



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



TESIS

**EVALUACIÓN DEL FACTOR DE DIMENSIONAMIENTO PARA SFCR,
IMPLEMENTADO CON CONVERTIDORES CC/CC PARA FINES DE
MICRO GENERACIÓN, EN CONDICIONES DE CLIMA EXTREMO EN EL
DISTRITO DE SAN MIGUEL JULIACA PERÚ A 3812 MSNM**

PRESENTADA POR:

PEDRO YULIAN PUMA ROQUE

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE
SISTEMAS ELÉCTRICOS**

PUNO, PERÚ

2023

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN DEL FACTOR DE DIMENSI
ONAMIENTO PARA SFCR, IMPLEMENTA
DO CON CONVERTIDORES CC_CC PARA
FINES**

AUTOR

PEDRO YULIAN PUMA ROQUE

RECuento DE PALABRAS

18958 Words

RECuento DE CARACTERES

101948 Characters

RECuento DE PÁGINAS

85 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.8MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 7, 2023 4:35 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 7, 2023 4:37 PM GMT-5

● **11% de similitud general**

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

- 10% Base de datos de Internet
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Pedro Jared Lague Covita
ESTADÍSTICO E INFORMÁTICO
CIP: 116625



JOSE MANUEL RAMOS CUTIPA
ING MECANICO ELECTRICISTA
CIP/ 78419

Resumen



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

TESIS

EVALUACIÓN DEL FACTOR DE DIMENSIONAMIENTO PARA SFCR,
IMPLEMENTADO CON CONVERTIDORES CC/CC PARA FINES DE
MICRO GENERACIÓN, EN CONDICIONES DE CLIMA EXTREMO EN EL
DISTRITO DE SAN MIGUEL JULIACA PERÚ A 3812 MSNM



PRESENTADA POR:

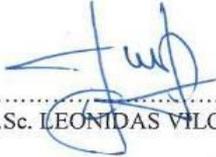
PEDRO YULIAN PUMA ROQUE

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

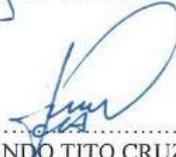
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA CON
MENCION EN GESTIÓN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS
ELÉCTRICOS

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

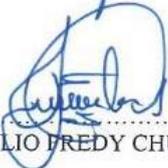
PRESIDENTE


.....
D.Sc. LEONIDAS VILCA CALLATA

PRIMER MIEMBRO


.....
M.Sc. ARMANDO TITO CRUZ CABRERA

SEGUNDO MIEMBRO


.....
Dr. JULIO FREDY CHURA ACERO

ASESOR DE TESIS


.....
Mtro. JOSÉ MANUEL RAMOS CUTIPA

Puno, 07 de Julio de 2023

Área: Ciencias de la ingeniería Mecánica Eléctrica.

Tema: Evaluación del factor de dimensionamiento para SFCR, implementado con convertidores CC/CC para fines de micro generación, en condiciones de clima extremo en el distrito de San Miguel Juliaca Perú a 3812 msnm.

Línea: Eléctrica y Energías Renovables.



DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada:

A Dios por permitirme estar junto a mi familia seres queridos y amigos, por brindarme salud y bendecirme en mi vida, En quien confié y sé que siempre estará en mí camino.

A mis padres y hermanas, en especial a mi mamita Martha quien con su esfuerzo incondicional me apoyo en todo momento. Y sé que siempre estará para brindarme una mano porque su amor a sus hijos es muy grande.

Finalmente, y de manera muy especial quiero dedicar esta tesis a mi familia, principalmente a mi pequeña Leila Marie, quien es el eje principal de mi vida con su llegada a este mundo me ha demostrado la granada de Dios, así también lleno mi vida de alegría y mucha fortaleza para cumplir mis objetivos.

Pedro Yulian Puma Roque.



AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional del Altiplano al programa de maestría en ciencias de la Ingeniería Mecánica Eléctrica. Por mi formación profesional.

Al director de tesis: MgSc. José Manuel Ramos Cutipa. Por su colaboración constante en el desarrollo de la presente tesis, así como su disponibilidad en todo momento.

Quiero expresar mi gratitud al Dr Henry Pizarro Viveros director del Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética de la UNAJ. Por permitirme hacer el uso de las instalaciones del laboratorio, y depositar su confianza en mi persona.

De manera muy especial al Dr Norman Jesús Beltrán Castañón en condición de Investigador Principal y jefe del Proyecto de investigación: *Diseño y validación de la operación y monitoreo de sistemas fotovoltaicos conectados a red (SFGRS) en condiciones extremas del altiplano sobre los 3800msnm, según contrato 180-2018-FONDECYT-BM-IADT-AV*. Por darme la oportunidad de participar en dicho proyecto.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LA LITERATURA

1.1. Marco teórico	3
1.1.1. Energía Solar Fotovoltaica	3
1.1.2. Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red (SFCR)	4
1.1.3. Tipos de inversores para SFCR	5
1.1.4. Factor de dimensionamiento del inversor (FDI)	6
1.1.5. Rendimiento del módulo e inversor FV	7
1.1.6. Comportamiento energético de una SFCR	9
1.1.7. Perdidas en el inversor	12
1.1.8. Convertidores CC/CC	13
1.1.9. Generacion distribuida (GD)	15
1.1.10. Clasificación de la generación distribuida FV	16
1.1.11. Marco normativo de la GD en el Perú	17
1.2. Antecedentes	18

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema	26
2.2. Enunciados del problema	27
2.2.1. Problema general	27
2.2.2. Problemas específicos	27
2.3. Justificación	27
	iii



2.4. Objetivos de la investigación	28
2.4.1. Objetivo general	28
2.4.2. Objetivos específicos	29
2.5. Hipótesis	29
2.5.1. Hipótesis general	29
2.5.2. Hipótesis específicas	29

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio	30
3.1.1. Características del sistema fotovoltaico en estudio	30
3.1.2. Generador Fotovoltaico	30
3.1.3. Inversor	33
3.1.4. El optimizador Solar Edge P370	35
3.1.5. Adquisición de datos y monitoreo	37
3.2. Población	40
3.3. Muestra	41
3.4. Métodos de investigación	41
3.4.1. Tipo de investigación	42
3.4.2. Variables	42
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	43

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Disponibilidad anual de recurso solar	45
4.2. Caracterización del sistema fotovoltaico	46
4.2.1. Energía acumulada	47
4.2.2. Rendimiento final	47
4.2.3. Rendimiento referencial del sistema (Yr)	48
4.2.4. Rendimiento global del sistema (PR)	49
4.2.5. Temperatura en el plano del generador	50
4.2.6. Eficiencia del generador e inversor fotovoltaicos	51
4.3. Sobre y sub dimensionamiento del inversor	52
4.3.1. Prueba con siete módulos fotovoltaicos	52



4.3.2. Prueba con ocho módulos fotovoltaicos	53
4.3.3. Prueba con nueve módulos fotovoltaicos	54
4.3.4. Prueba con diez modulos fotovoltaicos	54
4.3.5. Evaluación de perdidas y temperatura en el inversor	55
4.3.6. Evaluación del compartamiento de tension AC en el inversor	57
4.3.7. Evaluacion parametros electricos en la red trifasica	58
4.4. Resumen de resultado obtenidos	59
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	69



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Clasificación de GD según nivel de potencia: Contexto internacional	16
2. Clasificación de GD según nivel de potencia: Contexto brasilero	16
3. Parámetros eléctricos del módulo fotovoltaico	31
4. Factores de perdida por temperatura	32
5. Características Mecánicas del módulo fotovoltaico	32
6. Cumplimiento de normas técnicas del inversor SE3000H	34
7. Características del inversor SE3000H (Ofrecidas por el fabricante)	35
8. Datos de Placa optimizador de energía	36
9. Operacionalización de variables	43
10. Técnicas e instrumento de recolección de datos	44
11. Promedio de Irradiancia en W/m ² durante un año	46
12. Pruebas del sistema fotovoltaico	52
13. Resumen temperatura e irradiancia anual	59
14. Comportamiento anual del generador FV	60
15. Evaluación del FDI experimental	60

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Efecto fotoeléctrico en una celda FV	4
2. Esquema general de un SFCR	5
3. Tipos de inversores FV	6
4. SFCR, parámetros eléctricos y ambientales	7
5. Parámetros eléctricos de una SFCR	10
6. Convertidores CC/CC para SFCR	14
7. Área de estudio	30
8. Generador fotovoltaico UNAJ	33
9. Inversor SE30000H	34
10. optimizador SolarEdge P370	37
11. Esquema de instalación del sistema fotovoltaico	37
12. Dispositivos de registro y almacenamiento de datos.	38
13. Tablero de instrumentación	39
14. Instalación fotovoltaica con convertidores cc/cc	40
15. Vista general de la instalación fotovoltaica conectada a red.	40
16. Representación del diseño de investigación	41
17. Evaluación de la irradiancia durante un año de estudio	46
18. Energía acumulada 01 año	47
19. Rendimiento del sistema fotovoltaico	48
20. Rendimiento final y referencial del sistema	49
21. Rendimiento global del sistema	50
22. Comportamiento de temperatura ambiente y de modulo	51
23. Eficiencia del inversor y generador fotovoltaico	51
24. Experimentos realizados con siete módulos fotovoltaicos	53
25. Experimentos realizados con ocho módulos fotovoltaicos	53
26. Experimentos realizados con nueve módulos fotovoltaicos	54
27. Comportamiento de la potencia activa AC. con 3700Wp	55
28. Energía transformada por el inverso	56
29. Perdidas en el inversor	56
30. Temperatura del inversor a distintas potencias nominales del generador	57
31. Tensión AC a diferentes potenciales nominales del generador fotovoltaico	58
32. Parámetros eléctricos en la red trifásica	59



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Pantalla de monitoreo del sistema fotovoltaicos	69
2. Tablero de instrumentación a detalle	70
3. Instalación de optimizadores	70
4. Montaje e instalación celda de referencia	71
5. Prueba de perturbaciones originadas en la red	72
6. Adquisición y procesamiento de datos	73

RESUMEN

La investigación recopila un análisis de datos a lo largo de un año de estudio de un inversor fotovoltaico Solar EDGE de 3000 W y un generador fotovoltaico inicial de 10 módulos FV de 370 Wp. El enfoque de la investigación fue aplicado, utilizando métodos experimentales bajo condiciones de clima extremo, con irradiancias elevadas y temperaturas bajas. La instrumentación utilizada para medir parámetros eléctricos y ambientales en la evaluación anual del SFCR arrojó los siguientes resultados: una energía acumulada de 10 000 kWh y un rendimiento variable de 4.50% a 5.75 kWh/kWp. El rendimiento global fue de solo 65.74%, considerado bajo debido a que la potencia nominal del generador es de 3700 Wp, mientras que el inversor alcanza solo 3000 W. Luego, se realizaron ajustes en la potencia nominal del generador para determinar el Factor de Dimensionamiento (FDI) del inversor. Los resultados indicaron que con 7 módulos FV (2590 Wp) y un FDI del 116%, se logró un rendimiento de 98.49%. Con 8 módulos FV (2960 Wp) y un FDI del 101%, el rendimiento alcanzó un 98.51%. Con 9 módulos FV (3330 Wp) y un FDI del 90%, el rendimiento fue de 98.48%. Finalmente, con 10 módulos (3700 Wp) y un FDI del 81%, se obtuvo un rendimiento de 98.47%. Estos resultados resaltan que un FDI del 101% resulta en un mejor rendimiento del SFCR. Esto sugiere que, bajo las condiciones climáticas extremas específicas del lugar de estudio, es más factible considerar un FDI de 95% a 100%. Estos hallazgos son fundamentales para optimizar el diseño de sistemas fotovoltaicos en la zona, garantizando su viabilidad técnica y económica.

Palabras clave: Energía acumulada, Factor de dimensionamiento, Módulos fotovoltaicos, Potencia nominal, Rendimiento, Sistema fotovoltaico conectado a red.

ABSTRACT

The research collects data analysis over a one-year study of a 3000 W Solar EDGE PV inverter and an initial PV generator of 10 PV modules of 370 Wp. The research approach applied experimental methods under extreme weather conditions, with high irradiances and low temperatures. The equipment used to measure electrical and environmental parameters in the annual evaluation of the SFCR yielded the following results: a cumulative energy of 10,000 kWh and a variable yield of 4.50% to 5.75 kWh/kWp. The overall efficiency was only 65.74%, considered low because the nominal power of the generator is 3700 Wp, while the inverter reaches only 3000 W. Then, adjustments were made to the nominal power of the generator to determine the Sizing Factor (SDF) of the inverter. The results indicated that with 7 PV modules (2590 Wp) and an FDI of 116%, an efficiency of 98.49% was achieved. With 8 PV modules (2960 Wp) and an FDI of 101%, the yield reached 98.51%. With 9 PV modules (3330 Wp) and an FDI of 90%, the yield was 98.48%. Finally, with 10 modules (3700 Wp) and an FDI of 81%, the yield was 98.47%. These results highlight that an FDI of 101% results in a better performance of the SFCR. This suggests that, under the extreme climatic conditions specific to the study site, it is more feasible to consider an FDI of 95% to 100%. These findings are fundamental to optimizing the design of PV systems in the area, ensuring their technical and economic feasibility.

Keywords: Cumulative energy, Grid-connected photovoltaic system, Rated power, Sizing factor, Performance, Photovoltaic modules.

INTRODUCCIÓN

La energía fotovoltaica ha emergido como una fuente esencial de generación de electricidad sostenible y limpia (C. A. García et al., 2018). Los SFCR se han consolidado como una alternativa importante en la transición hacia fuentes de energía renovable, Sin embargo, es importante evaluar el desempeño de estos sistemas en condiciones extremas, como altitudes elevadas, donde los factores climáticos (temperatura e irradiancia principalmente) pueden incidir de manera significativa (J. M. García et al., 2018)

En el presente trabajo, se tiene como objetivo desarrollar una determinación experimental del FDI para un inversor fotovoltaico Solar EDGE, de 3000 W conjuntamente con un generador fotovoltaico inicialmente compuesto por 10 módulos FV de 370 Wp, posteriormente realizar pruebas con 7, 8 y 9 módulos FV, la instalación se encuentra en Juliaca-Perú aproximadamente a 3827 msnm, Latitud sur: -15.49° y Longitud: -70.13° , la instrumentación instalada en el lugar de estudio, demuestra elevados niveles de irradiancia y temperaturas bajas es por ello, que se busca comprender cómo estas condiciones adversas afectan el rendimiento y eficiencia de los sistemas fotovoltaicos (Benitez et al., 2019), y cómo ajustar el factor de dimensionamiento para optimizar su desempeño.

La investigación consiste en la recopilación y análisis de datos durante el un año de estudio (periodo: 2021-2022) obtenidos del SFCR en estudio fotovoltaicos instalados en la región específica, considerando parámetros climáticos, radiación solar y temperatura (Pascual et al., 2021). A través de la identificación de las relaciones entre el factor de dimensionamiento y el rendimiento del inversor, se pretende proporcionar recomendaciones prácticas para el diseño y operación eficiente de este tipo de sistema en condiciones de clima extremo.

El siguiente objetivo planteado en el presente trabajo de investigación es encontrar de forma experimental el factor de dimensionamiento FDI, para el inversor fotovoltaico en estudio para lo cual se realiza cuatro pruebas experimentales considerando distintas potencias nominales del generador fotovoltaico para un mismo inversor, las pruebas son realizadas bajo condiciones absolutamente reales y con instrumentos confiables, que proporcionan información cada sesenta segundos, durante 8 horas de prueba para cada experimento.



El estudio aspira a contribuir al conocimiento científico y técnico en el campo de la energía fotovoltaica, aportando información relevante para la toma de decisiones en el diseño y planificación de sistemas de generación de energía renovable en áreas geográficas con condiciones climáticas extremas (Mendoza et al., 2018). Asimismo, se espera que los resultados obtenidos puedan ser aplicados en otros contextos similares, con el objetivo de mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la generación de energía solar fotovoltaica a nivel global (Martínez et al., 2019).

La investigación se desarrolla de la siguiente manera:

En el capítulo I: Marco teórico y los antecedentes de investigación; Capítulo II: Planteamiento del problema. Capítulo III: Materiales y métodos empleados en la investigación, ubicación, población, muestra, métodos. Capítulo IV: Resultados y posteriormente la discusión de la investigación de acuerdo a los objetivos de investigación con detallando en las variables, indicadores y dimensiones. Por último, se muestran las conclusiones, recomendaciones, bibliografía, finalmente los anexos que prueban la ejecución de la investigación.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LA LITERATURA

1.1. Marco teórico

En el presente capítulo se abordan los antecedentes del estudio para el desarrollo de la tesis, explorando y definiendo los conceptos principales relacionados con la generación de energía eléctrica mediante Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red (SFCR). Se detallan los aspectos más relevantes de una instalación fotovoltaica que consta principalmente de un generador fotovoltaico (conjunto de módulos o paneles solares) y un inversor encargado de transformar la energía de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC) en el contexto de sistemas conectados a red. Además, se considera el estudio del factor de dimensionamiento (FDI) del inversor, el cual juega un papel clave en el diseño adecuado del sistema fotovoltaico y en su óptimo funcionamiento. Asimismo, se examina la Norma Técnica IEC TS 61724-3, que detalla el proceso de evaluación de un sistema fotovoltaico, incluyendo el análisis de parámetros eléctricos y ambientales.

Se debe indicar que los parámetros ambientales más influyentes en el desempeño de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, son la irradiancia y la temperatura ambiente en la zona de Puno se cuenta con los niveles de irradiancia elevados al mismo tiempo se tiene la temperatura ambiente por debajo de los 25°C lo cual es muy favorable para el desempeño de los sistemas FV, las condiciones prueba estándar con sus siglas en inglés STC indica temperatura (25°C) e irradiancia (1000W/m²), favorables para la operación de los SFCR.

1.1.1. Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica refiere a la transformación de energía solar en forma de irradiancia a energía eléctrica mediante el uso de ciertos materiales como el silicio (Gómez et al., 2018), a este proceso es conocido como efecto fotoeléctrico, se produce cuando la luz solar incide sobre un material semiconductor, como el silicio, por ejemplo, presente en los paneles fotovoltaicos (Lamigueiro, 2020).

Cuando los fotones de la luz solar golpean los electrones del material semiconductor, les transfieren suficiente energía para liberarlos de sus átomos y crear corrientes de electrones en el material, generando así una corriente eléctrica (Castejon & Santamaria, 2015).

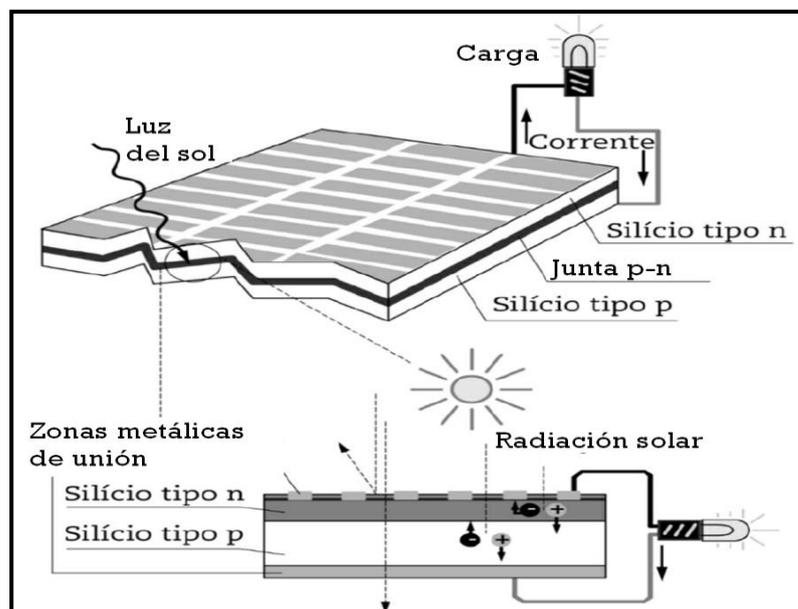


Figura 1. Efecto fotoeléctrico en una celda FV

Fuente: (Zilles et al., 2021)

En la figura se muestra la interacción entre la luz proveniente del sol y una celda solar, los fotones incidentes energizan los electrones libres y ellos se movilizan creando una diferencia de potencial.

1.1.2. Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red (SFCR)

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (SFCR) son sistemas de generación de energía que utilizan paneles solares para convertir la radiación solar en electricidad (Cosrejon & Santamaria, 2010). Estos sistemas están diseñados para estar conectados directamente a la red eléctrica de distribución, lo que les permite inyectar el exceso de energía generada en la red y recibir energía de la red cuando sea necesario (Lamigueiro, 2020).

Un SFCR está compuesto principalmente por paneles solares fotovoltaicos que capturan la luz solar y la convierten en electricidad a través del efecto fotoeléctrico. (Zhao et al., 2018) La energía generada en forma de corriente continua (DC) es luego convertida en corriente alterna (AC) por un inversor, que adapta la electricidad para que sea compatible con la red eléctrica.

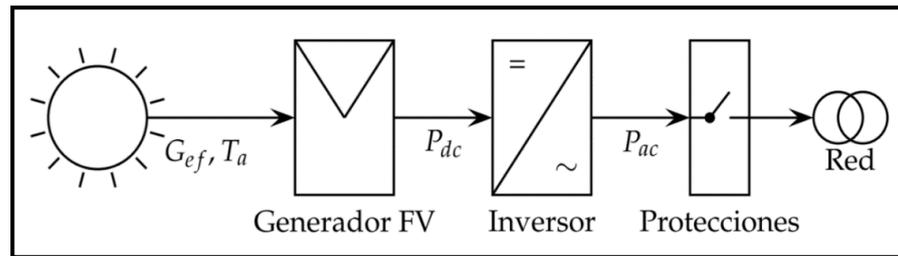


Figura 2. Esquema general de un SFCR

Fuente: (Lamigueiro, 2020).

(Macêdo, 2006), ofrece una explicación para los componentes de un SFCR:

Generador FV: Conjunto de paneles solares o módulos fotovoltaicos, se encargan de captar la energía solar y luego transformarlo a energía eléctrica en corriente continua (CC).

Inversor FV: Es un dispositivo de avanzada electrónica de potencia, convierte la energía eléctrica en CC producida por el generador fotovoltaico a energía eléctrica en corriente alterna (CA). Posteriormente inyecta a la red eléctrica conectada.

Red eléctrica: Conformado el sistema de generación, transmisión distribución, se encarga de transportar la energía eléctrica desde los puntos de generación hasta los usuarios finales.

Carga eléctrica: Consume la energía proporcionada por el generador FV y también puede consumir la energía eléctrica proveniente de la red, la carga eléctrica puede influir en el comportamiento del generador fotovoltaico y también de la red.

