia energética en la cede Ayabacas *campus* de la universidad nacional de Juliaca.

4.6.3 Muestra

Esta se seleccionó considerando las variables ambientales y eléctricas que interfieren en el sistema fotovoltaico conectado a la red: irradiancia, temperatura, tensión DC -AC, corriente DC-AC, potencia DC-AC. Esta consideración a causa de que la población es muy puntual en el presente SFCR, los datos fueron tomados en periodos de 1 minuto en base a la Norma Técnica Brasileña ABNT-NBR-16274.

4.6.4 Método de investigación

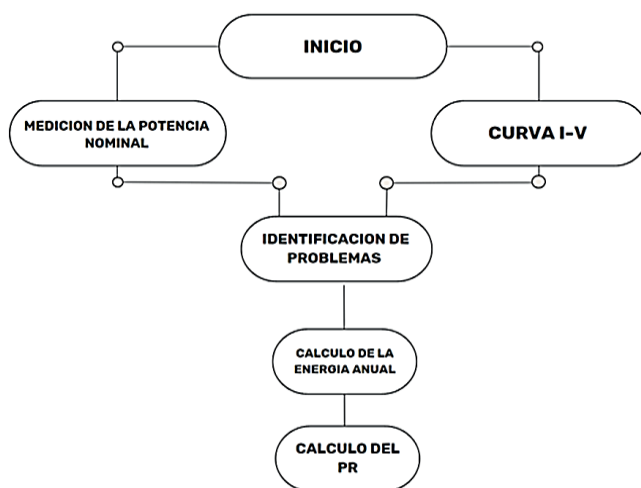
El método de investigación es aplicativo experimental, este se integra con un estudio exegético aplicada; porque se caracterizará y evaluará lo datos que generaron el sistema de adquisición de datos del SFCR. Esta caracterización y evaluación se ceñirá estrictamente a la Norma Técnica Brasileña ABNT-NBR-16274.

4.6.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

Para la recolección de datos del SFCR para la fase experimental del estudio de investigación, se desarrollará una descripción general del proceso de datos que este implica para de esta manera desarrollar con los objetivos planteados en el presente estudio.

Los equipos demás instrumentos que se mencionaran en adelante fueron implementados por el proyecto de FONDECYT con numero de contrato: N°180 – 2018 – FONDECYT – BM – IADT – AV, estos se instalaron en el instituto de energías renovables de la Universidad Nacional de Juliaca en su cede Ayabacas.

Figura 22 - Diagrama de flujo de los pasos y procedimientos del proyecto de investigación.



4.6.5.1 Caracterización de la curva I-V en la salida en DC del generador FV a la salida y entrada al inversor, según la Norma Técnica Brasileña ABNT-NBR-16274

Sistemas fotovoltaicos conectados a la red - Requisitos mínimos de documentación, pruebas de puesta en servicio, inspección y evaluación del desempeño.

Normas aplicables:

- ABNT NBR 10899, Energía solar fotovoltaica – Terminología.
- ABNT NBR 16149, Sistemas fotovoltaicos (PV) - Características de la interfaz de conexión con la red de distribución eléctrica.
- IEC 60364 (todas las partes), Instalaciones eléctricas de baja tensión.
- IEC 60364-6, Instalaciones eléctricas de baja tensión instalaciones - Parte 6: Verificación.
- IEC 60364-7-712, Instalaciones eléctricas de edificios - Parte 7-712: Requisitos para instalaciones o ubicaciones especiales - Sistemas de suministro de energía solar fotovoltaica (PV).
- IEC 61010 (todas las partes). Requisitos de seguridad para equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio.
- IEC 61557 (todas las partes). Seguridad eléctrica en sistemas de distribución de baja tensión hasta 1000 V A.C. y 1500 V C.C. - Equipos para probar, medir o monitorear medidas de protección.

- IEC 61730-1, Calificación de seguridad del módulo fotovoltaico (PV). Parte 1: Requisitos para la construcción.
- IEC 61730-2, Calificación de seguridad del módulo fotovoltaico (PV). Parte 2: Requisitos para la prueba.

4.6.5.2 Medición de la curva I-V: Potencia del conjunto F.V.

Con las condiciones ambientales adecuadas, una prueba de curva I-V proporciona un medio de medir si la potencia nominal de un conjunto fotovoltaico coincide con la de la placa. La prueba debe realizarse según el procedimiento para la prueba de la curva I-V (Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede — Requisitos Mínimos Para Documentação, Ensaios de Comissionamento, Inspeção e Avaliação de Desempenho, 2014).

- La serie fotovoltaica o el conjunto fotovoltaico bajo prueba debe ser aislado (o) y conectado (o) al dispositivo de prueba de la curva IV.
- El dispositivo de prueba de curvas IV debe programarse con las características, tipo y número de módulos bajo prueba.
- El medidor de irradiancia asociado con el dispositivo de prueba de curvas I-V debe estar montado en el mismo plano que los módulos y sin interferencias de ningún tipo localizado. Siempre que se utilice una celda de referencia, debe ser de la misma tecnología de celda que el conjunto fotovoltaico en ensayo.
- Cuando el probador de curva I-V utiliza una sonda de temperatura de celda, debe estar firmemente sujeta a la parte posterior del módulo y en el centro de una de las celdas. Cuando las mediciones de temperatura son calculadas por el probador de curva I-V, se debe realizar una verificación para garantizar que las características del módulo se ingresen correctamente en el dispositivo.
- Antes de iniciar la prueba, se debe verificar el nivel de irradiancia para asegurarse de que sea superior a 700 W / m^2 en el plano del conjunto fotovoltaico y que la radiación solar sea normal al plano del conjunto fotovoltaico, con una tolerancia de $\pm 22,5 \%$.

Después de completar la prueba, el valor de potencia máxima medido debe corregirse para las condiciones de prueba estándar (STC en inglés,

condiciones de prueba estándar) y compararse con el valor nominal de la placa de identificación del conjunto fotovoltaico bajo prueba. El valor medido debe estar dentro de la tolerancia de potencia indicada para los módulos (junto con una tolerancia para la precisión del probador de curva I-V) (Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede — Requisitos Mínimos Para Documentação, Ensaios de Comissionamento, Inspeção e Avaliação de Desempenho, 2014).

4.6.5.3 Medición de la curva I-V: Identificación de efectos en módulos/conjuntos fotovoltaicos o problemas de sombreado

Las formas que pueden adoptar las curvas I-V obtenidas son información importante del conjunto o grupo de módulos fotovoltaicos que se evalúan y/o caracterizan de estas se pueden identificar los posibles defectos mencionados en la norma:

- Células/módulos dañados (como).
- Diodos de derivación en cortocircuito.
- Sombreado localizado.
- Desajuste entre módulos.
- La presencia de resistencia paralela excesiva en células/módulos/arreglos fotovoltaicos.
- Resistencia en serie excesiva.

El procedimiento para realizar una prueba de curva I-V para obtener datos de la forma de la curva es el mismo que se describe en 3.1.2, excepto que en el caso de una prueba para obtener información solo sobre la forma de la curva, los niveles de irradiancia pueden ser menor y no se requiere que el ángulo de incidencia sea normal a los módulos.

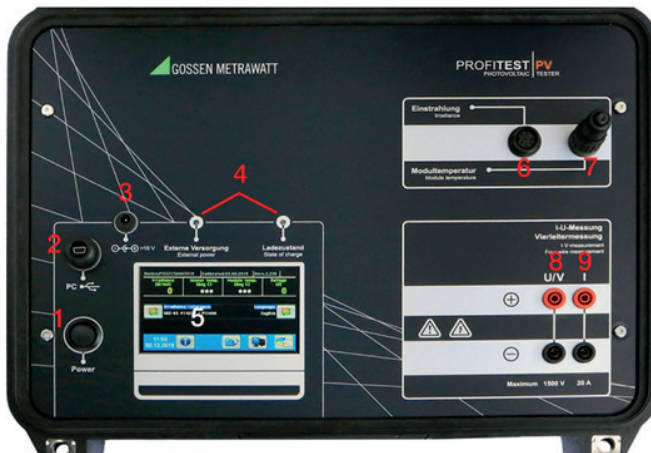
Al registrar una curva I-V, la forma debe estudiarse con cualquier desviación de la curva predicha que se produzca. Las desviaciones en las curvas I-V requieren una atención especial, ya que pueden señalar fallas significativas que de otro modo serían indetectables en el conjunto fotovoltaico.

La información sobre cómo interpretar las desviaciones de una curva I-V se encuentra en el anexo 1. Para los sistemas con múltiples conjuntos fotovoltaicos

idénticos y donde existen condiciones de irradiación estables, las curvas de los conjuntos fotovoltaicos individuales deben compararse (superponerse). Las curvas deben ser las mismas (típicamente dentro del 5 % para condiciones de irradiación estables (Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede — Requisitos Mínimos Para Documentação, Ensaios de Comissionamento, Inspeção e Avaliação de Desempenho, 2014).

Para el proyecto de investigacion se utilizo un trazador de curvas de la marca GOSSEN METRAWATT PV 1500 que se muestra en la figura 7 , este es un medidor de portencia maxima y trazador de curvas para módulos fotovoltaicos y generadores de hasta 1500 V DC , 20 A DC , este cuenta con un sensor de temperatura del conjunto de paneles solare y una celda calibrada con un sensor de temperatura para medir la temperatura del ambiente que se describe.

Figura 23 - Trazador de curva GOSSEN METRAWATT PV 1500.



1. Interruptor de encendido y apagado.
2. Puerto usb a Pc
3. Toma para fuente de alimentacion externa, 60W.
4. Led de estado.
5. Pantalla grafica de colores.
6. Entrada de irradiacion o combinada combinada con entrada de temperatura de irradiacion.
7. Entrada de medida de temperatura Pt100 o Pt1000.

8. Entrada de medida de tensión de 4 hilos.
9. Entrada de medición de corriente de 4 hilos.

Este trazador cuenta con los accesorios antes mencionados para poder contar con todos los parametros que requiere esta caracterizacion de la curva , se muestra en la figura 8 y se describe sus conexión de dispositivos perifericos.

Figura 24 - Accesorios periféricos del trazador de curvas a utilizar.



1. Puerto USB para pc opcional
2. Fuente de alimentacion externa de 60 W.
3. Sensor de referencia de irradiacion.
4. Pt 100 externo para la temperatura en la parte posterior del módulo o Enchufe de corto circuito
5. Seccionador de seguridad externo entre el cable de medición de potencia de 4 hilos y el PV de 1500 PROFITEST.
6. Cables de medición de alimentación de 4 hilos.

4.6.5.4 Evaluación del desempeño del SFCR

El procedimiento de evaluación de desempeño tipo se presenta en el diagrama de flujo de la Figura 6. Se ha dividido en cinco etapas, cada una con una o más actividades que se detallan a continuación en el SFCR en evaluación este cuenta con sistema de monitoreo ya descrito líneas arriba.

4.6.5.5 Medición de la potencia nominal del sistema fotovoltaico

Se debe medir la potencia nominal en los STC de los arreglos fotovoltaicos de los subsistemas bajo prueba. Se pueden utilizar dos formas de medición:

- a) Con un dispositivo de prueba de curva I-V adecuado al tamaño de los conjuntos fotovoltaicos. Esta forma tiene la ventaja de que, además de determinar la potencia nominal, permite observar problemas a través de la forma de la curva I-V;
- b) Con la medida, durante al menos un día, de la irradiancia característica y de la temperatura de la celda y de la c.c. a la entrada del inversor (con un vatímetro). Las tres mediciones deben realizarse simultáneamente con un intervalo máximo de 1 min entre mediciones de un mismo parámetro. Se debe trazar una curva $P_{ec} (25^{\circ}C) \times GC$, a partir de la cual es posible obtener la potencia nominal de cada campo fotovoltaico. En el Anexo 2 se detalla la obtención de $P_{c.c.} (25^{\circ}C)$, c.c.a la entrada del inversor corregido a $25^{\circ}C$, y la potencia nominal de los generadores fotovoltaicos a partir de la curva $P_{c.c.} (25^{\circ}C) G_c$. (Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede — Requisitos Mínimos Para Documentação, Ensaios de Comissionamento, Inspeção e Avaliação de Desempenho, 2014).

