

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES



**“DESARROLLO DE UNA INTERFAZ DE MONITOREO Y ANÁLISIS
DE PARÁMETROS FOTOVOLTAICOS DE UN SFCR CON
MICROINVERSOR”**

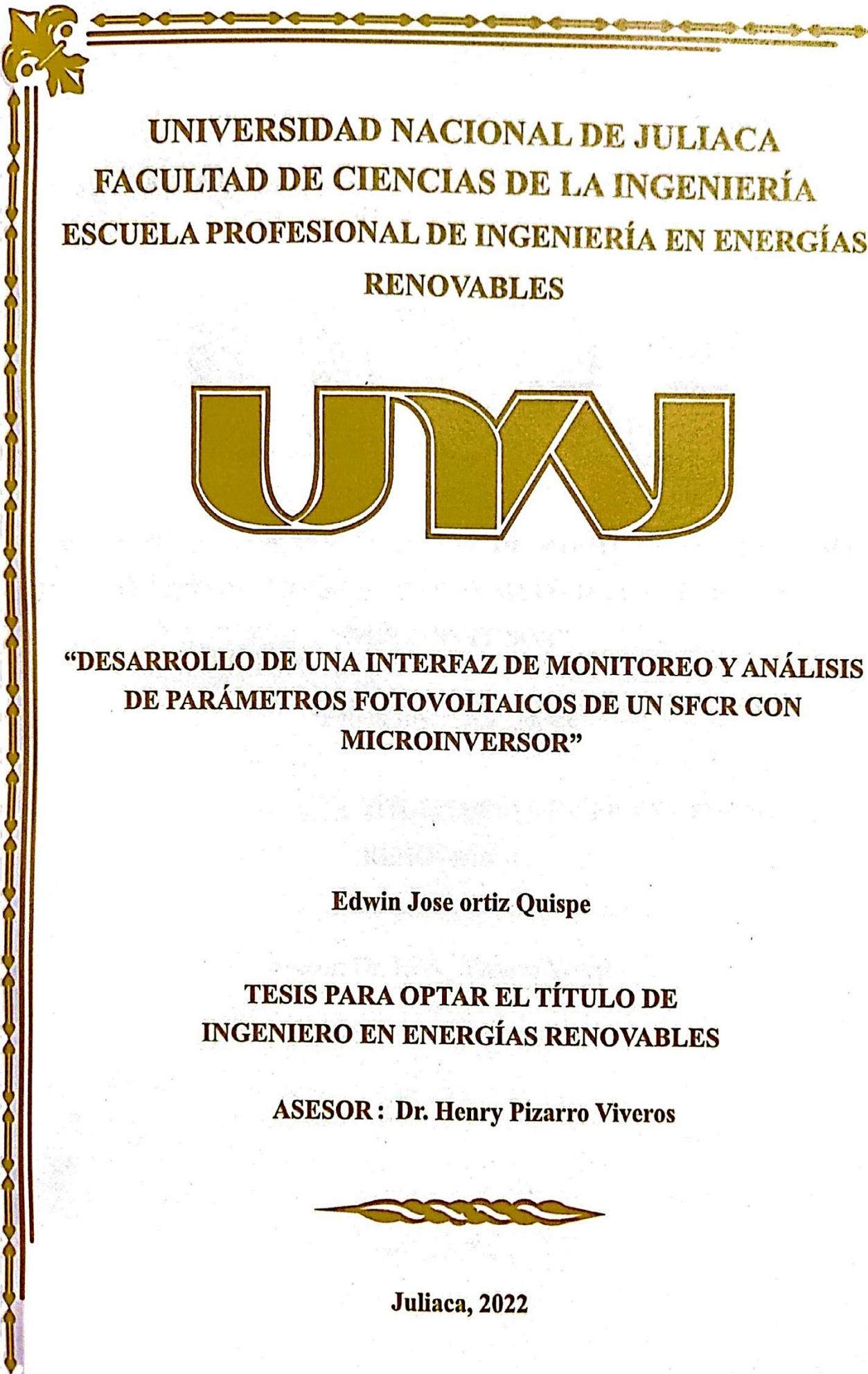
Edwin Jose Ortiz Quispe

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

Asesor: Dr. Henry Pizarro Viveros



Juliaca, 2022



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES**



**“DESARROLLO DE UNA INTERFAZ DE MONITOREO Y ANÁLISIS
DE PARÁMETROS FOTOVOLTAICOS DE UN SFCR CON
MICROINVERSOR”**

Edwin Jose ortiz Quispe

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

ASESOR : Dr. Henry Pizarro Viveros



Juliaca, 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES



“DESARROLLO DE UNA INTERFAZ DE MONITOREO Y ANÁLISIS
DE PARÁMETROS FOTOVOLTAICOS DE UN SFCR CON
MICROINVERSOR”

Edwin Jose Ortiz Quispe

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS
RENOVABLES

Asesor: Dr. Henry Pizarro Viveros

Juliaca, 2022

Ficha catalográfica

Ortiz, E. (2022). *Desarrollo de una interfaz de monitoreo y análisis de parámetros fotovoltaicos de un SFCR con microinversor* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca.

AUTOR: Edwin Jose Ortiz Quispe

TÍTULO: Desarrollo de una interfaz de monitoreo y análisis de parámetros fotovoltaicos de un SFCR con microinversor.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2022

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (85 pp.)

NOTA: Tesis de la Escuela profesional de Ingeniería en Energías Renovables - Universidad Nacional de Juliaca.

CÓDIGO: 02-000012-02/O74

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: Dr. Henry Pizarro Viveros

PALABRAS CLAVE: Energía solar fotovoltaica, microinversor, monitoreo, sistema fotovoltaico conectado a red, sistemas monopostes.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES

**“DESARROLLO DE UNA INTERFAZ DE MONITOREO Y ANÁLISIS DE
PARÁMETROS FOTOVOLTAICOS DE UN SFCR CON MICROINVERSOR”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS
RENOVABLES**

Presentada por:

Edwin Jose Ortiz Quispe

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Dr. Ubaldo Yancachajlla Tito

PRESIDENTE DE JURADO



M. Sc. Alex Mario Lerma Coaquira

JURADO (Secretario)

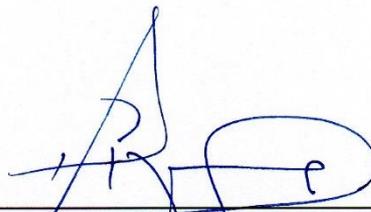


2° MIEMBRO

M. Sc. Fredy Bernardo Coyla Apaza

JURADO (Vocal)

3° MIEMBRO



Dr. Henry Pizarro Viveros
ASESOR DE TESIS

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios, por darme vida, salud y sabiduría a lo largo de mis estudios.

A mis padres, quienes son mis pilares para seguir adelante y que siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y comprensión.

A mis compañeros y amigos que de una manera u otra contribuyeron en el logro de mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Juliaca por haberme permitido formarme profesionalmente.

A la Escuela profesional de Ingeniería en Energías Renovables, por los docentes quienes me brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante.

A mi asesor de tesis Dr. Henry Pizarro Viveros por brindarme su apoyo constante e incondicional, por las enseñanzas aprendidas y las constantes orientaciones dadas no solo durante el desarrollo de mi tesis sino también durante mi formación en la universidad.

Quiero agradecer también al Ing. Pedro Y. Puma Roque y al Ing. Miguel Pari por su apoyo y colaboración durante el desarrollo de mi proyecto de investigación.

ÍNDICE

Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xiii
Lista de abreviaturas y siglas.....	xiv
Lista de símbolos.....	xv
Resumen.....	xvi
INTRODUCCIÓN	18
CAPÍTULO I - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.1 Análisis de la situación problemática.....	20
1.2 Formulación del problema	21
1.2.1 Problema general.....	21
1.2.2 Problemas específicos	21
1.3 Objetivos de la investigación	22
1.3.1 Objetivo general	22
1.3.2 Objetivos específicos	22
1.4 Justificación de la investigación.....	22
CAPÍTULO II - REVISIÓN DE LITERATURA.....	24
2.1 Antecedentes de la investigación	24
2.2 Marco teórico	26
2.2.1 Energía solar.....	26
2.2.2 Usos de la energía solar.....	26
2.2.3 Sistema fotovoltaico.....	28
2.2.4 Sistemas fotovoltaicos conectados a red	28
2.2.5 Inversor fotovoltaico para conexión a la red.....	29
2.2.6 Celda fotovoltaica	30
2.2.7 Modulo fotovoltaico.....	32
2.2.8 Modulo fotovoltaico.....	32
2.2.9 Sistema de monitoreo	33
2.2.10 Software LabVIEW.....	33

2.2.11	Protocolo de comunicación Modbus	34
2.2.12	Estándar RS485	35
CAPÍTULO III - MATERIALES Y MÉTODOS		36
3.1	Formulación de Hipótesis.....	36
3.1.1	Hipótesis general	36
3.1.2	Hipótesis específicas	36
3.2	Materiales y equipos.....	36
3.2.1	Módulos fotovoltaicos.....	36
3.2.2	Microinversor	38
3.2.3	Medidores de energía CA.....	39
3.2.4	Medidores de energía CC.....	40
3.2.5	Resistencias Shunt.....	41
3.2.6	Convertidores USB a RS485	41
3.2.7	Cable de comunicación	42
3.3	Software	42
3.4	Metodología	42
3.4.1	Ubicación del proyecto	44
3.4.2	Diseño de la interfaz de monitoreo	44
3.4.3	Configuración de los medidores de energía para los SFCR con microinversor	47
3.4.4	Montaje de los equipos para el monitoreo de los SFCR con microinversor	48
3.4.5	Implementación de la Interfaz gráfica de monitoreo	49
3.4.6	Cálculos para el análisis	49
3.4.7	Costo para la implementación del sistema de monitoreo.....	53
CAPÍTULO IV - RESULTADOS Y DISCUSIÓN		54
4.1	Funcionamiento del sistema de monitoreo.....	54
4.2	Generación de energía de los SFCR con microinversor	58
4.3	Rendimientos de los SFCR con microinversor	61
4.3.1	Rendimiento del arreglo Fotovoltaico y perdidas por captación.....	61
4.3.2	Rendimiento final del sistema.....	64
4.4	Eficiencias de los SFCR con microinversor.....	65
4.4.1	Eficiencia del arreglo fotovoltaico	65
4.4.2	Eficiencia del sistema.....	66

4.5	Performance Ratio (PR)	67
4.6	Comportamiento de los SFCR con microinversor respecto a la acumulación de polvo.....	68
CAPÍTULO V - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		71
5.1	Conclusiones	71
5.2	Recomendaciones.....	72
CAPÍTULO VI - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		73
Anexo 1. Ficha técnica del microinversor Replus-250A.....		76
Anexo 2. Ficha técnica del módulo fotovoltaico de los SFCR con microinversor.		78
Anexo 3. Especificaciones técnicas del medidor de energía DDS238 ZN/S.		80
Anexo 4. Especificaciones técnicas del medidor de energía Easton DCM 230.....		84
Anexo 5. Ficha técnica del convertidor RS485 a USB.....		85

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de celdas solares más utilizadas	31
Tabla 2. Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico TP660P-270.....	37
Tabla 3. Especificaciones técnicas del microinversor Replus-250A.....	38
Tabla 4. Especificaciones técnicas del medidor Hiking DDS238-2 ZN/S	39
Tabla 5. Especificaciones técnicas del medidor Eastron DCM 230.....	40
Tabla 6. Especificaciones del convertidor USB a RS485	42
Tabla 7. Costos de la implementación del sistema de monitoreo para los SFCR con microinversor.	53
Tabla 8. Energía mensual producida por cada SFCR con microinversor.....	60
Tabla 9. Rendimientos del generador fotovoltaico limpio (sin polvo) durante los meses de enero a junio de 2022.	62
Tabla 10. Rendimientos del generador fotovoltaico sucio (con polvo) durante los meses de enero a junio de 2022.	63
Tabla 11. Rendimiento medio mensual para los dos sistemas fotovoltaicos con microinversor.....	65
Tabla 12. Valores de eficiencia media mensual de los arreglos fotovoltaicos de los SFCR con microinversor durante 6 meses de evaluación enero-junio.	66
Tabla 13. Valores de eficiencia media mensual del sistema en los SFCR con microinversor durante 6 meses de evaluación enero-junio.....	67
Tabla 14. Rendimiento global mensual para cada sistema.....	68

Índice de figuras

Figura 1. SFCR con microinversor instalados en monopostes en el Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética de la UNAJ sede Ayabacas.....	21
Figura 2. Sistemas solares térmicos.....	27
Figura 3. Clasificación de sistemas fotovoltaicos	28
Figura 4. SFCR con microinversor.....	30
Figura 5. Celda fotovoltaica	31
Figura 6. Partes de un módulo fotovoltaico.....	32
Figura 7. Interfaces del software LabVIEW.....	34
Figura 8. Ejemplo de red con el protocolo Modbus	34
Figura 9. Módulos fotovoltaicos Talesun de 270Wp compuesto por 60 celdas de silicio policristalino.	37
Figura 10. Microinversor Replus-250A instalado en los monopostes.	38
Figura 11. Medidor de energía Hiking DDS238-2 ZN/S.	39
Figura 12. Medidor de energía Easton DCM 230	40
Figura 13. Resistencia Shunt	41
Figura 14. Convertidor USB a RS485	41
Figura 15. Diagrama de los SFCR con microinversor y medidores de energía CC/CA.	43
Figura 16. Ubicación del Instituto del Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética donde se encuentran el proyecto.....	44
Figura 17. Diagrama de flujo de la interfaz de monitoreo de SFCR con microinversor.....	45
Figura 18. Función Créate Serial Master en LabVIEW para establecer la comunicación con los medidores	46
Figura 19. Obtención de valores con la función Read Input Registers de LabVIEW..	46
Figura 20. Bloque de función Write Delimited Spreadsheet en LabVIEW para guardar los valores del sistema	46
Figura 21. Interfaz gráfica de monitoreo y adquisición de datos desarrollado en LabVIEW para el SFCR con microinversor: (a) interfaz principal de configuración y visualización de parámetros (b) interfaz de la pestaña	

diseño que muestra los valores medidos con su indicador (c) interfaz de gráficos para visualizar el comportamiento de los sistemas	47
Figura 22. Montaje de los medidores Eastron DCM 230 en los tableros de los dos monopostes con microinversor para medir los parámetros en corriente continua de los SFCR con microinversor.	48
Figura 23. Montaje de los medidores Hiking DDS238-2ZN/S en lado CA del SFCR con microinversor para medir los parámetros en corriente alterna.	48
Figura 24. Conexión de medidores con la PC por medio del convertidor RS485 a USB.	49
Figura 25. Ejecución de la interfaz gráfica de monitoreo en la PC de la sala de control de los sistemas fotovoltaicos del Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética.	54
Figura 26. Datos registrados en el Archivo CSV generado por la interfaz de monitoreo que considera las todas variables de interés para evaluar el SFCR con microinversor.	55
Figura 27. Interfaz principal puesta en operación recolectando y visualizando datos de los SFCR con microinversor.....	56
Figura 28. Segunda pestaña denominada diseño en la cual se muestra los valores monitoreados de los SFCR con microinversor.	56
Figura 29. Pestaña de gráficos de la interfaz donde se visualizan los parámetros monitoreados en tiempo real y también los históricos de los SFCR con microinversor.	57
Figura 30. SFCR con microinversor con polvo y sin polvo instalados en Instituto de Investigación de Energía Renovables y Eficiencia Energética de la UNAJ.	58
Figura 31. Generación de energía diaria de los SFCR con microinversor durante los meses: a) enero; b) febrero; c) marzo; d) abril; e) mayo y f) junio de 2022	59
Figura 32. Curva de potencia CA de los dos SFCR con microinversor del 14 de abril de 2022 con presencia de sombra.....	60
Figura 33. Rendimientos del generador fotovoltaico limpio (sin polvo): rendimiento de referencia, rendimiento del arreglo y pérdidas por captura.	62
Figura 34. Rendimientos del generador fotovoltaico sucio (con polvo): rendimiento de referencia, rendimiento del arreglo y pérdidas por captura.	63
Figura 35. Rendimiento del sistema referente a los meses de enero a junio de 2022 ..	64
Figura 36. Eficiencia media mensual de los arreglos fotovoltaicos de los SFCR con microinversor durante 6 meses de evaluación enero-junio.....	65

Figura 37. Eficiencia promedio mensual del sistema para los SFCR con microinversor.....	66
Figura 38. Rendimiento global (PR) de los SFCR con microinversor durante los meses de enero a junio de 2022.....	67
Figura 39. Efecto de la acumulación de polvo en la curva de potencia CA en los SFCR con microinversor el 29 de junio de 2022.	69
Figura 40. Energía total generada por los SFCR con microinversor durante el periodo de monitoreo.	70

Índice de anexos

Anexo 1. Ficha técnica del microinversor Replus-250A.....	76
Anexo 2. Ficha técnica del módulo fotovoltaico de los SFCR con microinversor.	78
Anexo 3. Especificaciones técnicas del medidor de energía DDS238 ZN/S.	80
Anexo 4. Especificaciones técnicas del medidor de energía Easton DCM 230.....	84
Anexo 5. Ficha técnica del convertidor RS485 a USB.....	85

Abreviaturas y siglas

AC – Corriente alterna

DC – Corriente continua

EPIER – Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables

FV - Fotovoltaico

HMI - Interfaz hombre-máquina

IEC - Comisión Electrotécnica Internacional

LAVBIEW - Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench

MPPT - Seguidor de punto de máxima potencia

PR – Performance ratio

SFCR – Sistema fotovoltaico conectado a red

UNAJ – Universidad Nacional de Juliaca

Simbología

G_k - Irradiancia

I_{mp} - Corriente en el punto de máxima potencia

I_{sc} - Corriente de cortocircuito

L_c - Perdidas de captura

L_{BOS} - Perdidas del BOS

PR_{sp} - Performance ratio sistema sin polvo

PR_{cp} - Performance ratio sistema sin polvo

P_{max} - P_{max} Potencia máxima o potencia pico del módulo

$P_{DC,k}$ - Potencia en corriente continua

$P_{AC,k}$ - Potencia en corriente continua

T_{ONC} - Temperatura de Operación Nominal de Célula

V_{mp} - Tensión en el punto de máxima potencia

V_{oc} - Tensión de circuito abierto

Y_A - Rendimiento del arreglo Fotovoltaico

Y_f - Rendimiento final del sistema

Y_r - Rendimiento de referencia

η_A - Eficiencia del arreglo

η_f - Eficiencia del sistema

RESUMEN

La implementación de proyectos fotovoltaicos en el Perú está en franco crecimiento. De la misma forma en la región Puno se aumentó las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica. De esta manera se busca aprovechar el enorme recurso solar que junto a las bajas temperaturas de la región son las mejores condiciones para la generación fotovoltaica. En el Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética en la sede de Ayabacas se cuenta con ocho SFRCR con microinversor (sistemas instalados en 08 monopostes), los cuales no estaban monitorizados. Por tal motivo, en el presente trabajo se desarrolló una interfaz de monitoreo que permite determinar y así analizar los parámetros fotovoltaicos del SFRCR con microinversor. Para este fin se monitorizó dos SFRCR con microinversor (02 de los 08 que existen), uno se limpió constantemente (sin polvo) y el otro se expuso a la acumulación natural de polvo. Estos SFRCR tienen un módulo fotovoltaico de 270Wp conectado a un microinversor ReneSola Replus-250A de 250 W y medidores bidireccionales en el lado AC y DC del sistema. La interfaz de monitoreo se desarrolló en el software LabVIEW, por medio del protocolo de comunicación Modbus RS485, de esta manera se recolectó, visualizó y registró en tiempo real los parámetros fotovoltaicos como corriente, tensión, potencia en la entrada como en la salida de cada microinversor durante 6 meses en intervalos de 1 minuto entre cada medición. Dentro de los resultados obtenidos para los SFRCR (02 monopostes) limpio y sucio tenemos, en eficiencia $\eta_{f(sp)} = 13.52\%$ y $\eta_{f(cp)} = 13.23\%$ con Performance Ratio de $PR_{(sp)} = 81.95\%$ y $PR_{(cp)} = 80.22\%$ respectivamente. La disminución de energía por efecto de la suciedad durante el periodo de monitoreo fue de 5.035 kWh, la mayor parte de esta pérdida se dio en el mes de junio donde también se observó un $PR_{cp(junio)} = 72.01\%$. En conclusión, la interfaz permitió observar el comportamiento de los SFRCR con microinversor así mismo la falta de un mantenimiento adecuado tiene como consecuencia una disminución en el rendimiento, el cual reflejado a gran escala representaría pérdidas considerables.

Palabras clave: Energía solar fotovoltaica, microinversor, monitoreo, sistema fotovoltaico conectado a red, sistemas monopostes.