1.1.3. Tipos de inversores para SFCR

Las topologías comúnmente utilizadas en SFCR con potencias inferior a 10KW desde el aspecto técnico y económico son los siguientes:

Inversor con optimizadores:

Los optimizadores son dispositivos que operan conjuntamente con los módulos fotovoltaicos, cada optimizador aplica un algoritmo de seguidor del punto de máxima potencia MPPT, por lo ello el inversor cumple la función de únicamente de transformar la energía eléctrica en corriente continua, a energía eléctrica en corriente alterna, justamente por lo ello su costo es más económico.

Inversor convencional:

En su gran mayoría cuentan con uno o más seguidores del punto de máxima potencia MPPT, estos pueden soportar uno o más cadenas, no requiere optimizadores ya que las cadenas están formadas por únicamente módulos fotovoltaicos,

Micro inversores:

Son pequeños dispositivos cuya potencia por lo general es inferior a los 3kW, son fáciles de instalar no requiere muchos dispositivos de protección, se instalan de manera directa.

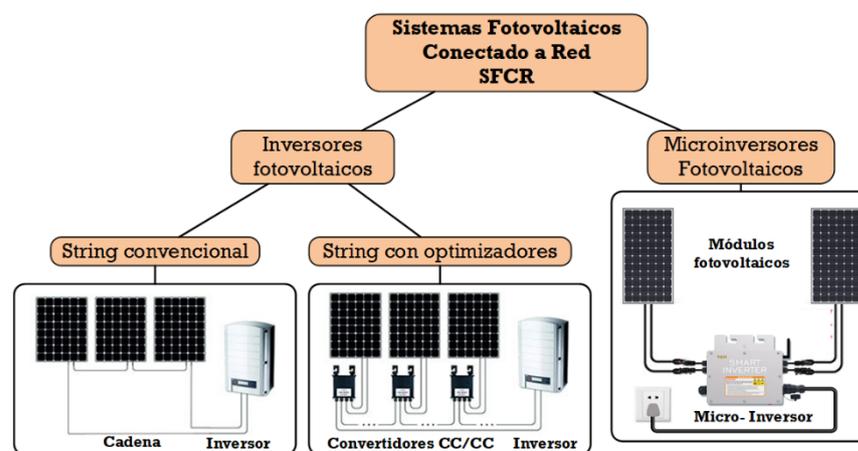


Figura 3. Tipos de inversores FV

1.1.4. Factor de dimensionamiento del inversor (FDI)

El factor de dimensionamiento (FDI), es una variable crítica a considerar durante el diseño de SFCR, básicamente representa la relación entre la potencia nominal del generador fotovoltaico y la potencia nominal del inversor.(Villalva, 2015)

El (FDI) para inversores fotovoltaicos se puede calcular mediante la ecuación 1:

$$FDI = \frac{P_{INV}}{P_{PANELES FV}} \quad (1)$$

Donde:

FDI: es el factor de dimensionamiento para el inversor fotovoltaico.

P_{INV} : Potencia que indica el fabricante del Inversor fotovoltaico de inyección a red.

$P_{PANELES FV}$: Es la sumatoria de las potencias nominales de los módulos FV.

El FDI se expresa como un valor entre 0 y 1, donde un valor de 1 indica un inversor con capacidad igual a la capacidad total de los paneles, también se suele utilizar en porcentaje 0 % a 100 % (Zilles et al., 2021).

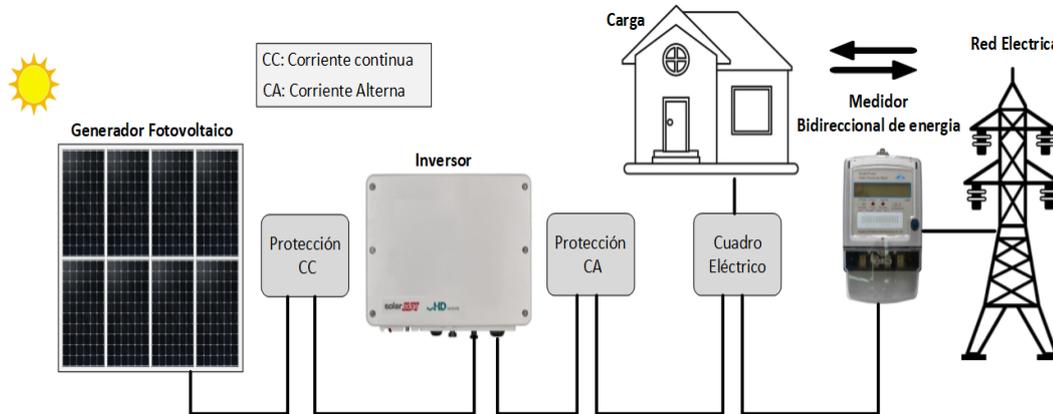


Figura 4. SFCR, parámetros eléctricos y ambientales

La figura 4 muestra un esquema de instalación propio de un SFCR, conjuntamente con los parámetros eléctricos y ambientales.

La energía eléctrica producida por un sistema fotovoltaico se puede determinar mediante la integral de la potencia generada en un período de tiempo específico. La ecuación para calcular la energía es:

$$E = \int_{T_1}^{T_2} P(t)dt \quad (2)$$

Donde E (kWh) representa la energía total producida, P(t) (KW) es la potencia en función del tiempo, y T1 y T2 son los límites de tiempo del período de interés. Se puede considerar también como que la energía representa el área bajo la curva potencia vs tiempo se puede determinar haciendo uso de sumatorias. (IEC 61247, 2016)

1.1.5. Rendimiento del módulo e inversor FV

Se debe aclarar que existe diferencia entre el rendimiento y eficiencia, cuando se trata de sistemas de generación fotovoltaica. El rendimiento se refiere a la relación entre la energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico y la energía solar incidente en él. Por otro lado, la eficiencia se enfoca en la capacidad del sistema para convertir la energía solar en electricidad de manera óptima, sin tener en cuenta las pérdidas externas. En resumen, el rendimiento mide el desempeño general del

sistema (en condiciones reales), mientras que la eficiencia se centra en su capacidad de conversión interna (según el fabricante).

1.1.5.1. Rendimiento del inversor

En la literatura existen diversos modelos matemáticos que son utilizados para hallar la eficiencia de conversión del inversor, ello implica una división entre la energía que ingresa al inversor (DC) y la energía saliente del mismo (AC) (Aouadi et al., 2017).

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{\text{Energía de Salida del Inversor (kWh)}}{\text{Energía del Generador Fotovoltaico (kWh)}} \times 100\% \quad (3)$$

La **Energía de Salida del Inversor** representa la cantidad de energía eléctrica que el inversor ha entregado a la red eléctrica o al sistema de consumo durante un período específico, medida en kilovatios-hora (kWh) (Camilo et al., 2017).

La **Energía del Generador Fotovoltaico** es la cantidad total de energía solar que ha sido captada y convertida en electricidad por los paneles fotovoltaicos durante el mismo período, también medida en kilovatios-hora (kWh).

El resultado se multiplica por 100 para obtener el rendimiento en porcentaje. Esta fórmula permite calcular qué tan eficiente es el inversor en convertir la energía solar generada por los paneles en energía eléctrica útil para su uso o inyección en la red eléctrica. Un mayor rendimiento indica una mejor eficiencia del inversor.

1.1.5.2. Rendimiento del módulo

Esta fórmula nos permite calcular la eficiencia o rendimiento del módulo fotovoltaico, es decir, qué tan bien convierte la radiación solar en energía eléctrica, tomando en cuenta el área del módulo para tener en cuenta su tamaño.

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{\text{Energía generada por el módulo (kWh)}}{\text{Radiación incidente} \times \text{Área del módulo (m}^2\text{)}} \times 100\% \quad (4)$$

Donde:

Rendimiento del módulo fotovoltaico, expresado como un porcentaje. La Energía eléctrica generada por el módulo es la cantidad de energía eléctrica producida por el módulo fotovoltaico, generalmente medida en vatios-hora (Wh) o kilovatios-hora (kWh) (Ramon et al., 2015).

La Radiación solar incidente es la cantidad de radiación solar que incide sobre el módulo fotovoltaico, medida en vatios por metro cuadrado (W/m^2).

El Área del módulo se determina en metros cuadrados m^2 es el área del módulo fotovoltaico expuesta a la radiación solar.

Se debe tomar en cuenta que cuando se define rendimiento se hace referencia a la capacidad de transformación de energía solar a energía eléctrica, que tiene el módulo FV bajo condiciones reales de operación propias de la zona geográfica donde se encuentran instalados, y eficiencia se determina lo mismo, pero bajo condiciones de prueba estándar designadas por el fabricante (Lamigueiro, 2020).

1.1.6. Comportamiento energético de una SFCR

1.1.6.1. Rendimiento Final (RF)

También conocido como productividad final (Y_F), representa el tiempo en el cual el sistema está funcionando a su máximo rendimiento que se instaló, por ello este depende de la potencia instalada y de la energía que genera el sistema en un intervalo de tiempo.

$$RF = \frac{\text{Energía eléctrica generada por el SFCR (kWh)}}{\text{Potencia instalada (kWp)}} \quad (5)$$

1.1.6.2. Rendimiento Referencial (RR)

Es un parámetro que relaciona la irradiación medida en un intervalo de tiempo y la irradiancia a condiciones estándares de medidas ($1000 W/m^2$). Este dato representa el tiempo en el que el lugar esta a una irradiancia a condiciones estándar de medida, para ello es necesario medir la irradiancia real en el plano del generador fotovoltaico.

$$RR = \frac{\text{Irradiación (kWh/m}^2\text{)}}{\text{Irradiancia STC (1kW/m}^2\text{)}} \quad (6)$$

1.1.6.3. Rendimiento Global (RG)

Para determinar el rendimiento real del SFCR se necesita determinar el rendimiento final y el referencial. Con esto se obtiene el rendimiento global del SFCR (ingles: Performance Ratio) que brinda información de como se ha instalado el sistema y según esto representa si está funcionando como se esperaba en el lugar instalado.

$$RG = \frac{RF}{RR} \quad (7)$$

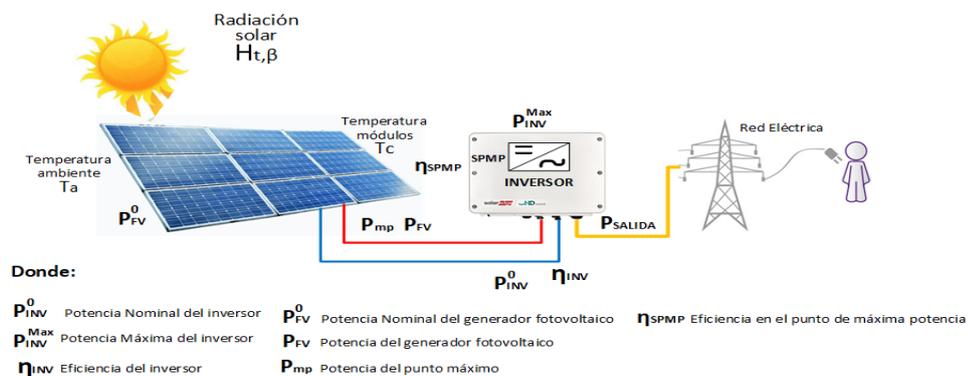


Figura 5. Parámetros eléctricos de una SFCR

Parámetros descritos anteriormente, se rigen en función de la normativa técnica para evaluación energética de SFCR, se trata de la norma: (IEC 61247, 2016), en su tercera parte, en la cual se explica el procedimiento para el monitoreo y evaluación del rendimiento de los sistemas fotovoltaicos con inyección a red

En cuanto al generador fotovoltaico se puede determinar su potencia máxima a partir de la potencia nominal, irradiancia y coeficiente de temperatura mediante la siguiente ecuación:

$$P_{mp} = P_{FV}^0 * \frac{H_{t,\beta}}{H_{ref}} [1 - \gamma_{mp}(T_C - T_{C,ref})] \quad (8)$$

Si se conoce la eficiencia en el punto donde la potencia es máxima potencia, se puede medir la potencia instantánea del generador fotovoltaico, o conjunto de paneles solares.

$$P_{FV} = P_{FV}^0 * \frac{H_{t,\beta}}{H_{ref}} [1 - \gamma_{mp}(T_C - T_{C,ref})] \eta_{SPMP} \quad (9)$$

Es posible determinar la temperatura de célula fotovoltaica se a partir del balance de energía, lo cual se determina mediante la ecuación

$$(\tau\alpha)H_{t,\beta} = \eta_{FV} * H_{t,\beta} + U_L(T_C - T_a) \quad (10)$$

Donde (τ) representa transmitancia de la cobertura de la célula, (α) es la fracción de radiación incidente en la superficie de la célula, $H_{t,\beta}$ es la irradiancia global en el plano de célula o modulo fotovoltaico. η_{FV} es la eficiencia de la célula para transformar la energía solar incidente en energía eléctrica. El coeficiente de perdida U_L incluye las perdidas por convección y radiación en la parte superior e inferior de la célula fotovoltaico y por conducción a través de la estructura que contienen los módulos, considerando una temperatura ambiente T_a .(Macêdo, 2006)

$$\frac{\tau\alpha}{U_L} = \frac{(TONC(^{\circ}C) - 20(^{\circ}C))}{800(\frac{W}{m^2})} \quad (11)$$

Donde: $(TONC)$ es la temperatura de operación nominal de la célula, se considera cuando esta se encuentra a una irradiancia de $800W/m^2$, una velocidad de viento de $1m/s$ y una temperatura ambiente de $20^{\circ}C$, y sin ninguna carga de operación de esa forma con base a temperatura de célula, temperatura ambiente e irradiancia solar. La ecuación (11) puede ser usada para determinar la relación $\tau\alpha/U_L$ a partir de la ecuación (10).

A una temperatura en cualquier otra condición, considerando $\tau\alpha/U_L$ constante se obtendría la ecuación (5), la cual queda expresada del siguiente modo:

$$T_C = T_a + (H_{t,\beta} \frac{\tau\alpha}{U_L})(1 - \frac{\eta_{FV}}{\tau\alpha}) \quad (12)$$

Un valor estimado de 0.9 puede considerarse el último término de la ecuación (12), $\frac{\eta_{FV}}{\tau\alpha}$ es muy pequeño en relación a la unidad, con ello se puede obtener una ecuación mas simplificada para obtener la temperatura de célula:

$$T_c = T_\alpha + H_{t,\beta} \left(\frac{W}{m^2} \right) \left(\frac{TNOC(^{\circ}C) - 20(^{\circ}C)}{800 \left(\frac{W}{m^2} \right)} \right)^{0.9} \quad (13)$$

1.1.7. Perdidas en el inversor

En la literatura existen diversos modelos matemáticos que son utilizados para hallar la eficiencia de conversión del inversor, ello implica una división entre la energía que ingresa al inversor y la energía saliente del mismo.

$$\frac{P_{SALIDA}}{P_{FV}} * 100\% \quad (14)$$

La siguiente ecuación muestra la relación entre la corriente continua CC, proveniente del generador fotovoltaico (conjunto de paneles fotovoltaicos) y la corriente alterna AC la misma que se monitorea a la salida del inversor fotovoltaico.

$$\eta_{inv}(p_{salida}) = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} = \frac{P_{salida}}{P_{salida} + P_{perdidas}} = \frac{P_{salida}}{p_{salida} + k_0 + k_1 p_{salida} + k_2 p_{salida}^2} \quad (15)$$

Podemos definir: $p_{salida} = P_{salida} / P_{Inv}^0$; es la potencia de salida del inversor en relación con la potencia nominal, es decir la potencia que indica en la ficha técnica del inversor la misma que es proporcionada por el fabricante, también se podría considerar que p_{salida} es la potencia de salida normalizada con relación a la potencia nominal del inversor.

Los valores k_0 , k_1 y k_2 se pueden interpretar desde el punto de vista de la física.

k_0 corresponde las pérdidas producto del auto-consumo excluyendo la potencia de operación: pérdidas en el transformador de salida, dispositivos de regulación y control, instrumentos de medición, dispositivos de protección que se encuentran en constante funcionamiento, etc. Afecta la eficiencia incidiendo en el inversor cuando trabaja a niveles bajos de su factor de carga ($po \leq 0,5$), algo que frecuente se presenta en un SFCR, justamente por ello es de importancia su minimización. los típicos valores en inversores que se utilizan en la actualidad se encuentran dentro de un rango de: 1-4%; se podría considerar que inversor es bueno cuando este presenta pérdidas de autoconsumo inferiores al 1%.

k_1 representa aquellas pérdidas que dependen en forma lineal de la potencia de operación (dispositivos de conmutación, diodos etc).

k_2 representa el parámetro que corresponde a las pérdidas cuya dependencia es de forma cuadrática respecto de la potencia de operación (bobinas, resistencias, cables, etc.).

Los parámetros k_0 , k_1 y k_2 , cuyos valores característicos se pueden obtener haciendo un ajuste en función a una serie de valores obtenidos experimentalmente, los cuales se obtiene al realizar la medida simultánea de las potencias de entrada y salida del inversor, en lo posible se debe distribuir dentro de todo el rango del factor de carga. (Macêdo, 2006)

$$k_0 = \frac{1}{9} \frac{1}{\eta_{Inv1}} - \frac{1}{4} \frac{1}{\eta_{Inv0.5}} + \frac{5}{36} \frac{1}{\eta_{Inv0.1}} \quad (16)$$

$$k_1 = -\frac{4}{3} \frac{1}{\eta_{Inv1}} - \frac{33}{12} \frac{1}{\eta_{Inv0.5}} + \frac{5}{12} \frac{1}{\eta_{Inv0.1}} - 1 \quad (17)$$

$$k_2 = \frac{20}{9} \frac{1}{\eta_{Inv1}} - \frac{5}{2} \frac{1}{\eta_{Inv0.5}} + \frac{5}{18} \frac{1}{\eta_{Inv0.1}} \quad (18)$$

Debido a que por lo general la eficiencia que presenta un inversor fotovoltaico, es dependiente de las pérdidas que ocurren en el mismo, para entender de mejor manera, resulta necesario separar las expresiones que relacionan las pérdidas.

$$P_{Perdidas} = P_{FV} - P_{Salida} \quad (19)$$

Normalizando las pérdidas como potencia nominal del inversor se obtiene

$$P_{Perdidas} = P_{FV} - P_{Salida} = (k_0 + k_1 p_{salida} + k_2 p_{salida}^2) \quad (20)$$

Finalmente se puede calcular la potencia de salida de acuerdo al método descrito

$$P_{FV} = \frac{P_{Salida}}{\eta_{Inv}} = P_{Salida} = (k_0 + k_1 p_{salida} + k_2 p_{salida}^2) \quad (21)$$

1.1.8. Convertidores CC/CC

Los convertidores CC/CC en sistemas fotovoltaicos conectados a red desempeñan un papel fundamental para adaptar la corriente continua (CC) generada por los paneles solares a los requerimientos de la red eléctrica de suministro, en estos sistemas, la energía solar generada por los paneles fotovoltaicos se convierte inicialmente en corriente continua, y luego pasa a través de los convertidores CC/CC, que regulan la tensión y la corriente para garantizar que la energía generada sea compatible con los parámetros de la red eléctrica.

El objetivo principal de los convertidores CC/CC en sistemas conectados a red es mantener la eficiencia del sistema y garantizar que la energía solar se inyecte a la red de forma continua y controlada. Además, algunos convertidores CC/CC incorporan funciones de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) para optimizar la generación de energía y asegurar que se esté utilizando la máxima capacidad de los paneles solares en todo momento.

En resumen, los convertidores CC/CC en sistemas fotovoltaicos conectados a red juegan un papel clave para asegurar una integración eficiente y segura de la energía solar en la red eléctrica, permitiendo una mayor penetración de la energía renovable y contribuyendo a la sostenibilidad energética (Villalva, 2015).

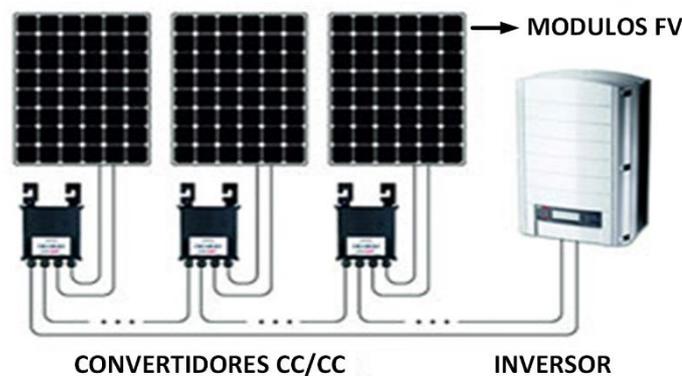


Figura 6. Convertidores CC/CC para SFCR

En la figura 6 se muestra los optimizadores o convertidores CC/CC estos dispositivos se instalan en paralelo con los módulos fotovoltaicos, hacen posible que cada módulo FV trabaje de manera independiente ello implica que ante la posible falla de uno de los módulos, la cadena sigue operando de manera continua.

Esta topología permite realizar instalaciones descentralizadas, es decir; cuando el espacio disponible para la ubicación de los módulos fotovoltaicos es reducido, se puede ubicar los paneles en distintos lugares cercanos entre si, de tal manera que alguno de ellos puede verse afectado por sombreado o simplemente por la poca incidencia de irradiancia.

En un string convencional, se puede verificar que cuando uno de los módulos presenta algún defecto o que sobre este incide sombra, toda la cadena de la cual forma parte se ve perjudicada produciendo un descenso en la capacidad de generación del sistema fotovoltaico conectado a red, inclusive se genera

perturbaciones en la red, así mismo el inversor tiende a dañarse de manera progresiva, todo ello ocurre debido a que el seguidor del punto de máxima potencia MPPT está integrado en el inversor.

En un string implementado con los convertidores CC/CC, tiene la ventaja que el MPPT, lo tiene integrado en cada convertidor asociado a cada módulo FV, este tipo de sistema a diferencia del convencional el inversor no tiene MPPT lo cual lo hace más pequeño y fácil de instalar, así mismo permite la operación independiente de cada módulo.

1.1.9. Generación distribuida (GD)

Se refiere a sistemas de generación relativamente pequeños que son diseñados, instalados y operados en redes de distribución o distribuidos en el lado del cliente para satisfacer las necesidades especiales de los clientes y respaldar la operación de distribución de redes basadas en generación económica, eficiente, conveniente y confiable (Zhao et al., 2018)

La generación distribuida tiene como objetivo transformar la energía proveniente de fuentes de recursos renovables y no renovables, en otros tipos de energía principalmente la electricidad. En función de su operación y su interacción con la red se puede considerar dos modos: aislado y interconectado a la red eléctrica.