Cuando un subsistema tiene más de un campo fotovoltaico, se deben sumar las potencias nominales de todos ellos para obtener la potencia nominal del subsistema (PNS). La potencia nominal del sistema en su conjunto (PN) debe calcularse tomando la media de las potencias nominales de los subsistemas ensayados y multiplicando este valor por el número total de subsistemas que componen el sistema fotovoltaico.

Lectura preliminar de contadores de energía. Se debe realizar una lectura preliminar al inicio de evaluación de la potencia nominal y esta etapa la segunda

lectura de los contadores de energía que se debe de verificar de los datos que se tiene almacenado del SFCR. para ello, como también realizar el calculo de del rendimiento del sistema con la siguiente ecuación (Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede — Requisitos Mínimos Para Documentação, Ensaios de Comissionamento, Inspeção e Avaliação de Desempenho, 2014).

$$DM1 = \frac{LP2 - LP1}{P_{NS}}$$

Donde:

PNS: es la potencia nominal del subsistema bajo prueba.

DM: es el rendimiento del sistema durante el período considerado, medido en kilovatios-hora por kilovatio-pico u horas.

4.6.5.6 Resolución de problemas (opcional)

En función de la potencia nominal de los conjuntos fotovoltaicos y los valores de DM1, se pueden detectar posibles problemas.

4.6.5.7 RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS (OPCIONAL)

Los defectos o problemas se identifican de la siguiente manera:

- a) Un subsistema se considera un problema si su potencia nominal o su valor de DM1 es sustancialmente diferente de los demás;
- b) Se considera que un subsistema está en problemas si su valor de DM1 o su potencia nominal es muy inferior a la esperada.

4.6.5.8 Análisis de las causas de los problemas

Cuando se identifican problemas, es necesario realizar una verificación para identificar sus causas y, si es posible, eliminarlas. Es importante consultar las notas del operador del sistema sobre las interrupciones en su funcionamiento (total o parcial), ya que pueden ser causa de baja productividad. Si los problemas son eliminados, pero influyeron en la medida de la potencia nominal de los subsistemas.

Se considera que un subsistema funciona mal cuando las causas de los problemas no pueden eliminarse o no pueden identificarse (total o parcialmente).

4.6.5.9 Primera lectura de medidores de energía

Se debe de realizar una primera lectura de medidores de energía (LM1) de los sistemas bajo prueba.

4.6.5.10 Medida de irradiancia, temperatura de celda y potencia a la entrada a la salida del inversor

Luego de la primera lectura de los medidores de energía (LM1), se debe medir la irradiancia total (G) y la temperatura de celda (Tc) con los sensores instalados, además de la potencia de entrada (Pcc) y salida (Pca) de los inversores con un vatímetro adecuado a la potencia involucrada, durante al menos cinco días, los cuales deben tener poca o ninguna nubosidad. Es importante que el operador del sistema tome nota de cualquier interrupción en su funcionamiento, las cuatro medidas deben ser realizadas simultáneamente a intervalos de como máximo 10 s entre medidas de un mismo parámetro, con integración (promedio) de como máximo 5 min. (Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede — Requisitos Mínimos Para Documentação, Ensaios de Comissionamento, Inspeção e Avaliação de Desempenho, 2014).

4.6.5.11 PROYECCIÓN DE RENDIMIENTO GLOBAL (PR) ANUAL

La energía inyectada a la red convencional debe de calcularse o ser medida en un año según descrito en el anexo 3, utilizando una serie de historias de irradiancia y temperatura de ambiente obtenida en una base de datos confiable. El Rendimiento global anual (PR) debe de calcularse a partir de la siguiente ecuación(Norma Brasileira, 2014).

$$PR = \frac{E_{R.ano} G_{STC}}{P_N H}$$

Donde:

PN: es la potencia nominal del sistema fotovoltaico;

GSTC: es la irradiancia en las condiciones de prueba estándar (igual a 1.000 W/m²):

H: es la irradiancia anual total en el plano de los conjuntos fotovoltaicos, obtenida integrando los valores de irradiancia utilizados para calcular el ER año.

4.7 Análisis e Interpretación de los Resultados

4.7.1 Caracterización de la curva I-V en la salida en DC del generador FV a la salida y entrada al inversor, según la NORMA TÉCNICA BRASILEÑA ABNT-NBR-16274

4.7.1.1 Información básica del SFCR

En este capítulo se describirá las características y validan los procedimientos que se deben de llevar a cabo para cumplir con la ABNT – NBR – 16274 (ABNT, 2022).

En el proyecto ejecutado por FONDECYT con número de contrato: N°180 – 2018 – FONDECYT – BM – IADT – AV, parte del mencionado se instaló 12 módulos fotovoltaicos TALESUN MODELO TP 660P-270 (anexo 4) , policristalino de 60 células de silicio los cuales suman una potencia de 3.24Kw, los que se muestran sus especificaciones técnicas en la tabla 1.

Tabla 1 - Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico TALESUN modelo TP660P-270.

Modulo TP660P-270	
Parámetros eléctricos (STC)	
Potencia máxima ($P_{m\acute{a}x}$)	270 W
Corriente de máxima potencia (I_{mp})	8.63 A
Tensión de máxima potencia (V_{mp})	31.3 V
Corriente de corto circuito (I_{sc})	9.09 A
Tensión de circuito abierto (V_{oc})	38.5 V
Temperatura nominal de Operación de la Célula (TNOC).	45+-2°C
Coeficiente de Temperatura de Isc	+0.06%/°C
Coeficiente de Temperatura de Voc	-0.31%/°C
Coeficiente de Temperatura de Pmp	-0.40%/°C

El inversor para el SFCR-String se opto por el inversor SMA (Sunny Boy 3.0) este tipo de inversores se adecuan a los parámetros electricos de la red estas esten en su rango de trabajo caso contrario se desliga de la red electrica para protegerse (anexo 5) , en la tabla 2 se muestra sus características CC/C.A.

Tabla 2 - Especificaciones técnicas del inversor SMA 3.0.

Inversor 3000 W	
Rango de tensión del PMP: V_{mp}	110-500 V
Tensión de entrada máxima: V_{oc}	600 V
Corriente máxima de entrada: $I_{m\acute{a}x}$	15 A
Potencia máxima del generador fotovoltaico: $P_{FVm\acute{a}x}$	5500 Wp
Rango de tensión nominal CA: VCA	180-280 V
Potencia eléctrica nominal: P_{INV}^0	3000 W
Factor de Potencia: FP	1
Frecuencia de red CA/Rango: f_{CA}	Z /-5 a +5 HZ

Figura 25 - Vista parcial de los paneles instalados.



En la tabla 3, se muestra la información básica sobre equipos y capacidad instalados y los datos generales del SFCR , información que se encontro en el proyecto como se adjunta.

Tabla 3 - Información básica del equipamiento del SFCR.

Equipamiento Del SfcR	
Potencia nominal del sistema: Wp	3.24KWp
Potencia nominal del inversor: P_{INV}^0	3KVA
Propietario:	Universidad Nacional de Juliaca
Localización:	Ayabacas S/N
Coordenadas geográficas:	-15.409522; -70.090695.
Inversores:	01 unidad de sunny boy 3.0
Paneles:	12 unidades
Periodo de instalación:	Octubre/2021
Fecha de puesta en servicio	Octubre/2022

4.7.1.2 Información del proyectista - instalador del SFCR

Los responsables del proyecto se enumeran en la tabla 4, los datos no están disponibles personales y profesionales completos de todos los involucrados, por no haber sido descritos por el proyectista.

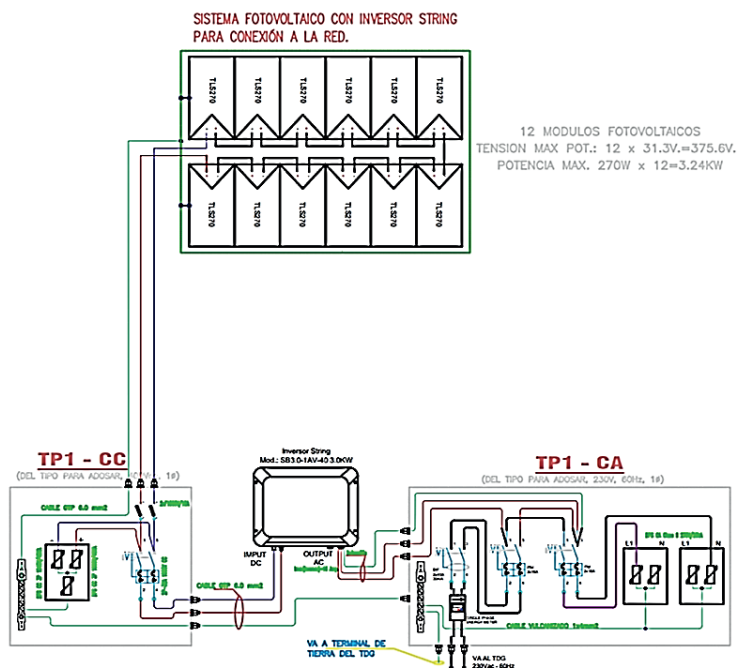
Según la planificación de obras e instalaciones del SFCR del proyecto FONDECYT, las instalaciones eléctricas de alumbrado y de potencia (pasaje de cableado, tablero de distribución, cajas, luminarias, interruptores, y otros equipos) fueron realizadas por los tesisistas, practicantes de la escuela profesional de energías renovables este mismo para la instalación de los paneles solares, estructura etc. Este trabajo estaba consentida por el proyectista y/o responsable del proyecto de FONDECYT.

Tabla 4 - Los responsables del proyecto.

Asignación	Responsable
Diseño arquitectónico	
Calculo estructural	
Diseño de estructuras metálicas	
Diseño energético y diseño general de la planta	
Protección contra rayos y puesta tierra	
Diseño de instalaciones eléctricas internas, iluminación exterior y telefonía	
Ubicación topográfica	
Diseño de redes e instalaciones hidráulicas /sanitarias	
Presupuesto ejecutivo	
Planificación física y coordinación	

4.7.1.3 Esquema de conexiones

Figura 26 - Diagrama de conexiones eléctricas del SFCR.

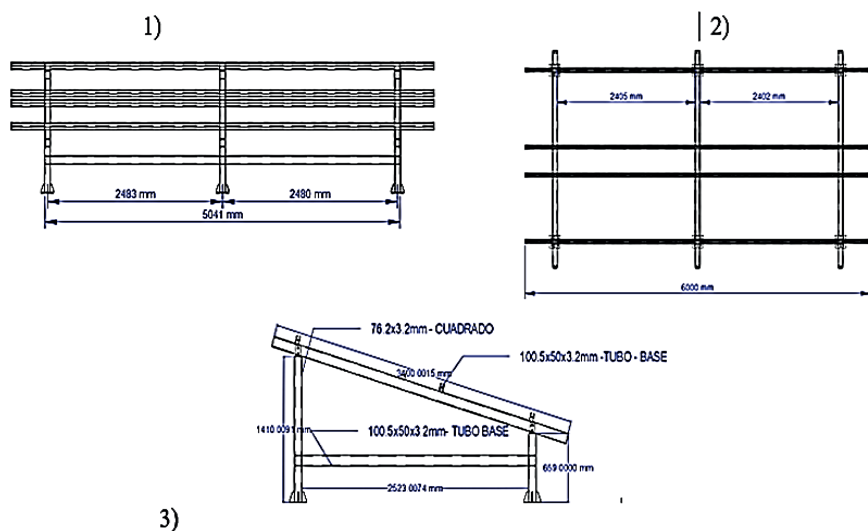


En el anexo 6, se muestra a mayor detalle y escala la representación y esquema de datos conexión entre los generadores fotovoltaicos y la red eléctrica. En la figura 10, se muestra las conexiones del lado CC/CA.

4.7.1.4 Estructuras de soporte del generador fotovoltaico

Las estructuras metálicas que soportan al SFCR cuenta con 01 posición estática, esta no cuenta con un sistema de seguimiento de radiación solar los cuales se verán a detalle en el anexo 7. En la figura 11, se muestra las vistas y secciones de las estructuras presentadas en el proyecto.