ABSTRACT

The implementation of photovoltaic projects in Peru is growing rapidly. Similarly, in the Puno region, photovoltaic solar energy applications have increased. In this way, it seeks to take advantage of the great solar resource that, together with the region's low temperatures, are the best conditions for photovoltaic generation. The Institute of Renewable Energy and Energy Efficiency at the Ayabacas site has eight SFCRs with microinverters (systems installed on 08 monopoles), which were not monitored. For this reason, a monitoring interface was developed in this work to determine and analyze the photovoltaic parameters of the SFCR with microinverter. For this purpose, two SFCRs with microinverter (02 of the 08 existing ones) were monitored, one was constantly cleaned (without dust) and the other was exposed to natural dust accumulation. These SFCRs have a 270Wp PV module connected to a 250W ReneSola Replus-250A microinverter and bi-directional meters on the AC and DC side of the system. The monitoring interface was developed in LabVIEW software, through the Modbus RS485 communication protocol, in this way the photovoltaic parameters such as current, voltage, power at the input and output of each microinverter were collected, visualized and registered in real time during 6 months at intervals of 1 minute between each measurement. In the results obtained for the clean and dirty SFCRs (02 monoposts) we have, in efficiency $\eta_{f(sp)} = 13.52\%$ and $\eta_{f(cp)} = 13.23\%$ with Performance Ratio of $PR_{(sp)} = 81.95\%$ and $PR_{(cp)} = 80.22\%$ respectively. The decrease in energy by effect of soiling during the monitoring period was 5.035 kWh, most of this loss occurred in the month of June where $PR_{cp(junio)} = 72.01\%$ was also observed. In conclusion, the interface allowed observing the behavior of the SFCR with microinverter and the lack of appropriate maintenance results in a decrease in performance, which reflected on a large scale would represent considerable losses.

Keywords: Solar photovoltaic energy, microinverter, monitoring, grid-connected photovoltaic system, single-pole systems.

INTRODUCCIÓN

El uso de las energías renovables se encuentra en pleno desarrollo a nivel mundial. Una de estas energías es la energía solar fotovoltaica que se encuentra cada vez más competitiva. Para aprovechar esta energía se emplean diversos equipos y dispositivos los cuales se encargan de transformar la energía solar en energía eléctrica, uno de estos dispositivos son los inversores de los cuales actualmente se cuenta con diversas tecnologías como lo son los inversores String, inversores con convertidores CC/CC, microinversores entre otros los cuales ofrecen algunas ventajas entre sí mismas. En cuanto a la tecnología del microinversor, en la Región aún no se cuenta con estudios relacionados al desempeño de este tipo de sistemas, siendo así necesario su monitoreo y análisis para determinar su comportamiento en las condiciones geográficas de Juliaca. Estos resultados contribuirán en el desarrollo de investigaciones en el campo de la energía solar fotovoltaica.

Así mismo para garantizar el correcto y adecuado funcionamiento de un sistema fotovoltaico es necesario contar con un sistema de monitoreo que permita disponer de información necesaria para el mantenimiento, operación, control y evaluación del comportamiento de los sistemas fotovoltaicos (Manzano, Peña, Guevara, & Ríos, 2014).

En este contexto la presente investigación de título “Desarrollo de una interfaz de monitoreo y análisis de parámetros fotovoltaicos de un SFCR con microinversor” tuvo como finalidad el desarrollo de una interfaz gráfica de monitoreo que nos permitió determinar los parámetros fotovoltaicos del SFCR con microinversor. Y así observar y evaluar su comportamiento en las condiciones geográficas de la ciudad de Juliaca. Esta propuesta integró la utilización de medidores de energía y los softwares LabVIEW y Python para el monitoreo y análisis de los SFCR con microinversor en el Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética en la sede Ayabacas por un periodo de 6 meses de evaluación.

El presente trabajo de investigación se estructura en los siguientes capítulos:

El capítulo 1, contiene y describe el planteamiento del problema, los objetivos que se pretenden cumplir con la presente investigación y la justificación de investigación.

En el capítulo 2, se observa las investigaciones realizadas anteriormente con relación al tema a investigar. También se tienen la teoría de las energías renovables, sistemas fotovoltaicos entre otros relacionados a la investigación

El capítulo 3, comprende los materiales y métodos empleados durante la investigación con el fin de lograr los objetivos propuestos.

En el capítulo 4 se tiene los resultados obtenidos con la presente investigación. Se encuentra el desarrollo de la interfaz y el análisis de los sistemas fotovoltaicos con microinversor, su comportamiento la cantidad de energía generada entre otros puntos.

El capítulo 5 contiene las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron con la investigación y algunas de las recomendaciones.

Finalmente, en el capítulo 6 se presenta las referencias bibliográficas utilizadas en el desarrollo del presente proyecto.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Análisis de la situación problemática

Actualmente en el Perú, el uso de fuentes de energía no convencionales en sistemas de generación eléctrica viene creciendo continuamente, entre ellas está el uso de la energía solar fotovoltaica. Este tipo de energía se destaca en la región Puno debido a la gran irradiación solar que se presenta en la región unido con las bajas temperaturas que se presentan a lo largo del año, estas condiciones se tornan como las más óptimas para la generación fotovoltaica.

Apoyando al desarrollo de proyectos y conocimiento en materia de instalaciones fotovoltaicas la EPIER/UNAJ ya cuenta con Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red, los mismos que cuentan con distintas configuraciones. Uno de ellos es el SFCR con microinversores (instalados en 08 monopostes a diferentes ángulos) que básicamente transforman a cada módulo fotovoltaico en un mini SFCR porque la generación ya es entregada en corriente alterna, lista para ser utilizada por algún dispositivo. Esta condición se torna como una ventaja con respecto a los inversores convencionales frente a las sombras o fallas que reducen la generación fotovoltaica. Sin embargo, el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos depende principalmente de las condiciones meteorológicas del lugar, así también depende de los diversos equipos utilizados en el sistema fotovoltaico ya que pueden comportarse de diferente manera dependiendo de las condiciones del lugar de instalación. Por lo tanto, esta información es muy importante para poder elaborar futuros proyectos fotovoltaicos adecuados para las condiciones geográficas de la región.

Frente a esto, algunos equipos como los inversores cuentan con un entorno que permite monitorear su comportamiento. Sin embargo, no todos los equipos cuentan con este entorno y si lo tienen muchas veces son muy restringidos por el elevado costo que representan. En caso del SFCR con microinversor que está instalado en monopostes en el Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética de la sede Ayabacas el cual se muestra en la Figura 1, se tiene la dificultad de no contar con el equipo agregado para el monitoreo y que tiene un alto costo. Si bien el concepto de

microinversor no es nuevo, todavía no se tiene estudios sobre el comportamiento de microinversores bajo las condiciones geográficas y climatológicas de la ciudad de Juliaca.



Figura 1. SFCR con microinversor instalados en monopostes en el Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética de la UNAJ sede Ayabacas.

Motivado en estas problemáticas se desarrolló e implementó una interfaz de monitoreo el cual nos permitió obtener los datos a la entrada y salida de microinversor utilizando medidores bidireccionales que miden los parámetros del sistema en CC y CA. Los datos fueron recolectados durante 6 meses con intervalos de tiempo de 1 min entre cada medición y así fueron analizados y estudiados. Este monitoreo también nos permitió estudiar el comportamiento de los SFCR con microinversor frente a la acumulación de polvo o cualquier condición climática que se tenga en el lugar de la instalación.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Será la interfaz gráfica de monitoreo y análisis de datos los adecuados para la determinación de los parámetros fotovoltaicos del SFCR con microinversor?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo implementar en entorno LabVIEW la interfaz gráfica de monitoreo y análisis de datos para determinar los parámetros fotovoltaicos del SFCR con microinversor?

- ¿Cuál será la eficiencia del SFCR con microinversor a partir de los datos obtenidos por la interfaz gráfica de monitoreo?
- ¿Cuál es el comportamiento del SFCR con microinversor con respecto a la acumulación de polvo?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una interfaz gráfica de monitoreo y análisis de datos para determinar los parámetros fotovoltaicos del SFCR con microinversor.

1.3.2 Objetivos específicos

- Implementar en entorno LabVIEW la interfaz gráfica de monitoreo y análisis de datos para determinar los parámetros fotovoltaicos del SFCR con microinversor.
- Determinar la eficiencia del SFCR con microinversor mediante los datos obtenidos por la interfaz gráfica de monitoreo.
- Evaluar el comportamiento del SFCR con microinversor con respecto a la acumulación de polvo mediante los datos de la interfaz de monitoreo.

1.4 Justificación de la investigación

Con el continuo incremento de instalaciones fotovoltaicas y para obtener un mayor aprovechamiento del abundante recurso solar de la región de Puno, surge la necesidad de investigar el desempeño de los SFCR con microinversores debido a que todavía no se cuenta con investigaciones sobre el rendimiento de microinversores bajo las condiciones geográficas y climatológicas de la ciudad de Juliaca. Y para efectuar el estudio del SFCR con microinversor es necesario registrar y observar sus diversos parámetros de operación. Actualmente muchos equipos cuentan con su sistema de monitoreo sin embargo no todos los equipos cuentan con ese sistema al ser comercial con un alto costo. Por lo cual no se puede observar y evaluar el sistema fotovoltaico de manera eficiente. Así que, para realizar un análisis adecuado de sistemas fotovoltaicos, viene a ser necesario la utilización de dispositivos adicionales que permitan realizar las mediciones que son requeridas para estas investigaciones. De esta manera se puede estudiar el comportamiento de un sistema fotovoltaico según las condiciones de un lugar determinado.

Por lo cual, el presente proyecto propone una interfaz de monitoreo que nos permitirá visualizar y analizar los parámetros fotovoltaicos del SFCR con el uso de microinversores el cual se encuentra ubicado en el Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética del campus Ayabacas, del cual se realizará un estudio sobre su rendimiento en la ciudad de Juliaca. De esta manera también se ayuda a los estudiantes para que comprendan de manera práctica el comportamiento de los SFCR frente a diversas condiciones de operación. Y con esta base también se permitirá desarrollar más investigaciones y proyectos sobre Sistemas fotovoltaicos.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación

Los antecedentes internacionales encontrados muestran importantes avances, así tenemos a Schenkel (2015), quién analizó el comportamiento eléctrico y energético de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red mediante microinversor, el cual consta de un módulo de 250W con su microinversor Enphase de 215 W. Con un centro de adquisición de datos Agilent HP 34970A y un analizador de energía Fluke 43B de los cuales obtuvieron datos de irradiación, tensión y corriente en la entrada y salida del microinversor, así como su temperatura. También midieron los índices de calidad de energía. Obteniendo un rendimiento global de 0.93 en el SFCR con microinversor con una producción de energía alterna máxima de 1.49 kWh estimándose una producción mensual de hasta 44.7 kWh. Lo cual representaría una reducción del 58% del consumo de energía de una residencia. En la misma línea podemos mencionar el trabajo desarrollado por Costa, Parijós, Pinho, & Macêdo (2018), que estudia el funcionamiento de un microinversor instalado en las dependencias del GEDAE/UFGA. Este sistema consta de un módulo fotovoltaico de 245Wp y un microinversor de 215W. En base a los datos de 2 años de operación del sistema en diferentes perfiles de irradiación, obtienen un buen rendimiento del sistema así también una productividad de 1513.5 kWh/kWp, y por lo tanto puede aplicarse para abastecer a pequeños consumidores de energía.

En otra investigación de Godoi (2018), compara el rendimiento de inversores String y microinversores. Aquí se instaló módulos Sun-Earth de 235Wp con las mismas condiciones en ambos sistemas. Comprobando que en condiciones de baja intermitencia de irradiación los microinversores alcanzan un 4.36% más productibilidad de la energía con respecto al inversor String. Sin embargo, el microinversor no cumplió con sus ventajas especificadas en función a las sombras o intermitencia de irradiación. En cuanto al efecto de sombras en la producción en el microinversor se tiene una caída de hasta 61.58% lo cual es mayor al 58.77% de inversor String. Siendo la mejor opción en sistemas menores de 1.5kWp por su menor costo con respecto a un inversor String.

De la misma manera De Faria (2019), realiza un estudio comparativo entre sistemas fotovoltaicos convencionales y otro mediante microinversores de acuerdo a su

producción de energía anual, a través de simulaciones en situaciones específicas (con y sin sombra). Mediante el programa SAM realizó la comparación entre un sistema String con un Inversor Equivalente a un Sunny Boy 2.0 de 2000W con MPPT y otro con microinversores equivalentes al YC1000 de 900W simulándose a 1000W de salida de potencia, donde la producción de energía cuando se está sin sombra viene a ser muy similar en ambos sistemas. Mientras que para el escenario con sombras el sistema con microinversores genera más energía que el String con una diferencia media anual de 1.36%. Según la Investigación desarrollada por Cortés y otros (2020), analiza el rendimiento de un SFCR con inversor central y con microinversores. Con su monitoreo mediante dos sistemas, Wifi Box para el inversor central y Envoy™ para los microinversores. De donde se observó que el sistema fotovoltaico con microinversores presenta un 16.5% más de energía generada que el sistema con inversor central.

En la tesis de Campos (2017), desarrolla un sistema para evaluar los parámetros eléctricos de un microinversor, determina su comportamiento en rangos de tensión, frecuencia y respuesta ante inyección de armónicos en la red eléctrica así también un análisis de calidad de energía, para lo cual desarrolla un algoritmo en Python. Pudiendo así demostrar que es posible el desarrollo de un emulador de red eléctrica mediante fuentes bipolares de cuatro cuadrantes en Python, así mismo que las fuentes de marca Kepco no cumplen los requerimientos para una correcta caracterización de los microinversores, y con base a sus pruebas y a los estándares IEEE1547 el microinversor no opera en redes débiles por el efecto de regulación de tensión.

En cuanto a la investigación realizada por Elias y otros (2019), tuvo por objetivo evaluar el rendimiento de los módulos fotovoltaicos con respecto a la acumulación del polvo. Para el cual estudiaron tres condiciones de disposición de polvo. Con partículas de carbón, cenizas volantes, polvo normal y una con un módulo limpio como unidad de control. Teniendo como resultado caídas de potencia de 2.72% con la acumulación de polvo natural, 13.16% con las cenizas volantes y 15.82% con cenizas de carbón.

En el ámbito nacional, no fueron encontrados antecedentes relacionados al análisis de microinversores. Sin embargo, en cuanto a monitoreo de sistemas fotovoltaicos podemos mencionar a Carhuavilca (2021), quien desarrolla un sistema de adquisición de parámetros meteorológicos como irradiación y temperatura según la norma IEC 61724-1, para él envió de datos lo hace por medio del protocolo RS485 en una interfaz desarrollada en LabVIEW.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Energía solar

La energía solar es una energía renovable y se obtiene por el aprovechamiento de la radiación proveniente del Sol, el cual durante 4500 millones de años ha venido emitiendo una potencia de 62600 kW por cada metro cuadrado de su superficie, y se estima que seguirá así por otros 5 mil millones de años, lo cual es prácticamente ilimitado. En efecto, en tan sólo dos días, la Tierra recibe energía equivalente a todas las reservas probadas de petróleo, gas y carbón. Esto es aproximadamente 60 veces el consumo anual de la población humana, esto refleja el impresionante potencial de la energía solar para satisfacer las demandas energéticas del mundo (Arancibia, Best, & Brown, 2010).

2.2.2 Usos de la energía solar

Los usos y aplicaciones que se dan a la energía solar han venido evolucionando constantemente llegando a ser más amplios y diversos. Siendo entonces los más importantes:

a. Energía solar pasiva

La energía solar pasiva aprovecha la energía proveniente del sol de una forma natural, sin la utilización de dispositivos. Aprovechando el diseño constructivo de los edificios ya sea para obtener calor en el invierno o rechazarlo en el verano. Para esto, las ventanas, paredes y pisos son diseñados con el fin de recolectar, almacenar y distribuir la energía solar dentro de la edificación.

Para diseñar un edificio solar pasivo se debe tener en cuenta las condiciones climatológicas del lugar, así como también los elementos a considerar para el diseño los cuales incluyen la colocación, el tamaño y el tipo de acristalamiento de la ventana, el aislamiento térmico de la edificación, la masa térmica y el sombreado. Estas técnicas de diseño son más fáciles de aplicar en los edificios nuevos, pero se pueden adaptar a los edificios existentes (Planas, 2015).

b. Energía solar térmica

La energía solar térmica aprovecha la energía del sol, para calentar cualquier fluido, el cual es usado para aplicaciones de agua caliente sanitaria, climatización,

procesos industriales entre otros usos. Los componentes principales de cualquier sistema térmico son el colector y el tanque acumulador. El colector transforma la energía solar en calor. Y el tanque acumulador almacena el fluido caliente para su posterior uso. En la Figura 2, se muestra un sistema solar térmico de una forma muy general (Navntoft y Paz, 2019).

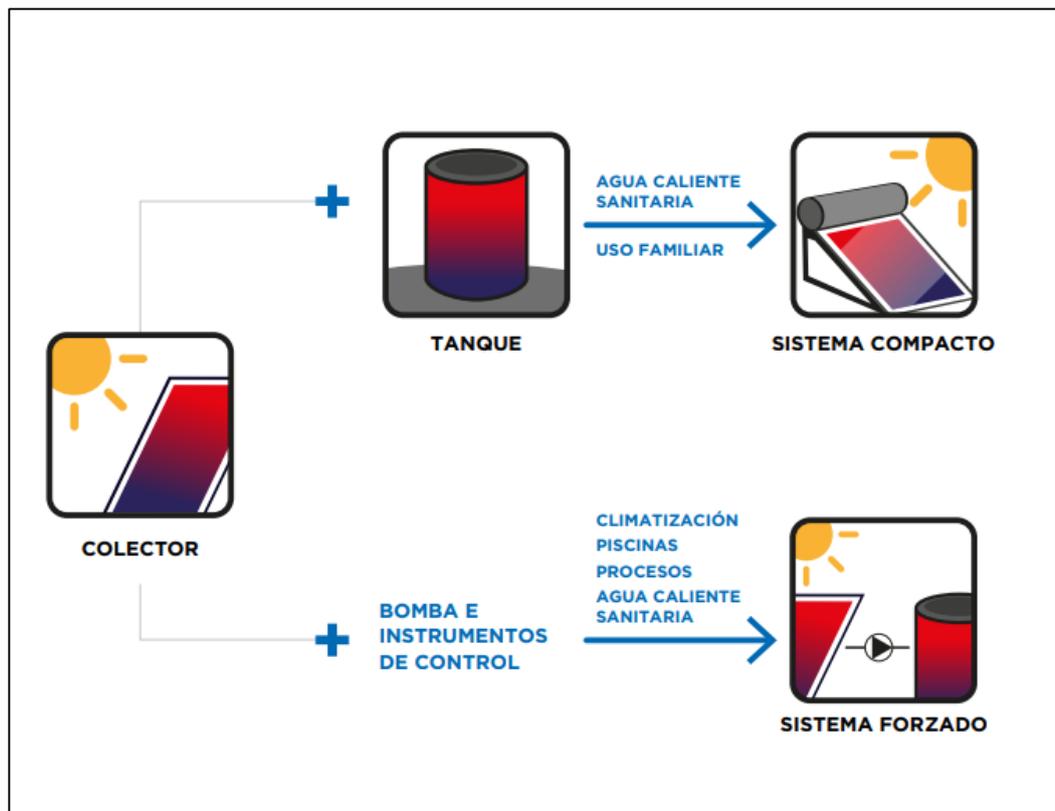


Figura 2. Sistemas solares térmicos (Navntoft & Paz, 2019).

c. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica consiste en convertir la energía del sol en electricidad. Por medio de los módulos fotovoltaicos los cuales a su vez están formados por células fotovoltaicas, y estas se encargan de producir electricidad a partir de la luz solar que incide sobre ellos. La luz solar está compuesta por fotones de diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando inciden sobre una célula fotovoltaica, pueden ser reflejados o absorbidos. Y solo los fotones que absorbidos llegan a generar electricidad (Barberá, 2011).

2.2.3 Sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico es un sistema compuesto de componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos que interactúan entre sí con el fin de captar la energía solar y convertirla en energía eléctrica para que pueda ser utilizada. Los sistemas fotovoltaicos básicamente se pueden clasificar como se muestra en la Figura 3.

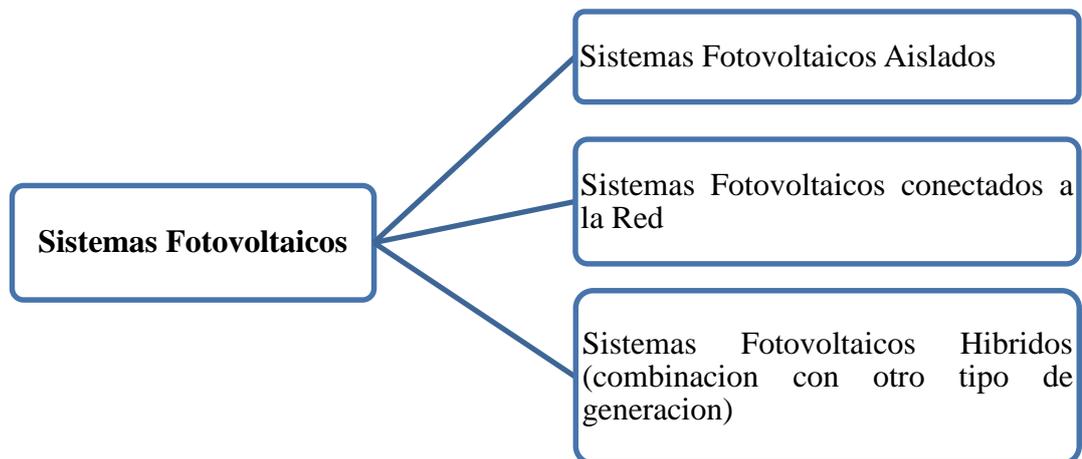


Figura 3. Clasificación de sistemas fotovoltaicos (Rivera & Olmedo, 2015).