Según las tecnologías de conversión de energía utilizadas, existen varios tipos de sistemas DG, incluidos generadores alternativos, generadores Stirling, microturbinas, turbinas de gas, celdas de combustible, paneles fotovoltaicos, turbinas eólicas y micro generadores hidroeléctricos. (Zhao et al., 2018)

Algunos factores han favorecido la adopción de la generación distribuida: la bajada del precio de los paneles solares y de los inversores, así como su fácil instalación y mantenimiento. Sin embargo, la adopción a gran escala de la generación solar distribuida trae nuevos desafíos al sistema de distribución de energía. El control de voltaje de la red es un ejemplo. En los sistemas convencionales, el control de voltaje es un problema adecuadamente abordado, pero en redes con presencia de generación distribuida, donde en ciertos momentos del día se pueden observar flujos de energía inversos, se requieren estudios más detallados sobre el comportamiento del voltaje en relación con la calidad de la energía (Skoplaki & Palyvos, 2009).

La micro generación distribuida (MGD) juega un papel clave en la transición hacia un sistema energético más sostenible y resiliente, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuyendo la dependencia de combustibles fósiles. Además, permite a los usuarios generar su propia energía de manera más eficiente y ahorra costos a largo plazo.

1.1.10. Clasificación de la generación distribuida FV

Según (Zilles et al., 2021), existen algunas propuestas de clasificación de generación distribuida según a su capacidad instalada. En el contexto internacional, sugieren las siguientes categorías:

Tabla 1

Clasificación de GD según nivel de potencia: Contexto internacional

Clasificación	Potencia del generador FV
Micro generación distribuida	De 1 KW hasta 5KW
Pequeña generación distribuida	De 5 KW hasta 5 MW
Media generación distribuida	De 5 MW hasta 50 MW
Grande generación distribuida	De 50 MW hasta 300 MW

Fuente: (Zilles et al., 2021)

En el contexto brasilero, se tiene una clasificación en cuanto a la generación distribuida el cual viene dado de la siguiente manera:

Tabla 2

Clasificación de GD según nivel de potencia: Contexto brasilero

Clasificación	Potencia del generador FV
Micro generación distribuida	Hasta 5KW
Pequeña generación distribuida	De 5 KW hasta 5 MW
Media generación distribuida	De 10 kW hasta 500 kW
Grande generación distribuida	De 5 MW hasta 100 MW

Fuente: (Macêdo, 2006)

En el Perú, se plantea dos nivel de generación distribuida, en primer lugar se encuentra la micro-generación (hasta los 10kW) distribuida y la mediana generación distribuida (de 10kW hasta 10MW), En el presente trabajo de tesis se realiza el estudio dentro de un nivel de micro red de generación fotovoltaica distribuida con fines de auto-consumo, con lo cual se hace referencia a pequeñas unidades de

generación fotovoltaica con conexión a red (inferior a 10KW) principalmente destinados a cubrir las demandas de energía eléctrica de un usuario común por ejemplo una vivienda multifamiliar o departamento con fines residencial.

1.1.11. Marco normativo de la GD en el Perú

El marco normativo de la generación distribuida en Perú ha experimentado avances significativos en los últimos años, aunque aún no se ha materializado completamente. La Ley No. 28832, titulada "Ley para asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica" (LDEG) y publicada en 2006, proporciona una definición clave de la Generación Distribuida como sigue: "La instalación de generación con una capacidad que no exceda la cifra especificada en el reglamento, conectada directamente a las redes de un concesionario de distribución eléctrica".(OSINERGMIN, 2020)

La Ley No. 28832 (LDEG), que ha permanecido sin modificaciones desde su implementación, presenta una primera aproximación al concepto de Generación Distribuida (GD). Además, establece medidas de promoción en su Octava Disposición Complementaria Final, que rige las actividades de Generación Distribuida y Cogeneración interconectadas al Sistema Interconectado Nacional (SEIN). Estas disposiciones se basan en las regulaciones que determine el Reglamento y comprenden dos aspectos clave:

- a) La posibilidad de vender la energía no contratada en el Mercado de Corto Plazo, asignando esta opción a los Generadores de mayor Transferencia, ya sea en términos de compra o venta, en dicho mercado.
- b) La utilización de las redes de distribución, con el pago únicamente del costo incremental generado por esta utilización.

En 2015, el Decreto Legislativo No. 1221, destinado a mejorar la regulación de la distribución eléctrica para fomentar el acceso a la energía en el Perú, abordó la Generación Distribuida (GD). Su artículo segundo establece que los clientes con generación eléctrica renovable no convencional o cogeneración, dentro de límites de potencia definidos para cada tecnología, pueden usarla para consumo propio (autoconsumo) o inyectar excedentes en la red, siempre garantizando la integridad de la red conectada. El reglamento específico de GD, que debe ser aprobado por el

MEM, determinará la potencia máxima, aspectos comerciales, técnicos, regulatorios, de seguridad y las tecnologías renovables idóneas para la GD, entre otros.

El proyecto de Reglamento de Generación Distribuida, publicado el 31 de julio de 2018 mediante Resolución Ministerial No. 292-2018-MEM/DM, presenta una distinción clave en los escenarios de instalación y los regímenes aplicables. En la Ley de Distribución de Electricidad (LDGE), se define como Mediana Generación Distribuida (MGD), mientras que en el Decreto Legislativo 1221 (DL 1221), se denomina Micro generación Distribuida (MCD).

Estas definiciones regulan dos contextos diferentes: la GD bajo la LDGE está destinada a la generación conectada a las redes de distribución, mientras que la GD bajo el DL 1221 permite a los usuarios generar energía para autoconsumo y la posibilidad de inyectar excedentes en el sistema de distribución. A la fecha, el Reglamento de GD aún no se ha publicado, lo que marca diferencias significativas en las condiciones operativas de ambos regímenes y presenta la figura del "prosumidor peruano" bajo el régimen de operación de la MCD (Calonge, 2022).

1.2. Antecedentes

Trillo et al. (2014) Propusieron el diseño y la implementación de una herramienta de software que posibilita a los usuarios efectuar un análisis automatizado de los datos provenientes del monitoreo de sistemas fotovoltaicos (PV) conectados a la red eléctrica. Esta aplicación integra información de todos los dispositivos en operación, incluyendo sensores ambientales, inversores y medidores, que recopilan datos relevantes de instalaciones fotovoltaicas convencionales.

Cossoli et al. (2015) Llevó a cabo un minucioso análisis de diversas configuraciones en Sistemas Fotovoltaicos con conexión a la red eléctrica, junto con las distintas topologías empleadas en el diseño de micro inversores (MI). Los autores categorizaron estas topologías en tres grupos: los MI con relación a la corriente continua (CC), los MI con pseudo relación a la CC y los MI sin relación alguna con la CC. Además, en el informe se detallarán las disposiciones de circuitos adoptadas por las etapas de potencia en las diferentes topologías, junto con sus características principales.

Aguilar et al. (2015) Desarrolló un método simplificado que se enfoca en la enseñanza y capacitación técnica para calcular la productividad de energía eléctrica en generadores fotovoltaicos conectados a la red. Este enfoque se adapta a prácticas regulares en cursos opcionales sobre sistemas fotovoltaicos. Gracias a esta metodología, los estudiantes pueden realizar un análisis exhaustivo del sistema, considerando parámetros de tensión, corriente y potencia del generador fotovoltaico, así como factores ambientales como temperatura e irradiancia. Esto permite comprender la interrelación entre estos parámetros y el comportamiento del sistema fotovoltaico. Los valores de energía e irradiancia obtenidos mediante este método presentan una excelente correspondencia con los valores de otros modelos y mediciones en sistemas similares.

Angulo y Conde (2019) Llevaron a cabo una investigación enfocada en establecer una metodología de estudio para la estimación de la eficiencia y la predicción de la producción de energía en condiciones climáticas características de Perú. Mediante la creación de modelos empíricos y físicos, se logró modelar el comportamiento de diversos sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, se encontró que estos modelos no se ajustaban adecuadamente a los datos recopilados en Perú, lo que dio lugar a la necesidad de realizar ajustes. En respuesta, se propuso una nueva metodología que combina el modelo de Osterwald con algoritmos computacionales de filtrado. Como resultado, se logró una mejora significativa tanto en la precisión de la predicción de energía como en la estimación de la potencia máxima en condiciones de prueba estándar STC.

Angulo et al. (2020) Aborda la influencia del polvo en sistemas fotovoltaicos mediante el factor de reducción (polvo), modelando su evolución temporal. El estudio experimental se realizó en tres cadenas fotovoltaicas tándem (a-Si / μ c-Si) de 1.15 kW en Lima. La potencia nominal se calculó en días despejados, revelando ligeras discrepancias de potencia entre cadenas, lo que motivó la estimación de un factor de corrección (k) para ajustar la salida. Posteriormente, durante el período del 05/07/2017 al 05/07/2018, se permitió la acumulación natural de polvo para evaluar su impacto negativo en el rendimiento, medido por el factor de reducción. Este enfoque resulta fundamental para optimizar el mantenimiento de sistemas fotovoltaicos en la ubicación del estudio.

Zamalloa et al. (2021) Explica acerca de eventos de sobreirradiación extrema medidos en Lima, Perú. El valor de irradiancia más alto medido fue de 1543 W/m² el 23 de marzo de 2020. Las mediciones fueron realizadas por cuatro instrumentos diferentes e

independientes, todos registrando simultáneamente sus valores máximos. La distribución espectral del evento de sobreirradiación extrema también se registró y comparó con las distribuciones espectrales de un cielo despejado y nublado. El fenómeno de sobreirradiación extrema demostró una mejora de la irradiación en todo el espectro medido, pero predominantemente en la región visible e infrarroja cercana del espectro (450 nm a 1100 nm). Esta mejora espectral conduce a un desplazamiento hacia el rojo del espectro durante el evento de sobreirradiación extrema, como se observa por su energía fotónica promedio más baja en comparación con los espectros de cielo despejado y nublado.”

Reis et al. (2015) Este trabajo presenta el proyecto y construcción de un prototipo de convertidor monofásico para paneles fotovoltaicos de 1,44[kW], considerando el funcionamiento en conexión con la red (127[V], 60[Hz]). Para el sincronismo entre el sistema fotovoltaico y la red de CA se implementó un PLL (fase-locked loop), realizando la detección del ángulo en la red. Se presentan resultados experimentales y simulados para confirmar el funcionamiento del prototipo diseñado e implementado.

López et al. (2017) Plantea tres modelos de negocios para la microgeneración distribuida (MDI) con sistemas fotovoltaicos, considerando dos enfoques de medición. El primero muestra el valor neto de la energía (diferencia entre la energía consumida e inyectada en la red), mientras que el segundo presenta la energía inyectada en la red a un precio especial como incentivo. En Ecuador, la energía producida por un sistema fotovoltaico tiene un costo de USD/kWh 0.1342 con una tasa de descuento del 7%. El factor de capacidad (FC) oscila alrededor del 15% con una tasa de descuento del 7%, aumentando al 20% con una tasa de descuento del 10%. Estos valores, cada vez más competitivos en comparación con fuentes de energía renovable no convencionales, no incluyen el costo de baterías ni el espacio requerido para la instalación.

Shavolkin et al. (2020) Desarrolla los fundamentos para la implementación de un generador distribuido (GD) basado en energía fotovoltaica. El estudio abarca desde la comprensión de principios básicos, como el funcionamiento de las celdas solares, hasta aspectos más avanzados como la interacción del GD con redes inteligentes. También se explora el panorama regulatorio colombiano y la falta de regulación para los GD, lo que lleva a comparar marcos regulatorios de otros países, como Estados Unidos, España y Alemania, con el objetivo de establecer un modelo de trabajo adecuado. Se destaca el uso

de sistemas fotovoltaicos conectados a la red de baja tensión como una alternativa viable, permitiendo equilibrar la generación y el consumo de energía, especialmente en lugares con regulaciones no claras, para evitar conflictos con las compañías eléctricas.

Riofrio et al. (2016) Presenta un modelo innovador para sistemas de generación fotovoltaica, diseñado para evaluar la eficacia de algoritmos distribuidos en la búsqueda del punto de máxima potencia. El enfoque implica la serie de conjuntos módulo-inversor, adaptados según sus usos específicos. El modelo también incorpora un sistema de ecuaciones para su análisis computacional. Incluye la caracterización estática del módulo fotovoltaico con una ecuación voltaje-corriente y considera el convertidor elevador de potencia con pérdidas en el inductor para un acercamiento realista. La validación del modelo se logra a través de simulaciones y se contrasta con implementaciones tradicionales en software de simulación electrónica. Este enfoque propuesto brinda una herramienta valiosa para la optimización de sistemas fotovoltaicos y la eficiencia en la búsqueda del punto de máxima potencia.

Vallejo et al. (2020) Emprende un exhaustivo análisis comercial, económico y técnico de sistemas fotovoltaicos para micro generación eléctrica residencial en la zona urbana del Distrito Metropolitano de Quito. Utiliza datos relevantes de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de Hogares (ENIGHUR) para analizar patrones de consumo en la ciudad. Aplicando herramientas como el software IBM SPSS y MATLAB, así como el software especializado SAM para simulaciones fotovoltaicas, realiza modelaciones para sistemas en techos urbanos, conectados a la red y sin batería. Evalúa indicadores económicos como el Valor Actual Neto (VAN), demostrando el potencial técnico, comercial y económico de la micro generación eléctrica residencial. Este enfoque aporta valiosa información para la implementación de sistemas fotovoltaicos en entornos urbanos y la toma de decisiones en micro generación eléctrica.

Espinoza et al. (2015) Presentan un detallado informe sobre dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red (SFCR). El primero, conocido como SFCR-CIENCIAS, está ubicado en la Facultad de Ciencias y utiliza paneles fotovoltaicos cristalinos. El segundo, denominado SFCR-THIN_FILM, se encuentra en LABSOLCER y emplea paneles de película delgada de segunda generación con tecnología amorfo-microcristalina. La instrumentación instalada permite una monitorización completa de ambos sistemas, con más de dos años de operación para SFCR-CIENCIAS y aproximadamente un año y cuatro

meses para SFCR-THIN_FILM. Siguiendo la norma IEC 61724-1:2017, se procedió a la caracterización energética. Utilizaron un PV Module Performance Tester (EKO MP11) para obtener las curvas I-V y trasladar los datos de potencia máxima a Condiciones de Prueba Estándar (CTS) utilizando la metodología propuesta por Evans, Osterwald y el Factor de Forma Constante.

Busso et al. (2011) Realizaron un estudio para evaluar la viabilidad de los Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red (SFCR) en la implementación de Generación Distribuida (GD) en redes de baja tensión. El Grupo en Energías Renovables (GER) llevó a cabo el dimensionamiento, instalación y monitoreo de un SFCR de 500 Wp. En este trabajo se detalla la topología del sistema, la instrumentación empleada y la metodología para caracterizar uno de los componentes clave, el inversor de conexión a red. El artículo muestra curvas experimentales y teóricas del rendimiento del inversor en distintas condiciones, seguidas por la determinación de parámetros para ajustar un modelo matemático que describa su eficiencia. Los resultados evidencian que el SFCR fue exitosamente implementado en la región nordeste de Argentina, con un inversor que opera con eficiencia promedio del 89,4% sin afectar la red de baja tensión.

Farfán y Massen (2018) Tienen como objetivo comparar dos modelos matemáticos de inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red (SFCR), evaluando sus respuestas ante la potencia y energía de salida bajo distintas cargas. El primer modelo considera una sola curva de rendimiento para calcular la potencia de salida, mientras que el segundo incluye veinte curvas de rendimiento correspondientes a diferentes tensiones de entrada. La diferencia principal radica en que el segundo modelo considera la variación del rendimiento en función de la tensión de entrada, a diferencia del primero. Se realizaron ensayos con un inversor SMA 3800U para ambos modelos y se empleó Lógica Difusa para desarrollar una función de eficiencia dependiente de la tensión y potencia de entrada. Se efectuaron ensayos diarios y simulaciones anuales para analizar la importancia de la variación de eficiencia respecto a la tensión de entrada en los modelos de inversor propuestos.

Videla et al. (2019) Presentan una red de adquisición de datos para Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red (SFCR) de baja tensión, instalados en el marco del Proyecto IRESUD. El trabajo aborda el análisis y la importancia de los registros de generación de estos sistemas, abarcando las diversas condiciones climáticas de Argentina. La

arquitectura del sistema de monitoreo distribuido y adquisición de datos se describe junto con su operatividad, con el objetivo de difundir los desarrollos y administrar los servicios surgidos de estos sistemas de generación. Se detalla la colaboración entre los miembros de la comunidad IRESUD y se exponen resultados, incluyendo el monitoreo automatizado de las estaciones y análisis con registros disponibles en el servidor. El propósito es lograr mayor control de la energía producida para satisfacer necesidades específicas o negociarla en condiciones de mercado. Además, se liberan cargas a la red eléctrica en función de las condiciones climáticas, especialmente los niveles de irradiancia en el lugar de estudio.

Calsi et al. (2020) Siguieron el enfoque de Martínez-Moreno respaldado por el modelo de Osterwald. Observaron el efecto de histéresis en distintos niveles a lo largo del experimento. La potencia corregida vs. irradiancia variaba durante el día, aun con valores similares de irradiancia y temperatura. Esta variabilidad generaba incertidumbre en la inclusión de los datos. Por ello, proponen incorporar un filtro de datos en el cálculo de la potencia nominal, como complemento a lo propuesto por Martínez-Moreno. Esto busca aclarar el cálculo en generadores con comportamientos no lineales.

Perich et al. (2020) Hicieron un estudio para conocer la eficiencia y predecir la producción energética real de un panel fotovoltaico, es crucial caracterizar su comportamiento bajo las condiciones locales. El modelo de un solo diodo para celdas fotovoltaicas establece una relación entre corriente y voltaje con cinco parámetros eléctricos, esenciales para entender los procesos físicos y el estado del módulo. Existen varios métodos analíticos, numéricos y heurísticos para extraer estos parámetros, cada uno con sus ventajas según el tipo de módulo y el entorno. El estudio evalúa métodos analíticos en módulos de silicio cristalino y capas delgadas, mostrando resultados de la extracción a través de comparaciones de las curvas corriente-voltaje, junto con cálculos de Normalized Root Mean Square Error (NRMSE) para su evaluación.

Conde et al. (2020) Este trabajo presenta el diseño e implementación del Laboratorio de Investigación Fotovoltaica en colaboración entre MatER-PUCP y IDEA-UJA. Este laboratorio, uno de los primeros en Perú, cuenta con equipos para calibración y certificación de diversas tecnologías de módulos fotovoltaicos. Iniciado en mayo de 2019, su campaña experimental busca proporcionar estudios detallados sobre el comportamiento y degradación de tecnologías fotovoltaicas bajo condiciones climáticas

específicas de Lima. Los resultados obtenidos, incluyendo niveles de irradiancia, temperatura, humedad y polvo, podrán ser utilizados por empresas e instituciones para comprender y optimizar el rendimiento de estos módulos en el mercado peruano.

Manuel et al. (2019) Se presenta un diseño de sistema de hardware de libre distribución para la adquisición precisa y económica de datos, con el propósito de monitorear parámetros de sistemas fotovoltaicos conectados a la red. El sistema se implementará y validará mediante diversos métodos para cumplir con estándares de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). Los sensores medirán los parámetros, conectados a un microcontrolador que registra y monitorea los datos, garantizando el correcto funcionamiento mediante comparación con sistemas calibrados. Este sistema autónomo está concebido para aplicaciones en el ámbito de la energía solar, manteniendo operatividad en condiciones extremas.

Talavera et al. (2019) Evaluaron integración de sistemas fotovoltaicos (PV) en la red exige procedimientos más allá de cálculos energéticos, incorporando aspectos económicos y de financiamiento. Aunque existen herramientas para analizar la rentabilidad, carecen de enfoque integral o simplicidad de uso. Presentamos un procedimiento completo como herramienta preliminar para sistemas de autoconsumo PV. Con datos realistas, se obtienen resultados de viabilidad económica (VAN, TIR, TRD, SENC) y competitividad (LCOE), además de introducir el costo directo de la electricidad fotovoltaica de autoconsumo. Este enfoque aborda la evaluación desde múltiples perspectivas, facilitando decisiones informadas en el diseño de sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

Brito et al. (2018) En este estudio, se analiza la confiabilidad de un inversor fotovoltaico monofásico conectado a la red en diferentes condiciones meteorológicas. Se evalúa la vida útil de los módulos de potencia considerando variaciones en radiación solar, temperatura y la capacitancia térmica del panel fotovoltaico. Los perfiles de misión se traducen en carga térmica del interruptor de alimentación. Se emplean el modelo de Bayerer y la regla de Palmgren-Miner para calcular el consumo de vida (LC) y la vida útil de B10. Los resultados indican que mayor irradiancia genera más energía, pero reduce significativamente la vida útil. La dinámica térmica del panel fotovoltaico también influye en la estimación de la vida útil.

Pesdjock et al. (2020) Este artículo introduce un innovador esquema de control sinérgico para sistemas fotovoltaicos (PV) conectados a la red, mejorando la calidad de la energía inyectada mediante la reducción de la distorsión armónica total (THD) de las corrientes en condiciones de baja luminosidad solar. La técnica emplea un control virtual intermedio para diseñar la nueva ley de control sinérgico, implementada en un sistema fotovoltaico que alimenta cargas lineales y no lineales. La efectividad del esquema se evalúa en Matlab/Simulan. Comparado con otras técnicas en la literatura, el enfoque propuesto demuestra su efectividad al minimizar los armónicos y el THD en condiciones de baja irradiación solar. Además, el controlador sinérgico se destaca por su robustez y mejor respuesta dinámica ante cambios en la irradiación.

Lam et al. (2012) La intermitencia en los sistemas fotovoltaicos (PV) exige energía adicional, como red eléctrica o baterías, para satisfacer la demanda. Al conectar PV a la red, la estabilidad puede verse comprometida si no se diseña adecuadamente. Un modelo preciso de pronóstico de producción PV sería vital para mejorar la red. El modelado dinámico de PV es esencial para tecnologías emergentes y redes inteligentes. Este trabajo presenta diversos enfoques para modelar PV y expone sus pros y contras. Destaca la importancia de un modelo dinámico y su metodología de construcción. Se propone un nuevo método para analizar sombras. La implementación del modelo se demostró en un caso en Hong Kong.