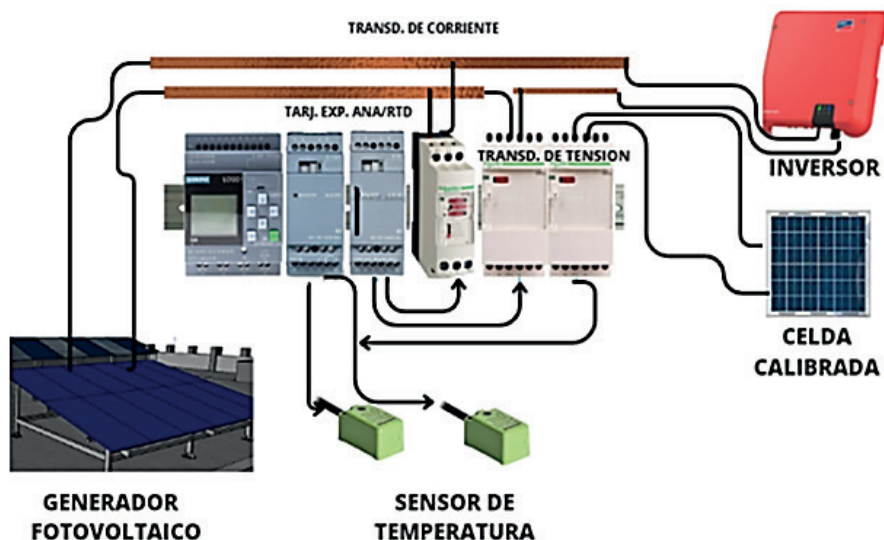
Figura 27 - Vistas de estructuras metálicas.



4.7.1.5 Operación y mantenimiento durante la puesta en marcha de la planta

El SFCR- STRING, comenzó a operar en el 2021 desde esta temporada se monitorea los parámetros eléctricos (AC-DC) , ambientales (T-modulo, T-ambiente, Irradiación) de los cuales son tomadas cada parámetro 01 por minuto. En la figura 12, se muestra el diagrama del sistema de monitoreo el cual se guarda en la nube para luego evaluar las diversas investigaciones que por objetivo tiene el proyecto de FONDECYT.

Figura 28 - Diagrama de la instrumentación de adquisición de datos de monitoreo.



Con los datos disponibles en las tablas del anexo 8, nos lleva a una evaluación del desempeño del SFCR, en una comparación mensual del comportamiento de la irradiancia como recurso natural y principal generación de energía en los sistemas fotovoltaicos. En la figura 13, se muestra el comportamiento mensual de la irradiancia por lo que podemos afirmar que los puntos máximos en un día de verano sobrepasa los 1200 W/m^2 , como también se puede ver en la figura 14 la media mensual de la temperatura del módulo en un rango de trabajo desde los -10°C como mínimo y una temperatura máxima sobre los 50°C estos rangos de trabajo tienen una influencia en la generación de energía puesto que esto se verificara en el trazado de curva.

Figura 29 - Representación de la irradiancia media mensual del SFCR.

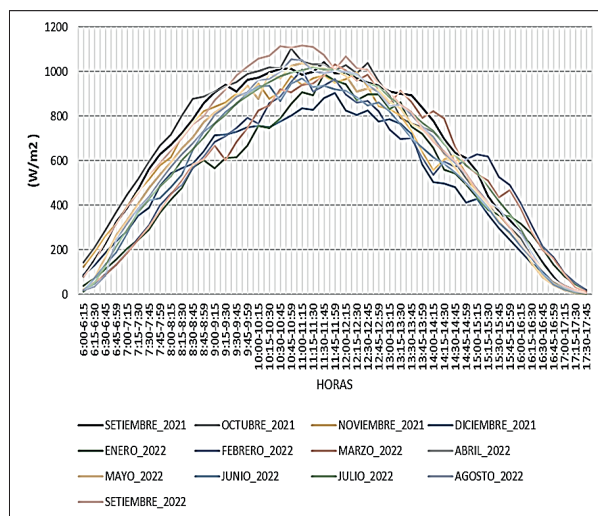
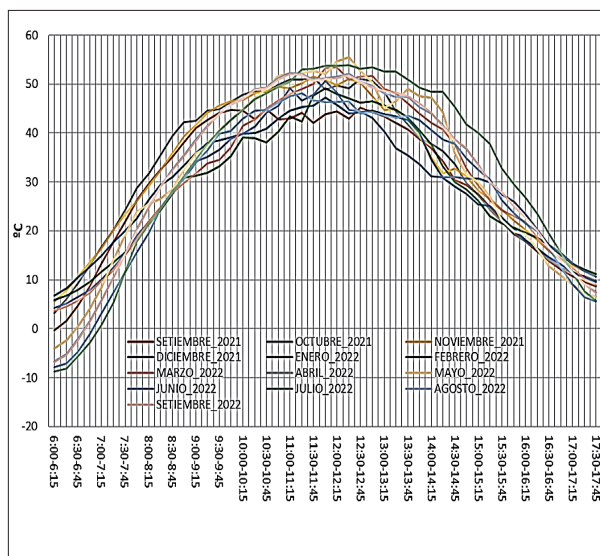
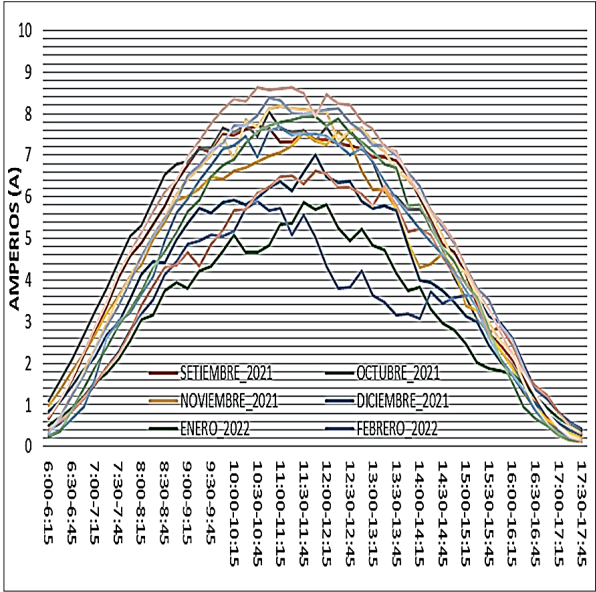


Figura 30 - Representación de la temperatura del módulo media mensual del SFCR.



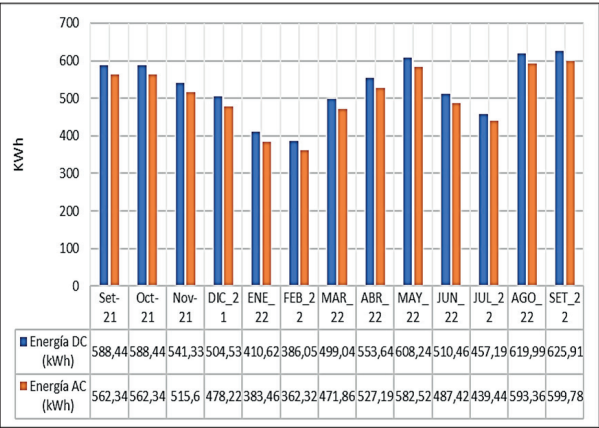
E la figura 13, se puede apreciar corriente (A), en el lado continuo generada por el SFCR. El maximo valor generado en mes de setiembre del 2022 estas por las altas intensidades de irradiacia que podemos corroborar en la figura 12. Ambas figuras demuestran que la corriente generada es directamente proporcional a la irradiancia incidente en el plano que po los valores altos dejan notar un alto recurso en la operación del SFCR.

Figura 31 - Promedio medio mensual de corriente generado por el SFCR.



En la figura 16, se puede apreciar la energía de salida acumulada del SFCR. a la salida de los paneles y la salida del inversor estas hacen notar que contamos con perdidas por diferentes factores ambientales y por eficiencias de equipos, cableado ,etc. Estas perdidas significan un promedio de 20 KWh en perdida mensuales.

Figura 32 - Energía de salida acumulada del SFCR.

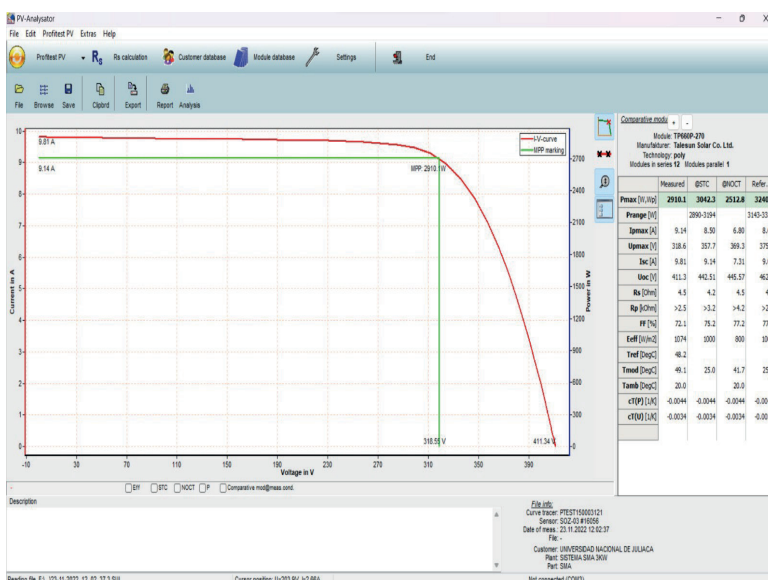


4.7.1.6 CURVA I-V

En la figura 17, podemos apreciar el resultado de la curva I-V del equipo GOSSEN METRAWATT PV 1500, donde se ha cumplido las condiciones ambientales que indica NORMA TÉCNICA BRASILEÑA ABNT-NBR-16274.

Se obtuvo la potencia máxima alcanzada es de 2910 W, corriente máxima de 9.14 A, voltaje máximo de 318.6 V, corriente de corto circuito 9.81 A, voltaje de circuito abierto de 411.3V estos valores se obtuvieron a las condiciones de 1074 W/m² de irradiancia y con temperatura del módulo 49.1 °C.

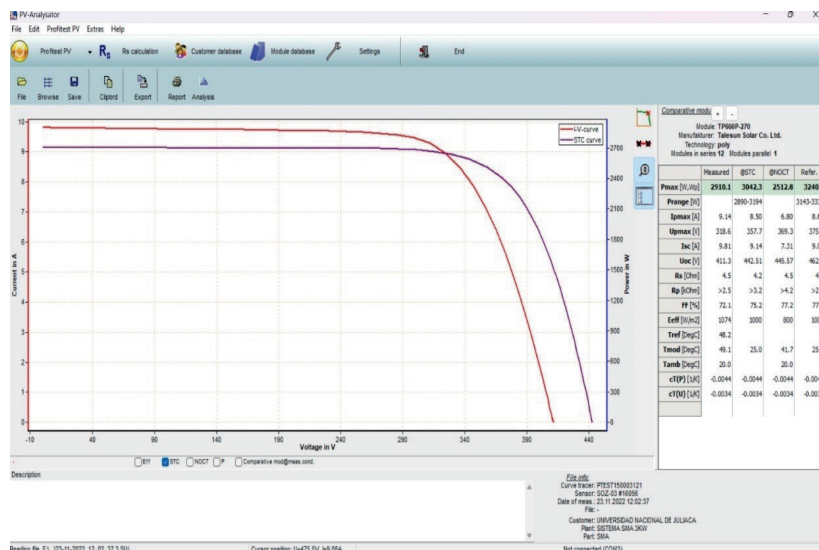
Figura 33 - La curva I-V medida del SFCR.



En la figura 18, se tiene la curva I-V (curva de color violeta) la que corrige a la curva I-V medida de color a las condiciones estándares (STC) que indica.

Se obtuvo la potencia máxima de 3042.3 W, corriente máxima de 8.50 A, voltaje máximo de 357.7 V, corriente de corto circuito de 9.14 A, voltaje de circuito abierto 442.51 V. Esta información puede ser corroborada con el reporte que genera esta aplicación (PV ANALYSATOR) en el anexo 9.

Figura 34 - Curva I-V medida con corrección STC.



4.7.2 Determinar la potencia nominal del sistema fotovoltaico conectado a la red según la norma técnica brasileña ABNT-NBR-16274

La potencia nominal se ha establecido conjuntamente con la aplicación del trazador de curva en donde se obtuvo la potencia nominal de 3044.3 W por lo que en referencia a la ficha técnica del conjunto de paneles se debe las pérdidas por polvo, cableado, etc., el cual se encuentra dentro del rango aceptable.