Una instalación fotovoltaica generalmente tiene los siguientes componentes:

- Módulos o paneles fotovoltaicos.
- Regulador de carga.
- Inversores.
- Batería o acumulador.
- Estructuras.
- Elementos para el conexionado y su puesta en funcionamiento.

2.2.4 Sistemas fotovoltaicos conectados a red

Los Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red (SFCR) es un sistema que genera energía eléctrica en condiciones adecuadas para ser inyectada a la red eléctrica. En un SFCR la energía que no llega a ser consumida se inyecta a la Red (Perpiñan, 2015). Un SFCR básicamente se constituye del generador Fotovoltaico y de uno o más inversores de acuerdo al tamaño del sistema. Las diferentes configuraciones influyen directamente en la producción de energía del SFCR (Teles, 2017).

2.2.5 Inversor fotovoltaico para conexión a la red

El inversor fotovoltaico conectado a la red es un dispositivo que convierte la corriente continua del generador fotovoltaico en corriente alterna adecuada para la red eléctrica. Estos equipos cuentan con circuitos internos encargados de seguir el punto de máxima potencia (SPMP) del generador fotovoltaico, circuitos de seguridad para desconectar el inversor en caso de averías, circuitos de sincronismo para la conexión a la red eléctrica, circuitos de filtro para el control de emisiones de corrientes armónicas entre otras funciones (Schenkel, 2015).

a. Inversor central

Los inversores centrales se emplean en sistemas a gran escala, el inversor se conecta a una gran cantidad de módulos fotovoltaicos en serie y paralelo permitiendo que la conversión sea en un solo inversor. Sin embargo, tiene una confiabilidad limitada ya que, si falla el inversor, el sistema ya no puede generar energía. Estos inversores tampoco permiten un MPPT eficiente, debido a que el punto máximo no es independiente en cada cadena (Godoi, 2018), teniendo así una baja productividad frente a las variaciones de radiación y en presencia de sombras.

b. Inversor String

Los inversores String se basan en la interconexión de una cadena de módulos fotovoltaicos asociados en serie a cada inversor, por lo que se caracteriza por ser del tipo String, evitando la pérdida debido a los diodos de bloqueo, mejorando el SPMP por cada cadena y un menor costo de producción en escala (Teles, 2017).

c. Inversor multistring

En este caso, el inversor cuenta con varias entradas independientes y permite la conexión de varios String de módulos por medio de convertidores adaptadores que, por lo general, realizan la función MPPT y, por tanto, optimizan el rendimiento para cada String de módulos conectados al inversor, lo que facilita la instalación con diferentes orientaciones e inclinaciones (De faria, 2019).

d. Microinversor

Los microinversores aparecen en el mercado como una alternativa a SFCR en lugar de los inversores String tradicionales (Godoi, 2018). En este tipo de configuración, cada micro inversor se conecta individualmente a cada módulo fotovoltaico o tiene entradas para conectar varios módulos individualmente (De faria, 2019) como se muestra en la Figura 4.

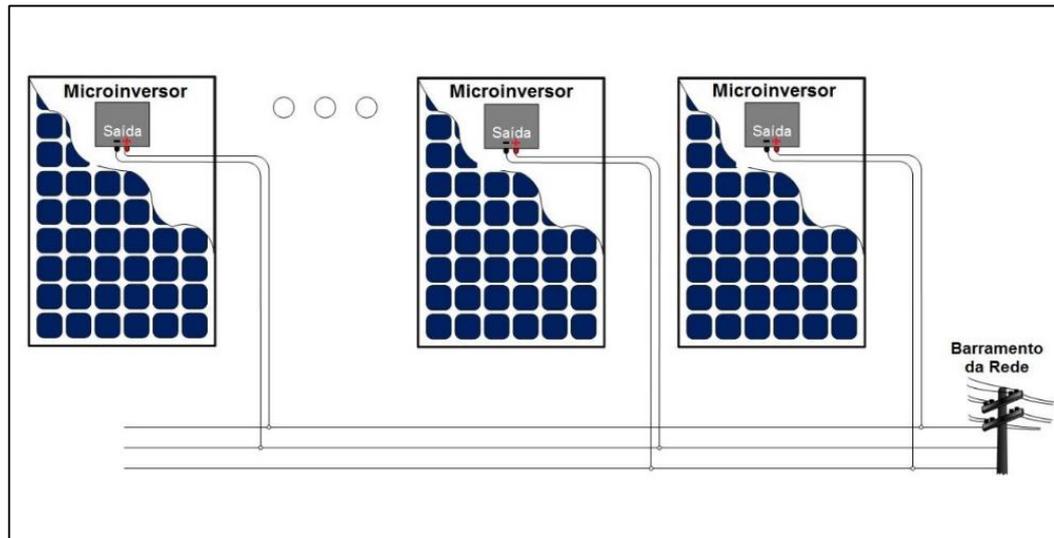


Figura 4. SFCR con microinversor (Teles, 2017).

Su principal ventaja radica en que a cada dispositivo se le asigna su propio panel solar, produciendo energía de manera independiente a los demás paneles del sistema; maximizando la cantidad de potencia generada sin importar las condiciones climáticas, de sombreado y de suciedad presentes en los módulos fotovoltaicos (Cortés et al., 2020).

2.2.6 Celda fotovoltaica

Las celdas fotovoltaicas se fabrican a partir de semiconductores, siendo el más utilizado el silicio. La célula fotovoltaica es una unión de dos semiconductores dopados con impurezas de tipo P y N con un contacto en sus regiones P y N que posibilita su conexión con un circuito eléctrico. Cuando se ilumina la celda se produce el movimiento de electrones lo que produce una diferencia de potencial que se incrementa a mayor iluminación (Castejon & Santamaria, 2010).

La célula fotovoltaica es el dispositivo que convierte la energía solar en energía eléctrica a través del efecto fotovoltaico.

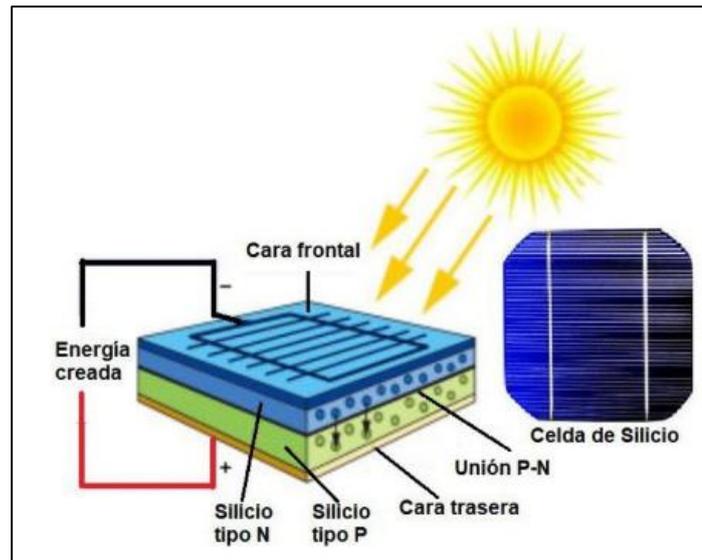


Figura 5. Celda fotovoltaica (Reyes , 2020).

Actualmente las celdas solares más utilizadas en aplicaciones fotovoltaicas son: Silicio monocristalino, silicio policristalino y silicio amorfo. En la Tabla 1, se muestran algunas de sus características.

Tabla 1

Tipos de celdas solares más utilizadas (Castejon & Santamaria, 2010).

Tipo de Célula	Eficiencia	Características
Silicio monocristalino	15...18%	Estructura cristalina uniforme.
Silicio policristalino	12...14%	Estructura cristalina no uniforme
Silicio amorfo	6...9%	Estructura no cristalina.

También se tienen otros tipos de celdas los cuales se han venido innovando conforme avanza la tecnología, de estos tenemos:

- Celdas de GaAs (Galio-arsénico).
- Celdas Bifaciales.
- Celdas tipo PERC.
- Celdas Bus Bar o barras múltiples.
- Paneles divididos o doble celda, entre otros.

2.2.7 Modulo fotovoltaico

Los módulos o paneles fotovoltaicos son la agrupación de celdas fotovoltaicas en serie o paralelo para dar tensión y corriente adecuados (Perpiñan, 2015). En la Figura 6, se muestra las partes de un módulo fotovoltaico. Su elemento principal es el conjunto de celdas solares, el resto se encargan de proteger y dar firmeza al conjunto.

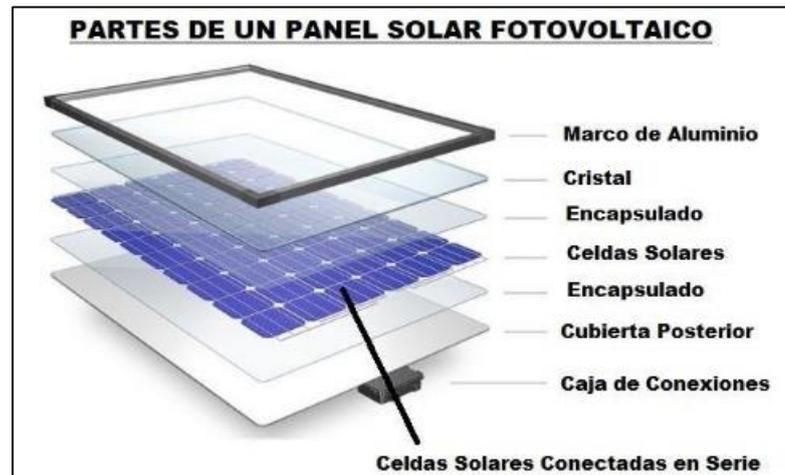


Figura 6. Partes de un módulo fotovoltaico (Reyes , 2020).

Todo módulo fotovoltaico cuenta con una placa que especifica los parámetros físicos y/o eléctricos del mismo (Tobajas, 2018).

2.2.8 Modulo fotovoltaico

Parámetros del módulo Fotovoltaico

- **Potencia máxima o potencia pico del módulo (P_{max}):** La potencia P que entrega el panel a la carga y se determinada por la ecuación genérica expresada en Watts:

$$P = I \times V \quad (1)$$

Su máximo valor se le llama potencia máxima o potencia pico del módulo. Si se conecta carga al panel, el punto de trabajo vendrá determinado por la corriente I y la tensión V del circuito. Y serán menores que los I_{sc} y V_{oc} (Clemente de la cruz, 2014).

- **Corriente en el punto de máxima potencia (I_{mp}):** Intensidad cuando la potencia es máxima.

- **Tensión en el punto de máxima potencia (V_{mp}):** Tensión cuando la potencia también es máxima.
- **Corriente de cortocircuito (I_{sc}):** Es la intensidad de corriente máxima que circulara en el módulo. Se obtiene al cortocircuitar los terminales del panel ($V=0$) al recibir la radiación solar.
- **Tensión de circuito abierto (V_{oc}):** Tensión máxima al de dejar los terminales del panel en circuito abierto ($I=0$).
- **Temperatura de Operación Nominal de Célula (TONC):** Temperatura que alcanzan las células solares cuando se somete al módulo a las condiciones estandarizadas.

2.2.9 Sistema de monitoreo

Los sistemas de monitoreo y evaluación son herramientas conformadas por un hardware y un software que permiten proveer información oportuna y veraz sobre el desempeño de un proceso. El monitoreo permite supervisar una instalación de cualquier tipo recopilando datos e información clave para una adecuada y oportuna toma de decisiones obteniendo un aumento de eficiencia y productividad en sus operaciones (Vesat, 2021).

2.2.10 Software LabVIEW

El software LabVIEW es un entorno de programación gráfico orientado para el desarrollo de sistemas sofisticados de medida y control. Los programas desarrollados en LabVIEW son “VI’s” los cuales cuentan con dos interfaces: el panel frontal y el diagrama de bloques, el primero es la interface interactiva con el usuario y diagrama de bloques es el código del programa (Belupú Amaya, 2017). LabVIEW nos brinda una integración de miles de dispositivos, así como cientos de bibliotecas para el análisis y visualización de datos lo cual lo hace aplicable a diversos sectores, en la Figura 7, se observa la interface del software LabVIEW.

La Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables cuenta con la licencia de este software, la cual fue utilizada para la instalación en la computadora de la sala de control de los sistemas fotovoltaicos de la escuela.

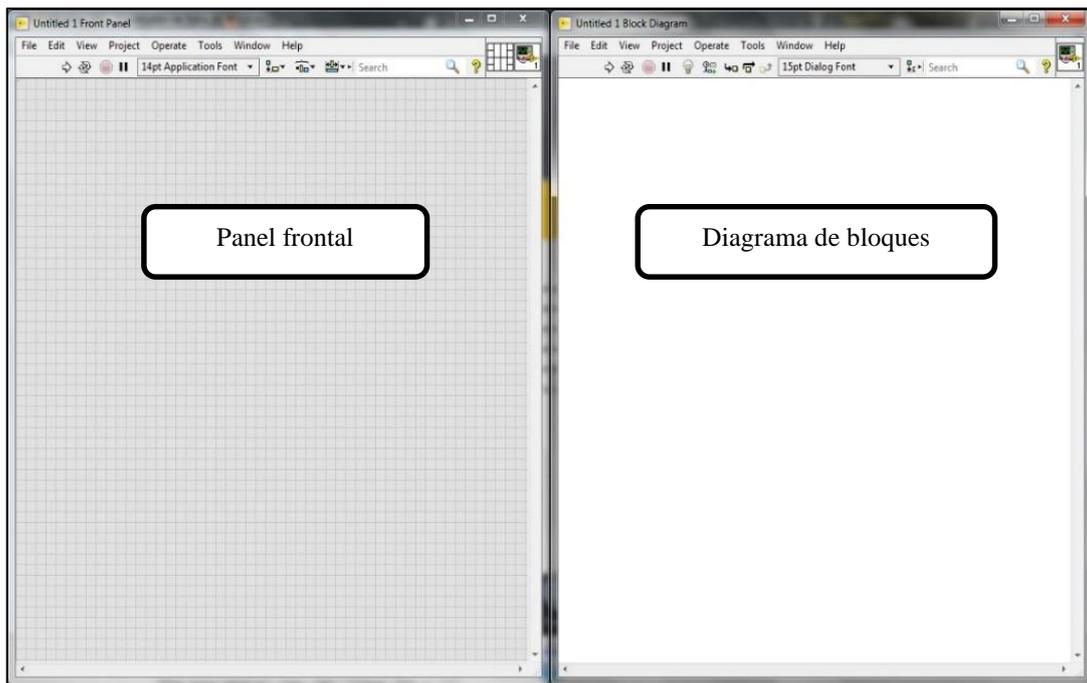


Figura 7. Interfaces del software LabVIEW.

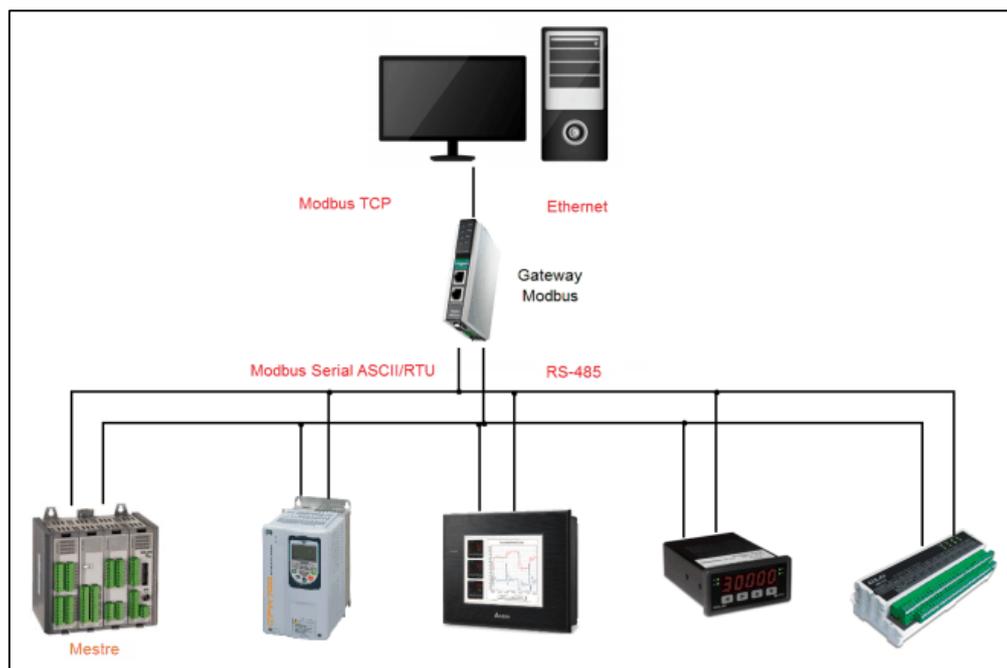


Figura 8. Ejemplo de red con el protocolo Modbus (Orus, 2022).

2.2.11 Protocolo de comunicación Modbus

El protocolo de comunicación Modbus es un protocolo industrial de solicitud-respuesta que permite la comunicación entre distintos dispositivos empleando una relación maestro-esclavo. Los datos se almacenan en cuatro bancos de datos: bobinas,

entradas discretas, registros de retención y registros de entrada (National Instruments, 2022). El dispositivo que solicita la información se denomina maestro y los dispositivos que proporcionan la información son los esclavos.

Existen versiones del protocolo Modbus de los cuales los más comunes son el Modbus RTU, Modbus TCP y el Modbus ASCII. En la Figura 8, se muestra un ejemplo de red con el protocolo Modbus que nos ofrece el LabVIEW.

2.2.12 Estándar RS485

El estándar RS485 usa la transmisión diferencial de datos por el cual usa un par de alambres para enviar y recibir la señal mediante un voltaje diferencial. Este estándar se desarrolló para mantener una comunicación confiable y a grandes distancias. Teniendo una velocidad máxima de 10Mbits/s con una longitud máxima de 1200 m. Permite la conexión con topología de bus pudiendo conectar varios dispositivos (Carreño & Ardila, 2005). El RS485 viene a ser sencillo, robusto de uso libre, es por esto que muchos sensores y actuadores, lo han adoptado siendo muy frecuente encontrarlo en el ámbito industrial.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Formulación de Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

El desarrollo de la interfaz gráfica de monitoreo y análisis de parámetros fotovoltaicos permitirá evaluar de manera eficiente el SFCR con microinversor.

3.1.2 Hipótesis específicas

- La implementación de la interfaz en LabVIEW permitirá determinar los parámetros del sistema fotovoltaico de manera confiable y precisa.
- Mediante los datos de la interfaz de monitoreo será evaluado el rendimiento del SFCR con microinversor de manera eficiente.
- Serán registrados la reducción de rendimiento por efecto de polvo sobre los módulos fotovoltaicos del SFCR con microinversor.

3.2 Materiales y equipos

A continuación, se describen los materiales y equipos que fueron utilizados para el desarrollo de este trabajo de investigación.

3.2.1 Módulos fotovoltaicos

En este proyecto se utilizó 2 módulos fotovoltaicos de 270 Wp de silicio policristalino de la marca Talesun, los cuales están instalados en Sistemas independientes con una inclinación de 16° con orientación hacia el Norte como se puede observar en la Figura 9.

La Tabla 2, muestra las especificaciones técnicas de los módulos fotovoltaicos utilizados en el sistema que el fabricante emite en la ficha técnica.



Figura 9. Módulos fotovoltaicos Talesun de 270Wp compuesto por 60 celdas de silicio policristalino.

Tabla 2

Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico TP660P-270, adaptado del fabricante.

Módulo TP660P-270 Talesun	
Parámetros eléctricos	
Potencia Máxima (P_{max})	270 W
Tolerancia de potencia	+ 3%
Voltaje de máxima potencia (V_{mp})	31.3 V
Corriente de máxima potencia (I_{mp})	8.63 A
Voltaje de circuito abierto (V_{oc})	38.5 V
Corriente de circuito abierto (I_{sc})	9.09 A
Coefficiente de Temperatura	
Temperatura de Operación Normal de la Celda (NOCT)	$45 \pm 2\%$
Coefficiente de temperatura (P_{max})	-0.40%/°C
Coefficiente de temperatura (V_{oc})	-0.31%/°C
Coefficiente de temperatura (I_{sc})	+0.06%/°C
Condiciones estándares de prueba	
AM: 1.5	IRRADIANCIA: 1000w/m ² Temp: 25°C

3.2.2 Microinversor

Para convertir la energía CC en CA se empleó 2 microinversores Replus-250A, de 250Wp el cual se puede observar en la Figura 10. Básicamente cada microinversor convierte cada módulo fotovoltaico en un mini SFCR. En la Tabla 3, se muestra las especificaciones técnicas del microinversor utilizado en los dos monopostes en estudio.



Figura 10. Microinversor Replus-250A instalado en los monopostes.

Tabla 3

Especificaciones técnicas del microinversor Replus-250A, adaptado del fabricante.