Kabir et al. (2014) La creciente penetración de la energía fotovoltaica (PV) y la demanda máxima ha causado perfiles de voltaje deficientes en algunas redes residenciales. Este artículo propone usar PV y sistemas de almacenamiento en baterías (BES) de manera coordinada para resolver los problemas de voltaje. Se evalúa la capacidad reactiva del inversor PV combinada con BES para escenarios rurales y urbanos. Los resultados sugieren que, en áreas urbanas, los inversores PV solos mantienen el voltaje aceptable, mientras que en zonas rurales se necesita una coordinación con BES. Se analizan esquemas de BES con caída constante y variable, y se estima el tamaño y costo requerido para mantener el voltaje. Incertidumbres en generación y carga son consideradas, usando datos reales para verificar el método.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema

En la actualidad el uso de la energía solar ha tomado bastante importancia, y es muy frecuente tratar temas referentes a las energías renovables, eficiencia energética, energía limpia, generación distribuida, autoconsumo, entre otros; ello con el objetivo de diversificar la matriz energética, y proteger el medio ambiente, Son diversos los factores que influyen en el desempeño de las instalaciones fotovoltaicas los mismos que pueden ser factores de montaje, instalación y lo más relevante las condiciones climáticas siendo la temperatura, e irradiancia los factores más influyentes. Los mismos que dependen de la ubicación geográfica de la instalación. El factor de dimensionamiento FDI, relaciona la potencia nominal del generador y del inversor fotovoltaico En particular para las zonas altoandinas del Perú hace falta identificar un factor de dimensionamiento (FDI) propio de la zona justamente porque la literatura encontrada no precisa situaciones de ubicación considerando también la problemática sobre la carencia de normas que preestablecen el uso de los sistemas fotovoltaicos conectada a red, sin embargo actualmente la tecnología permite instalar sistemas para autoconsumo (genero mi propia energía), y micro generación (inferior a 10KW), que independientemente de la normatividad puedan entrar en operación y comercialización masiva, pero otro factor importante a considerar seria la funcionalidad de estos dispositivos en nuestra región (Puno), teniendo en cuenta que la inversión inicial es considerable justamente porque estos dispositivos están diseñados para trabajar durante más de 15 años, en otros países primordialmente España ya se tiene un registro y una amplia literatura al respecto, lo cual respalda con total garantía el uso de estos sistemas, sin embargo en nuestro país precisamente en la región Puno todavía se tiene muchos vacíos legales al respecto, lo cual genera desconfianza en la utilidad de estas tecnologías. Teniendo en cuenta las condiciones difíciles del clima de la serranía peruana, cabe resaltar que en nuestra localidad ya se cuenta con micro centrales de generación fotovoltaica para cubrir las necesidades eléctricas por ejemplo en la islas Amantani,

Taquile y los Uros correspondiente al lago Titicaca (Islas del lago Titicaca) con sistemas fotovoltaico, los mismos que cuentan con una tecnología costosa y son autónomos es decir funciona con un banco de baterías, actualmente estos sistemas están en etapa de operación y evaluación debido a que fueron recientemente instalados. Según la literatura consultada se pudo evidenciar que para condiciones de clima frío y con buena irradiancia los generadores fotovoltaicos, incrementan su rendimiento, por lo cual existe en ciertos momentos del día, situaciones de sobre generación inclusive por encima de la potencia nominal del generador, es por ello que para el dimensionamiento del inversor es necesario considerar estos aspectos ya que ´por lo general se suele sobredimensionar estos sistemas sin embargo, con exactitud y de acuerdo a la zona de trabajo no se tiene información todavía, en particular para el presente trabajo de investigación se ha considerado un sistema fotovoltaico con uno de los inversores más óptimos del mercado.

2.2. Enunciados del problema

2.2.1. Problema general

¿Cuál es el factor de dimensionamiento de un SFCR, implementado con convertidores CC/CC, con fines de micro generación, que mejor se adapte para situaciones de clima extremo propios del centro poblado de Ayabacas Distrito de San Miguel Juliaca Perú?

2.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la influencia de los parámetros ambientales (irradiancia y temperatura), en el comportamiento energético de los SFCR implementado con convertidores CC/C instalados en la zona de estudio?
- ¿Las pruebas experimentales con distintos FDI aplicado al inversor fotovoltaico permiten verificar su influencia en el comportamiento energético del mismo, bajo condiciones climatológicas propios de Juliaca Perú?

2.3. Justificación

La diversidad de la matriz energía promueve el uso de distintas fuentes para la obtención de energía eléctrica, en nuestro país y justamente en el sur, se tiene un potencial óptimo del recurso solar, sin embargo; la existencia de las centrales térmicas e hídricas abastecen mayoritariamente la necesidad energética del Perú, lo cual incide en la lentitud de

legislación en cuanto al uso de energías renovables, a tal punto que hasta la actualidad no se tiene una norma que regule el uso de las SFCR, como alternativa para resolver este problema surge el uso de estos sistemas fotovoltaicos para fines de micro generación y autoconsumo, en la provincia de Puno son escasa este tipo de sistema, justamente porque no se tiene información sobre su comportamiento en las condiciones climáticas de nuestro altiplano puneño, considerando que nuestro clima es de un comportamiento especial justamente por la altitud a más de 3812msnm aproximadamente, y la morfología propia del lugar. (Juliaca) por otro lado no se tiene información con exactitud la incidencia de estos sistemas sobre la red eléctrica proveniente del concesionario. Justamente por ello en este trabajo se pretende absolver esas dudas, para finalmente promover u observar las SFCR en nuestra localidad.

“Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica de distribución están actualmente siendo bastante estudiadas por ser una forma de conversión de energía proveniente de fuente renovable (Essefi et al., 2014) y además por presentar versatilidad en términos de generación descentralizada. Estas instalaciones, por no tener componentes móviles y también por en no necesitar de acumuladores de energía, presentan una alta fiabilidad y bajo mantenimiento. En el Laboratorio de Energía Solar da Universidad Federal del Rio Grande del Sul (UFRGS) se ha montado un sistema fotovoltaico conectado a la red con finalidad de aprendizaje de la tecnología. Además, con su uso sistemático, dominar los detalles de operación del mismo y comparar sus resultados energéticos con resultados esperados. El análisis del comportamiento de esta instalación está fundamentada por medio de datos experimentales y de observaciones pertinentes a su funcionamiento.” (Dias et al., 2005)

2.4. Objetivos de la investigación

2.4.1. Objetivo general

Determinar experimentalmente el factor de dimensionamiento de un SFCR, con fines de micro generación, que mejor se adapte para situaciones de clima extremo en el centro poblado de Ayabacas Distrito de San Miguel Juliaca Perú.

2.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar las condiciones climáticas de la zona de estudio y su influencia de en el comportamiento energético de los SFGR implementado con convertidores CC/CC instalados den la zona de estudio.
- Realizar pruebas experimentales con distintos FDI aplicado al inversor fotovoltaico y verificar su influencia en el comportamiento energético del mismo, bajo condiciones climatológicas propios de Juliaca Perú.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

Experimentalmente, el FDI apropiado para un inversor fotovoltaico implementado con convertidores CC/CC propio de un SFGR con fines de micro generación, que mejor se adapte para situaciones de clima extremo en el centro poblado de Ayabacas Distrito de San Miguel Juliaca Perú, se aproxima a la unidad.

2.5.2. Hipótesis específicas

- Las condiciones climáticas de la zona de estudio influyen en comportamiento energético del inversor fotovoltaico implementado con convertidores CC/CC.
- Las pruebas experimentales con distintos FDI aplicado al inversor fotovoltaico instalado, permite encontrar el valor adecuado a fin de obtener el mejor comportamiento energético del sistema fotovoltaico en estudio.

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio

La presente investigación se ha realizado en el altiplano de Puno, en el centro poblado Santa María de Ayabacas, distrito de San Miguel, provincia de San Roman departamento de Puno, cerca de los 3810 m.s.n.m. Geográficamente se encuentra ubicado a -15.40° de latitud sur, longitud -70.09° en el Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética de la Universidad Nacional de Juliaca,(UNAJ). En condiciones de irradiancia, frio y vientos extremos propios de los Andes Peruanos.

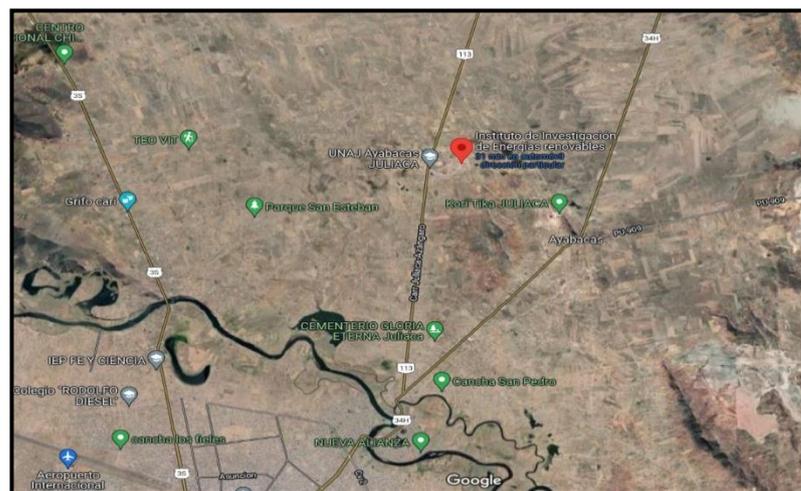


Figura 7. Área de estudio

Fuente: Google maps

3.1.1. Características del sistema fotovoltaico en estudio

Solar Edge permite conseguir mayor producción de energía fotovoltaica que los sistemas

3.1.2. Generador Fotovoltaico

El generador fotovoltaico, está constituido por un conjunto de 10 módulos fotovoltaicos (paneles solares), los cuales son de la marca **Era Solar del modelo**

ESPSC 370, se trata de módulos monocristalino compuestos por 72 células con 5 buses cada una de ellas y con 3 diodos de derivación, uno para cada dos filas, el panel solar de tipo monocristalino ofrece casi un 19% más de producción que otros de su mismo tamaño, gracias a las células monocristalinas de alto rendimiento.

Tabla 3

Parámetros eléctricos del módulo fotovoltaico

Parámetro	Símbolo	Valor
Potencia Máxima	P_{MAX}	370W
Tensión a Circuito Abierto	V_{OC}	48.20VDC
Tensión de máxima potencia	V_{MP}	40.20VDC
Corriente de corto circuito	I_{CC}	9.90A
Corriente de máxima potencia	I_{MP}	9.21A
Tensión de trabajo		1000VDC

Condiciones estándar de prueba: 25°C-AM 1.5 G=1000W/m²

Fuente: Datasheed 300-370W ERA SOLAR

Según la ficha técnica del fabricante se considera que el módulo fotovoltaico tiene una garantía de 10 años, adicionalmente también indica que el rendimiento del equipo disminuye al 90% transcurrido 10 años y 80% luego de 25 años, existen múltiples factores que influyen en las pérdidas de rendimiento en los módulos, entre ellos principalmente se puede considerar las pérdidas ocasionadas por parámetros atmosféricos; temperatura, velocidad del viento, granizo polvo entre otros. Las pérdidas por temperatura como se indicó anteriormente influyen con mayor incidencia en el comportamiento de la tensión de salida del módulo teniendo un comportamiento inverso, es decir; a menor temperatura existe una tensión mayor y viceversa, las pérdidas por temperatura pueden ser dimensionadas en la tabla 2, se muestra los factores de pérdida asociados al comportamiento térmico del dispositivo.

Tabla 4

Factores de perdida por temperatura

Parámetro	Símbolo	Valor
Coefficiente de temperatura de I_{CC}	α	+0.02973%/°K
Coefficiente de temperatura de V_{OC}	β	-0.38038%/°K
Coefficiente de temperatura de P_{MAX}	γ	-0.57402%/°K
Temperatura de operación nominal de la célula	TONC	45°C

Fuente: Datasheed 300-370W ERA SOLAR

Para efectos de diseño, montaje e instalación de los módulos es necesario contar con las especificaciones técnicas de los módulos fotovoltaicos del cuadro 3 se puede mostrar los principales en la siguiente tabla:

Tabla 5

Características Mecánicas del módulo fotovoltaico

Dato	Valor
Dimensiones	1956x992x40mm
Peso	25.5kg
Material del marco	Aluminio
Tapa superior	Vidrio templado 3.2mm
Cable (terminales)	4mm ² cable solar- 900m
Temperatura de trabajo	-40°C...+85°C

Fuente: Datasheed 300-370W ERA SOLAR

Un aspecto importante a considerar es la validez de los parámetros proporcionados por el fabricante, lo cual se puede garantizar con las certificaciones que tiene el dispositivo; para este caso en particular indica que cumple con las normas IEC 61215, IEC 61730 MCS INMETRO, además el fabricante indica que son resistentes a perdidas PID (degradación por potencial inducido).



Figura 8. Generador fotovoltaico UNAJ

3.1.3. Inversor

El Inversor HD Wave 3000W Solar-Edge monofásico es un dispositivo capaz de convertir la electricidad que proporcionan por los módulos fotovoltaicos en corriente directamente para el autoconsumo de la vivienda. cuenta con una garantía de proporcionada por el fabricante cuyo periodo de tiempo es de 12 años, lo que es una gran fiabilidad de operación.

Este inversor opera de manera conjunta con los optimizadores asociados a cada módulo fotovoltaico, Por lo tanto, este tipo de inversor de conexión a red se encarga de convertir la corriente continua que captan los optimizadores La antena Wifi es necesaria para realizar la configuración y monitorización de todos los inversores SolarEdge sin pantalla. La gran ventaja que ofrece la marca SolarEdge es que está diseñado para descentralizar las funciones del inversor y que cada panel incorpore individualmente un optimizador MPPT. Está compuesto por un sistema en el que el controlador de carga se distribuye en cada panel solar y el rendimiento del sistema se aprovecha al máximo, pase lo que pase en la superficie de los paneles, pudiendo poner orientaciones distintas, paneles con un rendimiento disperejo, que una sombra puntual no afecte al rendimiento global de toda la serie, etc.

Si el inversor está desconectado, por la serie que recoge la energía de todos los optimizadores circula un voltio



Figura 9. Inversor SE30000H

En la figura 9 se muestra el inversor utilizado para el presente trabajo de investigación, el dispositivo tiene un grado de protección IP 65, justamente por ello se ha instalado en el patio. En cuanto al su ventilación es convección natural a través de un disipador de calor que el inversor tiene en la parte posterior del mismo, tiene un peso aproximado de 8 kilogramos.

Las instalaciones fotovoltaicas implican el uso de diferentes componentes eléctricos y mecánicos, los mismos que cumplen con una serie de normas en su mayoría internacionales ya sea americanas o europeas, en el cuadro 6 se muestra las normas que aplican para el inversor utilizado.

Tabla 6

Cumplimiento de normas técnicas del inversor SE3000H

CUMPLIMIENTO DE NORMAS	
Seguridad	EC-62109-1/2
Normas sobre conexión a red	IEC61727, IEC62116, EN 50438, entre otros
Emisiones	IEC61000-6-2, IEC61000-6-3, IEC61000-3-11, IEC61000-3-12, FCC, parte 15, clase B

Fuente: Datasheet 300-370W ERA SOLAR

Para fines de diseño es necesario de conocer los parámetros eléctricos y mecánicos de estos dispositivos, en el cuadro 7 se muestra dichos parámetros de acuerdo a los datos proporcionados por el fabricante, los mismos que serán validados en el presente trabajo de investigación.

Tabla 7

Características del inversor SE3000H (Ofrecidas por el fabricante)

Entrada CC (Salida del generador fotovoltaico)		
Parámetro	Símbolo	Valor
Tensión DC máxima de entrada	V_{OC}	480VDC
Rango de tensión de entrada maxima potencia	V_{mp}	270-480VDC
Corriente de entrada máxima	I_{Max}	9A
Potencia de entrada máxima	P_{Max}	4650W
Salida CA (Red Eléctrica)		
Rango de tensión de salida	V_{CA}	184-264.5V
Potencia electrica nominal	P_{inv}^0	3000VA
Potencia electrica maxima de salida	P_{inv}^{max}	3000VA
Corriente máxima de salida	$I_{Max ac}$	14A -rms
Potencia de entrada máxima	P_{Max}	4650W
Rango de frecuencia de red	F	50/60±5 Hz
Factor de potencia	FP	0.9-1
Datos generales		
Rendimiento maximo del inversor	η_{inv}	99.2%
Rendimiento ponderado europeo	η_{inv}	98.8%
Consumo de energia durante la noche	-	< 2W

Fuente: Datasheed 300-370W ERA SOLAR

3.1.4. El optimizador Solar Edge P370

Para la instalación realizada se ha utilizado un total de 10 optimizadores solar Edge P370, justamente porque el sistema tiene 10 paneles solares cada uno de 370W de potencia nominal, el uso de optimizadores tienen mucha ventaja por ejemplo, Permite verificar el comportamiento de cada módulo de manera independiente, con ello, se podrá conocer el rendimiento, otra ventaja resaltantes que se puede destacar es que ante fallos posibles que pudieran ocurrir en los módulos fotovoltaicos, adicionalmente contribuye con la seguridad al momento de la instalación; siempre que el inversor este apagado tan solo llegara del optimizador 1V de cada optimizador que está conectado en fila con lo cual se puede manipular la instalación

con total tranquilidad. Este dispositivo tiene además un alto grado de protección IP 68, es de peso ligero ya que no supera el kg, según el fabricante el tiempo de garantía es de 25 años. La tabla 6 muestra en detalle las principales características.

Tabla 8

Datos de Placa optimizador de energía

Optimizador Solar Edge P370	
Potencia nominal de CC de entrada	370 W
Tensión máx de entrada (Voc a la temperatura más baja)	60 Vdc
Rango de operación MPPT	8-60 Vdc
Corriente máxima de corto circuito Icc	11 Adc
Rendimiento máximo	99.5 %
Rendimiento ponderado	98.8 %
Salida durante el funcionamiento (optimizador de energía conectado al inversor Solar edge en funcionamiento)	
Corriente máxima de salida	15 Adc
Tensión máxima de salida	60 Vdc
Salida durante standby (optimizador de energía desconectado del inversor apagado)	
Tensión de salida de seguridad por optimizador de energía	1 ± 0.1 Vdc

Fuente: Datasheed 300-370W ERA SOLAR

En la figura 10 se muestra el optimizador solar Edge P370, es un dispositivo pequeño cuyas dimensiones son 128x152x128 mm y con un peso aproximado de 655gr.incluido los cables su función es controlar de manera individual al modulo fotovoltaico al cual se encuentra conectado dentro de sus funciones se encuentra: estabilizar el comportamiento del modulo fv, y establecer el punto de máxima potencia.



Figura 10. optimizador SolarEdge P370

En la figura 11 se muestra la integración de cada uno de los dispositivos anteriormente descritos; adicionalmente se muestra los tableros de protección en el lado de corriente continua CC y en el lado de corriente alterna CA.

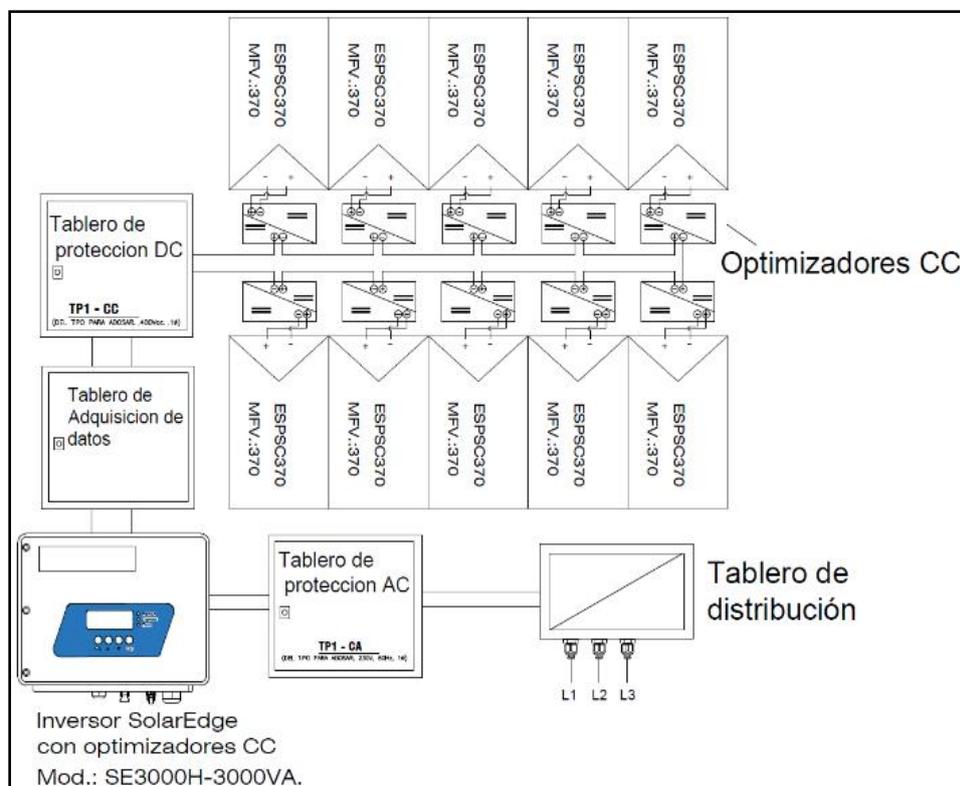


Figura 11. Esquema de instalación del sistema fotovoltaico

3.1.5. Adquisición de datos y monitoreo

Para el registro y almacenamiento de datos, sea implementado un conjunto de dispositivos que consiste básicamente en un controlador lógico programable, transductores de tensión y corriente continua, además de un transductor de temperatura con sus respectivos sensores y de una celda calibrada. Para el registro de irradiancia en el plano del generador fotovoltaico, en la figura9, se puede mostrar

el esquema de instalación para los dispositivos de registro y almacenamiento de parámetros eléctricos en corriente continua, temperatura e irradiancia; estos dos últimos podemos considerarlos como parámetros ambientales posteriormente se describe de manera general cada uno de ellos.