En la figura 19, se puede apreciar la representación de la potencia nominal con la corrección de temperatura del conjunto de módulos fotovoltaicos esta nos da un valor de 3064W la cual es aceptada considerando que estos datos fueron obtenidos a plena operación del SFCR.

En el rango 0 a 800 W/m² de irradiación tenemos la desviación del comportamiento lineal provocada por el seguimiento del punto máximo de potencia, en el rango 800 a 1100 W/m² tenemos la parte lineal que consideramos para la potencia nominal, en el rango de 1100W/m² en adelante tenemos la restricción debido a la potencia de trabajo del inversor.

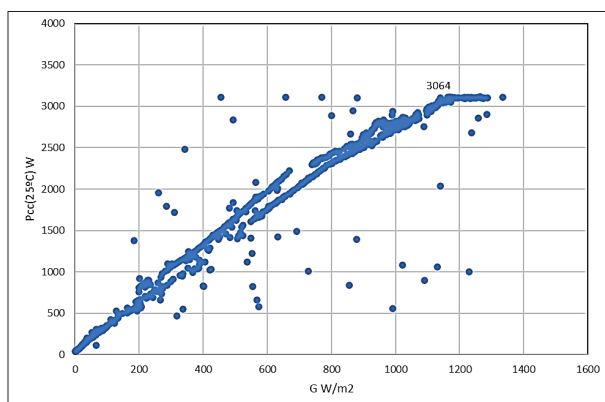
Tabla 6 - Resumen de parámetros de proceso para la obtención del performance ratio por cada mes de evaluación.

MES	Vac. Media (V)	Temp. Ambiente media °C	Temp. módulo medio °C	Irradiancia incidente KWh	Energía DC KWh	Energía AC KWh	Yr KWh-KWp 1*día-1	Ya KWh-KWp 1*día-1	Yf KWh-KWp 1*día-1	Perdidas de captura KWh	Perdida BOS KWh	Performance Ratio %	PRSTC	PRSTC2	nA	bf	NBOS
Set-21	222.40	16.93	29.51	215.78	588.44	562.34	215.78	183.89	175.73	31.89	8.16%	82%	0.80	0.73	0.15	0.14	0.95
Oct-21	224.12	18.39	32.33	225.24	605.31	570.67	215.24	189.16	178.34	36.08	10.82%	80%	0.77	0.71	0.15	0.14	0.94
Nov-21	220.38	18.00	32.39	198.84	541.33	515.60	198.84	169.17	161.13	29.68	8.04%	81%	0.79	0.72	0.15	0.14	0.95
Dic-21	220.58	15.35	29.18	174.08	504.53	478.22	176.06	155.72	147.60	20.35	8.12%	85%	0.84	0.77	0.16	0.15	0.95
Ene-22	222.09	17.10	35.15	217.88	606.13	579.63	217.88	187.08	178.90	30.80	8.18%	82%	0.79	0.73	0.15	0.15	0.95
Feb-22	220.21	15.77	28.78	180.71	386.05	362.32	180.71	119.15	111.83	61.56	7.32%	63%	0.63	0.60	0.12	0.11	0.96
Mar-22	221.62	16.74	30.34	210.29	536.39	509.60	210.29	165.55	157.28	44.74	8.27%	75%	0.74	0.70	0.14	0.13	0.91
Abr-22	221.90	17.35	35.20	212.80	581.39	556.19	212.80	179.44	171.66	33.36	7.78%	81%	0.77	0.71	0.15	0.14	0.95
May - 22	221.67	15.69	31.30	206.83	608.24	582.52	206.83	187.73	179.79	19.10	7.94%	87%	0.85	0.78	0.16	0.16	0.96
Jun-22	220.39	12.45	28.63	186.71	510.46	487.42	186.71	157.55	150.44	29.16	7.11%	81%	0.80	0.74	0.15	0.14	0.96
Jul-22	219.69	15.49	32.41	210.20	457.19	439.44	210.20	141.11	135.63	69.09	5.48%	65%	0.62	0.58	0.12	0.12	0.95
Ago-22	221.60	15.45	32.02	209.81	619.99	593.36	209.81	191.35	183.13	18.45	8.22%	87%	0.85	0.79	0.16	0.16	0.96
Set-22	221.96	13.97	31.95	213.42	625.91	599.78	213.42	193.18	185.12	20.24	8.07%	87%	0.84	0.77	0.16	0.15	0.96
	2878.61	208.68	409.19	2662.59	7171.36	6837.09	2654.57	2220.08	2116.58	444.50	103.51%	79.71%	10.09	9.33	1.92	1.83	94.95%

Tabla 5 - Datos obtenidos del trazador de curva.

Datos obtenidos: PTEST150003121 - SOZ-03 #16056		
T sens:	46.1	DegC
T mod:	52.1	DegC
E eff:	1025	W/m2
Isc:	9.43	A
Uoc:	405.7	V
Ipmax:	8.76	A
Upmax:	313.4	V
Isc 0:	9.19	A
Uoc 0:	441.7	V
Ipmax0:	8.54	A
Upmax0:	356.4	V
Ppk:	3044.3	W

Figura 35 - Potencia nominal corregida a 25°C según la norma técnica brasileña ABNT-NBR-16274.



4.7.3 Proyección del desempeño global en la salida en AC del inversor string con MPPT, según la norma técnica brasileña ABNT-NBR-16274

En la tabla 6, se encuentran los resultados del proceso de datos del periodo de tiempo de 13 meses desde setiembre del 2021 hasta setiembre del 2022 estos datos son obtenidos en la operación del sistema fotovoltaico conectado a la red String de 3.24KW , el cual es monitoreado por un conjunto instrumental descrito en la metodología del presente estudio en onde los parámetros son obtenidos en periodos de 1 minuto por parámetro por lo que para el presente estudio se realizó un proceso de datos para obtener tablas de promedios de 15 minutos para poder procesar los datos mencionados los que se anexan en el anexo 8.

En la figura 20, se tiene las energías acumuladas en AC- DC, en esta grafica se puede confirmar la energía ahorrada por cada mes el cual acumulada de setiembre del 2021 hasta setiembre del 2022 alcanzaría 6837 KWh de energía generada por el SFCR.

En la figura 21, representa el rendimiento final y las pérdidas del SFCR respectivamente donde Yf es el rendimiento final del sistema, las perdidas Bos son las pérdidas del balance del sistema y las pérdidas de captura. El valor sumado de estos parámetros acumulados refleja el valor del rendimiento de referencia (Yr) el cual representa la irradiación total del plano de referencia del módulo fotovoltaico.

Figura 36 - Energía acumulada del periodo de evaluación del S.F.C.R.

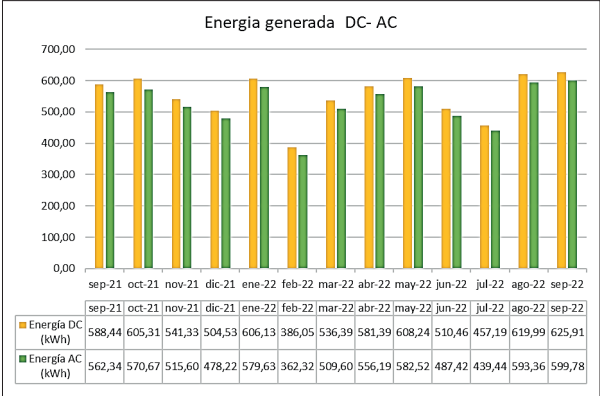
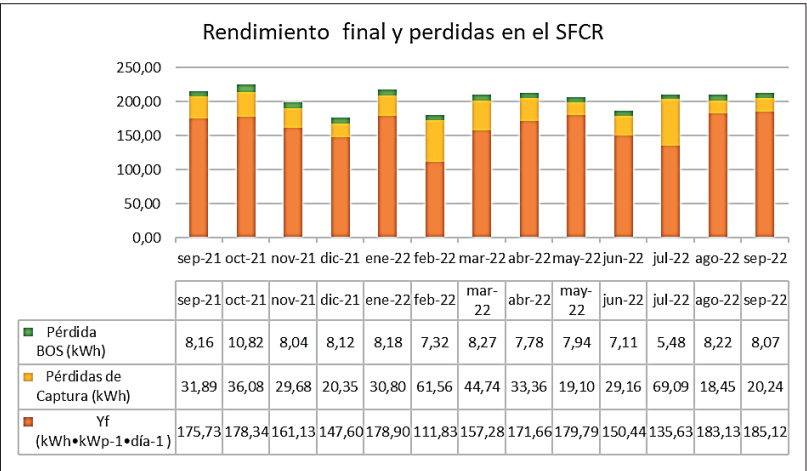
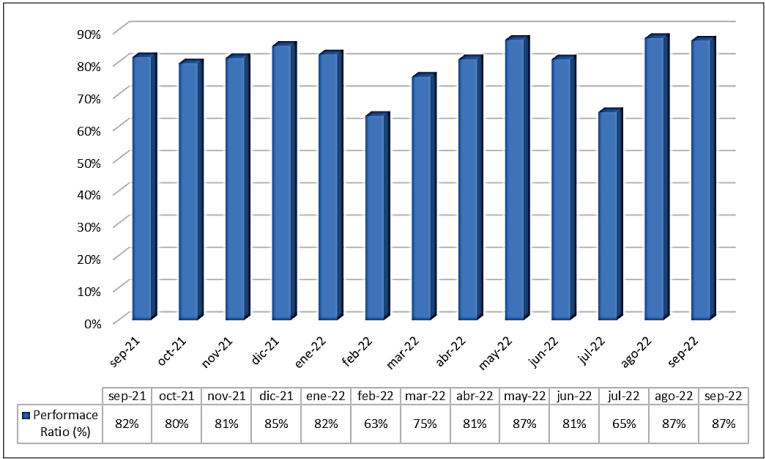


Figura 37 - Rendimiento final y perdidas del S.F.C.R.



En la figura 22, se proyecta los valores del performance ratio de cada mes durante el periodo de evaluación del SFCR. los valores obtenidos reflejan una relación de la energía disponible en los módulos fotovoltaicos aprovechados. Esta considera las pérdidas que se encuentran en los SFCR como también la restricción de la potencia de trabajo del inversor cada uno de los factores mencionados han permitido tener como valor máximo en los meses de setiembre del 2022, agosto del 2022, mayo del 2022 con un valor de 87% y valor mínimo de 63% en el mes de febrero del 2022 en valor promedio anual es de 79% para este SFCR.

Figura 38 - Valores obtenidos de cada mes del Performance ratio.



4.8 Conclusiones

- La curva I-V se proyectó con una irradiancia de 1074 W/m2 a una temperatura de ambiente de 20 °C , con temperatura de módulo de 49.1 °C los cuales se encuentran dentro los parámetros solicitado por la NORMA TÉCNICA BRASILEÑA ABNT-NBR-16274. La curva proyectada por el equipo GROSSEN METRWATT PV 1500 cumple con los estándares y normas que esta implica lo cuales se anexa la ficha técnica el equipo empleado en la figura 19 y la figura 18. Se puede apreciar la forma de la curva con una corriente máxima de 9.4ª y un a tensión de 318V los cuales ascienden a una potencia de 2910W. Con estos valores se pronuncia una curva sin deformación que menciona la norma que pueda significar algún tipo de deficiencias en el conjunto solar fotovoltaico de 3.24Kw de potencia nominal. Cabe precisar que esta potencia al-

canzada a estas condiciones no son las máximas que alcanza el SFCR, según los datos registrados por el equipo de monitoreo estas alcanzan mayores potencias con una irradiancia extrema de 1300w/m2 por lo que se deduce que existe un sobredimensionamiento en relación a la potencia de módulos fotovoltaicos.