Microinversor Replus-250A	
Entrada DC	
Potencia recomendada del generador fotovoltaico	250 Wp
Máx. Voltaje CC	60 V
Rango de voltaje CC MPPT	22-55 V
Max. corriente CC	14 A
Máximo de Unidades por Circuito Ramal	15
Salida AC	
Potencia de salida continua máxima nominal	225 W
Corriente de salida CA máx. continua	1.0 A
Voltaje de CA nominal / Rango	240 / 211 ~ 264 V
Frecuencia de CA / Rango	60 / 59.3 ~ 60.5 Hz
Factor de potencia (cosφ)	>0.99
Eficiencia	
Eficiencia pico	96.3%
Eficiencia CEC	95.0%
Eficiencia MPPT	>99.5%

3.2.3 Medidores de energía CA

Para las mediciones de los parámetros eléctricos en el lado CA del sistema, en la salida del microinversor se utilizó medidores bidireccionales de la marca y modelo HIKING DDS238-2ZN/S, con tensión de entrada de 220 – 230 V y corriente máxima de 65 A para frecuencias de 60 Hz, el cual se muestra en la Figura 11. Además, permite obtener los valores de lectura en tiempo real por medio de la comunicación Modbus RS485 – RTU.



Figura 11. Medidor de energía Hiking DDS238-2 ZN/S.

Tabla 4

Especificaciones técnicas del medidor Hiking DDS238-2 ZN/S, adaptado del fabricante.

Medidor Hiking DDS238-2 ZN/S	
Especificaciones técnicas	
Estándar	IEC 62053-21(IEC61036) Modbus-RTU
Voltaje nominal	120/220/230/240 V \pm 10%
Corriente máxima	65 o 100 A
Corriente mínima	0.02 0 0.01 A
Frecuencia	50/60 Hz
Consumo	< 0.8 W/8VA
Puerto de comunicación	RS485 port, 1200~9600 bps
Precisión	
Voltaje	0.5 %
Corriente	0.5 %
Potencia activa	\pm 1 %
Potencia reactiva	\pm 2 %
Energía activa (kWh)	Clase 1.0

La Tabla 4, nos muestra las especificaciones técnicas del medidor CA utilizado.

3.2.4 Medidores de energía CC

Para los parámetros CC se utilizó medidores de energía de marca y modelo EASTRON DCM 230 que se muestra en la Figura 12. Dentro de las funciones de este medidor nos permite medir tensión, corriente, potencia y energía. Además, nos permite la transferencia de datos por medio de la interfaz de comunicación Modbus RS485.



Figura 12. Medidor de energía Eastron DCM 230.

Tabla 5

Especificaciones técnicas del medidor Eastron DCM 230, adaptado del fabricante.

Medidor Eastron DCM 230-1-1-1-1	
Entrada y salida	
Entrada de voltaje CC	5~300V DC, 5~600V DC, 5~1000V DC
Suministro Auxiliar	85~300V AC
Entrada Shunt	75mV por defecto, 45/60mV opcional
Rango de corriente	0~2000A
Consumo de energía	≤ 0.5VA
Salida	Salida de pulsos + Modbus RS485
Precisión de la medición	
Potencia	1% del rango máximo
Energía activa	1% del rango máximo
Corriente	0.5% del rango máximo
Voltaje	0.5% del rango máximo
Comunicación Modbus	
Tasa de baudios	1200,2400, 4800, 9600,19200 bps
Paridad	none (por defecto) /odd/even
Bits de parada	1 o 2

En la Tabla 5, se muestra las especificaciones del medidor de energía CC utilizado en el proyecto.

3.2.5 Resistencias Shunt

Para las mediciones de corriente CC fue necesario el uso de resistencias Shunt, que permiten maximizar el rango de medición de la intensidad de corriente en los dispositivos de medición. En este proyecto se utilizó una resistencia Shunt de 10A 75mV el cual se observa en la Figura 13.



Figura 13. Resistencia Shunt.

3.2.6 Conversores USB a RS485

Para establecer la comunicación entre los medidores y la PC se utilizó un conversor USB a RS485 el cual se muestra en la Figura 14. Los conversores nos permiten la comunicación entre un microcontrolador y una PC o equipo portátil laptop mediante la interfaz RS485.



Figura 14. Convertidor USB a RS485.

Tabla 6

Especificaciones del convertidor USB a RS485, adaptado del fabricante.

Convertidor USB-RS485	
Chip USB a Serial	CH340G
Chip Serial a RS485	MAX485
Conectores	USB, terminales de cables
Rango de transmisión	1200 m
Requisitos del sistema	Windows XP/Vista/7/8/10, Linux
Alimentación:	Desde el puerto USB

La Tabla 6, muestra las especificaciones técnicas del convertidor RS485 a USB utilizado.

3.2.7 Cable de comunicación

Para comunicar los medidores con la PC se utilizó el cable de comunicación calibre 24 AWG apantallado, el cual permitirá la transferencia de datos entre la PC y los medidores.

3.3 Software

Durante el desarrollo del proyecto fueron necesarios el uso softwares los cuales permitieron la configuración de los dispositivos y la comunicación con la interfaz de monitoreo, procesamiento de datos y sus análisis. Estos softwares fueron:

- Excel
- LabVIEW
- Python
- TeamViewer

3.4 Metodología

La metodología de investigación desarrollada del presente proyecto de tesis, se encuentra dentro de un enfoque cuantitativo con un diseño de investigación experimental-aplicativa. Enfocado a monitoreo y análisis de los datos obtenidos en la aplicación de la interfaz de monitoreo de SFCR con microinversor.

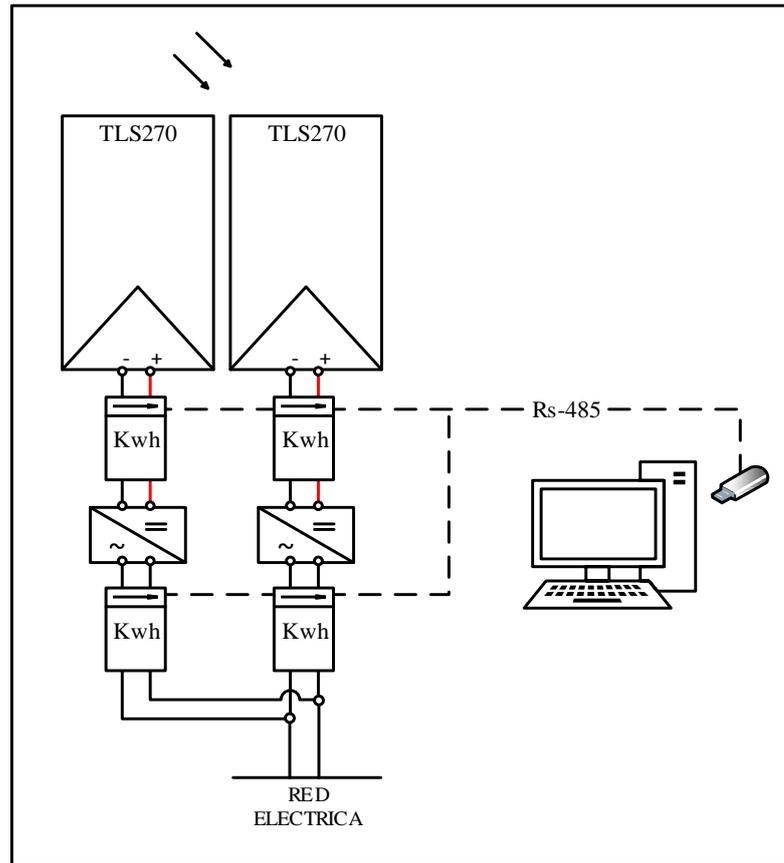


Figura 15. Diagrama de los SFCR con microinversor y medidores de energía CC/CA.

Para este estudio con la interfaz de monitoreo se obtuvo las mediciones de los parámetros eléctricos en CC y CA de dos SFCR con microinversor. Para el monitoreo y recolección de datos se instaló los medidores bidireccionales en cada SFCR con microinversor como se observa en la Figura 15, en la entrada del microinversor para los parámetros en CC y a la salida del microinversor para los parámetros en CA los cuales se monitorearon en una Pc por medio del entorno LabVIEW y la comunicación Modbus RS485. Durante un periodo de 6 meses, con intervalos de medición de 1 minuto. Estos datos se guardaron en archivos CSV, entre los datos se tienen la tensión, corriente, potencia y energía en CC y CA del SFCR con microinversor. Para los datos de irradiación se tomaron los registros de la estación meteorológica y de celdas calibradas que se tienen en el lugar del proyecto. Y de esta forma se permitió evaluar el desempeño de los sistemas.

De la misma forma para evaluar el efecto de acumulación de polvo inicialmente se planteó realizar una acumulación de polvo de manera forzada el cual no se pudo

realizar debido a la temporada de lluvia que se tenía en la Región y el cual limpiaba de manera natural los sistemas fotovoltaicos impidiendo la acumulación de polvo. Por esto se esperó e incremento el periodo de medición de 3 meses a 6 meses a fin de contar con la acumulación de polvo en un sistema fotovoltaico esta vez de forma natural y así evaluar la disminución de rendimiento con respecto a otro sistema que se limpiaba continuamente.

3.4.1 Ubicación del proyecto



Figura 16. Ubicación del Instituto del Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética donde se encuentran el proyecto (Google Earth).

El lugar donde se desarrolló e implementó el proyecto fue en el Instituto de Investigación de Energías Renovables y Eficiencia Energética de la Universidad Nacional de Juliaca sede Ayabacas el cual está ubicado en:

- Centro poblado: Santa María de Ayabacas
- Distrito: San Miguel
- Provincia: San Román
- Departamento: Puno, Perú

3.4.2 Diseño de la interfaz de monitoreo

El diseño de la interfaz de monitoreo se realizó en LabVIEW, de acuerdo con la secuencia del diagrama de flujo de la Figura 17.

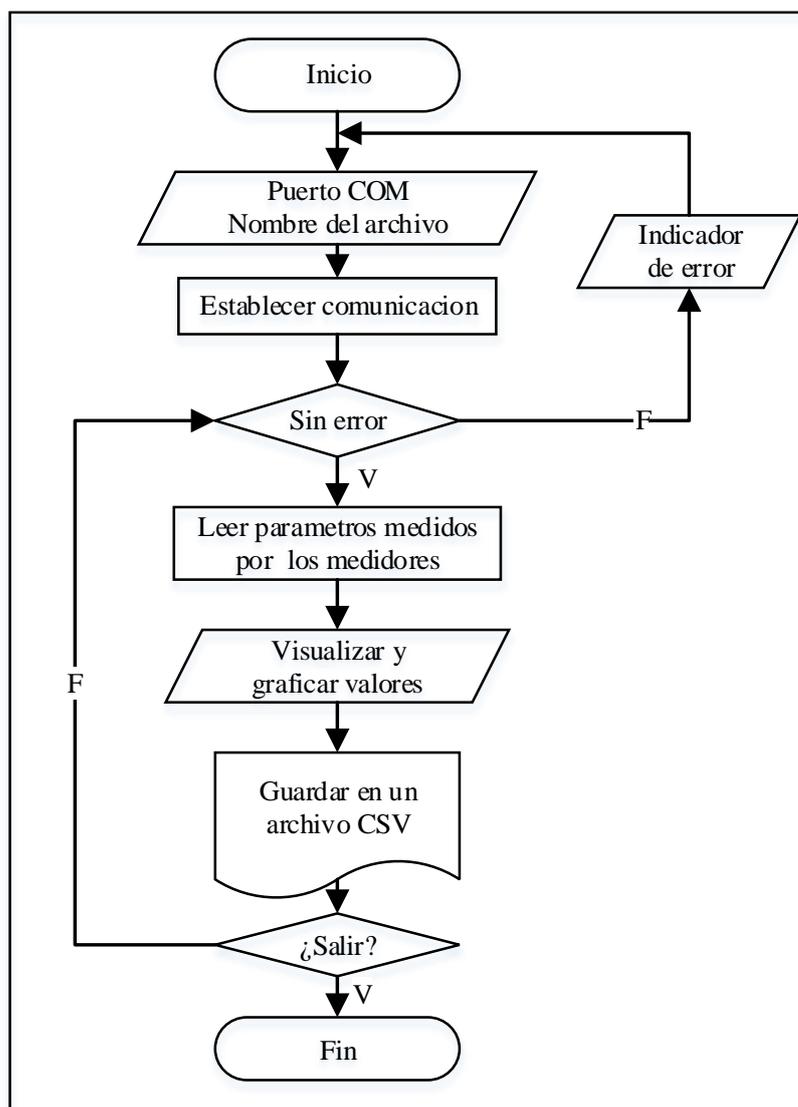


Figura 17. Diagrama de flujo de la interfaz de monitoreo de SFCR con microinversor (Elaboración propia).

Para establecer la comunicación entre la LabVIEW y los medidores se utilizó la librería Modbus con la función Create Serial Master en donde son establecidos los parámetros de entrada para permitir la transmisión de datos como se muestra en la Figura 18. Con la comunicación establecida y por medio de las funciones Read Holding Registers y Read Input Registers, se obtienen datos de los medidores los cuales nos dan los valores eléctricos del sistema, Figura 19. Y para guardar los valores en un archivo CSV se utilizó el Write Delimited Spreadsheet VI donde los valores se ingresan en un arreglo de datos en cadena o String. Para poder visualizar la gráfica se utilizó el XY Graphs, como se muestra en la Figura 20.

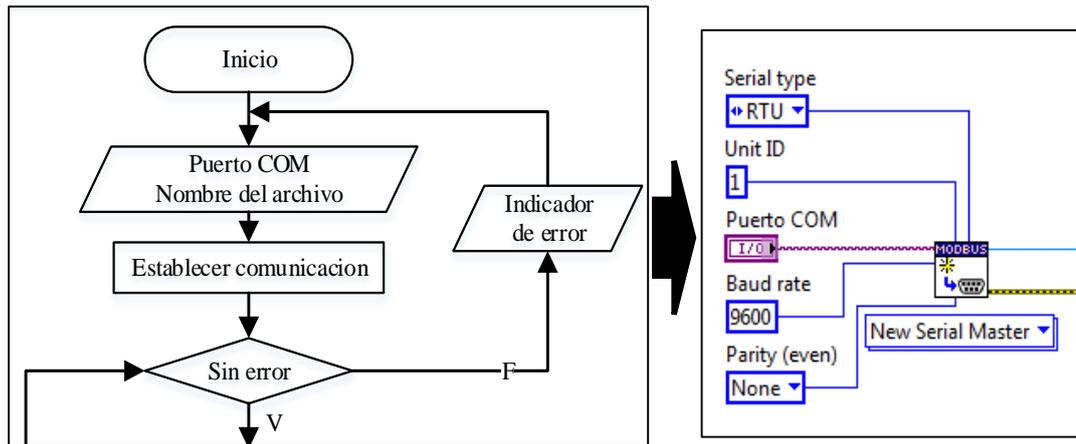


Figura 18. Función Créate Serial Master en LabVIEW para establecer la comunicación con los medidores.

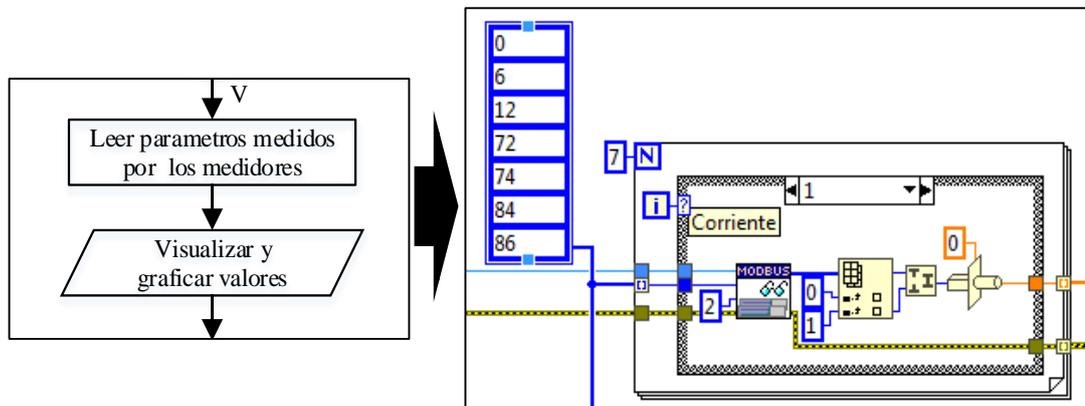


Figura 19. Obtención de valores con la función Read Input Registers de LabVIEW.

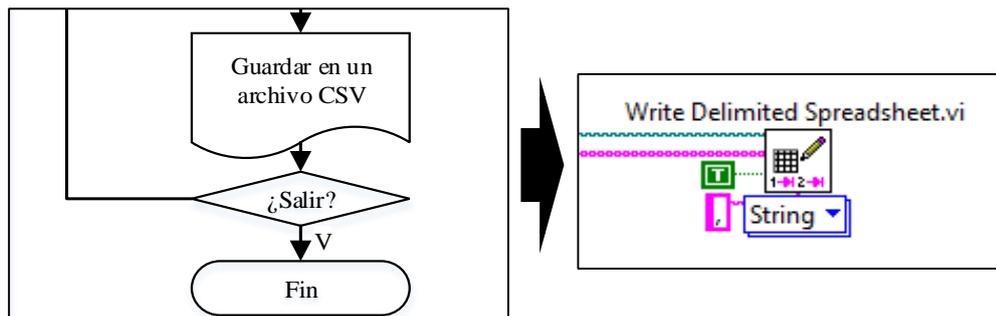


Figura 20. Bloque de función Write Delimited Spreadsheet en LabVIEW para guardar los valores del sistema.

En cuanto a la interfaz gráfica que se puede observar en la Figura 21. Se desarrolló en 3 pestañas. En la pestaña principal de inicio se muestran los valores CC y AC que vienen siendo monitoreados, su gráfica y el historial de los datos durante el día, en la segunda pestaña denominada diseño se visualiza los valores de las mediciones junto

con un indicador y en la última pestaña de graficas se puede graficar los distintos parámetros medidos durante el día o de días anteriores para poder observar y dar un análisis rápido del comportamiento del SFCR con microinversor.

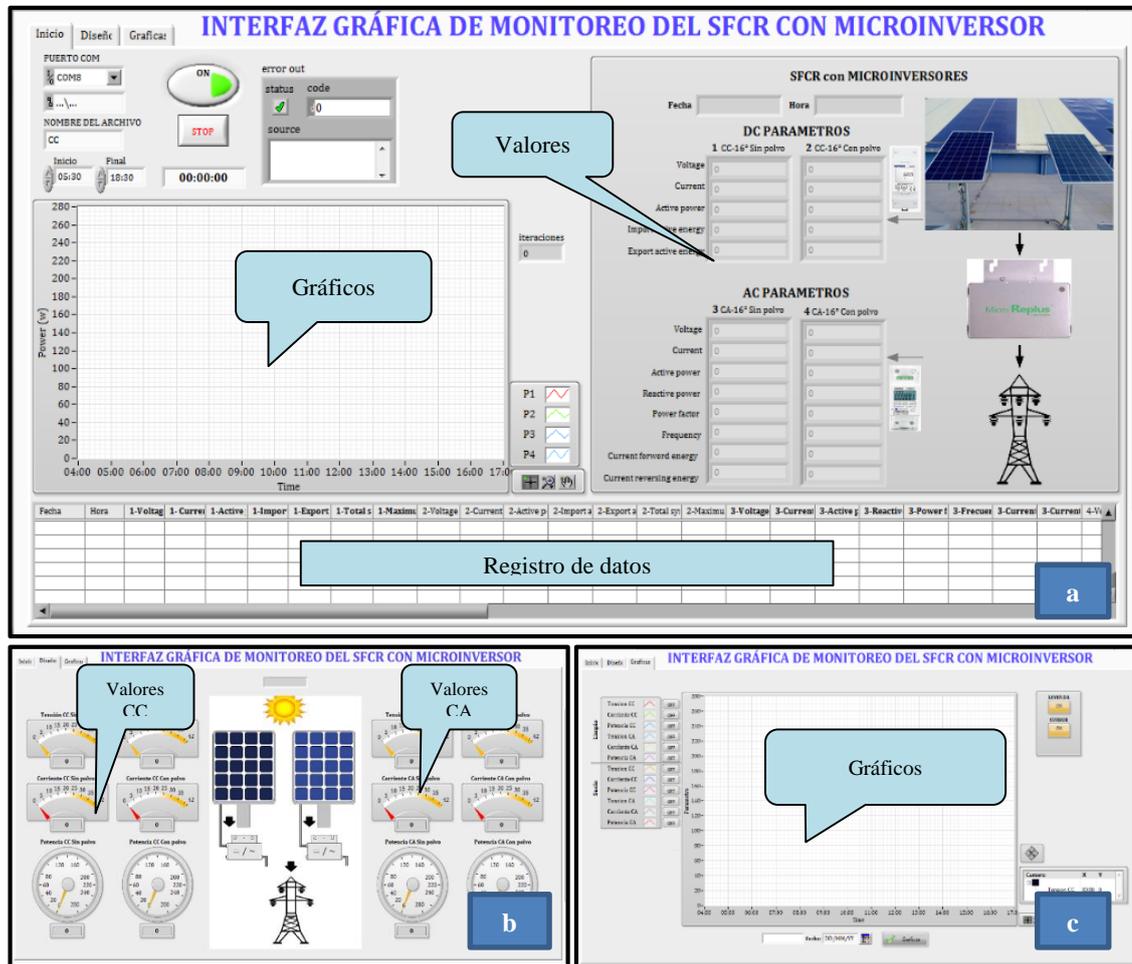


Figura 21. Interfaz gráfica de monitoreo y adquisición de datos desarrollado en LabVIEW para el SFCR con microinversor: (a) interfaz principal de configuración y visualización de parámetros (b) interfaz de la pestaña diseño que muestra los valores medidos con su indicador (c) interfaz de gráficos para visualizar el comportamiento de los sistemas.