Micro PLC (Controlador Lógico Programable) Logo: Es un dispositivo de la marca Siemens el cual se utiliza para la automatización de pequeños procesos

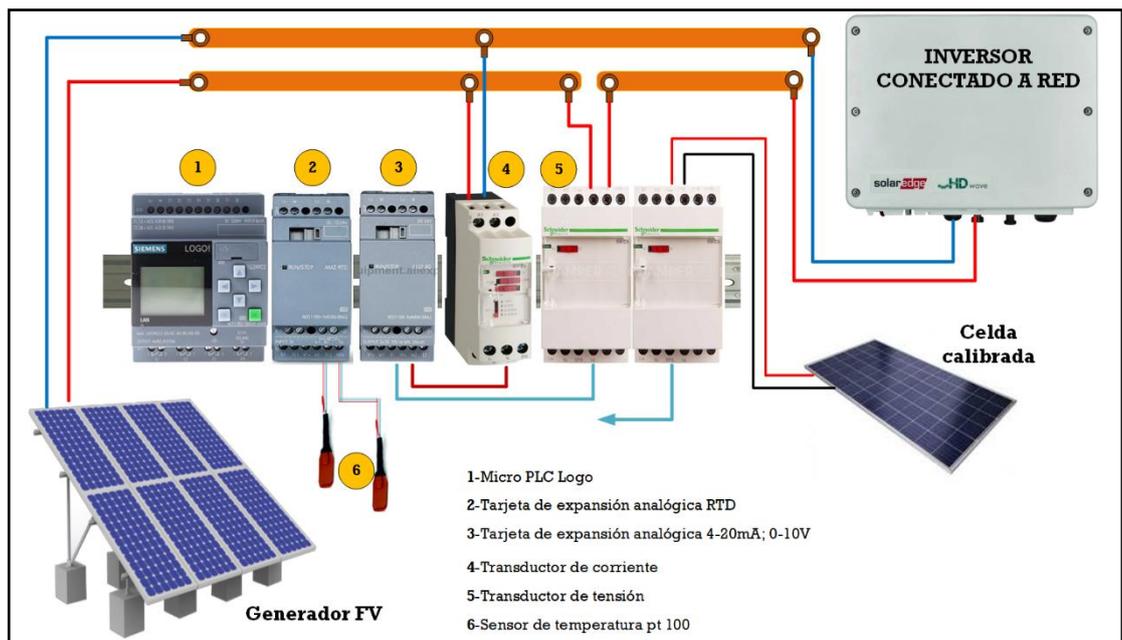


Figura 12. Dispositivos de registro y almacenamiento de datos.

industriales, tiene un conjunto de entradas, salidas digitales y analógicas. El micro PLC Logo y en especial el modelo 8.3 tiene la facultad de trabajar como data Logger, gracias a ello puede registrar y almacenar datos siempre y cuando cumplan con el estándar de 4 a 20 mA o 0-5V-10V, es posible registrar 50 archivos de 20 mil filas cada uno con posibilidad de almacenar en una tarjeta externa SD. Este dispositivo es muy versátil puede realizar múltiples tareas y se adapta de mejor manera para el presente trabajo de investigación.

Tarjeta de expansión analógica RTD: Este dispositivo es utilizado como una expansión para el micro PLC descrito anteriormente; se encarga de verificar la señal proveniente de los sensores de temperatura RTD, a este dispositivo se puede conectar hasta dos sensores de temperatura del tipo pt 100-1000 de manera simultánea.

Transductores de corriente RMCA61BD y tensión RMCV61BD: Estos dispositivos de la marca Shneider, permiten la verificación de la corriente y tensión del generador fotovoltaico al ingreso del inversor, esta lectura de corriente la transforma a una señal estándar de 4-20mA, lo cual como se indicó anteriormente es compatible con el Micro PLC utilizado.

Sensor de temperatura PT-100 de tres hilos es un tipo específico de RTD (Resistance Temperature Detector) el cual cambia su valor óhmico de acuerdo a su temperatura de su superficie de contacto. La pt 100 como característica propia tiene un valor de 100 ohmios a una temperatura de cero grados centígrados. Para el presente proyecto de investigación se ha instalado un total de cuatro sensores de temperatura distribuidos en los módulos fotovoltaicos, inversor y celda calibrada.

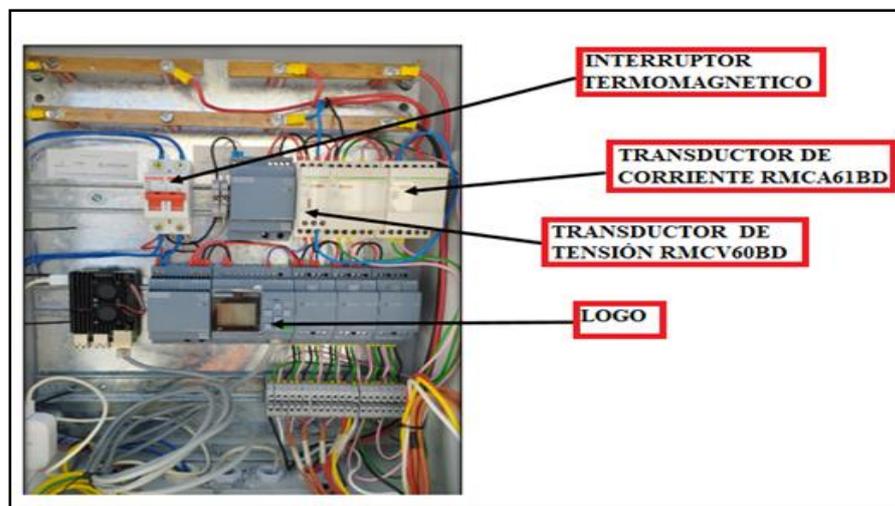


Figura 13. Tablero de instrumentación

El tablero mostrado en la figura 13 muestra la instalación de las barras de alimentación en el lado de corriente continua, es decir es el trayecto de los paneles fotovoltaicos hasta el inversor.

En la figura 13 se muestra la distribución de los dispositivos anteriormente descritos

En la figura 15 se muestra la instalación concretizada con cada uno de sus respectivos elementos, adicionalmente se debe indicar los sistemas de protección (termomagnéticos y fusibles) en la entrada y salida del inversor instalado.



Figura 14. Instalación fotovoltaica con convertidores cc/cc

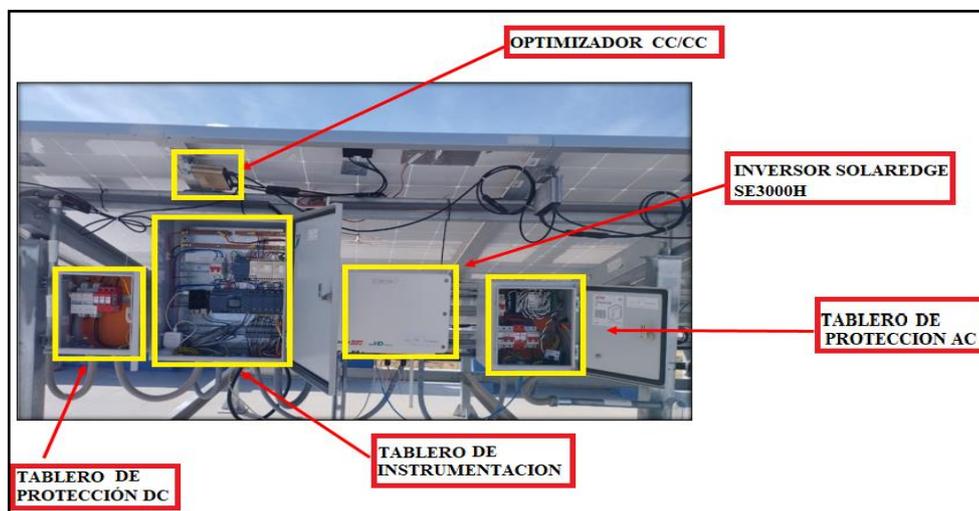


Figura 15. Vista general de la instalación fotovoltaica conectada a red.

3.2. Población

En el Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética ubicado en el campus universitario de la UNAJ, sede Ayabacas se ha instalado un sistema de micro generación distribuida con cuatro SFCRs, uno de ellos constituido por micro inversores, el otro con inversor string SMA de 3KW, y adicionalmente un sistema fotovoltaico de 4.5KW con string convencional, todos estos sistemas se han instalado y actualmente están en operación inyectando en la red alrededor de 10KW, las instalaciones anteriormente mencionadas se ha implementado con fines netamente académicos sin fines de lucro. y han sido financiados por el banco mundial en cooperación de FONDECYT.

3.3. Muestra

Del conjunto de sistemas fotovoltaicos anteriormente mencionadas, se ha tomado como muestra de estudio para el presente trabajo de investigación, el sistema fotovoltaico con conexión a red constituido por el inversor solar Edge y un generador fotovoltaico el mismo que para su operación y mejor rendimiento consta por un conjunto de optimizadores o convertidores CC/CC.

3.4. Métodos de investigación

La presente investigación es aplicada, pre experimental, pues analiza el comportamiento del inversor fotovoltaico bajo distintas condiciones del generador fotovoltaico considerando su sobredimensionamiento y sub dimensionamiento, además para su evaluación se considera las condiciones climáticas del lugar de estudio.

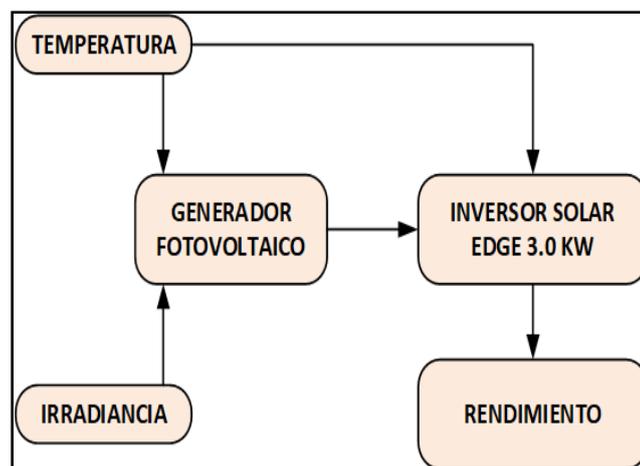


Figura 16. Representación del diseño de investigación

Para el desarrollo de la investigación se ha tomado en consideración los siguientes pasos:

- Montaje e instalación del generador fotovoltaico, inversor y dispositivos de medición. Configuración y puesta en marcha del sistema.
- Implementación del sistema de adquisición de datos, distribución y almacenamiento.
- Recopilación de la información sobre el comportamiento del sistema fotovoltaico a lo largo del periodo de estudio (03 meses).
- Recopilación de la información sobre la irradiancia incidente en el lugar de estudio.

- Regulación del generador fotovoltaico para verificar la respuesta del inversor
- En función de los resultados evaluar y determinar el factor de dimensionamiento más óptimo para el inversor, bajo las condiciones climáticas del lugar de estudio.

3.4.1. Tipo de investigación

El tipo de la investigación es investigación aplicada, a través de la investigación experimental, mediante la cual se recopiló información y datos sobre el comportamiento del sistema fotovoltaico bajo distintas condiciones del clima y así mismo se hizo variación de la potencia nominal del generador fotovoltaico, con la finalidad de verificar la respuesta del generador. Posteriormente se aplicó la investigación correlacional a fin de buscar la relación entre las variables climáticas, potencia nominal del generador fotovoltaico y el rendimiento del inversor en estudio, finalmente se ha encontrado el factor de dimensionamiento que mejor se adapte para ese tipo de inversor y bajo las condiciones climáticas de la zona de estudio.

3.4.2. Variables

3.4.2.1. Variable independiente

Condiciones climáticas (irradiancia, temperatura ambiente)

3.4.2.2. Variable dependiente

Factor de dimensionamiento para inversor fotovoltaico

3.4.2.3. Operacionalización de las variables

En el cuadro 9 se indica la descripción de cada una de las variables que determinan el problema general del presente trabajo de investigación. Se debe considerar que primordialmente se busca obtener un buen factor de dimensionamiento según las condiciones climáticas de la ciudad de Juliaca, es necesario tener en cuenta que dicho parámetro es importante para realizar el diseño de instalaciones fotovoltaicas en nuestra región, considerando el comportamiento de la temperatura ambiente y en especial la irradiancia cuyos niveles son muy óptimos para generación fotovoltaica.

Tabla 9

Operacionalización de variables

Tipo de variable	Variables	Definición conceptual	Indicadores	Unidad de
Independiente	Irradiancia	Comprende la irradiancia incidente en el plano del generador fotovoltaico.	Irradiancia en condiciones de test estándar	W/m ²
	Temperatura	La temperatura ambiente es determinante para el desenvolvimiento del generador fotovoltaico.	Temperatura ambiente, temperatura del generador condiciones de test estándar	°C
Dependiente	Factor de dimensionamiento	El factor de dimensionamiento es la relación entre la potencia entregada y la potencia nominal del generador.	Si el factor de dimensionamiento se aproxima a uno es un muy buen indicador	Fd: factor de dimensionamiento.
	Rendimiento del inversor	El rendimiento es la capacidad de transformación del inversor.	Un rendimiento cercano a la unidad es un muy buen indicador	η : Rendimiento de inversor

3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

La descripción de los métodos de investigación para cada objetivo se ha planteado de la siguiente manera:

Se ha recolectado datos del recurso irradiancia para determinar la energía solar incidente en el centro poblado de Santa Maria de Ayabacas de la ciudad de Juliaca.

Se ha recolectado información sobre los parámetros eléctricos a la salida del generador fotovoltaico y se ha evaluado su rendimiento en función de los niveles de irradiancia y temperatura del lugar de estudio.

Se ha recolectado información sobre los parámetros eléctricos en la entrada y salida del inversor y se ha evaluado su eficiencia con ello se obtuvo un factor de dimensionamiento preliminar.

Posteriormente se ha realizado cambios en la potencia del generador fotovoltaico y con ello se pudo verificar la respuesta del inversor.

Tabla 10

Técnicas e instrumento de recolección de datos

Objetivo específico	Fuente	Método	Herramienta
Evaluar las condiciones climáticas de la zona de estudio y su influencia de en el comportamiento energético de los SFGR implementado con convertidores CC/CC instalados den la zona de estudio..	Registro de datos de temperatura e irradiancia	Evaluación del rendimiento del generador fotovoltaico.	Hojas de cálculo, Origin phyton
Realizar pruebas experimentales con distintos FDI aplicado al inversor fotovoltaico y verificar su influencia en el comportamiento energético del mismo, bajo condiciones climatológicas propios de Juliaca Perú.	Registro de datos de parámetros eléctricos a la entrada y salida del inversor	Considerar variantes en el generador fotovoltaico y verificar la energía entregada por el inversor.	Hojas de cálculo, Origin phyton

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En función de los objetivos trazados en el presente trabajo de investigación, se ha planteado dos objetivos:

El primero consiste en la verificación del comportamiento del generador fotovoltaico según las condiciones climáticas de la zona de instalación, para lo cual se ha instalado un conjunto de 10 módulos fotovoltaicos de 370Wp cada uno, adicionalmente se tienen asociado un convertidor cc/cc a cada uno de los módulos fotovoltaicos. Posteriormente se ha puesto en funcionamiento al generador fotovoltaico y se ha verificado un análisis a su comportamiento para lo cual se ha tomado en cuenta los parámetros eléctricos y atmosféricos de los mismo.

Para cumplir con el segundo objetivo se ha realizado la instalación de un inversor de marca solar Edge modelo HD wave con potencia nominal de 3000W el cual esta asociado al generador fotovoltaico en el lado CC y conectado a la red monofásica del edificio donde se han instalado, adicionalmente se ha instalado un tablero de instrumentación el cual cuenta con sensores de corriente continua y corriente alterna además de sensores de temperatura que permite capturar fue instalados

Los parámetros medidos son almacenados en una carpeta local, y a la vez se sincroniza con el Google drive, el intervalo de tiempo entre un dato y otro es de un minuto por lo cual se tienen gran cantidad de datos los cuales se acumulan en un día, semana, mes y año para poder realizar el filtrado fue necesario trabajar con phyton, Excel y origin

4.1. Disponibilidad anual de recurso solar

La instalación fotovoltaica se puso en operación desde el mes de mayo del año 2021, y viene trabajando de manera continua hasta la fecha

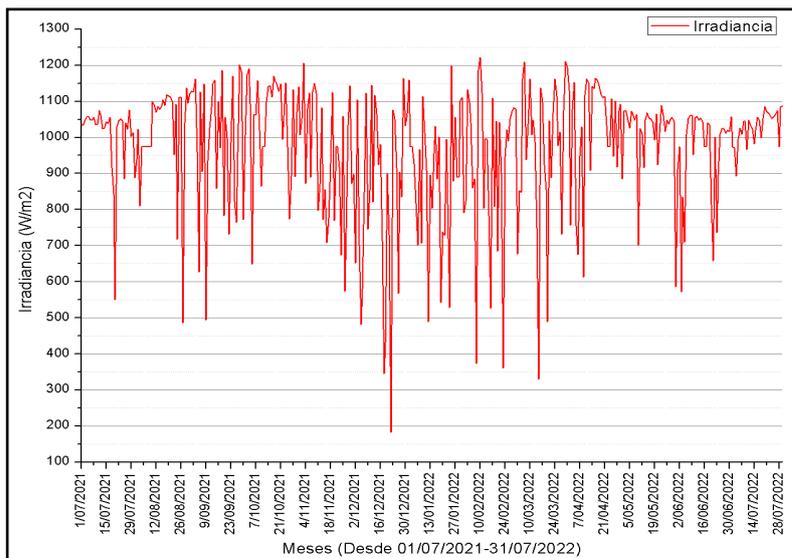


Figura 17. Evaluación de la irradiancia durante un año de estudio

Se debe tener en cuenta las interrupciones que se producen por cortes de energía imprevistos. Para el presente trabajo de investigación se va considerar el estudio de 12 meses (Julio 2021-Julio 2022), para la captación de datos se realizó el uso de un piranómetro ubicado en el plano del generador fotovoltaico, el rango de tiempo es de un minuto por cada dato.

Tabla 11

Promedio de Irradiancia en W/m² durante un año

Periodo 2021		Periodo 2022	
Julio	1006.09	Enero	896.28
Agosto	1020.07	Febrero	916.6
Setiembre	985.48	Marzo	972.68
Octubre	1050.94	Abril	1026.05
Noviembre	945.45	Mayo	1008.24
Diciembre	837.14	Julio	896.28

4.2. Caracterización del sistema fotovoltaico

De acuerdo a la descripción del sistema fotovoltaico en estudio, se tiene una potencia nominal instalada de 3700Wp, por otra parte, la potencia nominal del inversor es 3000W.

normalmente para la caracterización es necesario considerar la irradiancia, energía en AC, la irradiancia en el plano del generador.

4.2.1. Energía acumulada

Para evaluar la energía acumulado es necesario obtener la sumatoria de las potencias activas durante un periodo de un día (5:30am-18:00pm) para posteriormente hacer la conversión a energía en unidades de KWh.

La energía acumulada en KWh, por el sistema fotovoltaico con el inversor Solar Edge se muestra en la figura, se puede identificar que el promedio diario de energía generada es alrededor de 25KWh al día.

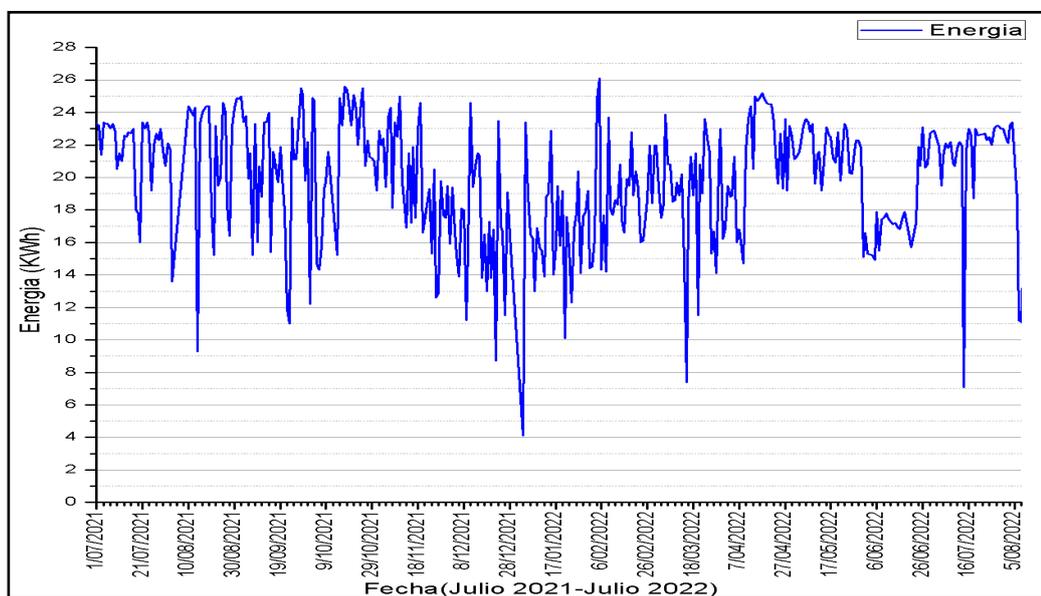


Figura 18. Energía acumulada en 1 año

4.2.2. Rendimiento final

Para encontrar rendimiento del sistema fotovoltaico se toma en consideración la energía acumulada en el lado de corriente alterna y se toma como referencia la potencia nominal del generador en este caso e particular es de 3700Wp.

En la figura 19 se puede verificar que el rendimiento final ($Y_F = Y_{iel}$ final) a lo largo de un año de operación del sistema; en ningún caso se supera el 75%, lo cual es un valor muy bajo.

Considerando que se trata de un sistema optimizado justamente por el sobredimensionamiento que inicialmente se ha realizado a este sistema se tiene una potencia nominal 700 Wp por encima de la capacidad del inversor lo cual representa alrededor de un 23% de sobredimensionamiento, en este sentido se debe tomar en consideración un replanteo de la instalación.

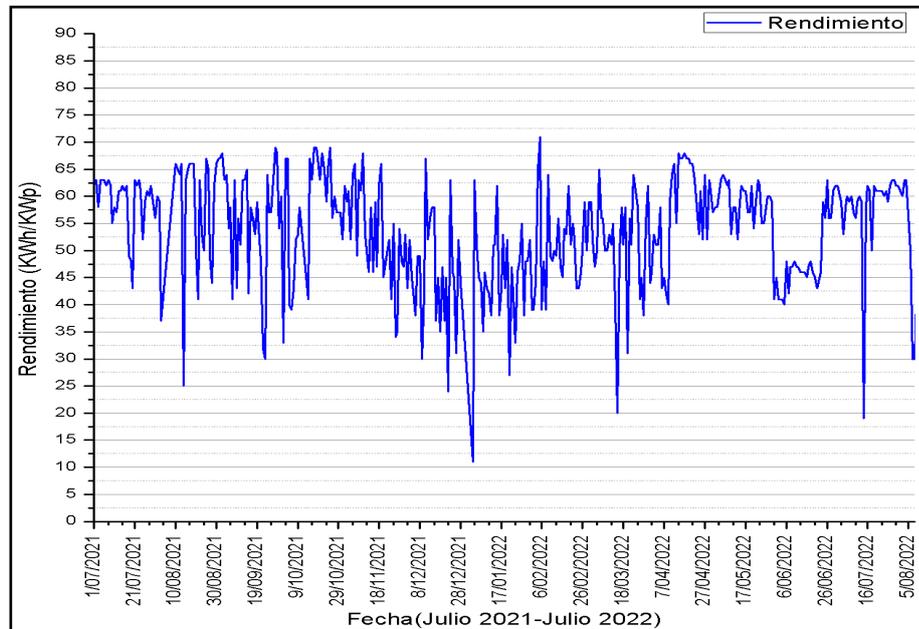


Figura 19. Rendimiento del sistema fotovoltaico

Normalmente para instalaciones fotovoltaicas conectadas a red se considera un factor de dimensionamiento FDI, que hace posible un excedente de 10% a 15% la potencia nominal del generador; es decir, para la instalación fotovoltaica en estudio debería ser un excedente de 370

4.2.3. Rendimiento referencial del sistema (Yr)

Se ha considerado la irradiación acumulada diaria, semanal y posteriormente mensual durante el periodo Julio 2021 hasta Julio 2022. Dicha irradiación se ha obtenido a partir de los datos de irradiancia acumulada en el plano inclinado del generador fotovoltaico. (Orientación norte inclinación 15°)

En la figura 20 se muestra el comportamiento del Yr, respecto del Yf; con respecto al yiel final este, se encuentra en un rango de valores de 4.5 KWh/KWp hasta un máximo de 5.75 KWh/KWp en el mes de enero y mayo respectivamente.