- La potencia nominal se obtuvo con los ensayo desarrollado en el trazador de curvas GROSSEN METRWATT PV 1500, los cuales dentro de sus funciones esta corrige los datos a las condiciones estándares de 1000W/m2 y a una temperatura del módulo fotovoltaico de 25 °C los cuales según los valores obtenidos son de: corriente máxima es de 8.50A , tensión de 357.7 y con una potencia nominal de 3042.3W este valor nominal se encuentra considerado un valor optimo puesto a este ensayo cabe precisar que se realizó sin limpieza o mantenimiento del conjunto de módulos fotovoltaicos los cuales representan perdidas. Como también se evaluó por la ecuación que presenta la NORMA TÉCNICA BRASILEÑA ABNT-NBR-16274 en donde el valor obtenido para la potencia nominal es de 1064 W este valor tiene semejanza con el valor obtenido en el ensayo con el trazador de curvas por lo que se encontró en la curva de proyección de potencia corregida a la temperatura de 25°C confirma el sobredimensionamiento de del conjunto de módulos fotovoltaicos representados en la curva en el rango de 1100 W/m2 una curva lineal que representa la restricción de potencia de trabajo del inversor el cual cabe mencionar que los datos del SFCR se tiene condiciones ambientales extremas con una irradiancia en verano que alcanza los 1300 W/m2 los cuales a estas condiciones se tiene una restricción considerable para el conjunto de módulos fotovoltaicos.
- Para la proyección del desempeño global del sistema la salida del inversor se ha evaluado durante 13 meses de setiembre del 2021 hasta setiembre del 2022 en donde para llegar a este parámetro se requiere el cociente de los valores de rendimiento final , rendimiento de referencia estas implican obtener las pérdidas que genera el SFCR como también medir la energía inyectada a red por lo que se consideró lo mencionado en la NORMA TÉCNICA BRASILEÑA ABNT-NBR-16274 , esta evaluación se muestra en la tabla 6 el resumen de la temperatura promedio de cada mes , la temperatura promedio del módulo fotovoltaico , la irradiancia incidente acumulada por cada mes , la energía acumulada en lado continuo , la energía acumulada a la salida del inversor, rendimiento de referencia Yr acumulada para cada mes , rendimiento de los mó-

dulos fotovoltaicos Ya, eficiencia del sistema del sistema nf, eficiencia del arreglo fotovoltaico. Eficiencia del inversor nBos. Por los valores obtenidos del PR de cada mes se deduce que presenta perdidas por captura perdidas por cablería, como también influye la eficiencia del inversor y confirma la disponibilidad de energía del arreglo fotovoltaico es mayor de la necesidad energía que requiere el inversor la cual nos da un promedio de PR de 79.71%.

4.9 Recomendaciones

- Realizar esta inspección/supervisión a cada una de las centrales solares, sistemas fotovoltaicos conectados a la red en referencia mapa de recurso solar en el Perú para poder determinar la constante de dimensionamiento solar para poder tener un a referencia de un dimensionamiento óptimo para cada zona según el mapa solar.
- Implementar esta supervisión e inspección a todos los sistemas solares para poder garantizar el desempeño y corregir de darse el caso a las ocurrencias que se presentan en los sistemas fotovoltaicos.
- Tener los equipos adecuados para realizar los ensayos necesarios para poder cumplir con los pasos a seguir según la norma técnica brasileña
- Tener los equipos calibrados para tener un a referencia fiable para la toma de las mediciones de los parámetros que se requieren para poder evaluar la energía inyectada a la red, potencia corregida a las consideraciones de los estándares descrita en la norma, calcular la potencia nominal del conjunto solar.

CAPÍTULO V

5 FACTORES DETERMINANTES EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

5.1 Introducción

Los sistemas fotovoltaicos han emergido como una de las tecnologías más prometedoras para la transición energética global, ofreciendo una alternativa sostenible y eficiente frente a los combustibles fósiles. Sin embargo, su desempeño y rentabilidad están influenciados por una variedad de factores que van desde las condiciones ambientales hasta los avances tecnológicos y las estrategias de operación y mantenimiento (Fraunhofer ISE, 2021).

Entender los factores determinantes en los sistemas fotovoltaicos es esencial para optimizar su diseño, instalación y operación, especialmente en regiones con condiciones climáticas desafiantes o en mercados emergentes. Elementos como la radiación solar, la temperatura, la acumulación de suciedad, la degradación de los módulos y la configuración del sistema tienen un impacto directo en su eficiencia y vida útil (Lakshmi *et al.*, 2024).

Además, la caracterización precisa y el monitoreo continuo son indispensables para identificar problemas potenciales y ajustar las condiciones operativas a tiempo. En este contexto, las normativas internacionales y los estándares de calidad, como las establecidas por la International Electrotechnical Commission (IEC), desempeñan un papel fundamental en garantizar la confiabilidad y seguridad de los sistemas fotovoltaicos (IEC, 2020b).

Este capítulo se enfoca en analizar los principales factores que afectan el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos, proporcionando una visión integral sobre cómo gestionarlos y mitigarlos para maximizar su aporte energético y económico.

5.2 Factores Ambientales

5.2.1 Radiación Solar

La radiación solar es uno de los factores ambientales más influyentes en el desempeño de los sistemas fotovoltaicos, ya que determina directamente la

cantidad de energía que puede generar un módulo solar. Este parámetro está relacionado con la intensidad, la calidad espectral y la variabilidad temporal de la luz solar que llega a la superficie terrestre (Kalogirou, 2014).

- **Intensidad de la Radiación Solar:** La intensidad de la radiación solar, medida en vatios por metro cuadrado (W/m^2), es crucial para evaluar el potencial de generación de energía de un sistema fotovoltaico. Bajo condiciones estándar de prueba (STC), los módulos fotovoltaicos se evalúan con una irradiancia de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$. Sin embargo, en condiciones reales, esta irradiancia puede variar significativamente debido a factores como la latitud, la altitud y las estaciones del año (Duffie *et al.*, 2020).
- **Calidad Espectral de la Luz Solar:** El espectro de la radiación solar también afecta el rendimiento de las células solares, ya que diferentes tecnologías responden de manera distinta a distintas longitudes de onda. Por ejemplo, los módulos basados en silicio cristalino son más sensibles a la luz visible, mientras que las tecnologías emergentes, como las perovskitas, pueden aprovechar mejor las longitudes de onda cercanas al infrarrojo (Luque & Hegedus, 2011).
- **Variabilidad Temporal:** La variabilidad de la radiación solar, causada por la presencia de nubes, neblina u otros fenómenos atmosféricos, introduce fluctuaciones en la generación de energía fotovoltaica. Esta intermitencia puede ser un desafío, especialmente en regiones con climas tropicales o montañosos, donde los cambios en la radiación solar pueden ser rápidos e impredecibles (Fraunhofer ISE, 2021).
- **Importancia del Monitoreo y Modelado:** El monitoreo preciso de la radiación solar en tiempo real y el modelado predictivo son herramientas esenciales para evaluar el desempeño de un sistema fotovoltaico. Herramientas como los modelos de cielo claro (clear sky models) y las estaciones meteorológicas son fundamentales para calcular la irradiancia disponible y planificar la operación y el mantenimiento del sistema (Mastrucci *et al.*, 2020).

5.2.2 Temperatura Ambiental y del Módulo

La temperatura ambiental y del módulo fotovoltaico son factores ambientales críticos que influyen directamente en el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos. Aunque los módulos solares están diseñados para funcionar en una

amplia gama de temperaturas, su eficiencia tiende a disminuir a medida que la temperatura del módulo aumenta (Nie *et al.*, 2022).

5.2.2.1 Impacto de la Temperatura en el Rendimiento

La relación entre la temperatura y el rendimiento se explica a través del coeficiente de temperatura, un parámetro que describe la disminución porcentual en la eficiencia del módulo por cada grado Celsius de incremento en la temperatura. En módulos de silicio cristalino, este coeficiente varía típicamente entre -0.3% y -0.5% por °C, lo que significa que temperaturas más altas pueden reducir significativamente la producción de energía (Skoplaki & Palyvos, 2009).

5.2.2.2 Factores que Contribuyen al Calentamiento del Módulo

Se puede destacar 3 factores mas influyentes que son:

- **Radiación Solar:** La irradiancia alta, especialmente en regiones tropicales, puede elevar la temperatura del módulo más allá de la temperatura ambiente.
- **Diseño del Sistema:** La ventilación insuficiente o la instalación en superficies con poca disipación de calor puede exacerbar el calentamiento.
- **Condiciones Climáticas:** Factores como la velocidad del viento y la humedad influyen en el enfriamiento natural del módulo.

5.2.2.3 Estrategias para Mitigar el Impacto de la Temperatura

Para poder reducir el impacto de la temperatura se puede considerar lo siguiente:

- **Optimización del Diseño del Sistema:** La instalación de módulos con un espacio adecuado entre la superficie y el techo mejora la ventilación y reduce el calentamiento.
- **Selección de Materiales:** Los avances en materiales, como las células solares con tecnologías de banda prohibida ajustable, mejoran la tolerancia a altas temperaturas (Luque & Hegedus, 2011).

- **Uso de Sistemas de Enfriamiento Activo o Pasivo:** Tecnologías como los sistemas de enfriamiento por agua o aire pueden mantener la temperatura del módulo en niveles óptimos (Ibrahim *et al.*, 2024).

5.2.2.4 Evaluación de la Temperatura Operativa del Módulo (NOCT)

El NOCT (*Nominal Operating Cell Temperature*) es un indicador común utilizado para estimar la temperatura real de operación del módulo bajo condiciones estándar de irradiancia y temperatura ambiente. Este parámetro permite prever cómo afectará el calor al rendimiento en diferentes entornos (Duffie *et al.*, 2020).

5.2.2.5 Importancia del Monitoreo de la Temperatura

El monitoreo continuo de la temperatura del módulo a través de sensores y sistemas de control ayuda a identificar condiciones adversas y a implementar medidas correctivas para garantizar un rendimiento estable y eficiente.

En conclusión, comprender y gestionar el impacto de la temperatura ambiental y del módulo es esencial para maximizar la eficiencia energética de los sistemas fotovoltaicos, especialmente en regiones cálidas o con alta irradiancia solar.

5.2.3 Condiciones Climáticas

Las condiciones climáticas representan un conjunto de factores ambientales que pueden influir significativamente en el rendimiento, la eficiencia y la durabilidad de los sistemas fotovoltaicos. Variables como la presencia de nubes, la humedad, el polvo, las lluvias y la velocidad del viento afectan la cantidad de energía que un sistema puede generar y su longevidad en el tiempo (Kalogirou, 2014).

5.2.3.1 Efectos de la Nubosidad y la Intermitencia Solar

La nubosidad reduce la radiación directa que llega a los módulos fotovoltaicos, limitando la generación de energía. En áreas con climas tropicales o montañosos, donde las condiciones meteorológicas cambian rápidamente,

la intermitencia solar puede generar fluctuaciones en la producción eléctrica. Sin embargo, incluso con cielos nublados, la radiación difusa puede ser aprovechada por algunos módulos diseñados para trabajar en estas condiciones (Skoplaki & Palyvos, 2009).

5.2.3.2 Impacto de la Humedad y las Precipitaciones

La humedad elevada puede provocar la degradación de los materiales del módulo fotovoltaico, especialmente si no cuentan con un sellado adecuado. Además, la acumulación de agua por lluvias intensas o condensación puede afectar las conexiones eléctricas y aumentar el riesgo de corrosión (Luque & Hegedus, 2011).

5.2.3.3 Influencia del Polvo y los Contaminantes Atmosféricos

El polvo, el polen y otros contaminantes atmosféricos forman capas en la superficie de los módulos solares, reduciendo la cantidad de luz solar que los alcanza. Este fenómeno, conocido como ensuciamiento (*soiling*), puede disminuir la eficiencia del sistema hasta en un 20% en áreas con altas concentraciones de partículas en el aire, como las zonas áridas o industriales (Kazem *et al.*, 2021).

5.2.3.4 Rol del Viento y la Ventilación Natural

La velocidad del viento puede tener un doble efecto: mientras que vientos moderados ayudan a enfriar los módulos, mejorando su rendimiento, vientos fuertes pueden causar vibraciones mecánicas o incluso daños estructurales si el sistema no está diseñado para resistirlos. Por esta razón, es esencial realizar un análisis estructural considerando las cargas de viento locales (Duffie *et al.*, 2020).

5.2.3.5 Estrategias de Mitigación

Para minimizar los impactos adversos de las condiciones climáticas, se pueden implementar estrategias como:

- Uso de recubrimientos autolimpiantes para reducir el ensuciamiento.
- Diseño de sistemas resistentes a la corrosión para áreas con alta humedad.

- Instalación de estructuras que resistan cargas de viento elevadas.
- Monitoreo meteorológico continuo para ajustar las operaciones en tiempo real.

5.2.4 Acumulación de Suciedad y Polvo (Soiling)

La acumulación de suciedad y polvo, conocida como *soiling*, es uno de los factores ambientales más relevantes que afectan el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos. Este fenómeno ocurre cuando partículas de polvo, polen, arena, o contaminantes atmosféricos se depositan sobre la superficie de los módulos solares, reduciendo la cantidad de luz solar que alcanza las células fotovoltaicas y, por ende, disminuyendo su eficiencia energética (Kazem, 2023).