3.4.3 Configuración de los medidores de energía para los SFCR con microinversor

Para la configuración de los medidores se realizó por dos métodos. Para los medidores Hiking se realizó mediante el Software Python donde se le estableció la ID a cada medidor, así como el número de baudios. En el caso de los medidores Easton estas configuraciones se realizaron en el mismo dispositivo.

3.4.4 Montaje de los equipos para el monitoreo de los SFCR con microinversor

Para el montaje, los medidores CC y su resistencia Shunt se instalaron sobre un riel Din en un tablero de 200x300x100 mm, debajo de cada módulo fotovoltaico, como se muestra en la Figura 22.

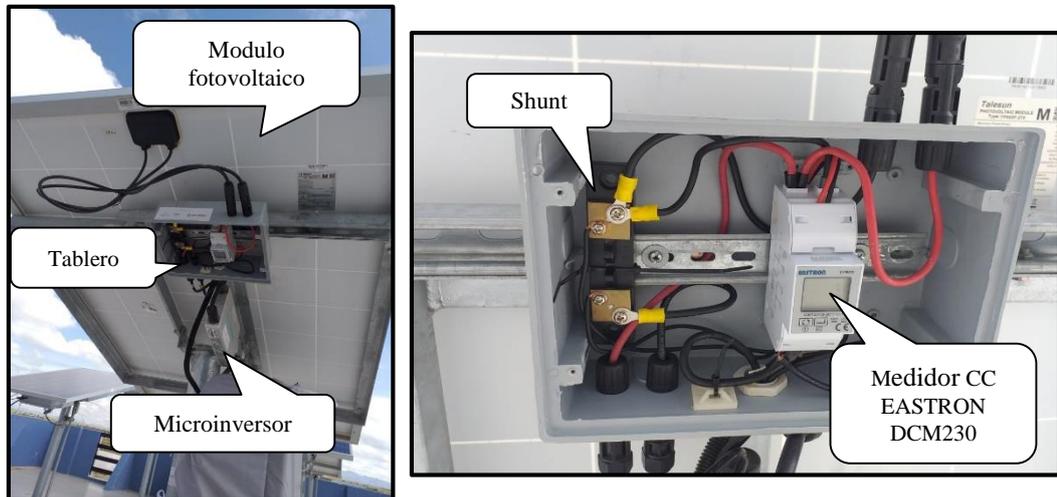


Figura 22. Montaje de los medidores Eastron DCM 230 en los tableros de los dos monopostes con microinversor para medir los parámetros en corriente continua de los SFCR con microinversor.

En cuanto a los medidores CA se instalaron en un tablero de 500x400x200 mm junto a los dispositivos de protección del SFCR que ya se encontraban instalados tal como se puede ver en la Figura 23.

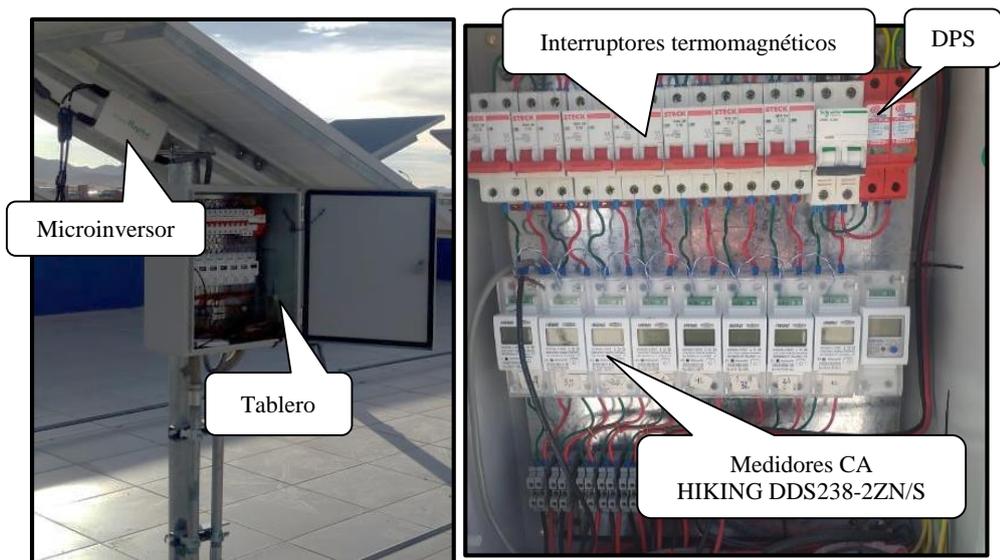


Figura 23. Montaje de los medidores Hiking DDS238-2ZN/S en lado CA del SFCR con microinversor para medir los parámetros en corriente alterna.

Posteriormente al montaje de los medidores, se conectó el cable de comunicación en los puertos RS485 de los medidores con el convertidor RS485 a USB, para luego conectarlo a la PC donde se ejecutó la interfaz de monitoreo, tal como se muestra en la Figura 24.

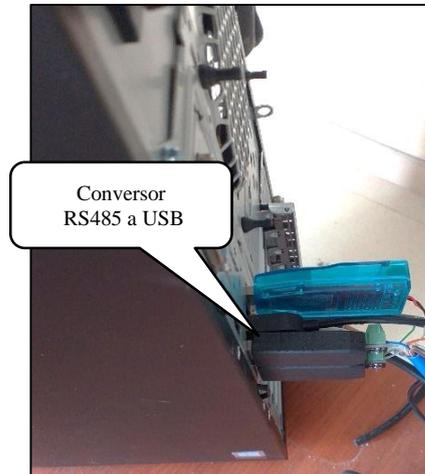


Figura 24. Conexión de medidores con la PC por medio del convertidor RS485 a USB.

3.4.5 Implementación de la Interfaz gráfica de monitoreo

Realizado el montaje de los dispositivos de medición se configuró, se realizaron pruebas de funcionamiento y finalmente se ejecutó la interfaz de monitoreo en una PC con sistema operativo Windows 10 de 64 bits, 32GB de RAM.

3.4.6 Cálculos para el análisis

El análisis de un sistema fotovoltaico por medio de indicadores y ecuaciones permite determinar y entender el desempeño de estos sistemas. La Norma IEC 61724-1 abarca el monitoreo de sistemas fotovoltaicos así mismo regula las ecuaciones a emplear. De esta manera tenemos:

a. Irradiación

La irradiación solar dada por la ecuación 2, es la energía disponible por unidad de área.

$$H = \sum_k G_k \times \tau_k \quad (2)$$

Donde G_k es la irradiancia y τ_k el intervalo de tiempo.

b. Energía eléctrica

- **Energía producida DC**

La energía de corriente continua es la integración de la potencia en corriente continua en un intervalo de tiempo. Esta dada por la ecuación 3.

$$E_{DC} = \sum_k P_{DC,k} \times \tau_k \quad (3)$$

Donde $P_{DC,k}$ es la potencia en corriente continua del arreglo fotovoltaico y τ_k el intervalo de tiempo.

- **Energía producida AC**

La energía de corriente alterna producida por el sistema fotovoltaico está dada por la ecuación 4.

$$E_{AC} = \sum_k P_{AC,k} \times \tau_k \quad (4)$$

Donde $P_{AC,k}$ es la potencia en corriente alterna a la salida del inversor y τ_k el intervalo de tiempo.

c. Rendimientos

Los índices de rendimiento son un equivalente en horas e indican el tiempo que el arreglo fotovoltaico deberá operar a Potencia nominal para suministrar la energía producida durante el periodo de monitoreo.

- **Rendimiento del arreglo Fotovoltaico**

El rendimiento del arreglo fotovoltaico es la relación de la energía producida por el arreglo fotovoltaico y la potencia nominal instalada del arreglo.

$$Y_A = \frac{E_{DC}}{P_0} \quad (5)$$

Donde E_{DC} es la energía producida por el arreglo fotovoltaico y P_0 la potencia nominal instalada.

- **Rendimiento final del sistema**

El rendimiento final del sistema es la relación de la energía en corriente alterna inyectada a la red y la potencia nominal del arreglo.

$$Y_f = \frac{E_{AC}}{P_0} \quad (6)$$

Donde E_{CA} es la energía en CA inyectada a la red y P_0 la potencia nominal instalada.

Este indicador es muy importante puesto que si no se tiene la posibilidad de medir la irradiación el Y_f puede ser el indicador más adecuado para medir el desempeño de un sistema fotovoltaico (Teles, 2017).

- **Rendimiento de referencia**

El rendimiento de referencia es la relación entre la irradiación incidente en el plano del generador por unidad de irradiancia de referencia (1000 W/m^2).

$$Y_r = \frac{H_i}{G_{i,ref}} \quad (7)$$

Donde H_i es la irradiación incidente en el plano del generador y $G_{i,ref}$ la irradiancia de referencia

d. Pérdidas de rendimiento

Las pérdidas de rendimiento indican el tiempo que el arreglo fotovoltaico deberá operar a su potencia nominal para satisfacer las pérdidas

- **Pérdidas de captura del arreglo fotovoltaico**

Son pérdidas del generador fotovoltaico, pueden estar asociadas a diversos factores como sombreado, suciedad, cableado, orientación de los módulos entre otros. Incluye todas las pérdidas desde la captación del arreglo fotovoltaico hasta la entrada al inversor.

$$L_C = Y_r - Y_A \quad (8)$$

- **Perdidas del BOS**

Representa la pérdida de todos los componentes del BOS, pueden ser causados por el cableado, el inversor, etc.

$$L_S = Y_A - Y_f \quad (9)$$

e. Eficiencias

- **Eficiencia del arreglo (DC)**

La eficiencia media de conversión fotovoltaica está dada por la ecuación 10.

$$\eta_A = \frac{E_{DC}}{(H_i \times A_a)} \quad (10)$$

Donde E_{DC} es la energía entregada por el arreglo fotovoltaico, H_i la irradiación incidente y A_a el área total del arreglo.

- **Eficiencia del sistema (AC)**

$$\eta_f = \frac{E_{AC}}{(H_i \times A_a)} \quad (11)$$

Donde E_{AC} es la energía entregada por el arreglo fotovoltaico, H_i la irradiación incidente y A_a el área total del arreglo.

f. Rendimiento global (PR)

El PR es adimensional y engloba todas las pérdidas y fallas involucradas en un sistema fotovoltaico. Cuando el valor del PR sea más cercano a la unidad (PR=1) mejor será el desempeño de un sistema en comparación a otros en condiciones semejantes

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (12)$$

3.4.7 Costo para la implementación del sistema de monitoreo

A continuación, se presenta en la Tabla 7, los costos relacionados a los materiales y dispositivos utilizados para la implementación de monitoreo para los SFCR con microinversor (02 monopostes) de los cuales el 58% fueron asumidos por el tesista.

Tabla 7

Costos de la implementación del sistema de monitoreo para los SFCR con microinversor.

Presupuesto para la implementación del sistema de monitoreo de los SFCR con microinversor				
Descripción	Unidad de medida	Costo unitario (S./)	Cant.	Costo total (S./)
Medidor de energía CA (Hiking DDS238)	Und.	150.00	2.00	300.00
Medidor de energía DC (Eastron DCM 230)	Und.	330.00	2.00	660.00
Resistencia Shunt	Und.	35.00	2.00	70.00
Convertidor RS485 a USB	Und.	20.00	1.00	20.00
Cable de comunicación	Und.	120.00	1.00	120.00
Tablero de 200x300x100 mm (para lado CC)	Und.	35.00	2.00	70.00
Tablero de 500x400x200 mm (para lado CA)	Und.	200.00	1.00	200.00
Accesorios	Und.	50.00	1.00	50.00
Total				1,490.00

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados que fueron obtenidos con relación a la interfaz de monitoreo de donde se adquieren los valores de las mediciones de los medidores de energía bidireccional tanto en el lado DC y en el lado AC de dos SFCR con microinversor. Con estas mediciones se realiza la evaluación con respecto a la producción de energía, eficiencias y rendimientos en condiciones reales de operación en ambos sistemas, De la misma manera para cumplir uno de los objetivos uno de estos sistemas fue expuesto al polvo o suciedad ya que no se limpió durante el periodo de evaluación de 6 meses para comparar su comportamiento con respecto al otro sistema al cual se realizó una limpieza constantemente.

4.1 Funcionamiento del sistema de monitoreo

Como se muestra en la Figura 25, el sistema de monitoreo se encuentra ubicado en el segundo nivel del Instituto de Investigación de Energías Renovables y Eficiencia Energética, en la sala de control de los sistemas fotovoltaicos. Como se puede observar el sistema de monitoreo se implementó y ejecutó y por lo tanto fue posible visualizar y registrar los diferentes parámetros de interés de dos SFCR con microinversor.



Figura 25. Ejecución de la interfaz gráfica de monitoreo en la PC de la sala de control de los sistemas fotovoltaicos del Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética.

Dentro de los parámetros monitoreados tenemos: tensión, corriente, potencia y energía acumulada de los SFCR con microinversor.

De igual manera en la Figura 26, se observa una parte de los datos registrados en el archivo CSV generado por la interfaz de monitoreo donde se registró los parámetros del sistema para su posterior evaluación.

	A	B	C	D	E
1	Fecha	Hora	Voltaje	Corriente	Potencia act
56	17/02/2022	06:24:00	28.84044	0.718925	20.7465275
57	17/02/2022	06:25:00	27.7836575	0.743905	20.794455
58	17/02/2022	06:26:00	26.8858925	0.7685825	20.5337375
59	17/02/2022	06:27:00	28.14348	0.78539	22.031615
60	17/02/2022	06:28:00	29.3379275	0.79285	23.2152775
61	17/02/2022	06:29:00	32.2291	0.770055	24.7430125
62	17/02/2022	06:30:00	32.9430125	0.7414275	24.3729775
63	17/02/2022	06:31:00	33.03958	0.7233225	23.9793275
64	17/02/2022	06:32:00	32.7753925	0.7277475	23.76731
65	17/02/2022	06:33:00	32.87651	0.7257	23.9043025
66	17/02/2022	06:34:00	33.292565	0.719165	23.9412425
67	17/02/2022	06:35:00	32.95393	0.7274575	24.066305
68	17/02/2022	06:36:00	32.9362425	0.7333025	24.2062725
69	17/02/2022	06:37:00	33.07356	0.730335	24.302225

Figura 26. Datos registrados en el Archivo CSV generado por la interfaz de monitoreo que considera las todas variables de interés para evaluar el SFCR con microinversor.

En la Figura 27, Figura 28 y Figura 29, se muestra el funcionamiento de la interfaz de monitoreo donde se pueden visualizar las mediciones en tiempo real de los parámetros monitoreados de los SFCR con microinversor. Así también es posible graficarlos en tiempo real o mediante los históricos que fueron registrados a fin de realizar un análisis inicial del comportamiento de los SFCR.

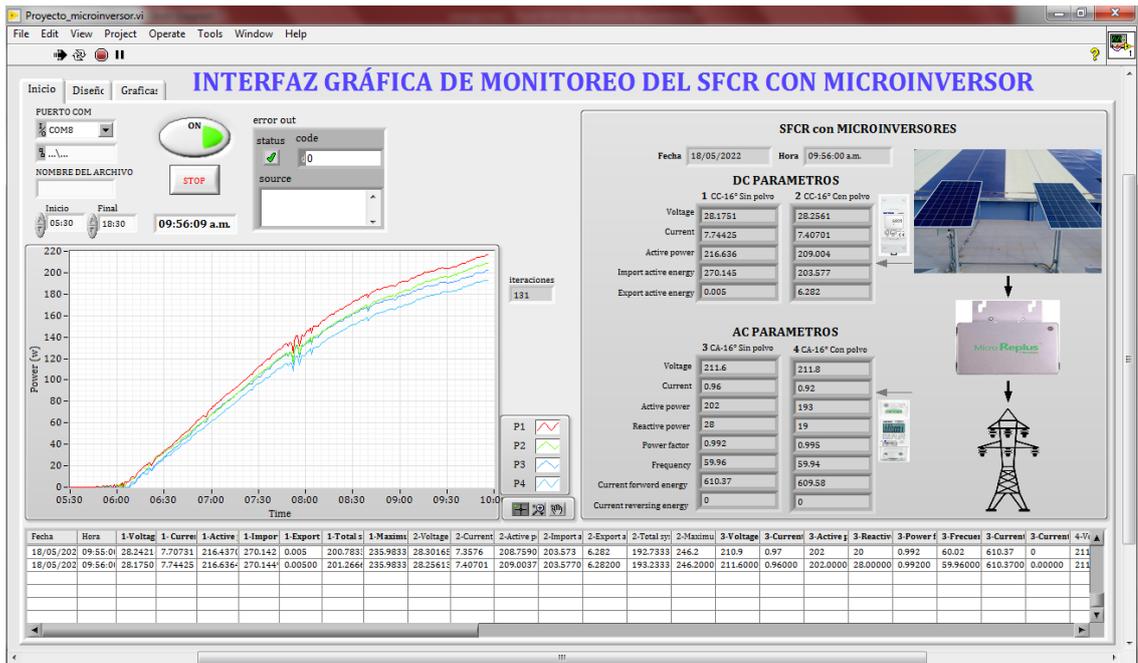


Figura 27. Interfaz principal puesta en operación recolectando y visualizando datos de los SFCR con microinversor.

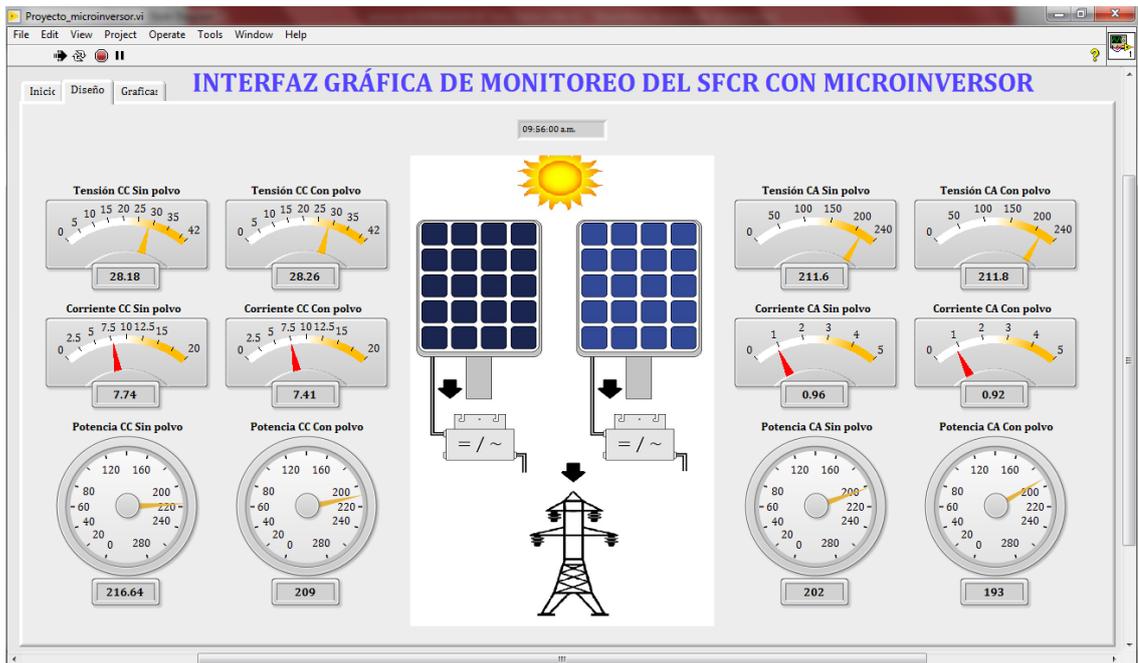


Figura 28. Segunda pestaña denominada diseño en la cual se muestra los valores monitoreados de los SFCR con microinversor.