Los valores obtenidos a lo largo de un año son relativamente bajos y ello justamente se da por el sobredimensionamiento del inversor.

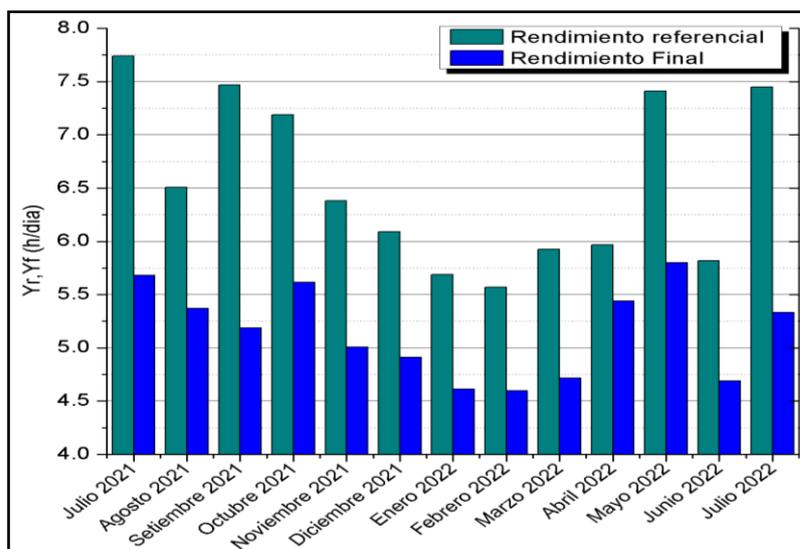


Figura 20. Rendimiento final y referencial del sistema

En relación al Yr se encuentra en un rango de valores de 5.7 h/día hasta un máximo de 7.75 h/día en el mes de febrero y Julio respectivamente. Los valores obtenidos a lo largo de un año son muy importantes ya que se puede apreciar el gran potencial de energía solar fotovoltaica en la zona, los valores obtenidos claramente reflejan la temporada de lluvias y la temporada seca.

4.2.4. Rendimiento global del sistema (PR)

En la figura se puede verificar el rendimiento global, el cual se obtiene a partir de la relación entre el rendimiento referencial, Yr y el rendimiento final Yf, el PR tiene un valor máximo de 92% y un mínimo de 65% con una media de 74%.

Adicionalmente en la figura se muestra la energía incidente en el plano del generador lo cual se ha obtenido mediante el producto de la irradiación mensual y el área total del generador fotovoltaico el cual esta constituido por el conjunto de módulos o paneles solares. (diez módulos de 370Wp cada uno)

El rendimiento global implica las perdidas asociadas a la transformación de la energía solar fotovoltaica en energía eléctrica (corriente continua) y posteriormente la transformación de la energía eléctrica en corriente continua a energía eléctrica en corriente alterna, estos dos procesos se llevan a cabo en el generador fotovoltaico y en el inversor

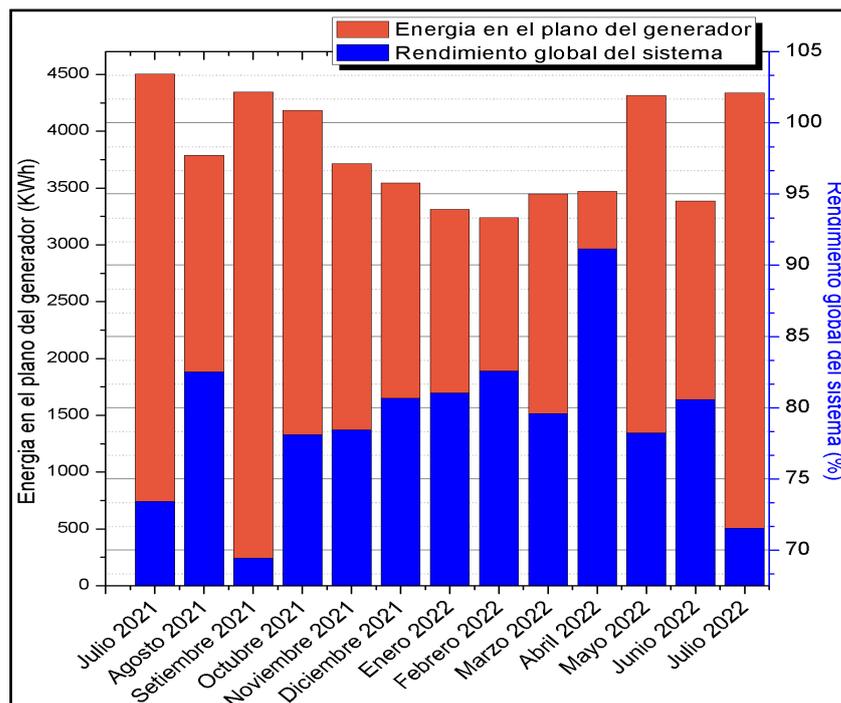


Figura 21. Rendimiento global del sistema

4.2.5. Temperatura en el plano del generador

Para la temperatura se ha tomado como referencia los datos de la estación meteorológica ubicada a unos 8 metros del sistema fotovoltaico en estudio, los datos son tomados cada minuto y desde las 06:00 am hasta las 18:00 pm. Como temperatura mínima se tiene de 8°C y un máximo de 25°C, como promedio se tiene un aproximado de 18°C. se debe indicar que la ubicación de la estación meteorológica se encuentra el techo del edificio lo cual influye en cierto modo ya que acuta como una barrera sin embargo es la temperatura más cercana al sistema fotovoltaico.

La temperatura del módulo se ha medido haciendo uso de un sensor PT100 y un micro PLC Logo mediante una tarjeta de expansión en cuanto a la temperatura ambiente se ha calculado un promedio 18°C, y la temperatura normal de operación de los paneles de 40°C, así mismo se tiene un máximo de 58°C y mínimo de 22°C, se debe indicar que se ha tomado la data durante el día, 6:00 am hasta 18:00pm posteriormente se realizó el promedio diario y esos resultados son los que aparecen en la figura.

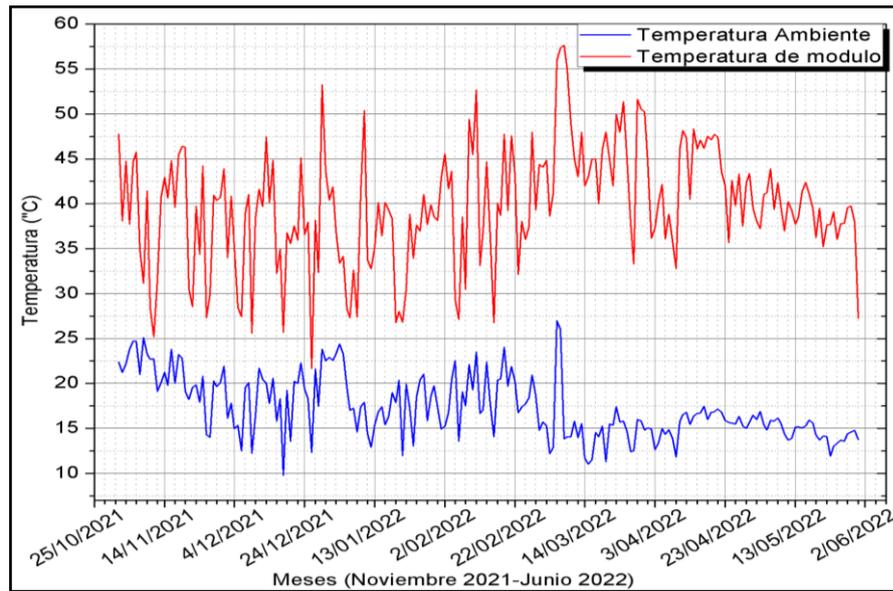


Figura 22. Comportamiento de temperatura ambiente y de módulo

4.2.6. Eficiencia del generador e inversor fotovoltaicos

El rendimiento del inversor se determina a partir de la relación entre la energía (CC) y la energía (AC). En la figura se puede verificar su comportamiento y realizar una comparativa con la energía solar que incide en el generador fotovoltaico.

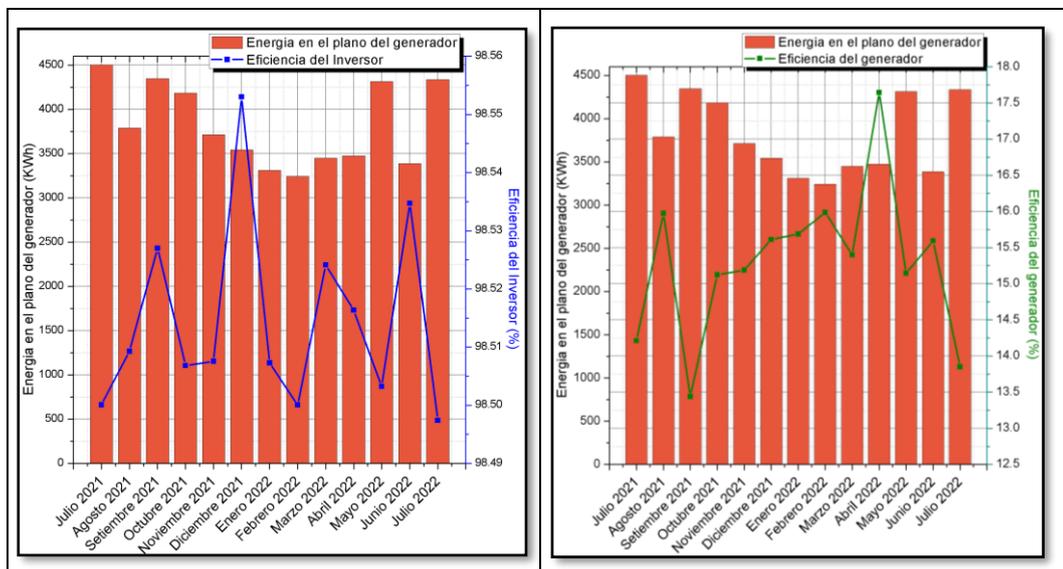


Figura 23. Eficiencia del inversor y generador fotovoltaico

Respecto del rendimiento del inversor se verifica que en todos los meses el rendimiento se mantiene en 98% a pesar de estar sobredimensionado sin embargo varia ligeramente en la segunda cifra decimal desde un 98.50% hasta un 98.56%, además se puede identificar que en los meses de diciembre a febrero(temporada de

lluvias), disminuye la energía solar y se incrementa ligeramente la eficiencia del inversor, posteriormente en los meses de mayor irradiancia la eficiencia del inversor disminuye a su valor más bajo que oscila alrededor de los 98.4%.

En cuanto a la eficiencia del generador fotovoltaico, se obtiene a partir de la relación entre la energía solar fotovoltaica y la energía eléctrica y, se puede verificar de igual manera su comportamiento respecto de la energía fotovoltaica incidente. como se muestra en a la figura 20 la eficiencia del generador oscila desde un 13.5% hasta un 17.5%. este comportamiento se debe precisamente al control que establece el inversor hacia el generador fotovoltaico

4.3. Sobre y sub dimensionamiento del inversor

Para determinar un FDI adecuado para el sistema y, de acuerdo con las condiciones climáticas del lugar de estudio se ha elaborado varios experimentos con potencias nominales del generador fotovoltaico por encima y por debajo de la potencia nominal del inversor en estudio.

La potencia nominal del inversor es de 3000W, y la potencia nominal de cada módulo o panel fotovoltaico es de 370Wp.

Tabla 12

Pruebas del sistema fotovoltaico

N.º de paneles solares	Potencia del generador	FDI	Categoría	Fecha
07	2590Wp	116%	Sub dimensionado	12/09/2022
08	2960Wp	101.35%	Sub dimensionado	13/09/2022
09	3330Wp	90%	Sobre dimensionado	14/09/2022
10	3700Wp	81%	Sobre dimensionado	15/09/2022

4.3.1. Prueba con siete módulos fotovoltaicos

En la figura 24 se muestra la prueba realizada con siete módulos fotovoltaicos, la potencia en corriente alterna AC, disminuye de 3000W hasta 2350W ello para una irradiancia de 1250W/m².

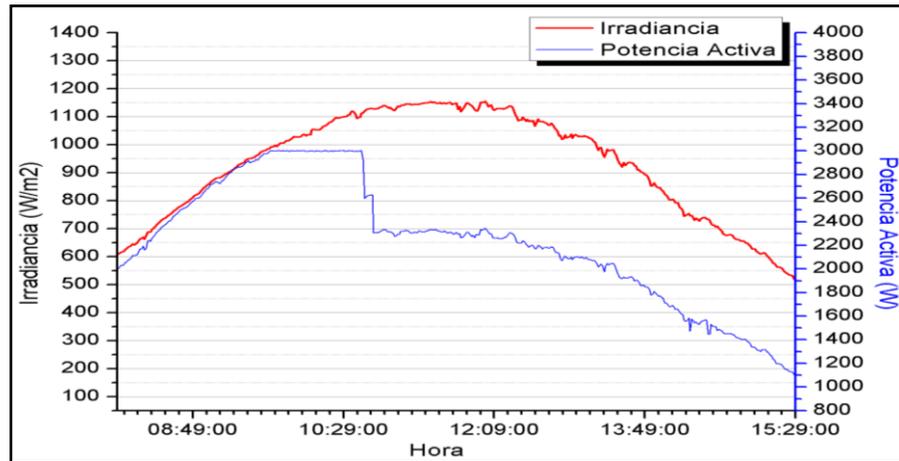


Figura 24. Experimentos realizados con siete módulos fotovoltaicos

4.3.2. Prueba con ocho módulos fotovoltaicos

En la figura 25 se muestra la prueba realizada con ocho módulos fotovoltaicos, la potencia en corriente alterna AC, llega hasta un valor 3000W para una irradiancia de 1300 W/m², si consideramos la potencia nominal del generador 2960Wp se puede verificar que existe gran acercamiento a este valor, ello justamente por la eficiencia del inversor. Adicionalmente para una irradiancia de 600W/m² se presenta una potencia activa de 1350W ello en horas de la mañana. Y para una irradiancia de 400W/m² se presenta una potencia activa de 1000W ello en horas de la tarde. Se puede evidenciar que existe una histéresis con el valor de la potencia activa con irradiancias iguales durante la mañana y la tarde ello se presenta debido a la variación de temperatura ambiente lo cual influye en el comportamiento de los paneles.

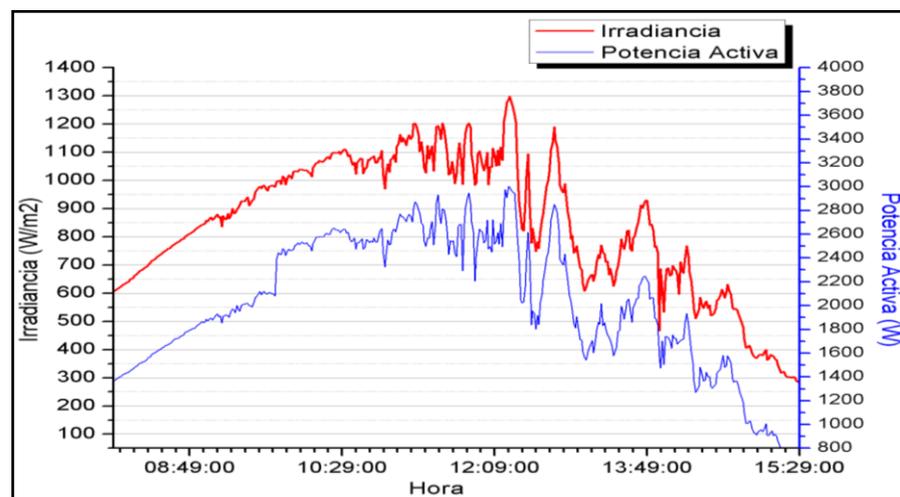


Figura 25. Experimentos realizados con ocho módulos fotovoltaicos

4.3.3. Prueba con nueve módulos fotovoltaicos

En la figura 25 se muestra la prueba realizada con nueve módulos fotovoltaicos, la potencia en corriente alterna AC, llega hasta un valor 3000W para una irradiancia de 1350 W/m², si consideramos la potencia nominal del generador 3330Wp se puede verificar que existe gran acercamiento a este valor, ello justamente por la eficiencia del inversor. Adicionalmente para una irradiancia de 250W/m² se presenta una potencia activa de 1350W ello en horas de la mañana. Y para una irradiancia de 400W/m² se presenta una potencia activa de 900W ello en horas de la tarde.

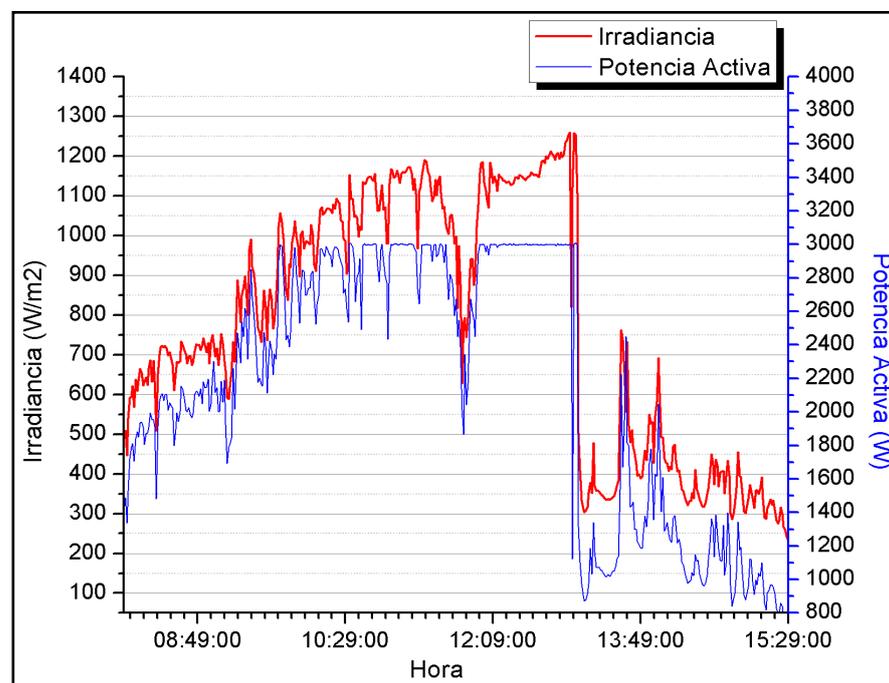


Figura 26. Experimentos realizados con nueve módulos fotovoltaicos

4.3.4. Prueba con diez modulos fotovoltaicos

En la figura 27 se muestra la prueba realizada con diez módulos fotovoltaicos, la potencia en corriente alterna AC, llega hasta un valor 3000W para irradiancias desde 1000 W/m², si consideramos la potencia nominal del generador 3700Wp se puede verificar que se presenta una limitación de potencia activa por parte del inversor.

Adicionalmente para una irradiancia de 300W/m² se presenta una potencia activa de 850W ello en horas de la mañana, de igual manera en horas de la tarde. Y para una irradiancia de 400W/m² se presenta una potencia activa de 900W ello en horas de la tarde.

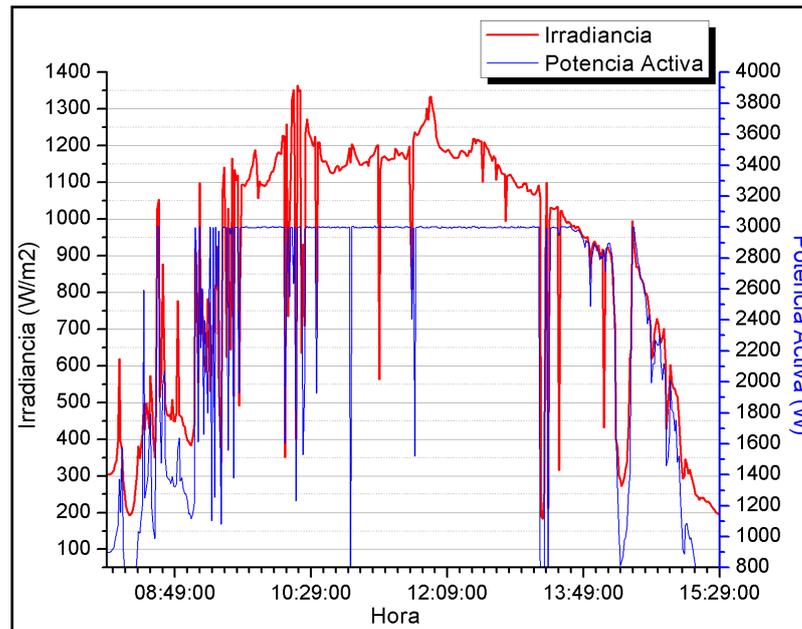


Figura 27. Comportamiento de la potencia activa AC. con 3700Wp

En la figura 27 se puede apreciar la operación del sistema fotovoltaico el día 15 de Setiembre del 2022, claramente se tiene un comportamiento atípico de irradiación donde hay puntos cuyos valores superan los 1350 W/m², bajo estas circunstancias el inversor aplica la limitación de potencia activa y trata de mantener estable la potencia activa en un valor que oscila los 3000W. Lo cual es favorable ya que el inversor se está auto protegiendo.

4.3.5. Evaluación de pérdidas y temperatura en el inversor

En la figura 28 se puede apreciar la energía total incidente en el plano del generador de acuerdo a los cuatro experimentos realizados. la energía acumulada durante el rango de 11:00 am hasta 15:00 pm es distinta ya que influye el número de módulos fotovoltaicos y el comportamiento de la irradiancia durante el día.

Sin importar la cantidad de irradiancia se evalúa la capacidad del inversor en transformar la energía proveniente del generador a energía eléctrica en corriente alterna para inyectar a red.