5.2.4.1 Efectos del Ensuciamiento en el Rendimiento

El ensuciamiento puede reducir la generación de energía fotovoltaica entre un 2% y un 50%, dependiendo de factores como la ubicación geográfica, el clima y la frecuencia de limpieza del sistema (Mekhilef *et al.*, 2012). Las áreas desérticas y urbanas, caracterizadas por altos niveles de partículas en suspensión, son especialmente susceptibles al problema del *soiling* (Maghami *et al.*, 2016).

5.2.4.2 Factores que Contribuyen al Ensuciamiento

Dentro de los más influyentes tenemos a tres:

- **Condiciones Climáticas:** La ausencia de lluvias en regiones áridas intensifica la acumulación de polvo.
- **Fuentes Industriales y Urbanas:** Las emisiones de fábricas, vehículos y actividades agrícolas contribuyen a una mayor cantidad de partículas en el aire.
- **Inclinación y Orientación del Módulo:** Los módulos con ángulos de inclinación bajos tienden a acumular más polvo debido a la gravedad y la menor acción de autolimpieza por la lluvia (Bergin *et al.*, 2017).

5.2.4.3 Impactos Económicos del Ensuciamiento

El *soiling* no solo afecta la eficiencia de los módulos, sino que también incrementa los costos de operación y mantenimiento. La limpieza regular de los paneles puede ser costosa, especialmente en grandes plantas solares o en regiones con acceso limitado al agua (Ilse *et al.*, 2019).

5.2.4.4 Estrategias para Mitigar el Ensuciamiento

Para reducir el impacto del ensuciamiento se puede realizar:

- **Recubrimientos Antiadherentes:** El uso de películas hidrofóbicas o autolimpiantes puede reducir significativamente la acumulación de polvo.
- **Limpieza Automática:** Sistemas de limpieza robótica o por aire comprimido ofrecen una alternativa eficiente y rentable para mantener los módulos libres de polvo.
- **Monitoreo y Análisis del Ensuciamiento:** La implementación de sensores de irradiancia y análisis predictivo puede ayudar a planificar la limpieza con base en los niveles de suciedad acumulada (Al Mallahi *et al.*, 2023).

5.3 Factores Tecnológicos

5.3.1 Materiales de las Células Solares

Los materiales utilizados en la fabricación de células solares son fundamentales para determinar su eficiencia, durabilidad, costo y aplicabilidad en diferentes entornos. Estos materiales han evolucionado significativamente a lo largo de las décadas, impulsados por la necesidad de mejorar el rendimiento energético y reducir los costos de producción.

5.3.1.1 Tipos de Materiales en las Células Solares

1. Silicio Cristalino

El silicio cristalino es el material más comúnmente utilizado en células solares, representando aproximadamente el 90% del mercado global. Existen dos variantes principales:

- **Monocristalino:** Fabricado a partir de un único cristal de silicio, tiene la mayor eficiencia entre las células solares comerciales, con valores que alcanzan hasta más de 24%. Su producción es más costosa debido al proceso de corte y fabricación (Green *et al.*, 2020).
- **Policristalino:** Más económico que el monocristalino, se produce a partir de múltiples cristales de silicio. Aunque su eficiencia es ligeramente inferior (entre 15% y 20%), sigue siendo una opción popular por su relación costo-beneficio.

2. Películas Delgadas

Las células solares de película delgada utilizan menos material que las de silicio cristalino, lo que reduce los costos de producción. Los materiales comunes incluyen:

- **Teluro de Cadmio (CdTe):** Ofrece un bajo costo de producción y buena eficiencia, pero su uso está limitado por preocupaciones ambientales debido a la toxicidad del cadmio (Fthenakis *et al.*, 2020).
- **Cobre-Indio-Galio-Seleniuro (CIGS):** Este material combina alta eficiencia y flexibilidad, haciéndolo adecuado para aplicaciones portátiles o en techos no convencionales (Zhao *et al.*, 2020).

3. Materiales de Nueva Generación

Los avances en investigación han llevado al desarrollo de materiales innovadores como:

- **Perovskitas:** Estas estructuras cristalinas han mostrado un rápido incremento en eficiencia, alcanzando valores cercanos al 25%. Sin embargo, su durabilidad y estabilidad a largo plazo todavía son desafíos importantes (NREL, 2021).
- **Materiales Orgánicos:** Basados en compuestos de carbono, son flexibles, livianos y adecuados para aplicaciones especializadas. Sin embargo, su eficiencia es menor en comparación con los materiales inorgánicos (Economopoulos *et al.*, 2014).

5.3.1.2 Impacto de los Materiales en el Rendimiento y la Sostenibilidad

La elección del material de las células solares afecta no solo la eficiencia energética, sino también la huella ambiental del sistema fotovoltaico. Por ejemplo, mientras que el silicio cristalino tiene un impacto ambiental relativamente bajo debido a su abundancia y reciclabilidad, materiales como el telurio de cadmio presentan desafíos relacionados con la disposición final y la toxicidad (Sørensen, 2017).

5.3.1.3 Tendencias Futuras y Desafíos

El desarrollo de materiales híbridos y técnicas de fabricación avanzadas, como la impresión 3D y los procesos de fabricación de bajo costo, promete revolucionar la industria fotovoltaica. Sin embargo, la comercialización de nuevos materiales dependerá de su capacidad para equilibrar eficiencia, costo y sostenibilidad.

En conclusión, los materiales de las células solares son un componente crítico en el diseño y desarrollo de sistemas fotovoltaicos. La investigación y el desarrollo continuo en este campo serán esenciales para satisfacer la creciente demanda global de energía renovable.

5.3.2 Diseño y Configuración del Sistema

El diseño y la configuración de un sistema fotovoltaico (FV) son aspectos esenciales que influyen directamente en su desempeño, eficiencia y costo a lo largo de su vida útil. Estos factores tecnológicos están determinados por la selección de componentes, la disposición de los módulos solares y la integración de tecnologías de monitoreo y control.

Elementos Clave en el Diseño de un Sistema Fotovoltaico:

1. Disposición de los Módulos Solares

La orientación e inclinación de los módulos solares son críticas para maximizar la captación de radiación solar. En general, los módulos deben orientarse hacia el ecuador y ajustarse en función de la latitud local para lograr

un rendimiento óptimo (Soomar *et al.*, 2022). Además, la disposición física de los módulos debe considerar aspectos como la sombra parcial, la ventilación y el espacio disponible.

2. Selección de Inversores

Los inversores convierten la corriente continua (CC) generada por los módulos en corriente alterna (CA), que puede utilizarse en redes eléctricas. La elección entre inversores centrales, de cadena (string) o microinversores depende del tamaño y complejidad del sistema. Los microinversores, por ejemplo, ofrecen ventajas en sistemas con sombra parcial, ya que optimizan el rendimiento de cada módulo individualmente (Khatib *et al.*, 2013).

3. Configuración Eléctrica

La conexión en serie y paralelo de los módulos solares afecta la tensión y corriente del sistema. Una configuración adecuada debe equilibrar la eficiencia energética y la seguridad operativa, especialmente en grandes plantas solares (Islam *et al.*, 2019).

4. Tecnología de Monitoreo y Control

Los sistemas modernos integran tecnologías de monitoreo que permiten evaluar el rendimiento del sistema en tiempo real. Esto incluye sensores de irradiancia, temperatura y sistemas de análisis predictivo para identificar problemas y optimizar la operación (Bolinger *et al.*, 2019).

Factores que Influyen en el Diseño del Sistema:

1. Condiciones Climáticas y Ambientales

El diseño debe adaptarse a las condiciones locales, como niveles de radiación solar, temperatura y viento. Por ejemplo, en regiones con altas temperaturas, es fundamental prever mecanismos de ventilación para evitar sobrecalentamiento de los módulos (Srivatsava Kondapally, 2024).

2. Costos y Viabilidad Económica

El diseño debe buscar un equilibrio entre el costo inicial del sistema y el retorno de inversión. Esto incluye la selección de componentes de calidad, pero económicamente viables, y el dimensionamiento adecuado de la instalación.

3. Normativas y Estándares

Los sistemas fotovoltaicos deben cumplir con las normativas locales y estándares internacionales. Estas regulaciones abarcan desde aspectos técnicos, como seguridad eléctrica, hasta requerimientos de conexión a la red (IEC, 2020b).

5.3.3 Degradación de los Módulos

La degradación de los módulos fotovoltaicos es un fenómeno inevitable que afecta el rendimiento energético de un sistema a lo largo de su vida útil. Aunque los avances tecnológicos han permitido aumentar la durabilidad de los módulos, la comprensión y mitigación de los mecanismos de degradación siguen siendo áreas clave de investigación para maximizar su eficiencia y reducir los costos a largo plazo.

Tipos de Degradación en Módulos Fotovoltaicos

1. Degradación Inducida por la Luz (LID)

Este fenómeno ocurre en los primeros meses de operación y se asocia principalmente con las células solares de silicio cristalino. La interacción entre oxígeno y boro dentro de las células genera una reducción inicial de la eficiencia del módulo, que puede oscilar entre el 1% y el 3% (Jordan *et al.*, 2020).

2. Degradación Potencial Inducida (PID)

La PID es causada por el estrés eléctrico en ambientes húmedos o de alta temperatura, lo que resulta en una fuga de corriente a través del encapsulante o el vidrio del módulo. Este tipo de degradación puede reducir

significativamente la eficiencia del sistema, especialmente en instalaciones de gran escala (Bora *et al.*, 2021).

3. Degradación por Factores Ambientales

Los módulos están expuestos a condiciones adversas como la radiación ultravioleta (UV), fluctuaciones de temperatura, humedad y ciclos de congelación/descongelación, lo que puede generar microfisuras, delaminación y envejecimiento acelerado de los materiales.

4. Degradación por Suciedad y Polvo (Soiling)

La acumulación de polvo y otros contaminantes en la superficie del módulo puede bloquear parcialmente la luz solar, reduciendo la generación de energía. Este tipo de degradación es especialmente crítico en regiones áridas o desérticas (Borah *et al.*, 2023).

Factores que Influyen en la Degradación de los Módulos

1. Calidad de los Materiales

Los materiales utilizados en la fabricación de módulos, como el encapsulante, el vidrio y las células solares, afectan directamente su resistencia al envejecimiento. Materiales de alta calidad pueden reducir significativamente los efectos de la degradación (Ogbomo *et al.*, 2017).

2. Condiciones de Instalación

Una instalación adecuada que minimice el estrés mecánico y evite la acumulación de humedad puede prolongar la vida útil de los módulos.

3. Mantenimiento y Limpieza

Un programa regular de limpieza y mantenimiento puede mitigar los efectos de la suciedad y otros factores externos que contribuyen a la degradación.

Estrategias para Mitigar la Degradación

1. Mejora en los Materiales

La investigación en encapsulantes más resistentes, vidrios antirreflecentes y tecnologías avanzadas como los módulos bifaciales está en marcha para reducir la degradación.

2. Monitoreo Continuo

Sistemas de monitoreo en tiempo real permiten identificar anomalías y reducir las pérdidas de eficiencia asociadas con la degradación (Jordan *et al.*, 2020).

3. Desarrollo de Normativas

Las normas internacionales como la IEC 61215 y la IEC 61730 proporcionan guías para pruebas de durabilidad y seguridad, lo que asegura la calidad de los módulos en diferentes condiciones climáticas (IEC, 2020a).

5.4 Factores Operativos

5.4.1 Monitoreo y Mantenimiento

El monitoreo y mantenimiento son aspectos importantes para asegurar el rendimiento óptimo de los sistemas fotovoltaicos (FV) durante su vida útil. La implementación de estrategias eficaces en estas áreas permite identificar fallos, reducir pérdidas energéticas y prolongar la durabilidad de los componentes.

5.4.1.1 Importancia del Monitoreo

El monitoreo en tiempo real de un sistema FV es esencial para garantizar que los módulos y demás componentes funcionen dentro de los parámetros esperados. Los sistemas de monitoreo recopilan datos sobre parámetros como la irradiancia solar, la temperatura del módulo, la potencia generada, y las condiciones ambientales. Estos datos son analizados para detectar anomalías,

como sombras parciales, fallos en los inversores o pérdidas por degradación (Chouder *et al.*, 2013).