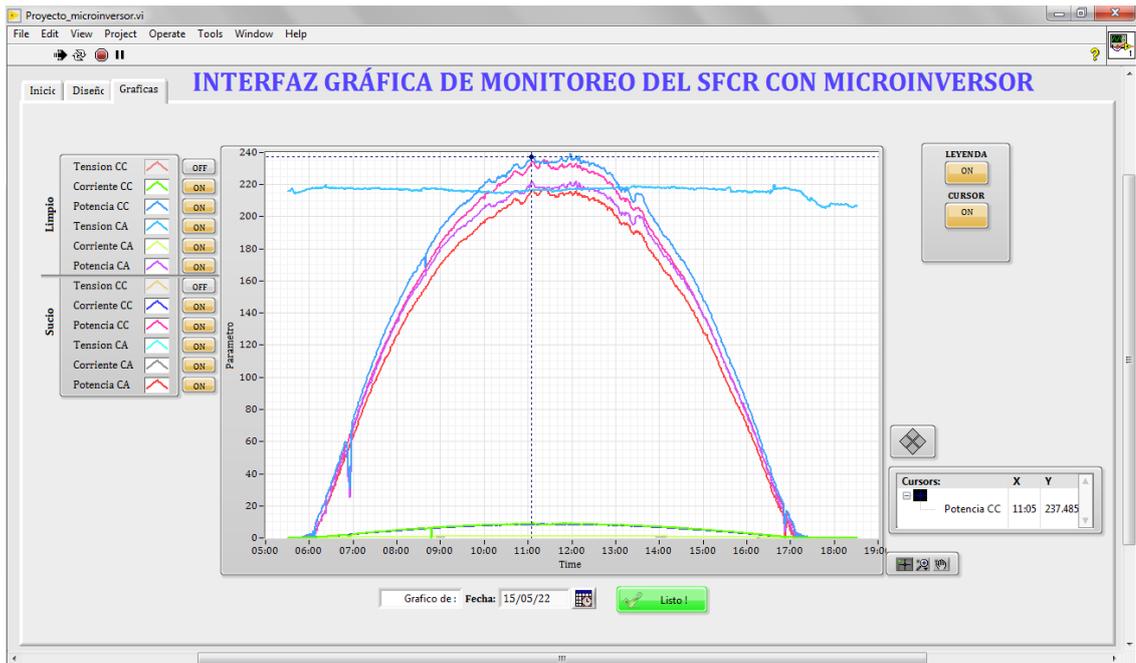


Figura 29. Pestaña de gráficos de la interfaz donde se visualizan los parámetros monitoreados en tiempo real y también los históricos de los SFCR con microinversor.

Con respecto a la evaluación de los sistemas fotovoltaicos conectados a red con microinversor que se tienen instalados en el Instituto de Investigación de Energía Renovables y Eficiencia Energética de la UNAJ se procesó los datos obtenidos con la interfaz de monitoreo.

Los dos SFCR con microinversor evaluados están instalados con orientación al norte y con una inclinación de 16° . Así mismo para evaluar el comportamiento de los sistemas con respecto a la acumulación de polvo se tuvo un SFCR con microinversor limpio (sin polvo), el cual fue limpiado constantemente y un SFCR con microinversor sucio (con polvo) al cual no se le realizó ninguna limpieza durante todo el periodo de ejecución del proyecto. Tal y como se puede apreciar en la Figura 30.

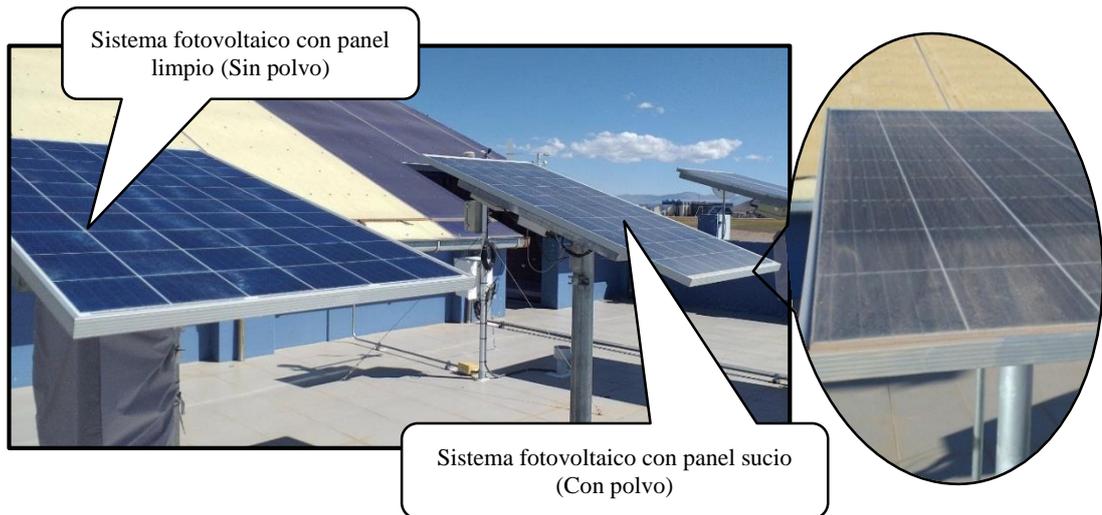


Figura 30. SFCR con microinversor con polvo y sin polvo instalados en Instituto de Investigación de Energía Renovables y Eficiencia Energética de la UNAJ.

4.2 Generación de energía de los SFCR con microinversor

En este punto se realiza la caracterización de la producción de energía de los dos sistemas fotovoltaicos con microinversor a partir de los datos obtenidos con la interfaz de monitoreo, durante los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio de 2022.

Como se observa en la Figura 31, y con los valores de la Tabla 8, durante los meses de enero a abril se tiene una ligera diferencia en la generación de energía entre el SFCR con microinversor limpio y el SFCR con microinversor sucio, esta diferencia no es muy notoria en este periodo teniendo una variación promedio de 0.138 kWh en energía generada.

Adicionalmente, se puede observar que durante los meses de mayo y junio ya se tiene una clara diferencia de generación entre ambos sistemas teniendo una variación de hasta 3.713 kWh en el mes de junio, esto ocurre por la acumulación de polvo en el SFCR con microinversor sucio, ya que durante este periodo no se tuvo la presencia de lluvias y así mismo no se le realizó la limpieza del módulo en ese sistema.

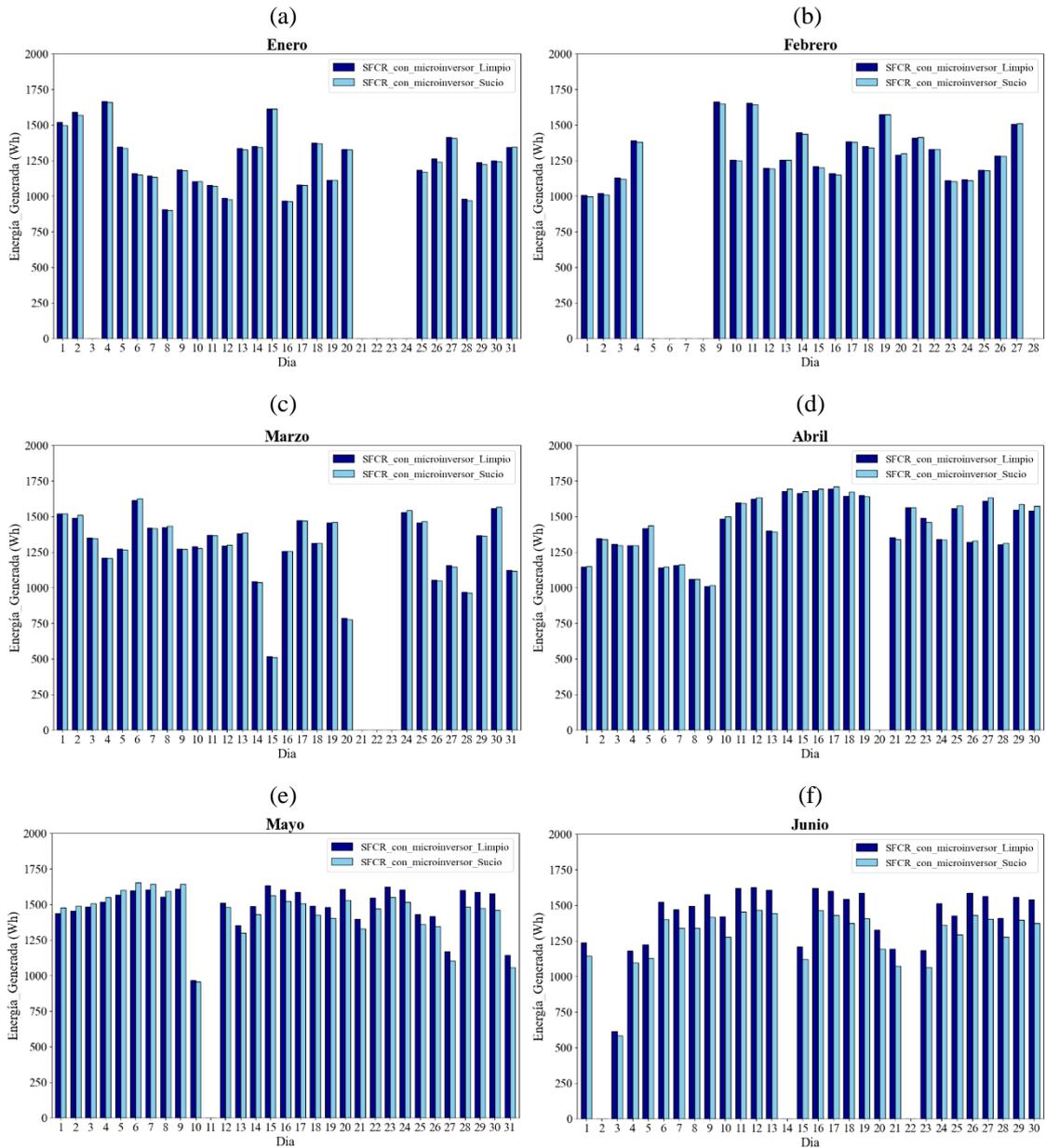


Figura 31. Generación de energía diaria de los SFCR con microinversor durante los meses: a) enero; b) febrero; c) marzo; d) abril; e) mayo y f) junio de 2022.

En la Figura 31, se representa la generación de energía diaria en corriente alterna para los dos SFCR con microinversor durante los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio de 2022.

Tabla 8

Energía mensual producida por cada SFCR con microinversor.

Mes	Energía producida CA (kWh)	
	SFCR con microinversor (Limpio-sin polvo)	SFCR con microinversor (Sucio-con polvo)
Enero	32.527	32.313
Febrero	29.925	29.807
Marzo	35.969	35.974
Abril	41.619	41.834
Mayo	44.641	43.431
Junio	38.454	34.741

En la Tabla 8, se tienen los valores de la energía mensual generada durante el periodo de estudio. Donde la mayor producción de energía en corriente alterna se dio en el mes de mayo con 44.641 kWh en el SFCR con microinversor limpio y 43.431 kWh para el SFCR con microinversor sucio.

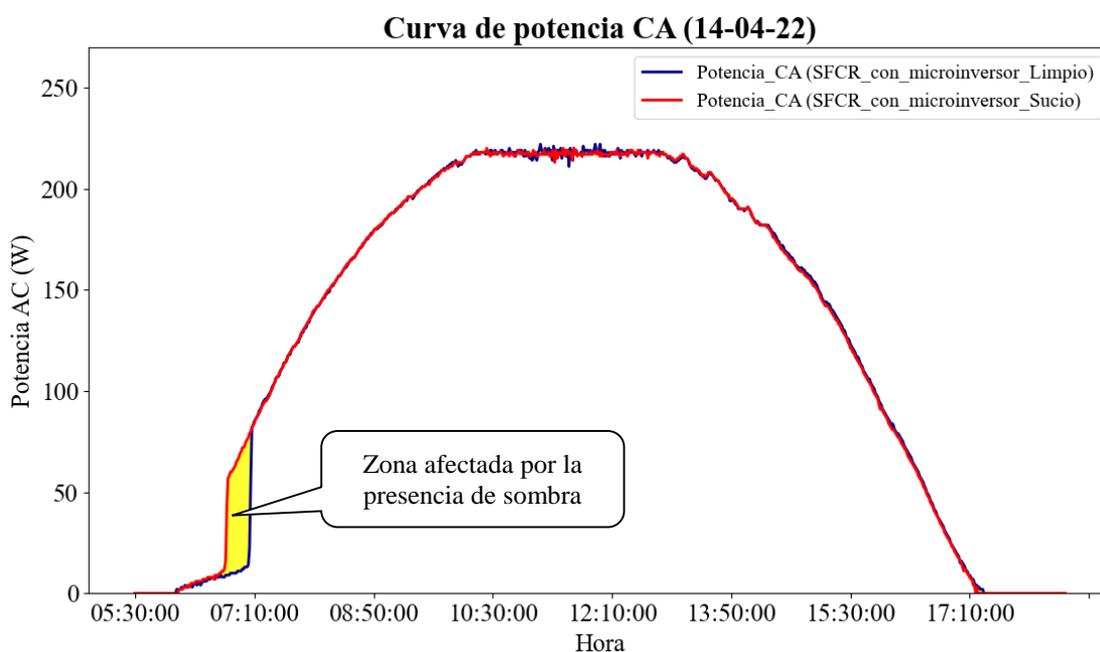


Figura 32. Curva de potencia CA de los dos SFCR con microinversor del 14 de abril de 2022 con presencia de sombra.

También se debe resaltar que el SFCR con microinversor sucio presenta un mayor aporte de energía durante el mes de marzo y abril, esto fue debido a que los sistemas fueron afectados por la presencia de sombras siendo el SFCR con microinversor

limpio quien tuvo un mayor periodo de exposición a la sombra lo cual afecto directamente en su generación y su rendimiento, esto se observa en la Figura 32.

En la Figura 32, podemos observar como la presencia de sombra afecta a los sistemas al inicio del día lo cual incidió en la energía generada por los sistemas especialmente al SFCR con microinversor limpio como se mencionó anteriormente.

Así mismo se debe mencionar que como se observa en la Figura 31, faltan datos de algunos días. De los cuales la mayor parte de estas brechas fueron debido al mantenimiento de los sistemas, falta del fluido eléctrico de la red, problemas de conexión de los dispositivos, así como actualizaciones realizadas a la interfaz y/o inclusión de nuevos equipos al sistema de monitoreo.

4.3 Rendimientos de los SFCR con microinversor

4.3.1 Rendimiento del arreglo Fotovoltaico y perdidas por captación

El rendimiento del arreglo viene a ser la relación de la energía DC con respecto a la potencia instalada. Este valor indica el tiempo que el arreglo fotovoltaico deberá operar para suministrar la energía registrada. En la Figura 33, podemos observar la media de los valores diarios de rendimiento del arreglo fotovoltaico en el SFCR con microinversor limpio. Donde también se presenta las pérdidas de captura con respecto al rendimiento de referencia. Lo mismo para el SFCR con microinversor sucio el cual se muestra en la Figura 34.

El rendimiento de referencia (Y_R) y el rendimiento del arreglo (Y_A) total durante el periodo monitoreado fueron $Y_{R(sp)} = 37.432$ kWh/kW y $Y_{A(sp)} = 32.952$ kWh/kWp para el SFCR con microinversor limpio. Así mismo $Y_{R(cp)} = 37.432$ kWh/kW y $Y_{A(cp)} = 32.356$ kWh/kWp para el SFCR con microinversor sucio.

El mes de mayo es donde se tuvo los mayores valores de Y_R y Y_A en ambos sistemas fotovoltaicos con $Y_{R(sp)} = 6.931$ kWh/kW y $Y_{A(sp)} = 5.993$ kWh/kWp para el SFCR con microinversor limpio. De igual forma se tuvo un $Y_{R(cp)} = 6.931$ kWh/kW y $Y_{A(cp)} = 5.867$ kWh/kWp para el SFCR con microinversor sucio.

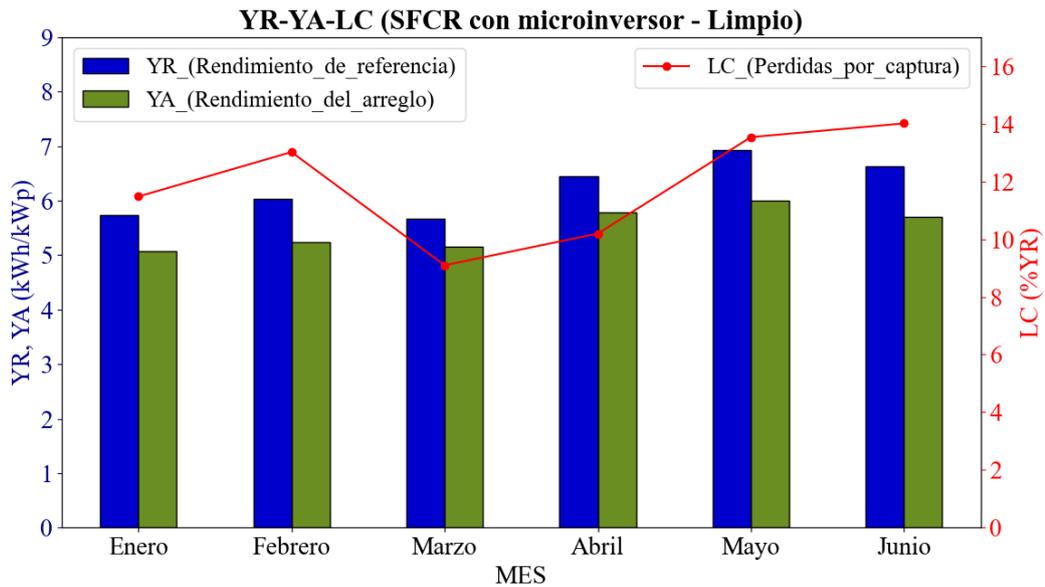


Figura 33. Rendimientos del generador fotovoltaico limpio (sin polvo): rendimiento de referencia, rendimiento del arreglo y pérdidas por captura.

La Tabla 9, presenta los valores de los rendimientos de referencia, rendimientos del arreglo fotovoltaico y sus pérdidas por captura del SFCR con microinversor limpio. Para el mes de junio fue donde se registró mayor porcentaje de pérdidas de captura por parte del arreglo fotovoltaico con 14.01%.

Tabla 9

Rendimientos del generador fotovoltaico limpio (sin polvo) durante los meses de enero a junio de 2022.

Mes	YR (Rendimiento de referencia)	YA (Rendimiento del arreglo)	LC (Perdidas por captura)	LC (%YR)
Enero	5.729	5.072	0.657	11.47
Febrero	6.024	5.240	0.784	13.01
Marzo	5.672	5.156	0.516	9.09
Abril	6.448	5.791	0.657	10.19
Mayo	6.931	5.993	0.938	13.53
Junio	6.628	5.699	0.928	14.01

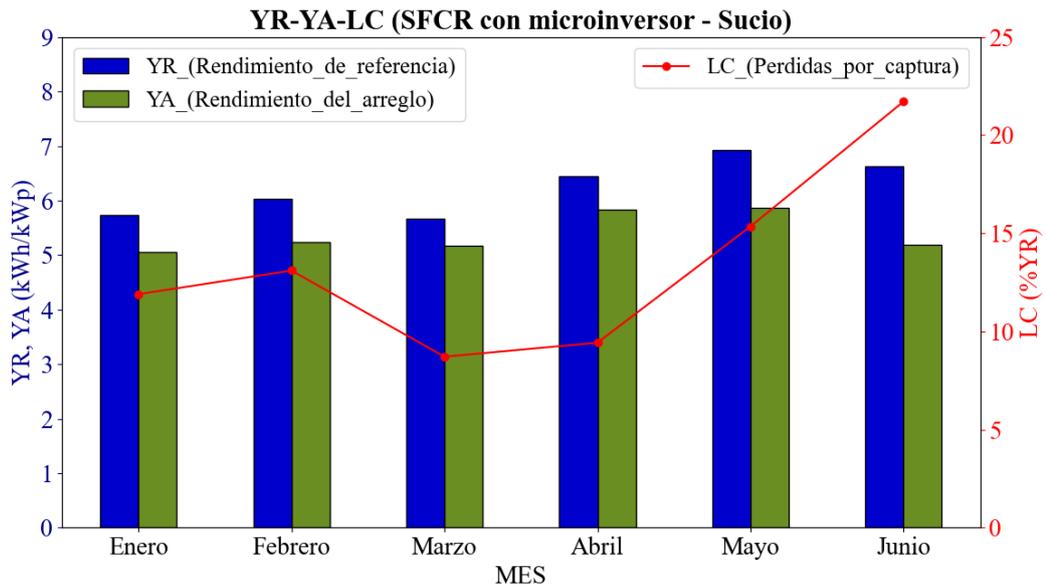


Figura 34. Rendimientos del generador fotovoltaico sucio (con polvo): rendimiento de referencia, rendimiento del arreglo y pérdidas por captura.

Al igual que el SFCR con microinversor limpio en Tabla 10, se muestra los valores de los rendimientos de referencia, rendimientos del arreglo fotovoltaico y sus pérdidas por captura del SFCR con microinversor sucio durante el periodo de monitoreo. Igualmente, para el mes de junio fue donde se registró el mayor porcentaje de pérdidas de captura con un valor de 21.71%.

Tabla 10

Rendimientos del generador fotovoltaico sucio (con polvo) durante los meses de enero a junio de 2022.

Mes	YR (Rendimiento de referencia)	YA (Rendimiento del arreglo)	LC (Perdidas por captura)	LC (%YR)
Enero	5.729	5.047	0.681	11.89
Febrero	6.024	5.235	0.789	13.10
Marzo	5.672	5.178	0.494	8.71
Abril	6.448	5.840	0.608	9.43
Mayo	6.931	5.867	1.064	15.35
Junio	6.628	5.189	1.439	21.71

4.3.2 Rendimiento final del sistema

La productividad o rendimiento del sistema viene a ser dada por la relación entre la Energía generada que es entregada a la red eléctrica y la potencia nominal del arreglo fotovoltaico instalado. Este indicador representa el número de horas que el sistema debe operar para suministrar la energía registrada. En la Figura 35, se tiene la productividad final media de cada sistema, donde se observa que no hay mucha diferencia en el rendimiento de los SFCR con microinversor limpio y sucio durante los meses de enero a abril en comparación de los meses de mayo y junio. Esto sucede debido a la acumulación de polvo.