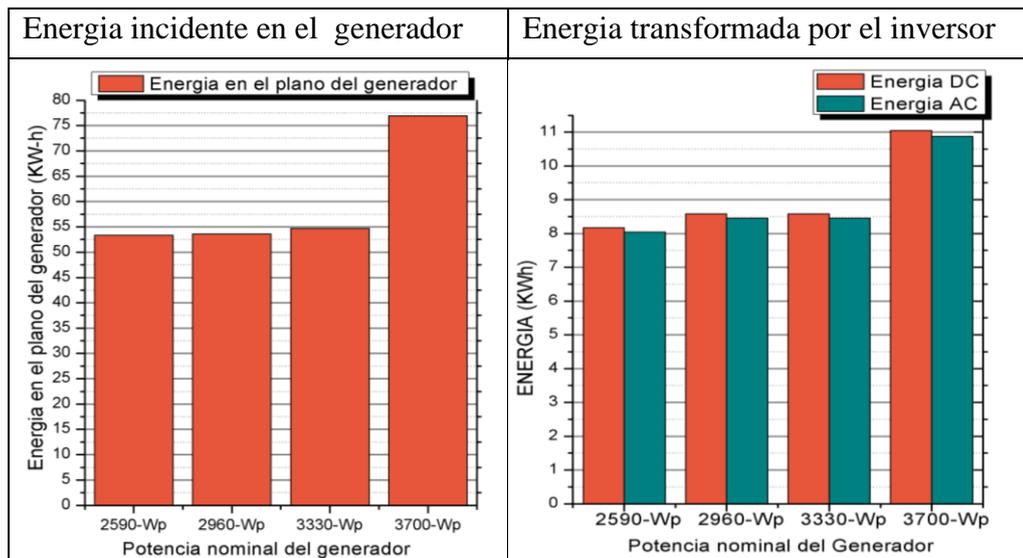


Figura 28. Energía transformada por el inverso

Se puede verificar el comportamiento de las pérdidas en el inversor en función de la potencia nominal del generador fotovoltaico.

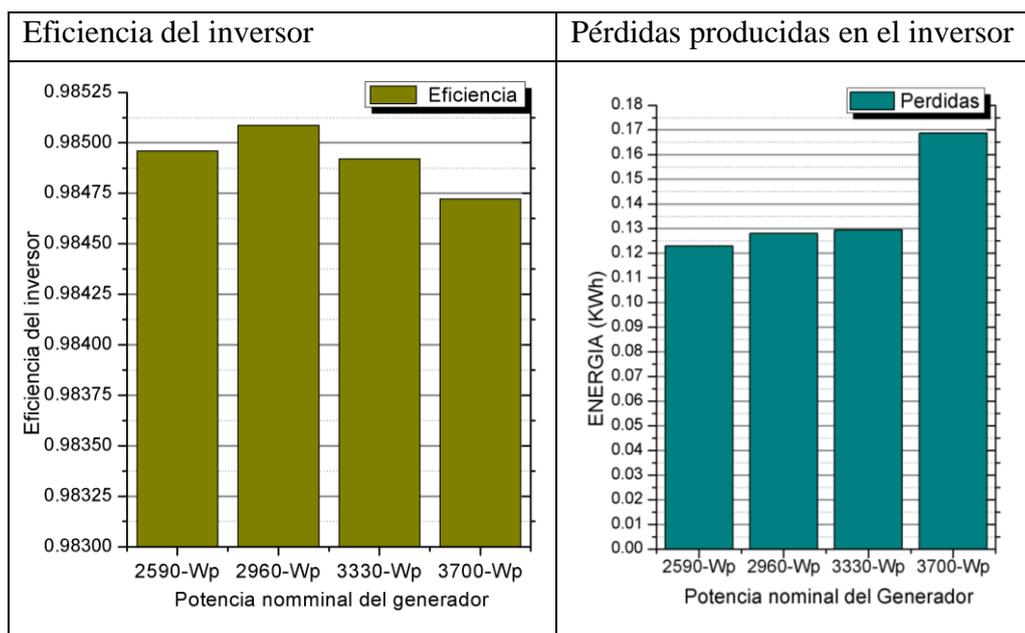


Figura 29. Pérdidas en el inversor

Como se ha mostrado en las figuras anteriores que ante un sobredimensionamiento exagerado el inversor muestra un comportamiento ligeramente desfavorable, pero ello puede ser acumulativo ya que el sistema tiene una durabilidad mínima de 15 a 20 años.

En la figura 30 se muestra el comportamiento térmico del inversor respecto de la temperatura ambiente, igual manera se puede apreciar notable diferencia cuando el inversor es sometido a una potencia elevada del generador fotovoltaico. Sin embargo; la temperatura del inversor siempre se mantiene por debajo de los 35°C, este valor se encuentra dentro de la temperatura de operación normal del inversor.

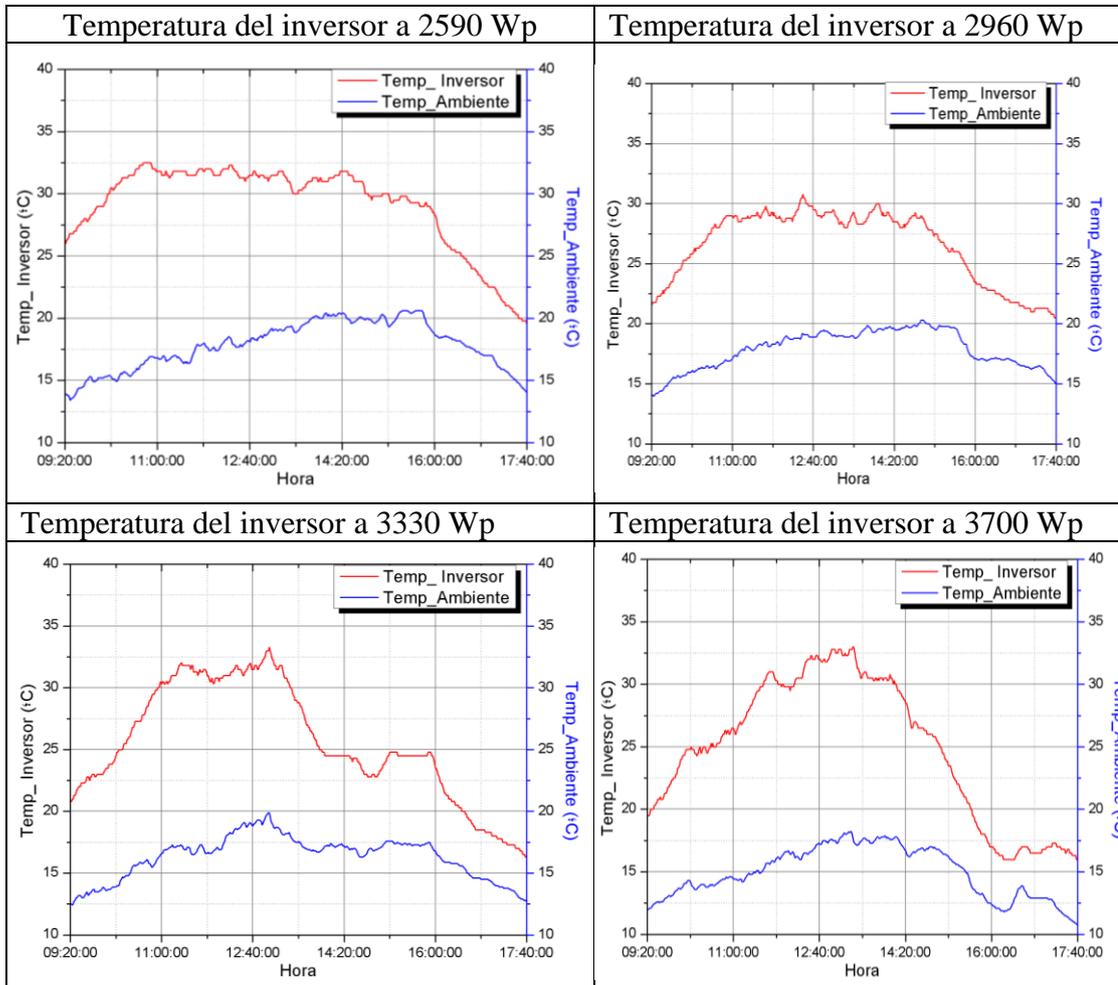


Figura 30. Temperatura del inversor a distintas potencias nominales del generador

4.3.6. Evaluación del compartamiento de tension AC en el inversor

En cuanto al comportamiento de la tensión en corriente alterna AC, se puede destacar que cuando se ha sobredimensionado el generador fotovoltaico; la tensión aumenta y cuando se ha sub dimensionado se crea distorsiones, por otro lado, cuando la potencia nominal del generador fotovoltaico se encuentra entre 2960Wp y 3300Wp el comportamiento es estable y bordea los 220 voltios, estos resultados muestran que no es conveniente realizar un sobredimensionamiento ya que es un

gasto no recuperable y también se perjudica la red, lo cual en un escenario de micro red distribuida no calificaría y puede darse incluso sanciones por alterar la red.

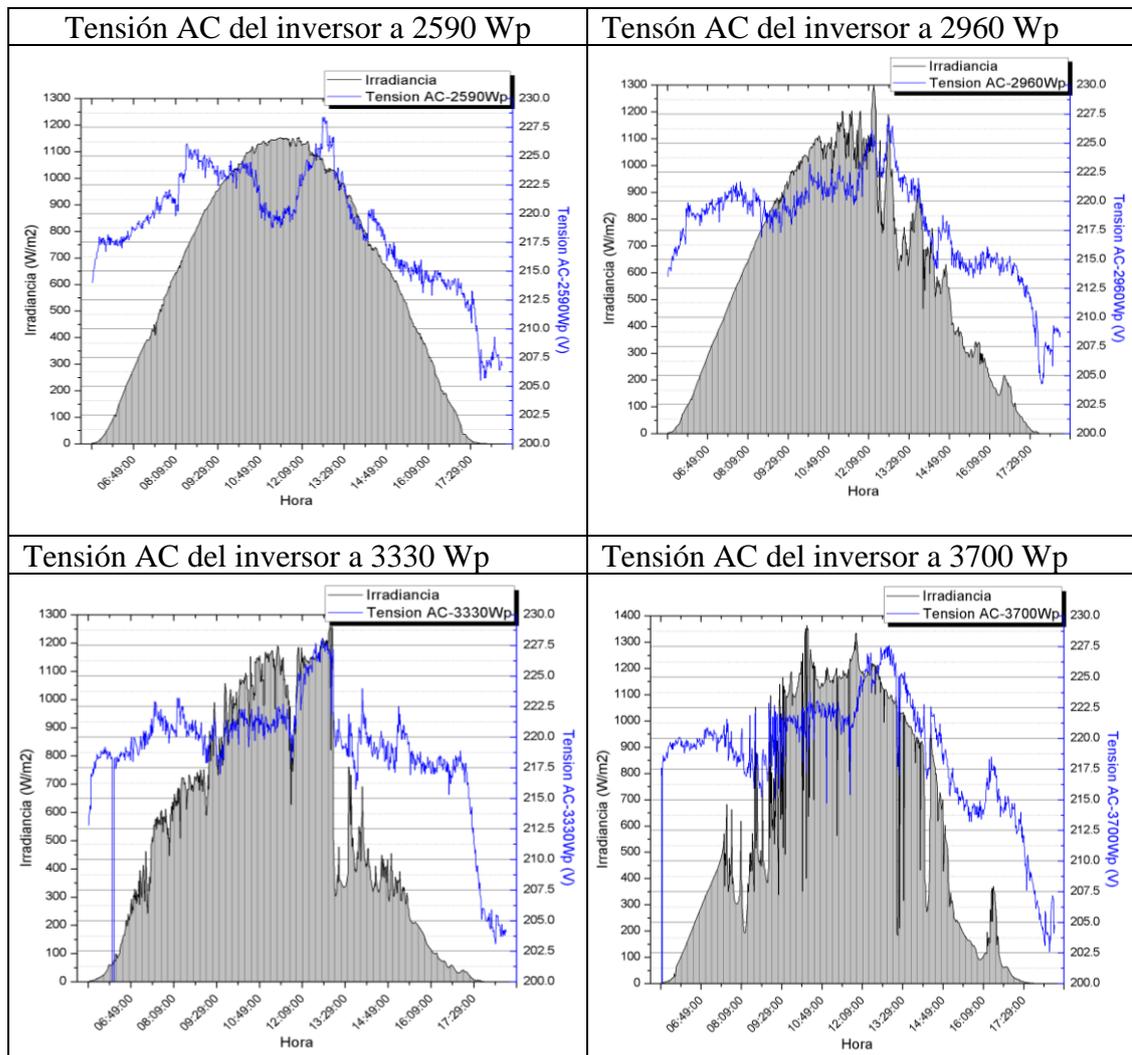


Figura 31. Tensión AC a diferentes potenciales nominales del generador fotovoltaico

4.3.7. Evaluación parametros electricos en la red trifasica

Con respecto a la tensión en la red trifásica se puede observar que, durante la madrugada (color celeste a la izquierda) se mantiene con valores estables entre 216 Voltios a 223 Voltios, posteriormente cuando los sistemas fotovoltaicos entran en operación, la tensión tiende a incrementarse e inclusive llega a 228 Voltios, posteriormente durante la noche en hora punta (cuadro de color violeta), la tensión disminuye a sus valores más bajos se pudo identificar valores de hasta 205 Voltios. De la misma manera se puede mostrar un mejoramiento con respecto al factor de potencia durante la operación del generador fotovoltaico

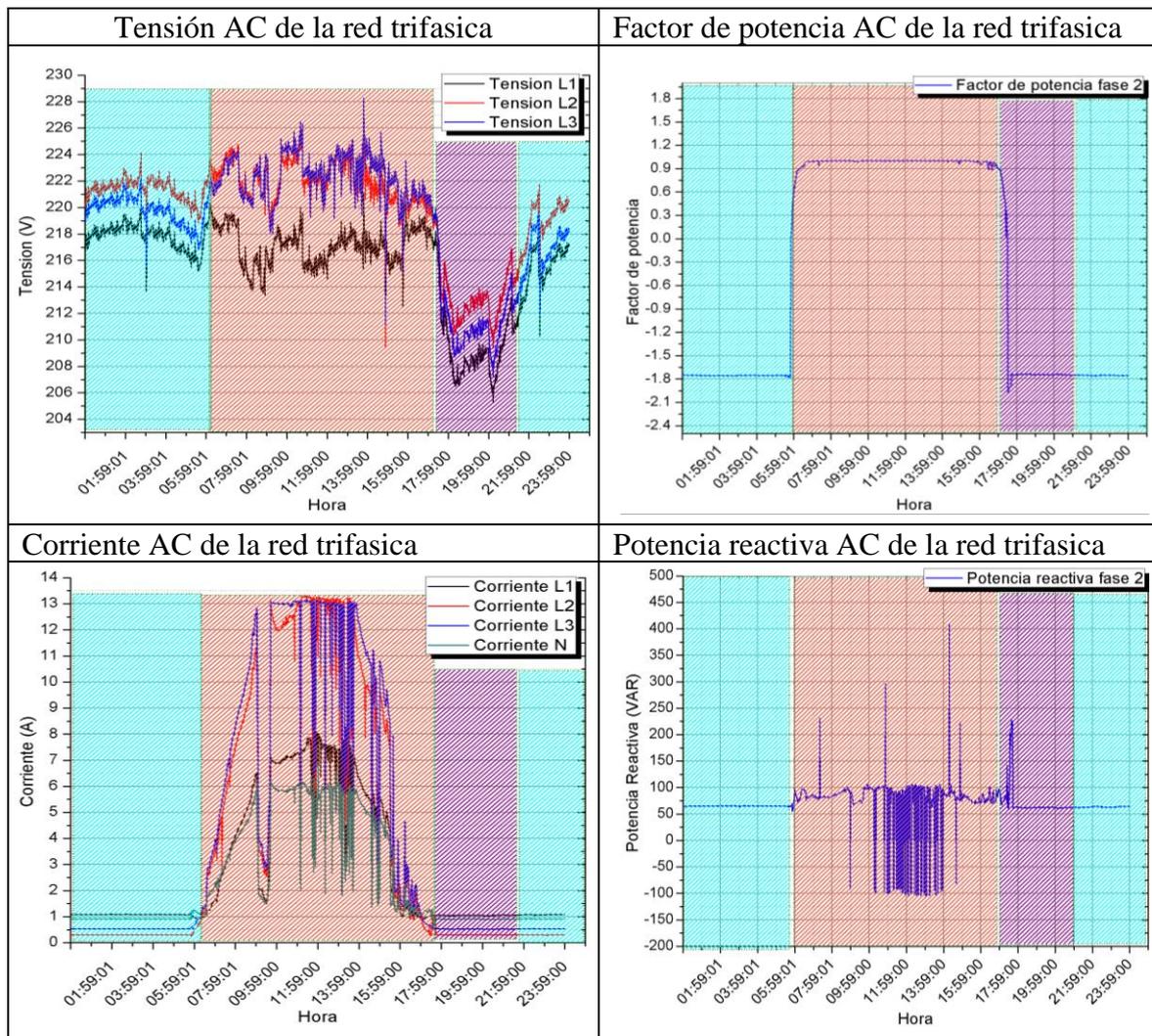


Figura 32. Parámetros eléctricos en la red trifásica

4.4. Resumen de resultado obtenidos

La tabla 13, la temperatura ambiente alcanza un promedio de temperatura de 18°C, la irradiancia como promedio 1000W/m², FCR, así mismo la irradiancia de 1000W/m² hace posible las mejores condiciones para este tipo de sistemas fotovoltaicos.

Tabla 13

Resumen temperatura e irradiancia anual

Rango	Rango	Valor min	Valor max	Prom
Temp. Ambiente	6:00-18:00	8°C	25°C	18°C
Irradiancia	6:00-18:00	100W/m ²	1300W/m ²	1000W/m ²

La tabla 14 se muestra los resultados luego de un año de trabajo, referentes a la temperatura de los módulos fotovoltaicos, se verifica que la temperatura promedio no

supera los 40°C, esto garantiza que la eficiencia ofrecida por el fabricante se aproxime de manera muy cercana al rendimiento obtenido.

Tabla 14

Comportamiento anual del generador FV

T min	T máx.	T normal	Rendimiento
22°C	58°C	40°C	13.5%-17.5%

En el cuadro 15 se muestra los resultados referentes a las variantes en el FDI para el inversor fotovoltaico el rendimiento mejor obtenido es 98.510% con un FDI 101.35%,

Tabla 15

Evaluación del FDI experimental

N.º de paneles solares	Potencia del generador	FDI	T inv/T amb	T max inv	Rendimiento
07	2590Wp	116%	13 °C	32.5 °C	98.490 %
08	2960Wp	101.35%	10 °C	31.0 °C	98.510 %
09	3330Wp	90%	14 °C	33.0 °C	98.480 %
10	3700Wp	81%	15 °C	33.5 °C	98.470 %

CONCLUSIONES

Se ha logrado verificar los parámetros ambientales; temperatura e irradiancia, se muestra en el cuadro 13, la temperatura ambiente alcanza un mínimo de 8°C, un máximo de 25°C y como promedio una temperatura de 18°C, la irradiancia incidente alcanza un valor mínimo de 100W/m², un máximo de 1300W/m² y como promedio 1000W/m². En ese mismo periodo de tiempo se ha realizado la evaluación energética del SFCR con 10 módulos fotovoltaicos de 370Wp con sus respectivos convertidores de corriente continua CC/CC, y un inversor de 3000W, la temperatura de los módulos FV se ha obtenido un mínimo de 22°C, un máximo de 58°C y un promedio de 40°C, lo cual ha permitido un rendimiento de 13.5 % a 17.5 %; este valor se aproxima a la eficiencia proporcionada por el fabricante lo cual es un buen indicador. Posteriormente se ha realizado un análisis energético, se obtuvo como resultado: una energía acumulada de 10 000kWh, el rendimiento final varía entre 4.50- 5.75kWh/kWp, el rendimiento global de 65.74 % este valor es muy bajo debido a que la potencia nominal del generador es 3700Wp y del inversor solo alcanza 3000W. los 10 módulos fotovoltaicos instalados representan un FDI inicial de 81% de esta manera ha estado operando el SFCR durante un año, periodo 2021-2022.

Se ha realizado variantes en la potencia nominal del generador FV para determinar el factor de dimensionamiento (FDI) adecuado para el inversor; obteniéndose como resultados: con 7 módulos FV (2590Wp) FDI de 116 %, se obtuvo un rendimiento de 98.49 %; con 8 módulos FV (2960Wp) FDI de 101 % se obtuvo un rendimiento de 98.51 %; con 9 módulos FV (3330Wp) FDI de 90 %, se obtuvo un rendimiento de 98.48 % finalmente con 10 módulos FV (3700Wp) FDI de 81 % se tiene un rendimiento de 98.47 %. Se verifica que para un FDI de 101 % el SFCR tiene un mejor rendimiento, ello indica que, para este tipo de sistemas bajo las condiciones de clima propios del lugar de estudio, lo más factible es considerar un FDI de 95 % a 100 %. El resultado obtenido es muy importante dado que permite realizar adecuadamente el diseño del SFCR, garantizando su operatividad técnica y económica.



RECOMENDACIONES

Principalmente se recomienda aumentar el FDI actual de 87% a un valor de entre 95 ha 100% a fin de evitar pérdidas y optimizar el rendimiento energético del sistema, para futuros trabajos de investigación se recomienda implementar un dispositivo de control capaz de realizar una interacción del número de módulos FV, en función del recurso solar incidente; básicamente se plantea que cuando los niveles de irradiancia sean bajos se entren en operación los 10 módulos FV, y cuando la irradiancia alcance valores altos disminuya la cantidad de paneles. Así mismo es necesario la implementación de un plan de mantenimiento para la limpieza del módulo, así mismo verificar la instrumentación instalada se encuentre en buenas condiciones a fin de obtener datos confiables.