La tecnología actual permite la integración de herramientas avanzadas como:

- **Sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition):** Permiten supervisar y controlar plantas solares a gran escala.
- **Sensores Inteligentes:** Dispositivos que capturan datos precisos de parámetros críticos para la operación de los sistemas FV (Fernández & (Ansari *et al.*, 2021).
- **Modelos basados en IA:** Usados para el análisis predictivo y la identificación temprana de fallos (Anekwe, 2023).

5.4.1.2 Prácticas de Mantenimiento en Sistemas Fotovoltaicos

El mantenimiento de los sistemas FV se divide principalmente en dos categorías:

1. Mantenimiento Preventivo

Este tipo de mantenimiento incluye inspecciones regulares, limpieza de los módulos para prevenir pérdidas por acumulación de suciedad y revisiones eléctricas para asegurar el correcto funcionamiento de los cables, inversores y conexiones.

2. Mantenimiento Correctivo

Consiste en la reparación o reemplazo de componentes defectuosos una vez que se han identificado problemas específicos. Ejemplos comunes incluyen la sustitución de módulos dañados, reparaciones en los inversores y ajustes en la configuración eléctrica.

5.4.1.3 Impacto del Monitoreo y Mantenimiento en el Rendimiento

Estudios han demostrado que las plantas solares con monitoreo constante y mantenimiento regular presentan un aumento significativo en su factor de

capacidad y eficiencia general. Por ejemplo, la limpieza de módulos en regiones desérticas puede mejorar la eficiencia en hasta un 30% (Mekhilef *et al.*, 2011).

5.4.1.4 Desafíos y Mejores Prácticas

- **Costos:** El monitoreo y mantenimiento representan un gasto operativo, especialmente en instalaciones de gran escala. Sin embargo, este costo es compensado por la reducción de pérdidas y aumento de la producción energética.
- **Accesibilidad:** En sistemas instalados en áreas remotas, el mantenimiento puede ser un desafío logístico. En estos casos, las tecnologías de monitoreo remoto son indispensables (Ansari *et al.*, 2021).
- **Capacitación:** La formación adecuada del personal técnico es crucial para realizar tareas de mantenimiento de manera eficiente y segura.

El monitoreo y mantenimiento son fundamentales para garantizar el funcionamiento eficiente y prolongado de los sistemas fotovoltaicos. La implementación de tecnologías avanzadas y prácticas regulares de mantenimiento no solo reduce las pérdidas energéticas, sino que también asegura el retorno de inversión en este tipo de sistemas.

5.4.2 Pérdidas en el Sistema

Las pérdidas en un sistema fotovoltaico (FV) son un factor determinante en su desempeño energético y eficiencia global. Estas pérdidas pueden originarse en diferentes etapas de la conversión de energía solar en electricidad, desde la radiación solar captada por los módulos hasta la entrega de energía a la red o a los usuarios finales. Comprender y mitigar estas pérdidas es fundamental para optimizar el rendimiento de los sistemas FV (Saeed & Zohaib, 2021).

Clasificación de las Pérdidas en un Sistema Fotovoltaico:

- Pérdidas Ópticas.
- Pérdidas de Conversión.
- Pérdidas Resistivas.
- Pérdidas Térmicas.

- Pérdidas de Sistema o Balance de Sistema (BOS).
- Pérdidas por Sombreamiento.

5.4.3 Vida Útil del Sistema

La vida útil de los sistemas fotovoltaicos (FV) es un aspecto crucial en su viabilidad técnica, económica y ambiental. Comprende el tiempo durante el cual un sistema FV puede operar de manera eficiente antes de requerir reemplazos o actualizaciones significativas. Aunque generalmente se estima que los sistemas FV tienen una vida útil de 25 a 30 años, diversos factores, como la calidad de los componentes, el mantenimiento y las condiciones operativas, pueden influir en esta estimación (Jordan & Kurtz, 2017).

Factores que Determinan la Vida Útil del Sistema:

- Degradación de los Módulos
- Calidad de los Componentes
- Condiciones Ambientales
- Mantenimiento y Operación
- Actualización Tecnológica

REFERENCIAS

- ABNT. (2022). **NBR 16274: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica – Requisitos de ensaio.**
- ACETECH. (2024). **Energía solar y precios: Brasil emerge como líder en energía fotovoltaica.** Recuperado de https://es.acebattery.com/blogs/solar-power-and-prices-brazil-emerges-as-a-leader-in-photovoltaic-energy?utm_source=chatgpt.com
- Al Mallahi, M. N., Assad, M. E. H., Rejeb, O., Delnava, H., Asaad, S., & Tan, Y. C. (2023). **A review on cleaning techniques of solar photovoltaic panels.** 040010. <https://doi.org/10.1063/5.0165208>
- ANEEL. (2023). **Panorama da energia solar no Brasil.** Recuperado de <https://www.aneel.gov.br>
- ANEEL. (2025). **Micro e minigeração distribuída de energia elétrica cresceu 8,85 GW em 2024.** Recuperado de <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2025/micro-e-minigeracao-distribuida-de-energia-eletrica-cresceu-8-84-gw-em-2024>
- Anekwe, I. M. S. (2023). **Artificial Intelligence Applications in Solar Photovoltaic Renewable Energy Systems** (pp. 47–86). <https://doi.org/10.21741/9781644902530-3>
- Angulo, J. R. (2022). **Contribution to the characterization and modeling of photovoltaic generators.** [Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/23969?show=full>
- Ansari, S., Ayob, A., Lipu, M. S. H., Saad, M. H. M., & Hussain, A. (2021). A Review of Monitoring Technologies for Solar PV Systems Using Data Processing Modules and Transmission Protocols: Progress, Challenges and Prospects. **Sustainability**, 13(15), 8120. <https://doi.org/10.3390/su13158120>
- Aranda, J., Llera, E., Marco, M., Ortego, A., Scarpellini, S., & Valero, J. (2013). **Guía de mercados energéticos.** <https://dspacereva.conacyt.gov.py/xmlui-repo/handle/123456789/7135?show=full>
- ASTM International. (2021). **ASTM E2848-21: Standard Test Method for Reporting Photovoltaic Non-Concentrator System Performance.** West Conshohocken.
- AutoSolar. (2023). **Configuración de paneles solares.** Autosolar Energía Del Perú S.A.C. <https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/configuracion-de-paneles-solares>
- Barragán-Escandón, E. A., Zalamea-León, E. F., Terrados-Cepeda, J., & Vanegas-Peralta, P. F. (2020). Energy self-supply estimation in intermediate cities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 129, 128–109913. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109913>
- Bergin, M. H., Ghoroi, C., Dixit, D., Schauer, J. J., & Shindell, D. T. (2017). Large Reductions in Solar Energy Production Due to Dust and Particulate Air Pollution. **Environmental Science & Technology Letters**, 4(8), 339–344. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.7b00197>
- Besso, R. (2017). **Sistema solar fotovoltaico conectado à rede – estudo de caso no centro de Tecnologia da UFRJ.** (Tesis de grado) [Universidade Federal do Rio de Janeiro]. <https://www.drhima.poli.ufrj.br/images/documentos/tcc/2017/rachel-besso-2017.pdf>
- Bester Energy. (2013). **Aplicaciones de sistemas fotovoltaicos aislados.** BESTER. <https://bester.energy/aplicaciones-sistemas-energia-fotovoltaica-aislados/>
- Bolinger, M., Seel, J., & Robson, D. (2019). **Utility-Scale Solar: Empirical Trends in Project Technology, Cost, Performance, and PPA Pricing in the United States (2019 Ed.).** <https://doi.org/10.2172/1581088>
- Bora, B., Mondal, S., Prasad, B., Sastry, O. S., Bangar, M., Tripathi, A. K., & Banerjee, C. (2021). Accelerated stress testing of potential induced degradation susceptibility of PV modules under different climatic conditions. **Solar Energy**, 223, 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.020>

Borah, P., Micheli, L., & Sarmah, N. (2023). Analysis of Soiling Loss in Photovoltaic Modules: A Review of the Impact of Atmospheric Parameters, Soil Properties, and Mitigation Approaches. *Sustainability*, 15(24), 16669. <https://doi.org/10.3390/su152416669>

BUN-CA. (2002). **Manuales sobre energía renovable: Solar Fotovoltaica**. (Primera edición). <http://www.bio-nica.info/biblioteca/BUNCA2002Fotovoltaica.pdf>

Caamaño Martín, E. (1998). **Edificios fotovoltaicos conectados a la red eléctrica: caracterización y análisis** [Universidad Politécnica de Madrid]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.1322>

Chepp, E. D., & Krenzinger, A. (2018). **Estudo Comparativo Do Uso De Inversorstringe Microinversores Na Geração De Energia Elétrica De Umainstalaçãofotovoltaicacom Sombreamento Parcial**.

Chouder, A., Silvestre, S., Taghezouit, B., & Karatepe, E. (2013). Monitoring, modelling and simulation of PV systems using LabVIEW. *Solar Energy*, 97, 337–349. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.09.016>

Chura, V. (2020). **Diseño, Implementación y Análisis Económico de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR) de 3kW con Inversor String Analizado en las Condiciones Geográficas y Climatológicas de la Ciudad de Juliaca**. (Tesis de grado) [Universidad Nacional De Juliaca]. [http://repositorio.unaj.edu.pe/bitstream/handle/UNAJ/118/Vianey Daysi Chura Palli TESIS FINAL %281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unaj.edu.pe/bitstream/handle/UNAJ/118/Vianey%20Daisy%20Chura%20Palli%20TESIS%20FINAL%20281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ciencia Plus. (2002). **Los productores de energías renovables dicen que su impacto ambiental es 31 veces inferior al de las convencionales**. Barcelona: Europa Press.

Clemente-Morales Rodríguez, I., & Castro, E. (2017). La hora solar pico equivalente, definición e interpretación Maykop-Pérez Martínez. *Revista de Ingeniería Energética*, 2.

Colmenar, A., Borge, D., Collado, E., & Castro, M. (2015). **Generación distribuida, autoconsumo y redes inteligentes**. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=575694>

Cornejo, H. (2013). **Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el Centro Materno Infantil de la Universidad de Piura** [Universidad de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1762>

De Pierro, B. (2017). **Para aprovechar el sol**. <https://revistapesquisa.fapesp.br/es/para-aprovechar-el-sol/>

Dialogue Earth. (2024). **¿Qué tan inclusivo y justo es el boom de la energía solar en Brasil?** <https://dialogue.earth/es/energia/que-tan-inclusivo-y-justo-es-boom-energia-solar-brasil>

Díaz, M. (2008). **Energías renovables y eficiencia energética**. (Primera edición). Instituto Tecnológico de Canarias. <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

Duffie, J. A., Beckman, W. A., & Blair, N. (2020). **Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind**. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119540328>

Echeandía, G. (2014). **Energías No Convencionales en el Perú Situación Actual y Perspectivas**. https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/electricidad/Paginas/IVCongresoGFE/archivos/1_Exposiciones/35_PERU_GuillermoEcheandia.pdf

Economopoulos, S. P., Itskos, G., Koutentis, Panayiotis A., & Choulis, S. A. (2014). Overview of Polymer and Copolymer Materials for Organic Photovoltaics. In: **Organic Photovoltaics** (pp. 1–26). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527656912.ch01>

Endesa Energía. (2023). **Energía solar: qué es, cómo funciona y sus ventajas**. Madrid: Endesa S.A. <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/energias-renovables/energia-solar>

Energía Estratégica. (2019). **Brasil: avanza regulación para exportar de energía renovable a Argentina y Uruguay**. Recuperado de <https://www.energiaestrategica.com/brasil-avanza-regulacion-para-exportar-de-energia-renovable-a-argentina-y-uruguay/>

Evwind. (2025). **Energía solar fotovoltaica creció un 40% en 2024 y alcanza 52 GW en Brasil**. Evwind. Recuperado de <https://www.evwind.com/2025/01/11/energia-solar-fotovoltaica-crecio-un-40-en-2024-y-alcanza-52-gw-en-brasil>

Fernández, J. (2022). **Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a red** [Universitat Politècnica de València, Valencia]. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/188598/Fernandez - Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a red.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/188598/Fernandez_-_Diseño_de_un_sistema_fotovoltaico_conectado_a_red.pdf?sequence=1)

Firman, A., Cáceres, M., Toranzos, V., Busso, A., Vera, L., & Cardena, C. (2012). **Monitoreo y caracterización de sistemas fotovoltaicos conectados a red**. <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/2007/199>

Foro Económico Mundial. (2024). **Brasil y Chile lideran la transición energética en América Latina**. <https://es.weforum.org/stories/2024/07/brasil-y-chile-lideran-la-transicion-energetica-en-america-latina>

Foro Nuclear. (2023). **¿Qué es la energía solar y cómo se aprovecha?** <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-la-energia-solar-y-como-se-aprovecha/>

Fraunhofer ISE. (2021). **Photovoltaics report**. Recuperado de <https://www.ise.fraunhofer.de>

Fthenakis, V., Athias, C., Blumenthal, A., Kulur, A., Magliozzo, J., & Ng, D. (2020). Sustainability evaluation of CdTe PV: An update. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 123, 109776. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109776>

Gabrielle. (2023, March 4). **Potencial solar no Brasil: confira aqui o mapa solarimétrico**. Solarfy. <https://solarfy.com.br/blog/potencial-solar-no-brasil-confira-aqui-o-mapa-solarimetrico/>

Gomez, S. (2019). **Estudio de un sistema fotovoltaico: Caracterización, Simulación y evaluación de diversos métodos de Análisis y Predicción**. (Tesis de pregrado) [Pontificia Universidad Católica del Perú]. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/14438/GÓMEZ_SÓCOLA_SEBASTIAN_MIGUEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Green, M. A., Dunlop, E. D., Hohl-Ebinger, J., Yoshita, M., Kopidakis, N., & Ho-Baillie, A. W. Y. (2020). Solar cell efficiency tables (Version 55). **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, 28(1), 3–15. <https://doi.org/10.1002/pip.3228>

Grupo TRITEC. (2017). **Tipos de paneles Fotovoltaicos**. TRITEC. <https://tritec-center.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/>

Guterres, A. (2024). **Energías renovables: energías para un futuro más seguro**. <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>

Hassaine, L. (2010). **Implementación de un control digital de potencia activa y reactiva para inversores**. (Tesis doctoral) [Universidad Carlos III de Madrid]. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/10230#preview>

Ibrahim, O. A. A.-M., Kadhim, S. A., & Al-Ghezi, M. K. S. (2024). Photovoltaic panels cooling technologies: Comprehensive review. **Archives of Thermodynamics**, 581–617. <https://doi.org/10.24425/ather.2023.149720>

IEC. (2017). **IEC 61853: Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating – Part 1**. Geneva: IEC.

IEC. (2018). **Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices**. Geneva: IEC.

IEC. (2020a). **IEC Standards for Photovoltaic Systems: IEC 61215 and IEC 61730**. <https://www.iec.ch/>

IEC. (2020b). Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval. In **International Electrotechnical Commission (IEC)** (61215-1).

Ilse, K., Micheli, L., Figgis, B. W., Lange, K., Daßler, D., Hanifi, H., Wolfertstetter, F., Naumann, V., Hagendorf, C., Gottschalg, R., & Bagdahn, J. (2019). Techno-Economic Assessment of Soiling Losses and Mitigation Strategies for Solar Power Generation. **Joule**, 3(10), 2303-2321. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.08.019>

Iranmanesh, M., Samimi Akhijahani, H., & Barghi Jahromi, M. S. (2020). CFD modeling and evaluation the performance of a solar cabinet dryer equipped with evacuated tube solar collector and thermal storage system. **Renewable Energy**, 145, 1192-1213. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.038>

IRENA. (2021). **Innovation outlook: Advanced solar photovoltaics**. International Renewable Energy Agency. Recuperado de <https://www.irena.org>

IRENA. (2024). **Renewable energy statistics 2024. International Renewable Energy Agency**. Recuperado de <https://www.irena.org/Publications/2024/Dec/Off-grid-Renewable-Energy-Statistics-2024>

Islam, M. B., Yanagida, M., Shirai, Y., Nabetani, Y., & Miyano, K. (2019). Highly stable semi-transparent MAPbI₃ perovskite solar cells with operational output for 4000 h. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 195, 323-329. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.03.004>

Jordan, D. C., Marion, B., Deline, C., Barnes, T., & Bolinger, M. (2020). PV field reliability status—Analysis of 100 000 solar systems. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, 28(8), 739-754. <https://doi.org/10.1002/pip.3262>

Kalogirou, S. A. . (2014). *Solar energy engineering : processes and systems*. Elsevier/Academic Press.

Kazem, H. A. (2023). Impact of long-term dust accumulation on photovoltaic module performance — a comprehensive review. **Environmental Science and Pollution Research**, 30(57), 119568-119593. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30788-y>

Kazem, H. A., Chaichan, M. T., Al-Waeli, A. H. A., Sopian, K., & Darwish, A. S. K. (2021). Evaluation of Dust Elements on Photovoltaic Module Performance: an Experimental Study. **Renewable Energy and Environmental Sustainability**, 6, 30. <https://doi.org/10.1051/rees/2021027>

Khatib, T., Mohamed, A., & Sopian, K. (2013). A review of photovoltaic systems size optimization techniques. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 22, 454-465. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.023>

Lakshmi, K. R. C., Singh, J. B., Padmavathi, N., & Babu, M. D. (2024). Enhancing solar photovoltaic panel performance in india's tropical climate: an experimental study on the influential effects of optical filters. **Global Nest Journal**, 26(8). <https://doi.org/10.55555/gnj.005876>

Luque, A., & Hegedus, S. (2011). **Handbook of Photovoltaic Science and Engineering** (Segunda Edición). Wiley.

Maghami, M. R., Hizam, H., Gomes, C., Radzi, M. A., Rezadad, M. I., & Hajighorbani, S. (2016). Power loss due to soiling on solar panel: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 59, 1307-1316. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.044>

Martín, J. (2024). **El despegue global de la fotovoltaica bate las previsiones más optimistas**. <https://cincodias.elpais.com/companias/2024-09-19/el-despegue-mundial-de-la-fotovoltaica-bate-las-previsiones-mas-optimistas.html>

Mastrucci, A., Marvuglia, A., Benetto, E., & Leopold, U. (2020). A spatio-temporal life cycle assessment framework for building renovation scenarios at the urban scale. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 126, 109834. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109834>

Mekhilef, S., Saidur, R., & Kamalisarvestani, M. (2012). Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 16(5), 2920–2925. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.012>

Mekhilef, S., Saidur, R., & Safari, A. (2011). A review on solar energy use in industries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 15(4), 1777–1790. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.12.018>

MINEM. (2021). **PLAN NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN RURAL 2021 - 2023.pdf**. Recuperado de <https://www.minem.gob.pe>

NBamericas. (2024, January 19). Energía solar de Brasil atraería US\$8.000mn en 2024. **Bnamericas**. Recuperado de <https://www.bnamericas.com/es/noticias/energia-solar-de-brasil-atraeria-us8000mn-en-2024>

Neto, J. A. (2017). **Análise da potência elétrica fornecida por um sistema fotovoltaico conectado à rede a partir da comparação entre o seu modelo teórico e medições realizadas**. (Tesis de grado). Universidade Federal do Paraná.

Neves, L. (2024, April 9). Brasil alcanza el sexto puesto mundial en energía solar. **Pv Magazine**. <https://www.pv-magazine-latam.com/2024/04/09/brasil-alcanza-el-sexto-puesto-mundial-en-energia-solar/>

Nie, S., Zhu, Y., Kunz, O., Trupke, T., & Hameiri, Z. (2022). Advanced photoluminescence imaging using non-uniform excitation. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, 30(4), 349–359. <https://doi.org/10.1002/pip.3488>

NREL. (2021). **Best Research-Cell Efficiency Chart**. <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>

Ogbomo, O. O., Amalu, E. H., Ekere, N. N., & Olagbegi, P. O. (2017). A review of photovoltaic module technologies for increased performance in tropical climate. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 75, 1225–1238. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.109>

Orbegoza, C., & Arivilca, R. (2010). **Energía Solar Fotovoltaica: Manual técnico para instalaciones domiciliarias**. https://issuu.com/sinapsisarcar/docs/energ_a_solar_fotovoltaica_manual

Orosco, D. R. (2013a). **Ubicación de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red en el mercado eléctrico peruano** [UNI]. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/892?mode=full>

Orosco, D. R. (2013b). **Ubicación de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red en el mercado eléctrico peruano**. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería.

Pereira, E., Martins, F., Gonçalves, A., Costa, R., Lima, F., Rüther, R., Luna, S., Tiepolo, G., PEREIRA, S., & Gonçalves, J. (2017). **Atlas Brasileiro de Energia Solar** (Segunda Edición). INPE. <https://energiasolarfotovoltaica.ufsc.br/referencia-bibliografica-2/atlas-brasileiro-de-energia-solar/>

Pv magazine LatAm. (2025). **La energía solar alcanza los 52 GW en Brasil**. Recuperado de <https://www.pv-magazine-latam.com/2025/01/13/la-energia-solar-alcanza-los-52-gw-en-brasil/>

Saeed, F., & Zohaib, A. (2021). Quantification of Losses in a Photovoltaic System: A Review. **The 2nd International Electronic Conference on Applied Sciences**, 35. <https://doi.org/10.3390/ASEC2021-11200>

Segui, P. (2023). **Energía Solar Térmica**. OVADEN. [https://ovacen.com/energias-renovables/solar/termica/#:~:text=La tecnología solar térmica se,térmicas\) más un depósito acumulador.](https://ovacen.com/energias-renovables/solar/termica/#:~:text=La tecnología solar térmica se,térmicas) más un depósito acumulador.)

Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede — Requisitos Mínimos Para Documentação, Ensaios de Comissionamento, Inspeção e Avaliação de Desempenho (2014). <https://www.passeidireto.com/arquivo/70990426/nbr-16274-2014>

Skoplaki, E., & Palyvos, J. A. (2009). On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. **Solar Energy**, 83(5), 614–624. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.10.008>

Soomar, A. M., Hakeem, A., Messaoudi, M., Musznicki, P., Iqbal, A., & Czapp, S. (2022). Solar Photovoltaic Energy Optimization and Challenges. **Frontiers in Energy Research**, 10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.879985>

Sørensen, B. (2017). *Renewable Energy: Physics, Engineering, Environmental Impacts, Economics and Planning* (R. Zanol, Ed.; Fifth Edition). ELSEVIER.

Srivatsava Kondapally, K. K. (2024). Performance Analysis and Optimization of a Solar Powered Device. **International Journal of Science and Research (IJSR)**, 13(4), 1158–1165. <https://doi.org/10.21275/SR24411124616>

TECNOSOL. (2019). **Características eléctricas de los paneles solares**. Albacete: Tecnología Solar e Hidráulica S.L. <https://tecnosolab.com/noticias/caracteristicas-electricas-de-los-paneles-solares/>

Teles, M. (2017). **Avaliação operacional das diferentes arquiteturas de interligação de geradores fotovoltaicos à rede elétrica**. (Tesis de maestría) [. (2017). Avaliação operacional das diferentes arquiteturas de interligação de geradores fotovoltaicos à rede elétrica. (Tesis de maestría) (Universidade Federal do Pará]. https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFGA_470df010433d72b6adc1e23010c76c21

Torres, I. (2015). **Proyecto de una central solar fotovoltaica de 20 MW** [Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/2530>

Underwriters Laboratories. (2021). **UL 1703: Flat-Plate Photovoltaic Modules and Panels**.

Uscuvilca, O. (2016). **Aprovechamiento De Energía Solar Termica Y Fotovoltaica En Conexion a La Red De Distribucion Electrica Para Uso Eficiente De Energía En Viviendas** [Universidad Nacional del centro del Perú - Pos Grado]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3933>

Van-Dall, K., & Correa, N. (2015). **Análise do desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em Curitiba**. (Tesis de grado) [Universidade Tecnológica Federal do Paraná]. https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10094/1/CT_COELE_2015_2_04.pdf

Zhao, Y., Yuan, S., Kou, D., Zhou, Z., Wang, X., Xiao, H., Deng, Y., Cui, C., Chang, Q., & Wu, S. (2020). High Efficiency CIGS Solar Cells by Bulk Defect Passivation through Ag Substituting Strategy. **ACS Applied Materials & Interfaces**, 12(11), 12717–12726. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b21354>



científica digital



VENDA PROIBIDA - ACESSO LIVRE - OPEN ACCESS