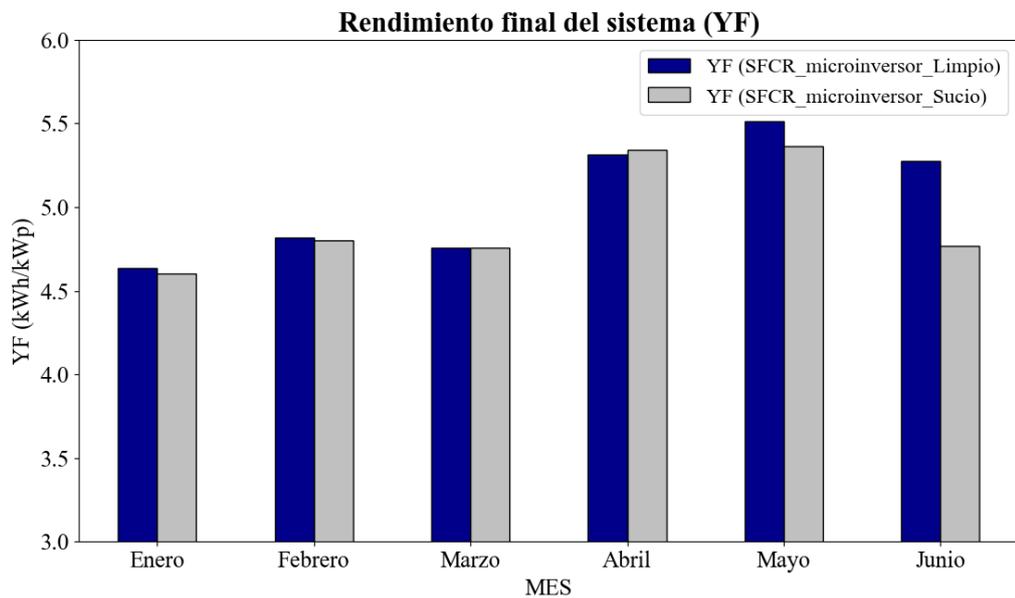


Figura 35. Rendimiento del sistema referente a los meses de enero a junio de 2022.

En la Tabla 11, se puede observar que la mayor productividad media mensual para ambos sistemas se dio en el mes de mayo con valores de $Y_{f(sp)} = 5.511$ kWh/kWp para el SFCR con microinversor limpio y $Y_{f(cp)} = 5.362$ kWh/kWp para el SFCR con microinversor sucio.

Así mismo el menor valor se dio en el mes de enero con $Y_{f(sp)} = 4.634$ kWh/kWp para el SFCR con microinversor limpio y $Y_{f(cp)} = 4.603$ kWh/kWp para el SFCR con microinversor sucio.

Tabla 11

Rendimiento medio mensual para los dos sistemas fotovoltaicos con microinversor.

Mes	Rendimiento Final (kWh/KWp)	
	SFCR con microinversor (Limpio-sin polvo)	SFCR con microinversor (Sucio-con polvo)
Enero	4.634	4.603
Febrero	4.819	4.799
Marzo	4.758	4.758
Abril	5.315	5.343
Mayo	5.511	5.362
Junio	5.275	4.766

4.4 Eficiencias de los SFCR con microinversor

4.4.1 Eficiencia del arreglo fotovoltaico

Como se puede apreciar en la Figura 36, las eficiencias se encuentran dentro de un rango de 13-15% durante el periodo de evaluación lo cual estaría dentro de lo esperado, así mismo se observa que en junio la eficiencia de arreglo del SFCR con microinversor sucio (con polvo) tiene la eficiencia más baja con 12.94%.

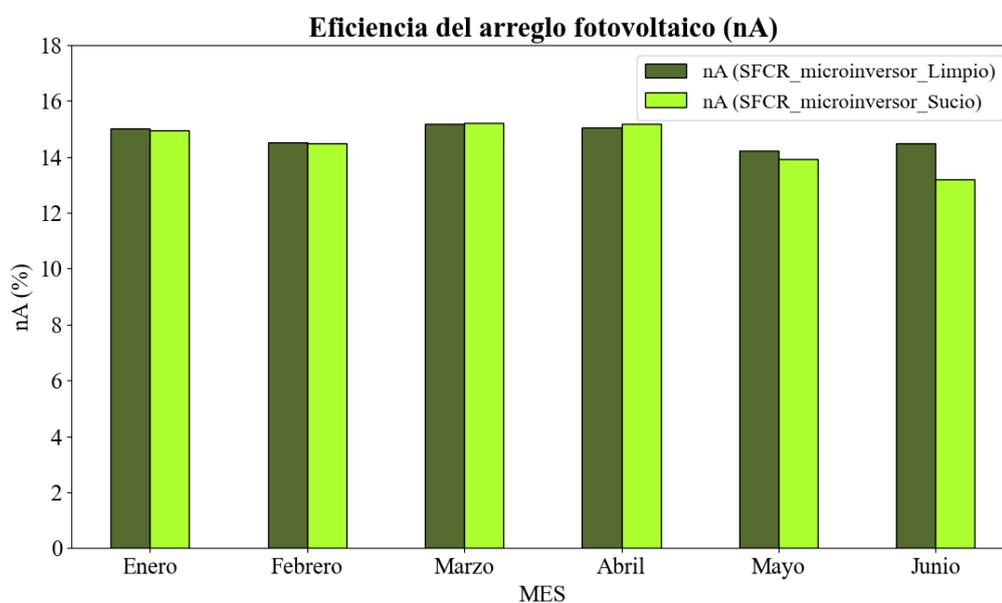


Figura 36. Eficiencia media mensual de los arreglos fotovoltaicos de los SFCR con microinversor durante 6 meses de evaluación enero-junio.

Tabla 12

Valores de eficiencia media mensual de los arreglos fotovoltaicos de los SFCR con microinversor durante 6 meses de evaluación enero-junio.

Mes	Eficiencia del arreglo fotovoltaico η_A (%)	
	SFCR con microinversor (Limpio-sin polvo)	SFCR con microinversor (Sucio-con polvo)
Enero	15.01	14.93
Febrero	14.50	14.49
Marzo	15.17	15.22
Abril	15.04	15.16
Mayo	14.31	13.90
Junio	14.19	12.94

En la Tabla 12, se muestran los valores de eficiencia media mensual de los SFCR con microinversor limpio y sucio durante el periodo de monitoreo.

4.4.2 Eficiencia del sistema

Las eficiencias de los dos sistemas se presentan en la Tabla 13 y la Figura 37, donde se tiene las mínimas eficiencias en el mes de junio con $\eta_{f(sp)} = 13.12\%$ para SFCR con microinversor limpio y $\eta_{f(cp)} = 11.88\%$ para el SFCR con microinversor sucio. En cuanto a la mayor eficiencia se dio en el mes de marzo con $\eta_{f(sp)} = 13.98\%$ y $\eta_{f(cp)} = 13.96\%$ para los SFCR con microinversor limpio y sucio respectivamente.

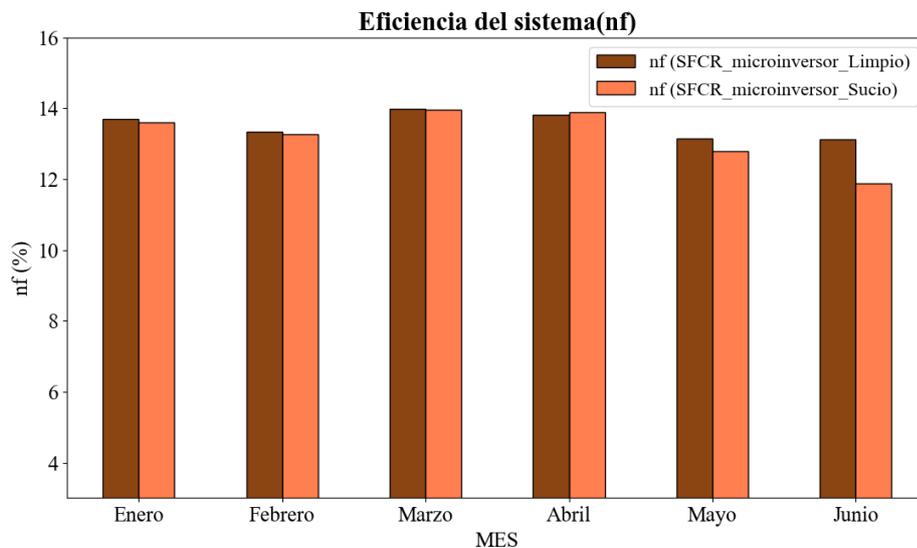


Figura 37. Eficiencia promedio mensual del sistema para los SFCR con microinversor.

Tabla 13

Valores de eficiencia media mensual del sistema en los SFCR con microinversor durante 6 meses de evaluación enero-junio.

Mes	Eficiencia del sistema η_f (%)	
	SFCR con microinversor (Limpio-sin polvo)	SFCR con microinversor (Sucio-con polvo)
Enero	13.70	13.61
Febrero	13.33	13.28
Marzo	13.98	13.96
Abril	13.82	13.88
Mayo	13.16	12.79
Junio	13.12	11.88

4.5 Performance Ratio (PR)

Normalmente para medir el rendimiento de un sistema fotovoltaico se realiza por medio del Performance Ratio (PR), que es definida por la relación entre el rendimiento real del sistema y el máximo rendimiento teórico posible. Esta relación es un parámetro que permite evaluar la generación de energía eléctrica de un determinado sistema fotovoltaico, considerando la potencia nominal del sistema en condiciones de operación y todas las pérdidas involucradas (Nascimento, 2019).

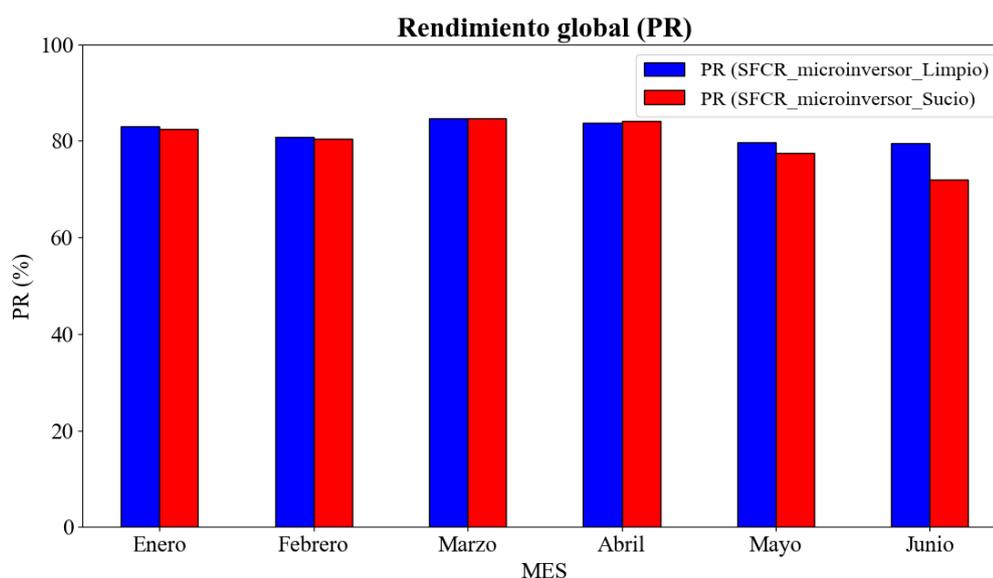


Figura 38. Rendimiento global (PR) de los SFCR con microinversor durante los meses de enero a junio de 2022.

En la Figura 38, se representa el performance ratio promedio mensual de los dos SFCR con microinversor donde los valores se encuentran en un rango de 72.01% a 84.74%.

Tabla 14

Rendimiento global mensual para cada sistema.

Mes	Rendimiento Global PR (%)	
	SFCR con microinversor (Limpio-sin polvo)	SFCR con microinversor (Sucio-con polvo)
Enero	83.08	82.52
Febrero	80.80	80.48
Marzo	84.74	84.65
Abril	83.75	84.14
Mayo	79.75	77.55
Junio	79.56	72.01

Como se puede observar en la Tabla 14, durante los meses de mayo y junio se tiene una diferencia de valores muy considerable entre los sistemas, ya que este periodo fue en el que se tuvo una clara presencia de acumulación de polvo lo cual influyo directamente en el desempeño del sistema.

4.6 Comportamiento de los SFCR con microinversor respecto a la acumulación de polvo

Para evaluar el comportamiento de los sistemas debido a la acumulación de polvo se hace una comparación entre el SFCR con microinversor limpio (sin polvo) el cual será de referencia ya que se limpió constantemente y el SFCR con microinversor sucio (con polvo) el cual no se le realizó la limpieza. Esta comparación se realiza teniendo como indicador la eficiencia del arreglo fotovoltaico y la energía generada para los meses de mayo y junio, en especial este último ya que en todo este periodo se observó la acumulación de polvo en el módulo fotovoltaico tal como se observó en la Figura 30.

Como se pudo apreciar en los gráficos anteriores durante todos periodos se tuvo una diferencia en los valores donde el SFCR con microinversor limpio tuvo mejores resultados que el segundo sistema ya que este último se encontraba expuesto al polvo.

Sin embargo, en el mes de abril no ocurrió esto ya que el sistema con polvo tuvo un mejor resultado frente al limpio. Esto fue debido a la presencia de sombras en el SFCR limpio las cuales se presentaban durante este mes principalmente al iniciar el día. Lo cual también se pudo observar anteriormente con la gráfica de la Figura 32.

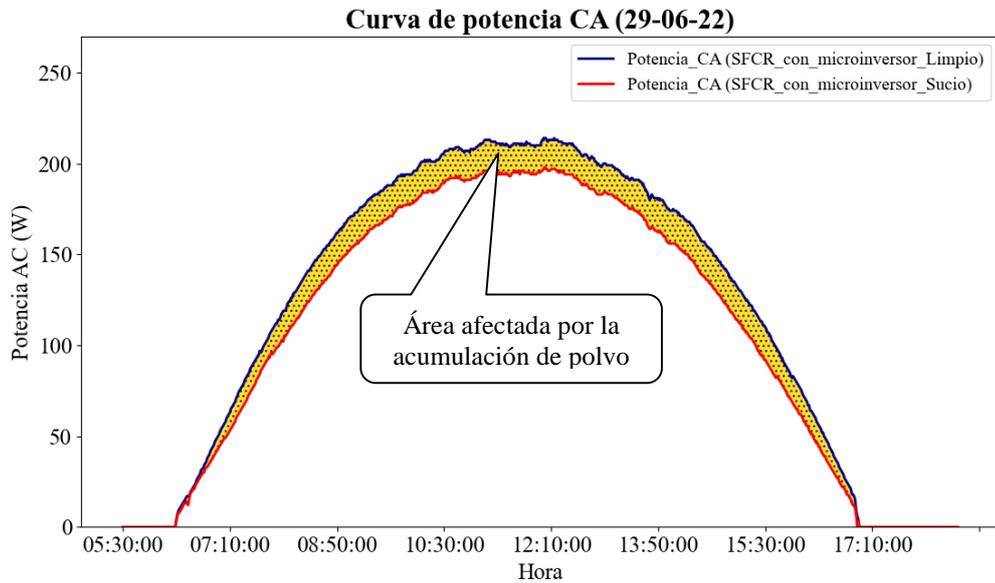


Figura 39. Efecto de la acumulación de polvo en la curva de potencia CA en los SFCR con microinversor el 29 de junio de 2022.

La Figura 39, nos muestra la disminución de potencia debido a la acumulación de polvo en este caso durante el 29 de junio de 2022. Teniendo una media de 14.956 W de variación de potencia durante el día. Con una máxima diferencia de potencia de hasta 20 W entre los dos SFCR con microinversor.

La energía total generada por los dos SFCR con microinversor se muestra en la Figura 40, donde se puede apreciar que el SFCR con microinversor limpio (sin polvo) generó 223.135 kWh y el SFCR con microinversor sucio (con polvo) 218.100 kWh, con base a esto se puede observar que hay una diferencia de 5.035 kWh durante los 6 meses lo cual sería principalmente la pérdida de energía por efecto de la acumulación de polvo. También debemos mencionar que el 97.77 % de esta variación corresponde a los meses de mayo y junio.

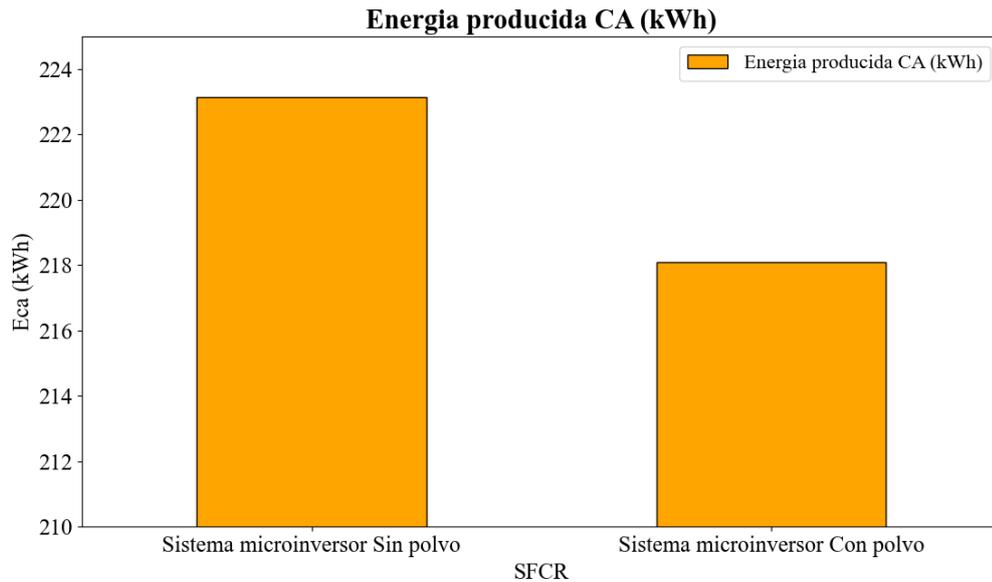


Figura 40. Energía total generada por los SFCR con microinversor durante el periodo de monitoreo.

Como ya se vio anteriormente tanto en los rendimientos como eficiencias el SFCR con microinversor limpio tuvo un mejor desempeño que el SFCR con microinversor sucio, esto es más notorio en los meses de mayo y junio.

Así mismo podemos observar un efecto directo de la influencia del polvo en las pérdidas de captura ya que para el Sistema fotovoltaico limpio los máximos valores de pérdida por captura con respecto al rendimiento de referencia fueron de $L_{C(sp-mayo)} = 13.53\%$ y $L_{C(sp-junio)} = 14.01\%$ correspondientes a los meses de mayo y junio respectivamente. Mientras que para el sistema fotovoltaico sucio (con polvo) se tienen valores de $L_{C(cp-mayo)} = 15.35\%$ y $L_{C(cp-junio)} = 21.71\%$ respectivamente para los mismos meses, tomando como referencia el SFCR limpio se observa que el SFCR con polvo presenta mayores pérdidas. Lo cual representarían en una disminución del rendimiento del arreglo fotovoltaico de 2.11% en mayo y 8.96% en junio, esto a causa principalmente de la acumulación de polvo.

El rendimiento global (PR) también presentan una disminución en el SFCR con polvo con una reducción de 2.77% en mayo y 9.50% en junio, lo cual también sería por efecto de la acumulación del polvo en el sistema.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Los resultados logrados en este trabajo reflejan el desarrollo de la interfaz de monitoreo el cual nos permite obtener, visualizar, analizar y registrar los diferentes parámetros fotovoltaicos de los dos SFCR con microinversor, el cual permite al usuario tener un mejor seguimiento acerca de las mediciones de los sistemas. De este modo con los datos que se obtienen de la interfaz se puede realizar un análisis más profundo del comportamiento de estos sistemas.

El uso de software LabVIEW resulto adecuado para realizar la interfaz de monitoreo puesto que es una herramienta que permite establecer una comunicación con diversos dispositivos en nuestro caso con los medidores de energía. El protocolo de comunicación utilizado fue Modbus RS485, obteniendo de esta forma los datos de los SFCR con microinversor de una manera confiable y eficiente a un bajo costo.

Este trabajo busco determinar la eficiencia de los SFCR con microinversor y con base a los resultados de los análisis de los parámetros evaluados se puede demostrar que los dos SFCR con microinversor tienen una eficiencia promedio del sistema de $\eta_{f(sp)} = 13.52\%$ para el sistema limpio y $\eta_{f(cp)} = 13.23\%$ para el sistema sucio (con polvo) durante los 6 meses de monitoreo. En términos de rendimiento global (PR) el sistema limpio tiene un $PR_{(sp)}$ de 81.95% y el sistema sucio un $PR_{(cp)}$ de 80.22%. Y la producción de energía AC durante el periodo de monitoreo fue 223.135 kWh para el sistema limpio y 218.100 kWh para el sistema sucio.

De la misma manera al analizar el comportamiento de los sistemas con respecto a la acumulación de polvo, nótese que el SFCR con microinversor limpio (sin polvo) presento un mejor desempeño. En energía tuvo 5.035 kWh más que el SFCR con microinversor sucio (con polvo), siendo la mayor parte de esta variación durante los meses de mayo y junio. Igualmente se observó una pérdida de rendimiento del arreglo fotovoltaico en el SFCR con microinversor sucio (con polvo) de hasta 8.96% en el mes de junio y un $PR_{(cp)}$ de 72.01% en el mismo mes lo cual seria 9.50% menor que el SFCR con microinversor limpio.

5.2 Recomendaciones

Al concluir con la presente investigación estamos en condición de plantear las siguientes recomendaciones:

- Evaluar los SFCR con microinversor bajo distintas condiciones.
- Integrar más dispositivos de medición al sistema de monitoreo esto con el fin de ampliar las variables a analizar.
- Desarrollar un plan de mantenimiento para sistemas fotovoltaicos para no tener pérdidas en los sistemas.
- Trabajar con mucha precaución y con los EPP necesarios al momento de manipular los sistemas ya que se trabaja con energía eléctrica.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Belupú Amaya, C. I. (2017). *Implementación de un sistema de monitoreo y control para automatizar la manipulación de las variables de proceso en tanques de almacenamiento*. Piura.
- Campos, J. (2017). *Sistema para la evaluación de parámetros eléctricos de microinversores de sistemas fotovoltaicos*. Cartago.
- Carhuavilca, A. (2021). *Diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para el registro de irradiancia, temperatura y cálculo de productividad energética de los sistemas fotovoltaicos conectados a red*. Lima.
- Carreño Martínez, S. M., & Ardila Albarracín, P. (2005). *Modbus. Monitoreo de la red empleando LabVIEW*. Bucaramanga.
- Castejon Oliva, A., & Santamaria Herranz, G. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Editex, S.A.
- Clemente de la cruz, W. (2014). *Optimización del sistema solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en viviendas aisladas Altoandinas*. Huancayo.
- Cortés, C., Gómez, G., Betancur, F., Carvajal, S., & Guerrero, N. (2020). Análisis experimental del desempeño de un sistema solar fotovoltaico con inversor centralizado y con microinversores: caso de estudio Manizales. *TecnoLógicas*, 23(47), 1-21.
- Costa, A., Parijós, I., Pinho, J., & Macêdo, W. (2018). *Análise operacional de um microinversor conectado a um painel fotovoltaico nas dependências do GEDAE/UFPA*.
- De faria, J. (2019). *Uso de micro inversores em sistemas fotovoltaicos - avaliação comparativa e estudo de caso*. Belo Horizonte.

- Elias, M. A., Mohd Resali, M. S., Muda, N., & Ramli, R. B. (2019). *Effects of Coal and Fly Ash Dust Deposition of Photovoltaic Panel Performance: A Photovoltaic System at Coal-Fired Power Plant Case Study*.
- Godoi, R. (2018). *Análise Comparativa de Desempenho de Inversor String e Microinversor*. Uberlândia.
- Manzano, S., Peña, R., Guevara, D., & Ríos, A. (2014). Plataforma Cloud para monitoreo remoto de sistemas fotovoltaicos aislados en el Ecuador.
- Nascimento, L. R. (2019). *Performance assessment of solar photovoltaic technologies under different climatic conditions in Brazil*. Florianópolis .
- National Instruments. (23 de Febrero de 2022). Obtenido de <https://www.ni.com/es-cr/innovations/white-papers/14/the-modbus-protocol-in-depth.html>
- Orus. (2022). Recuperado el 5 de 11 de 2022, de <http://oruseficiencia.es/modbus>
- Perpiñan, O. (2015). *Energía solar fotovoltaica*.
- Planas, O. (09 de 05 de 2015). *Energia solar*. Recuperado el 19 de agosto de 2021, de <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/energia-solar-pasiva>
- Reyes , J. (17 de Mayo de 2020). *Voltaika Perú SA*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2021, de <https://voltaika.net/panales-solares-o-modulos-fotovoltaicos-2020/>
- Rivera, V., & Olmedo, P. (2015). *Estudio de sistemas de Energias Renovables con conexion a la Red*. Guayaquil.
- Schenkel, G. (2015). *Monitoramento e análise de um sistema fotovoltaico conectado à rede com uso de microinversor*. São Leopoldo.
- Teles, M. B. (2017). *Avaliação operacional das diferentes arquiteturas de interligação de geradores fotovoltaicos à rede elétrica*. Belém.
- Tobajas, C. (2018). *Energía solar fotovoltaica*. Cano Pina. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/bibliounaj/45047?page=12>

Vesat. (2021). *vesat*. Recuperado el 2 de Noviembre de 2021, de <https://www.vesat.cl/servicios/monitoreo-industrial/#:~:text=El%20Monitoreo%20industrial%20se%20orienta,eficiencia%20y%20productividad%20de%20las>

Vilca Choque, M. C. (2020). *Diseño, implementación y análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFRCs) de 2.16 kW con microinversor analizado en las condiciones geográficas y climatológicas de la ciudad de Juliaca*. Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica del microinversor Replus-250A.


Micro Replus
by ReneSola

Replus-250A Replus-250B

The smart design of ReneSola's Micro Replus inverters improves solar PV harvesting and reliability. The Micro Replus System includes the micro-inverter, MRG Communications Gateway, and Monitoring Software.

-  **Maximum power production; Resilient to dust, debris, and shading**
-  **MPPT efficiency greater than 99.5%; No single point of system failure**
-  **Simplified PV system design & installation; Performance monitoring for each PV module**
-  **Low DC input voltage, resulting in safe installation**




Intertek
4006311

Add: 301 Howard St, Suite 850, San Francisco, CA 94105
Web: www.renesola.com T: +1 415 852 7418 E: inverter@renesola.com

Input (DC)	Replus-250A	Replus-250B
Recommended PV-generator Power (Wp)	250	250
Max. DC Voltage (V)	60	60
MPPT DC Voltage Range (V)	22-55	22-55
Max. DC Current (A)	14	14
Max. Units per Branch Circuit	15	12

Output (AC)	Replus-250A	Replus-250B
Rated Maximum Continuous Output Power(W)	225	217
AC Max. cont. Output Current (A)	1.0	1.2
Nominal AC Voltage / Range (V)	240 / 211 ~ 264	208 / 186 ~ 228
AC Power Frequency / Range (Hz)	60 / 59.3 ~ 60.5	60 / 59.3 ~ 60.5
Power Factor (cosφ)	>0.99 (full load)	>0.99 (full load)

Protection		Efficiency	
Over/ Under Voltage Protection	Yes	Peak Efficiency	96.3%
Over/ Under Frequency Protection	Yes	CEC Efficiency	95.0%
Anti-Islanding Protection	Yes	MPPT Efficiency	>99.5%
Over Current Protection	Yes		
Reverse DC Polarity Protection	Yes		
Overload Protection	Yes		

General Data	
Degree of Protection	NEMA 6
Power Consumption at Night (W)	<0.17
Operation Ambient Temperature	-40°C ~ +65°C
Relative Humidity	0 ~ 95%
Display	LED Indicator
Communication	PLC (Power Line Communication)
Dimensions (WxHxD)	9.06*5.44*1.38 inch / 230*138*35 mm
Weight	4.4 lbs / 2.0 kg (including cables & connectors)
Warranty	25-year limited warranty
Compliance	UL 1741 / CSA C22.2 No.107.1 / FCC Part15 Class B

Specifications are subject to change without further notification.

Anexo 2. Ficha técnica del módulo fotovoltaico de los SFCR con microinversor.

TP660P

60 CELL SERIES



KEY FEATURES

275W

Highest power output

10 years

Material & workmanship warranty

PID Free

Certified by TUV Rheinland

25 years

Linear power output warranty

- Positive power tolerance: 0-+3%
- Robust design: Certified to withstand up to 2400 Pa wind load and up to 5400 Pa snow load
- Proved high reliability built on dozens of projects
- Four busbar cell: Improve the efficiency of modules

QUALITY WARRANTY

TALESUN guarantees that defects will not appear in materials and workmanship defined by IEC61215, IEC61730 and UL1703 under normal installation, use and maintenance as specified in Talesun's installation manual for 10 years from the warranty starting date.



ABOUT TALESUN

Zhongli Talesun Solar Co., Ltd. is one of the world's largest integrated PV manufacturers. Its standard and high-efficiency product offerings are among the most powerful and cost-effective in the industry. With over 3.5 GW of modules installed globally, we are a leading solar energy company built upon proven product reliability and sustainable performance.

PERFORMANCE WARRANTY

Polycrystalline Solar Cell Modules

- During the first year, TALESUN guarantees the nominal power output of the product will be no less than 97.5% of the labeled power output.
- From year 2 to year 24, the nominal power decline will be no more than 0.7% in each year; by the end of year 25, the nominal power output will be no less than 80.7% of the labeled power output.

ELECTRICAL PARAMETERS

Model	TP660P			
Maximum Power (Pmax/W)	260	265	270	275
Operating Voltage (Vmpp/V)	30.6	31.0	31.3	31.7
Operating Current (Imp/A)	8.50	8.56	8.63	8.69
Open-Circuit Voltage (Voc/V)	37.9	38.2	38.5	38.7
Short-Circuit Current (Isc/A)	8.97	9.04	9.09	9.17
Module Efficiency $\eta_m(\%)$	16.0	16.3	16.6	16.9
Power Tolerance	0-+3%			
Temperature Coefficient	Pmax	-0.40%/C		
	Voc	-0.31%/C		
	Isc	+0.06%/C		
Noct	45±2 C			

* STC: 1000w/m², 25°C, AM 1.5

OTHER PARAMETERS

Cell Type	Poly Crystalline
Cell Dimensions	156*156mm(6inch)
Cell Arrangement	60(6*10)
Weight	18.5kg(40.8lbs)
Module Dimensions	1640*990*35mm(64.6*39.0*1.4inch)
Cable Length	900mm(35.4inch)
Cable Cross Section Size	4mm ² (0.006sq.in)
Front Glass	3.2mm High Transmission, Tempered Glass
No. of Bypass Diodes	3/6
Packing Configuration (1)	30pcs/Pallet, 840pcs/40hq
Packing Configuration (2)	30pcs+5pcs/Pallet, 910pcs/40hq
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP65/IP67

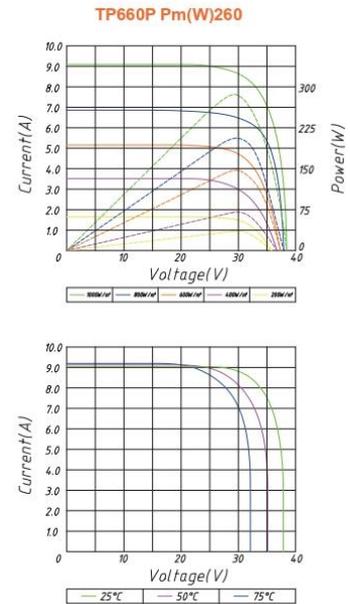
OPERATING CONDITIONS

Maximum System Voltage	1000V/DC(IEC)
Operating Temp.	-40 C -+85 C
Maximum Series Fuse	15A
Static Loading	5400Pa
Conductivity at Ground	≤ 0.1Ω
Safety Class	II
Resistance	≥100MΩ
Connector	MC4 Compatible

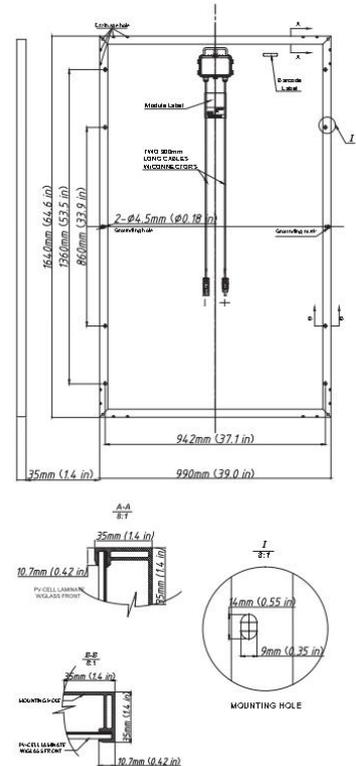
ZHONGLI TALESUN SOLAR CO.,LTD.

Email: sales@talesun.com Web: www.taesun.com Tel: + 86 400 885 1098

I-V CURVE



TECHNICAL DRAWINGS



Anexo 3. Especificaciones técnicas del medidor de energía DDS238 ZN/S.

DDS238-2 ZN/S single phase din rail type watt hour meter (D1204)



The meter is designed to measure single phase two wire AC active energy variable parameter like residential, utility and industrial application. It has remote read communication port RS485. It is a long life meter with the advantage of high stability, high over load capability, low power loss and small volume.

Basic Function

- ★LCD display with blue backlight
- ★Bi-directional total active energy, reverse active energy measure in the total active energy
- ★The meter also display real voltage, real current, real power, real power factor, real frequency, import active energy, export active energy, resettable interval energy
- ★keypad for LCD display step by step
- ★RS485 communication port, MODBUS-RTU protocol
- ★Pulse LED indicates working of meter, Pulse output with optical coupling isolation
- ★Energy data can store in memory chip more than 15 years after power off
- ★35mm din rail installation

Noting : other voltage , current are also available . Other function also can be special design as customer requirement

DDS238-2 ZN/S single phase din rail type watt hour meter (D1204)

Technical Data

Rate voltage	110V,120V,220V,230,240V
Working voltage range	0.8~1.2Un
Rate Current	5(65)A, 10(100)A, or special required
Frequency	50Hz or 60Hz ± 10%
Connection mode	Direct type
Display	LCD
Accuracy class	1.0
Power consumption	<0.5W/8VA
Start current	0.004Ib
AC voltage withstand	4000V/25mA for 60 sec
Impulse Voltage	6kV 1.2μs waveform
Over current withstand	30Imax for 0.01s
IP grade	IP20
Constant	1000~2000 imp/kWh
Pulse output	Passive pulse, pulse width is 80 ± 5 ms 5~27VDC, Max current input 27mA DC
Communication port	RS485 port, baud rate 1200~9600 bps, default is 9600bps, address 1~247, None parity, stop bits 1, data bits 8 .
Executive standard	DIN 43880, IEC62053-21, IEC62052-11, MODBUS-RTU
Outline dimension LXMxH	100x36x65mm
Weight	Approx 0.18kg

Accuracy

Voltage	0.5%
Current	0.5%
Power Factor	1%
Active power	± 1%
Reactive Power	± 2%
Active Energy (kWh)	Class 1.0

Environment

Noting : other voltage , current are also available . Other function also can be special design as customer requirement

DDS238-2 ZN/S single phase din rail type watt hour meter (D1204)

Operating temperature	-25℃~55℃
Storage temperature	-40℃~80℃
Reference temperature	23℃±2℃
Relative humidity	0 to 95%, non-condensing
Altitude	Up to 2500m
Warm up time	10s
Mechanical Environment	M1
Electromagnetic Environment	E2
Degree of pollution	2

Wire connection

PHOTO 1

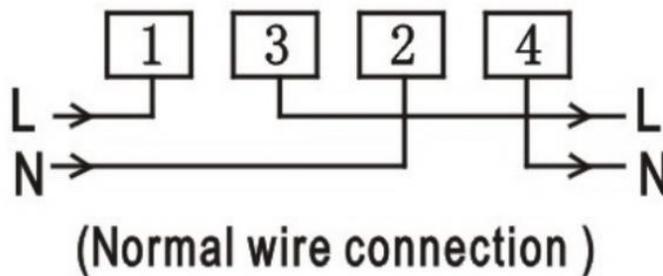
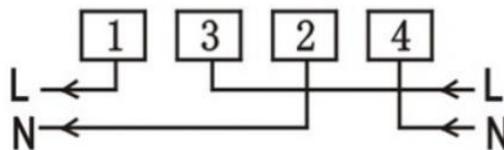


PHOTO 2



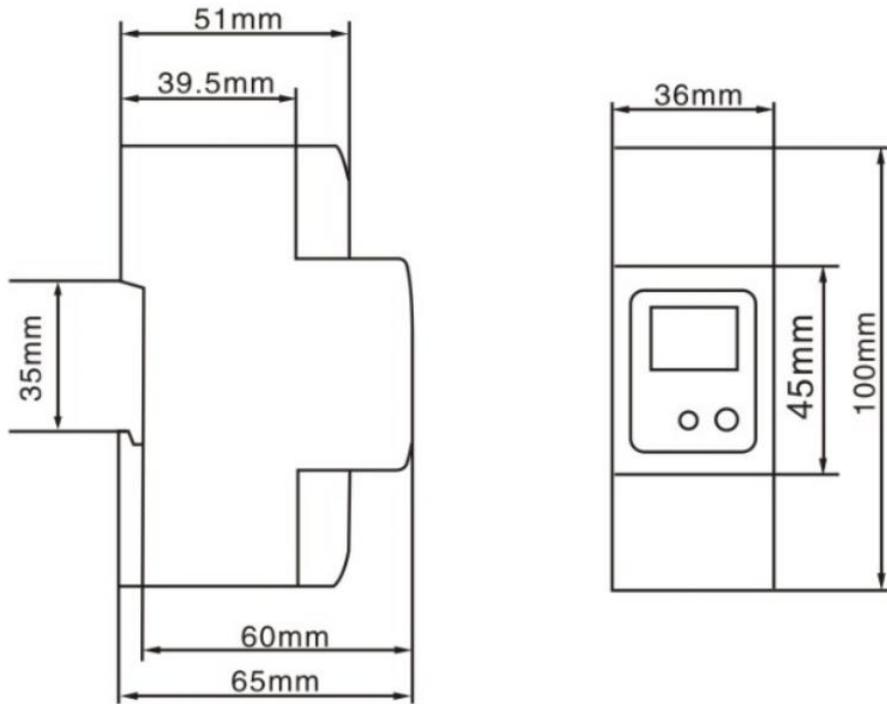
⑥ ⑤
+ -
Impulse
⑧ ⑦
A B
RS485

Note: If reverse wire connection as photo 2, the total energy still can measure

Outline dimension

Noting : other voltage , current are also available . Other function also can be special design as customer requirement

DDS238-2 ZN/S single phase din rail type watt hour meter (D1204)



Noting : other voltage , current are also available . Other function also can be special design as customer requirement

Anexo 4. Especificaciones técnicas del medidor de energía Eastron DCM 230.

Introduction

Eastron DCM230 series DC energy meters are designed for measuring and monitoring in DC systems. The din rail DC energy meters can measure of important DC parameters: Voltage, current, power and energy etc. It also support bi-directional measurement with pulse output. All data in the meter are accessible via RS485 using Modbus RTU. The meter has two versions working with AC or DC power supply. Input voltage range up to 300, 600, 1000V DC, and current inputs are flexible with DC shunt and current sensors. The multi-tariff version has a RTC equipped inside, it can provides multi-tariff information and monthly records.

PART 1 Specification

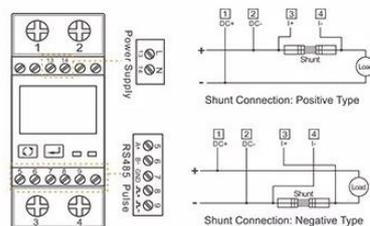
Model list



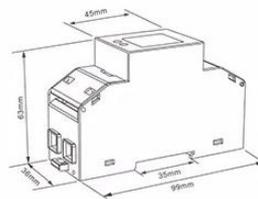
DCM230—1—1—1—1

Power Supply	1: 85~300V AC 2: 9~60V DC
Max. Voltage	1: 1000V DC 2: 600V DC 3: 300V DC
Shunt	1: 75mV 2: 60mV 3: 45mV
Tariff	1: single tariff 4: multi-tariff

② Wiring diagram



② Dimensions



Height 99mm
Width 36mm
Depth 63mm

Anexo 5. Ficha técnica del convertidor RS485 a USB.



FICHA TÉCNICA

Código: USB/RS485

CONVERTIDOR **USB/RS485**

El convertidor USB/RS485 permite conectar un ordenador PC a los dispositivos controlados mediante el bus RS-485.
¡NOTA! En los sistemas con múltiples puertos COM puede ser necesario comprobar el puerto COM asignado en el Administrador de dispositivos->Puertos (COM y LPT). El número de puerto COM asignado puede modificarse en el Administrador de dispositivos, en opciones avanzadas del puerto.



Entrada:	USB
Número de entradas:	1 uds.
Salida:	RS-485
Número de salidas:	1 uds.
Comunicación:	<ul style="list-style-type: none">transmisión bidireccional fluyente (semidúplex)transmisión unidireccional fluyente
Conectores:	USB Terminales de cables
Rango de transmisión:	1200 m (9600 b/s)
Velocidad de transmisión:	max. 115 kbps
Requisitos del sistema:	Windows XP/Vista/7/8/10, Linux
Conector de alimentación:	USB
Alimentación:	desde el puerto USB
Garantía:	2 años



DELTA-OPTI Monika Matysiak; <https://www.delta.poznan.pl>
POL; 60-713 Poznań; Graniczna 10
e-mail: delta-opti@delta.poznan.pl; tel: +(48) 61 864 69 60



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

"Universidad Pública de Calidad"