Se recomienda realizar experimentos en el cual se realice perturbaciones de sombreadamiento en los módulos fotovoltaicos, con ello se puede verificar la respuesta del generador y su influencia en el rendimiento del inversor. Al mismo tiempo, se recomienda verificar la temperatura de los optimizadores o convertidores CC/CC, debe contar con muy buena ventilación dado que tiene un IP 67 queda garantizada su exposición al medio ambiente, de preferencia colocar de manera perpendicular a los módulos para que el viento pueda fluir a través de los disipadores de estos dispositivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, J. D., Perez, P. J., De, J., Casa, L. A., & Rus, C. (2015). *Cálculo de la energía generada por un sistema fotovoltaico conectado a red: Aplicación docente*. <http://solar.ujaen.es>
- Angulo, J., Calsi, B., Alfaro, E., Conde, L., Muñoz, E., Grieseler, R., Guerra, J., Palomino, J., Espinoza, R., & De la Casa, J. (2020). Estudio del efecto del polvo y estimación de la potencia nominal en un string fotovoltaico. *Tecnia*, 30(1), 27–33. <https://doi.org/10.21754/tecnica.v30i1.832>
- Angulo, J., & Conde, L. (2019). *MODELACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO MEDIANTE UN NUEVO ANÁLISIS BASADO EN EL MÉTODO DE OSTERWALD*.
- Aouadi, C., Abouloifa, A., & Boussairi, Y. (2017). State-Feedback Nonlinear Control of Three-phase Grid Connected to the Photovoltaic System. *IEEE*.
- Benitez, J. M., Larrondo-Petrie, M. M., & Masa-Bote, D. (2019). Análisis del rendimiento de un sistema fotovoltaico conectado a red bajo distintas condiciones ambientales. *Información Tecnológica*, 30(5), 249–258.
- Brito, E. M. S., Cupertino, A. F., Reigosa, P. D., Yang, Y., Mendes, V. F., & Pereira, H. A. (2018). Impact of meteorological variations on the lifetime of grid-connected PV inverters. *Microelectronics Reliability*, 88–90, 1019–1024. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2018.07.066>
- Busso, A., Cadena, C., & Vera, L. (2011). Determinación de la eficiencia de conversión del inversor empleado en un Sistema de generación fotovoltaica conectado a red instalado en el nordeste Argentino. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15(September).
- Calonge, F. R. (2022). *Regulación de la generación distribuida en el Perú*. https://www.localpower.org/deb_what.html
- Calsi Silva, B. X., Angulo Abanto, J. R., Conde Mendoza, L. Á., Muñoz Cerón, E., Grieseler, R., Guerra Torres, J. A., De la Casa Higuera, J., & Palomino Töfflinger, J. A. (2020). Procedimiento del cálculo de la potencia nominal de un generador fotovoltaico. *Tecnia*, 30(1). <https://doi.org/10.21754/tecnica.v30i1.834>

- Camilo, H. F., Udaeta, M. E. M., Veiga Gimenes, A. L., & Grimoni, J. A. B. (2017). Assessment of photovoltaic distributed generation – Issues of grid connected systems through the consumer side applied to a case study of Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 712–719. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.099>
- Castejon, A., & Santamaria, G. (2015). *Instalaciones-Solares-Fotovoltaicas*.
- Conde Mendoza, L. A., Montes Romero, J., Carhuavilca Vela, A. M., Perich Ibañez, R. A., Guerra Torres, J. A., Sevillano Bendezú, M. A., Calsi Silva, B. X., Angulo Abanto, J. R., De la Casa Higuera, J., & Palomino Töfflinger, J. A. (2020). Puesta en marcha de un laboratorio para la caracterización de tecnologías fotovoltaicas a sol real bajo las condiciones climáticas de Lima. *TECNIA*, 30(1). <https://doi.org/10.21754/tecnia.v30i1.835>
- Cosrejon, A., & Santamaria, G. (2010). *Instalaciones-Solares-Fotovoltaicas* (2nd ed.). EDITEX.
- Cossoli, P., Firman, A., Cáceres, M., & Busso, A. (2015). Micro-inversores: principales topologías. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 2. <https://doi.org/10.30972/eitt.20276>
- Espinoza, R. E., Muñoz-Cerón, E., Ramos, E. R., De La Casa, J., & Es, -Delacasa@ujaen. (2015). *CARACTERIZACIÓN EN POTENCIA Y ENERGÍA DE DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED DE DIFERENTES TECNOLOGÍAS (SILICIO CRISTALINO-LÁMINA DELGADA) OPERANDO EN LIMA*.
- Essefi, R., Souissi, M., & Abdallah, H. (2014). Maximum Power Point Tracking Control Using Neural Networks for Stand-Alone Photovoltaic Systems. *International Journal of Modern Nonlinear Theory and Application*, 03(03), 53–65. <https://doi.org/10.4236/ijmnta.2014.33008>
- Federico Farfán, R., & Wilhelm Massen, C. (2018). Analisis De Dos Modelos Matematicos De Inversores Para El Estudio De La Variacion De La Eficiencia De Conversion Con Respecto a La Tension De Entrada. *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar* –.
- García, C. A., Luna, A., Ramos, A., & Lorenzo, E. (2018). Evaluación del rendimiento

- de un sistema fotovoltaico conectado a red en una región con condiciones climáticas extremas. *Revista Iberoamericana de Tecnología En Educación*, 1(1), 23–34.
- García, J. M., López, A. P., & Martínez, R. F. (2018). Determination of the sizing factor for grid-connected photovoltaic systems using a data-driven approach. *Renewable Energy*, 115, 128–138.
- Gómez, J. M. R., Carlesso, F., Vieira, L. E., & Da Silva, L. (2018). A irradiância solar: conceitos básicos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(3). <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2017-0342>
- IEC 61247. (2016). *Photovoltaic system performance-Part 2: Capacity evaluation method*. www.iec.ch
- Kabir, M. N., Mishra, Y., Ledwich, G., Dong, Z. Y., & Wong, K. P. (2014). Coordinated control of grid-connected photovoltaic reactive power and battery energy storage systems to improve the voltage profile of a residential distribution feeder. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), 967–977. <https://doi.org/10.1109/TII.2014.2299336>
- Lam, K. H., Lai, T. M., Lo, W. C., & To, W. M. (2012). The application of dynamic modelling techniques to the grid-connected PV (photovoltaic) systems. *Energy*, 46(1), 264–274. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.08.023>
- Lamigueiro, O. P. (2020). *ENERGÍA SOLAR Fotovoltaica*. <https://github.com/oscarperpinan/esf>
- López, M., Sánchez, J., & Muñoz, J. (2017). Experimental determination of the sizing factor for grid-connected photovoltaic systems in residential buildings. *Energy Procedia*, 111, 70–79.
- Macêdo, W. N. (2006). *Análise do fator de dimensionamento do inversor aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados à rede*.
- Manuel, A., Vela, C., Angel, L., Mendoza, C., Montes-Romero, J., Es, -Jmontes@ujaen, Rubén, J., Abanto, A., Amaru, J., Töfflinger, P., De, J., Higuera, C., Ángel, M., & Sánchez, C. (2019). *Diseño de un sistema de hardware libre distribución para el monitoreo de un sistema fotovoltaico conectado a red que cumpla con los estándares*

IEC.

- Martínez, C., García, J., & Guzmán, X. (2019). Estudio del factor de dimensionamiento para sistemas fotovoltaicos conectados a red en áreas de alta irradiación solar. *Revista de Investigación En Energía*, 7(3), 187–198.
- Mendoza, A., López, C., & Aracil, J. (2018). Estudio de la eficiencia de inversores fotovoltaicos en sistemas conectados a red en zonas de gran altitud. *Revista de Energías Alternativas*, 15(2), 103–114.
- OSINERGMIN. (2020). *ENERGÍAS RENOVABLES EXPERIENCIA Y PERSPECTIVAS EN LA RUTA DEL PERÚ HACIA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA* (10th ed.).
- Pascual, J., Suárez, A., & Ramos, S. (2021). Influencia del factor de dimensionamiento en la eficiencia de sistemas fotovoltaicos conectados a red. *Energías Renovables y Sostenibilidad*, 8(1), 45–58.
- Perich Ibañez, R. A., Sevillano Bendezú, M. Á., Montes Romero, J., Conde Mendoza, L. Á., Angulo Abanto, J. R., De la Casa Higuera, J., & Palomino Töfflinger, J. A. (2020). Estudio de los métodos analíticos para la extracción de parámetros eléctricos de módulos fotovoltaicos de capas delgadas. *TECNIA*, 30(1). <https://doi.org/10.21754/tecnia.v30i1.851>
- Pesdjock, M. J. P., Mboupda Pone, J. R., Kenne, G., & Sonfack, L. L. (2020). Contribution of synergetic control to the minimization of harmonics currents injected for grid connected photovoltaic systems. *SN Applied Sciences*, 2(8). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-3118-0>
- Ramon, V., Alves, M., & Carneiro, K. (2015). *Analysis of Power Quality for Photovoltaic Systems Connected to the Grid*.
- Reis, G. L., Mata, P. C. A., Silva, W. W. A. G., Silva, R. M., Martins, A. L. N., Fernandes, V. A., & Silveira, E. P. (2015). *Design and implementation of a prototype of a single phase converter for photovoltaic systems connected to the grid*.
- Riofrio, A., Carrión, D., & Vaca, D. (2016). Propuesta de Modelo de Operación Aplicado a Micro Redes Fotovoltaicas en Generación Distribuida. *Revista Técnica "Energía,"* 12(1). <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v12.n1.2016.47>

- Shvolkin, O., Shvedchikova, I., & Demishonkova, S. (2020). Simulation model of the photovoltaic system with a storage battery for a local object connected to a grid with multi-zone tariffication. *IEEE*, 435.
- Skoplaki, E., & Palyvos, J. A. (2009). Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations. *Renewable Energy*, 34(1), 23–29. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.009>
- Talavera, D. L., Muñoz-Cerón, E., de la Casa, J., Lozano-Arjona, D., Theristis, M., & Pérez-Higueras, P. J. (2019). Complete procedure for the economic, financial and cost-competitiveness of photovoltaic systems with self-consumption. *Energies*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/en12030345>
- Trillo-Montero, D., Santiago, I., Luna-Rodriguez, J. J., & Real-Calvo, R. (2014). Development of a software application to evaluate the performance and energy losses of grid-connected photovoltaic systems. *Energy Conversion and Management*, 81, 144–159. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.02.026>
- Vallejo, D., Dávila, R., Soria, R., & Ordóñez, F. (2020). Evaluación del potencial técnico y económico de la tecnología solar fotovoltaica para la microgeneración eléctrica en el sector residencial del Distrito Metropolitano de Quito. *Revista Técnica “Energía,”* 17(1). <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v17.n1.2020.399>
- Videla, M. E., Eyras, I. H., & Durán, J. C. (2019). Monitoreo para sistemas fotovoltaicos conectados a la red de distribución eléctrica de baja tensión. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 42(0), 53–62
- <http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/erma/article/view/996>
- Villalva, M. G. (2015). *Energia-Solar-Fotovoltaica*.
- Zamalloa Jara, M. A., Berg, H., Conde, L. A., Sevillano-Bendezu, M. A., Carhuavilca, A. M., Grieseler, R., & Tofflinger, J. A. (2021). Extreme Overirradiance events and their spectral distribution in Lima, Peru. *Journal of Physics: Conference Series*, 1841(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1841/1/012006>
- Zhao, B., Wang, C., & Zhang, X. (2018). *Grid-Integrated and Standalone Photovoltaic Distributed Generation Systems Analysis, Design, and Control*.

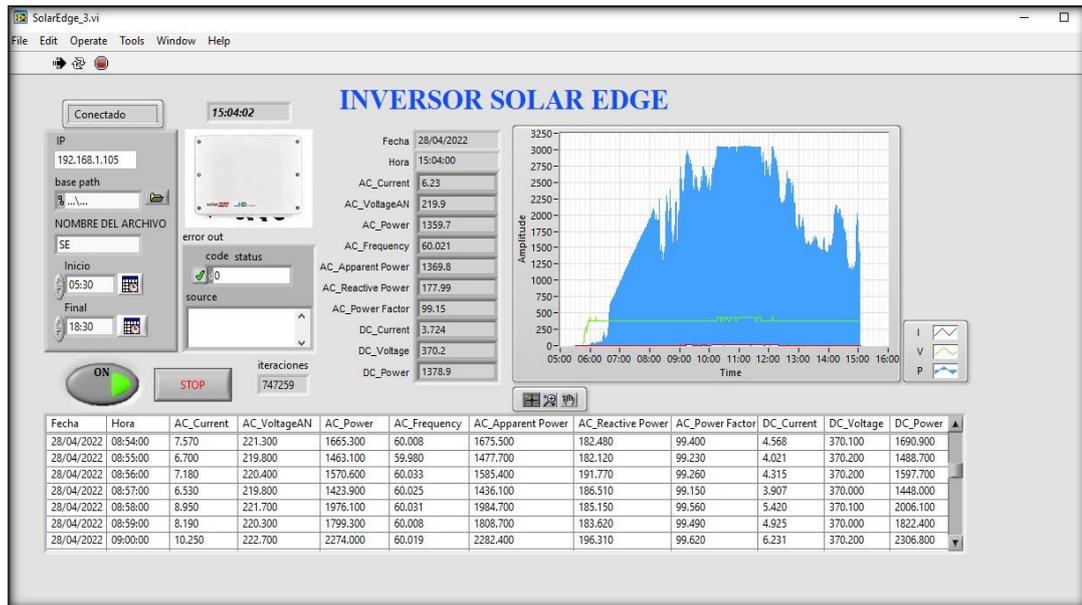


<http://www.wiley.com/go/permissions>.

Zilles, R., Wilson, N., Barros Galhardo, M. A., & Henrique Ferreira de Oliveira, S. (2021). *SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE ELECTRICA* (2nd ed.).

ANEXOS

Anexo 1: Pantalla de monitoreo del sistema fotovoltaicos



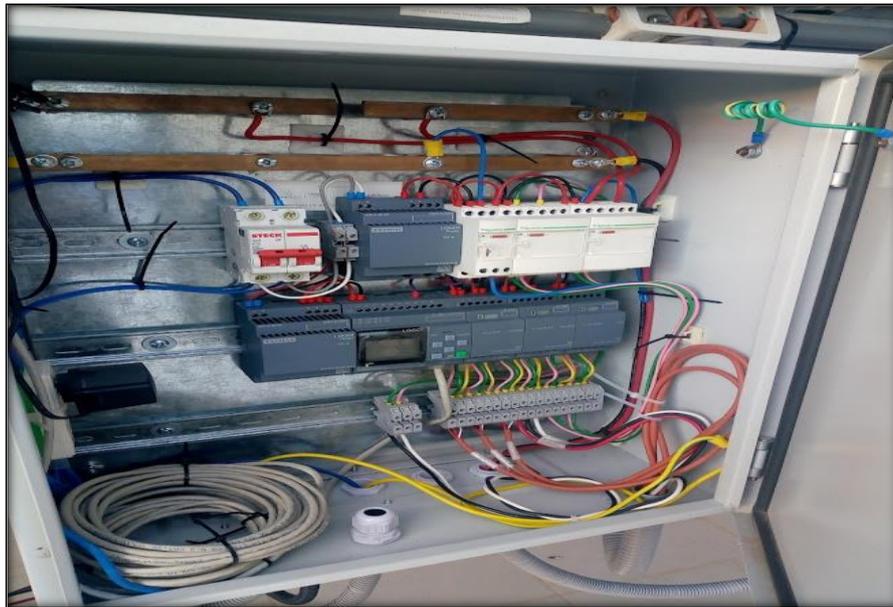
Transductor de corriente



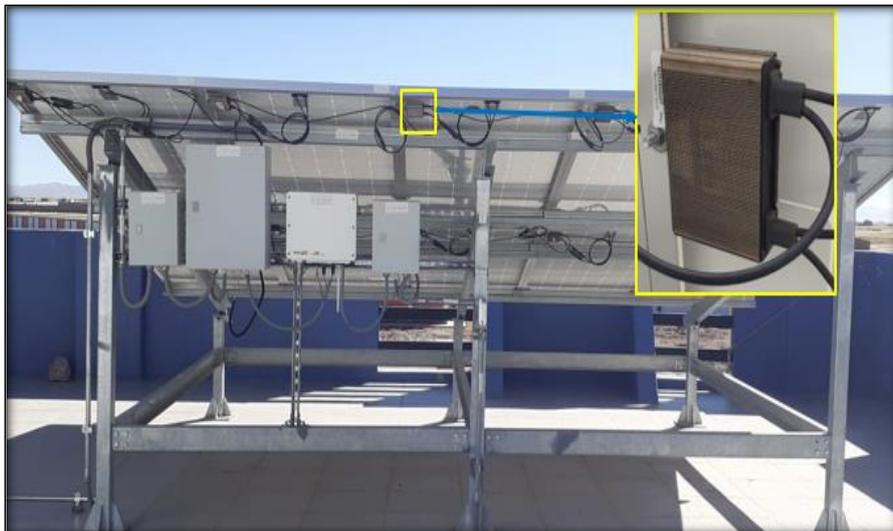
Transductor de tensión



Anexo 2. Tablero de instrumentación a detalle



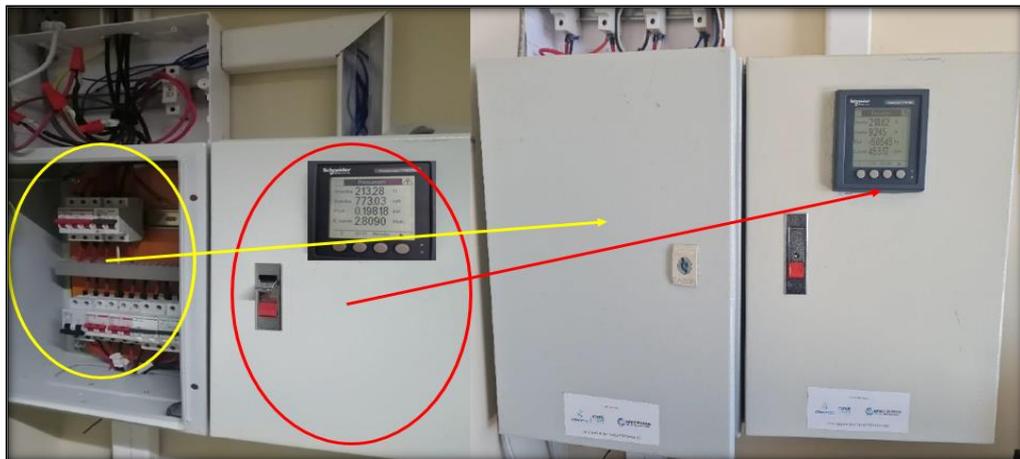
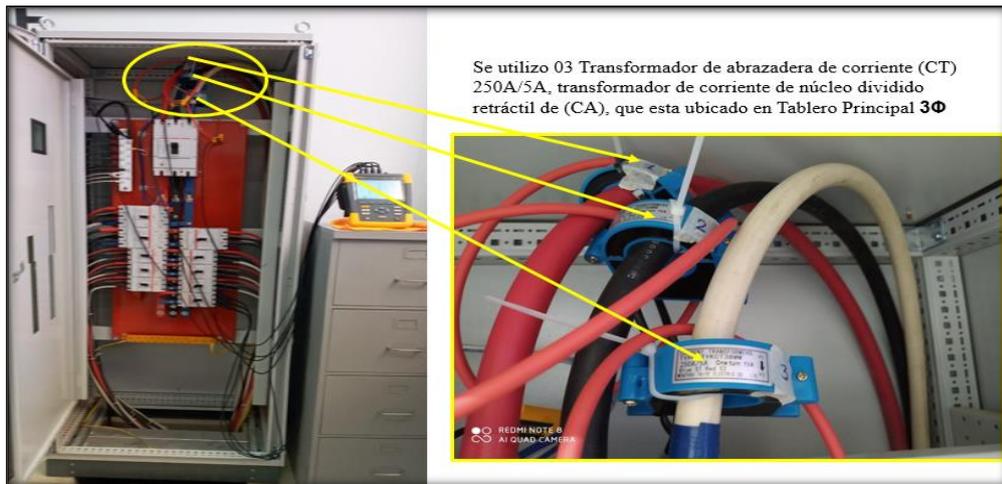
Anexo 3 Instalación de optimizadores



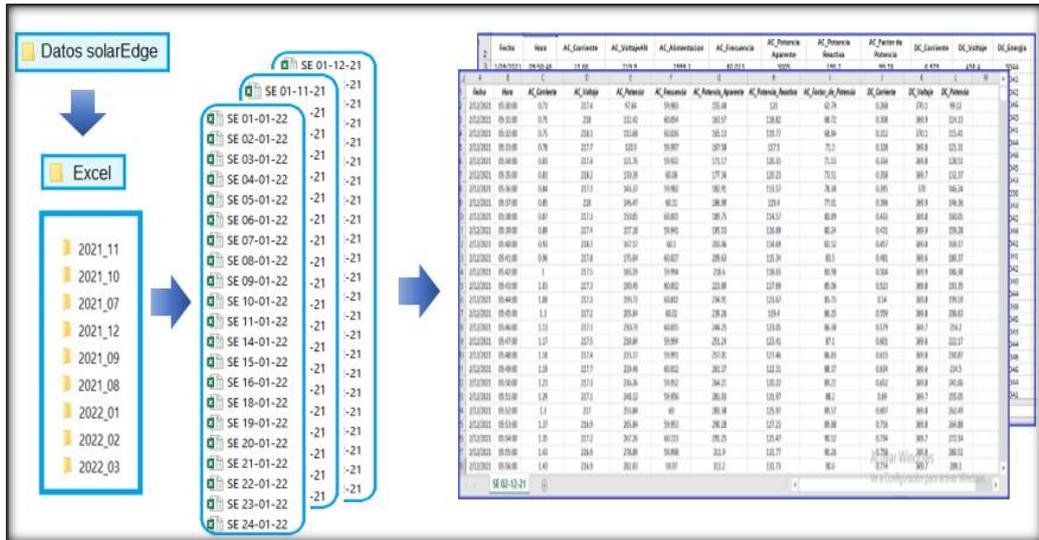
Anexo 4 Montaje e instalación celda de referencia



Anexo 5 Prueba de perturbaciones originadas en la red



Anexo 6 Adquisición y procesamiento de datos





Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Pedro Yulian Puma Roque
identificado con DNI 42767244 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
"EVALUACIÓN DEL FACTOR DE DIMENSIONAMIENTO PARA SFCR, IMPLEMENTADO CON
CONVERTIDORES CC/CC PARA FINES DE MICRO GENERACIÓN, EN CONDICIONES DE CLIMA
EXTREMO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL JULIACA PERÚ A 3812MSNM"

Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 23 de NOVIEMBRE del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

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

Por el presente documento, Yo Pedro Yulian Puma Roque

identificado con DNI 42767244 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS

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

“ EVALUACIÓN DEL FACTOR DE DIMENSIONAMIENTO PARA SFGR, IMPLEMENTADO CON
CONVERTIDORES CC/CC PARA FINES DE MICRO GENERACIÓN, EN CONDICIONES DE
CLIMA EXTREMO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL JULIACA PERÚ A 3812MSNM ”

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

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

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

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

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

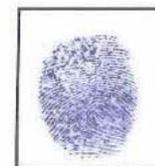
Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 23 de NOVIEMBRE del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella