



**Universidad de Jaén**

*Escuela Politécnica Superior de Jaén*

# APLICACIÓN SOFTWARE PARA LA MONITORIZACIÓN DE UN LABORATORIO DE TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA BIFACIAL

Autor: José Hidalgo Peña

Grado: Ingeniería Electrónica Industrial

Director: Juan de la Casa Higuera y Jorge Aguilera Tejero  
Departamento del director: Ingeniería Electrónica y automática

Fecha: 02/07/2024

Licencia CC



CREA



Universidad de Jaén  
Escuela Politécnica Superior de Jaén  
Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática

Don JUAN DE LA CASA HIGUERAS y JORGE AGUILERA TEJERO, tutores del Proyecto Fin de Carrera titulado: APLICACIÓN SOFTWARE PARA LA MONITORIZACIÓN DE UN LABORATORIO DE TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA BIFACIAL, que presenta JOSÉ HIDALGO PEÑA, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, JULIO de 2024

El alumno:

JOSÉ HIDALGO PEÑA

Los tutores:

JUAN DE LA CASA HIGUERAS

JORGE AGUILERA TEJERO

## AGRADECIMIENTOS

*Antes de comenzar con el desarrollo del presente Trabajo de Fin de Grado, me gustaría reconocer y agradecer a todas las personas que me han brindado su apoyo a largo de esta etapa de formación. La cual va a finalizar con la realización de este Trabajo en el que he volcado todos los conocimientos adquiridos en estos años.*

*Agradecer a mis padres por el esfuerzo que han realizado para conseguir que el niño que se fue de casa con la ilusión de estudiar y conseguir ese sueño que tenía desde pequeño, ahora vuelva a casa con un crecimiento personal el cual no habría obtenido sin su apoyo. A mi pareja por seguir dándome ánimos aún cuando las cosas no salían como esperábamos y confiar en mí.*

*A mis amigos y compañeros del Grupo de Investigación IDEA, por las enseñanzas y habilidades que han compartido conmigo, las cuales han hecho que mejore mi forma de ver la ingeniería y la investigación.*

*Finalmente, agradecer a todo el profesorado que durante esta etapa me han cedido su conocimiento para formarme como ingeniero. En especial a Juan de la Casa y Jorge Aguilera por despertar en mi el amor y curiosidad por la Ingeniería Solar Fotovoltaica, dándome la oportunidad de trabajar con ellos y depositándome su confianza.*

## RESUMEN

En la actualidad, la tecnología fotovoltaica (FV) se postula como una de las principales opciones de generación de energía eléctrica de origen renovable que permitirán a nuestra sociedad una transición hacia un modelo energético descarbonizado y sostenible. Así, la potencia acumulada a nivel mundial de esta tecnología ha evolucionado a razón de una tasa de crecimiento compuesto anual superior al 35% en las últimas dos décadas.

Aunque ya se considera una tecnología madura y rentable, son múltiples las nuevas propuestas tecnológicas y de diseño que persiguen aumentar su eficiencia y competitividad; un claro ejemplo de este hecho ha sido la irrupción en el mercado de la tecnología FV bifacial.

El presente Trabajo de Fin de Grado se engloba dentro de las tareas que se realizan en un proyecto de investigación que tiene como propósito, contribuir a la caracterización de la tecnología fotovoltaica bifacial y tiene como objetivo principal el desarrollo de una herramienta software capaz de recopilar los parámetros de operación de una instalación fotovoltaica de 20 kW, que ha sido diseñada y construida con fines científicos y puede ser considerada como un laboratorio de investigación.

Partiendo del sistema fotovoltaico y de monitorización previamente instalado y en operación, se ha desarrollado un software que unifica y sincroniza la recopilación de todas las variables proporcionadas por los diferentes equipos. Para ello, se han usado diferentes protocolos de comunicación con los inversores y el sistema de adquisición de datos. Este software almacena los parámetros obtenidos con un periodo de 1 minuto, cumpliendo con los requisitos expuestos en la norma IEC 61724:2022. La aplicación genera un archivo diario en formato CSV, con una estructura de datos que facilita su posterior uso en la caracterización y redacción de informes acerca de la instalación en estudio.

## **ABSTRACT**

Currently, photovoltaic (PV) technology is emerging as one of the main options for generating renewable electric energy, which will enable our society to transition towards a decarbonized and sustainable energy model. Thus, the global accumulated power of this technology has evolved at a compound annual growth rate of over 35% in the past two decades.

Although it is already considered a mature and profitable technology, there are numerous new technological and design proposals aimed at increasing its efficiency and competitiveness; a clear example of this is the market emergence of bifacial PV technology.

This Final Degree Project is part of a research project aimed at contributing to the characterization of bifacial photovoltaic technology. Its main objective is to develop a software tool capable of collecting the operating parameters of a 20 kW photovoltaic installation, which has been designed and constructed for scientific purposes and can be considered a research laboratory.

Based on the previously installed and operational photovoltaic and monitoring system, software has been developed to unify and synchronize the collection of all variables provided by the different equipment. To achieve this, different communication protocols with the inverters and the data acquisition system have been used. This software stores the obtained parameters at 1-minute intervals, complying with the requirements set out in the IEC 61724:2022 standard. The application generates a daily CSV file with a data structure that facilitates its subsequent use in the characterization and preparation of reports on the installation under study.

## Contenido

1. INTRODUCCIÓN .....	8
1.1. Contexto.....	8
1.2. La tecnología fotovoltaica bifacial .....	9
1.3. Arquitecturas de monitorización.....	13
1.4. Normas y certificaciones.....	14
2. DESCRIPCIÓN DEL LABORATORIO FV BIFACIAL.....	16
2.1. Descripción global del sistema fotovoltaico .....	16
2.2. Elementos principales del sistema.....	17
2.2.1. Módulos .....	17
2.2.2. Inversores .....	18
2.2.3. Sistema de adquisición de datos .....	19
2.3. Descripción de las variables y sensores.....	20
2.3.1. Variables ambientales y de operación.....	20
2.3.2. Sensores.....	21
2.3.3. Parámetros eléctricos .....	22
2.3.4. Resumen .....	22
2.4. Consideraciones previas al diseño de la aplicación .....	23
2.4.1. Inversor.....	23
2.4.2. Sistema de adquisición de datos .....	24
2.4.3. Problemas a resolver con el presente Trabajo de Fin de Grado .....	25
2.5. Objetivos del Trabajo de Fin de Grado .....	25
3. PROCESO DE DISEÑO DE LA APLICACIÓN SOFTWARE .....	26
3.1. Arquitectura de monitorización adoptada .....	26
3.2. Elección del lenguaje de programación .....	27
3.2.1. Librerías.....	28
3.3. Métodos de comunicación seleccionados .....	29
3.3.1. Sistema de adquisición de datos .....	29
3.3.2. Inversores.....	30
3.4. Hardware y conexionado de los equipos .....	30
3.5. Estructura de la aplicación.....	34
3.5.1. Datos procedentes del sistema de adquisición de datos.....	35
3.5.2. Datos procedentes de los inversores. Dificultades encontradas y soluciones propuestas. ....	37
3.6. Creación de los ficheros de datos.....	39

3.7. Comunicación con el usuario.....	40
4. RESULTADOS.....	41
4.1. Guardado de los archivos.....	41
4.2. Gráficas generadas.....	44
4.3. Uso en el Grupo de investigación.....	45
5. CONCLUSIONES.....	48
6. LÍNEAS FUTURAS.....	49
7. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	50
ANEXO A. HOJAS DE CARACTERÍSTICAS.....	51
A. 1. Módulo Exiom® EX470-490HJT(B)-144(HC) (166) BF.....	51
A. 2. Módulo REC Alpha® Pure-R Series.....	52
A. 3. Inversor Huawei® SUN2000-3- 10KTL-M1 (High Current Version).....	53
A. 4. Convertidor RS485.....	54
A. 5. Registros Modbus Inversor.....	55
ANEXO B. MANUAL DE USUARIO.....	56

## Índice de figuras

<i>Figura 1- Vista aérea de la instalación.....</i>	8
<i>Figura 2- Aporte de la energía solar fotovoltaica a la red eléctrica para el día 29/05/2024... </i>	10
<i>Figura 3- Tendencia en la fabricación de células fotovoltaicas.(2024 IRPV 15th Edition, n.d.)</i>	11
<i>Figura 4- Tecnologías de célula más utilizadas.(2024 IRPV 15th Edition, n.d.)</i>	12
<i>Figura 5- Configuraciones de los sub generadores FV.....</i>	17
<i>Figura 6- Módulos usados en la instalación (Izquierda: Exiom490, Derecha: REC ALPHA).</i>	18
<i>Figura 7- Caseta de inversores.....</i>	19
<i>Figura 8- Sistema de adquisición de datos.....</i>	20
<i>Figura 9- Sensores de irradiancia usados en la instalación.....</i>	21
<i>Figura 10- Termopar tipo T RS PRO.....</i>	22
<i>Figura 11- Ubicación de los sensores colocados.....</i>	23
<i>Figura 12- Arquitectura de monitorización adoptada.....</i>	27
<i>Figura 13- Conversor RS485 a USB.....</i>	31
<i>Figura 14- Esquema de conexiones del conversor RS485.....</i>	31
<i>Figura 15-Tabla de definición de pines de comunicación.....</i>	32
<i>Figura 16- Proceso de conexión del puerto de comunicaciones del inversor.....</i>	33
<i>Figura 17-Estructura del programa.....</i>	34
<i>Figura 18- Algoritmo de recepción para el sistema de adquisición de datos.....</i>	36
<i>Figura 19- Algoritmo para la recepción de los registros de los inversores.....</i>	38
<i>Figura 20-Interfaz del programador de tareas.....</i>	39
<i>Figura 21-Formato de nombre de los archivos “.csv” brutos.....</i>	40
<i>Figura 22- Ejemplo del correo enviado por la aplicación.....</i>	41

<i>Figura 23- Carpeta de datos diarios de la instalación.</i> .....	42
<i>Figura 24- Fragmento del archivo generado por la aplicación software</i> .....	43
<i>Figura 25- Evolución de la temperatura medida en la instalación.</i> .....	44
<i>Figura 26- Curva de potencia para un día concreto.</i> .....	45
<i>Figura 27- Instalación fotovoltaica bifacial vertical. (Sergio Contreras, 2023)</i> .....	46
<i>Figura 28- Smart tree correspondiente al Proyecto MOBILETE.</i> .....	47
<i>Figura 29- Renderizado del Proyecto MOBILETE Linares.</i> .....	48

## **Índice de tablas**

<i>Tabla 1- Parámetros característicos de los módulos FV</i> .....	18
<i>Tabla 2- Parámetros característicos de los inversores</i> .....	19



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Contexto

El presente Trabajo Fin de Grado se realiza en el marco del proyecto “Modelos optimizados para la caracterización energética de Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red de tecnología bifacial” (Código: PID2021-124161OB-I00), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España, dentro del programa de Proyectos de Generación de Conocimiento 2021, se está implementando en el Campus Científico Tecnológico de Linares un nuevo laboratorio de caracterización específicamente diseñado para el estudio e investigación de sistemas fotovoltaicos (FV) bifaciales Fig. 1.



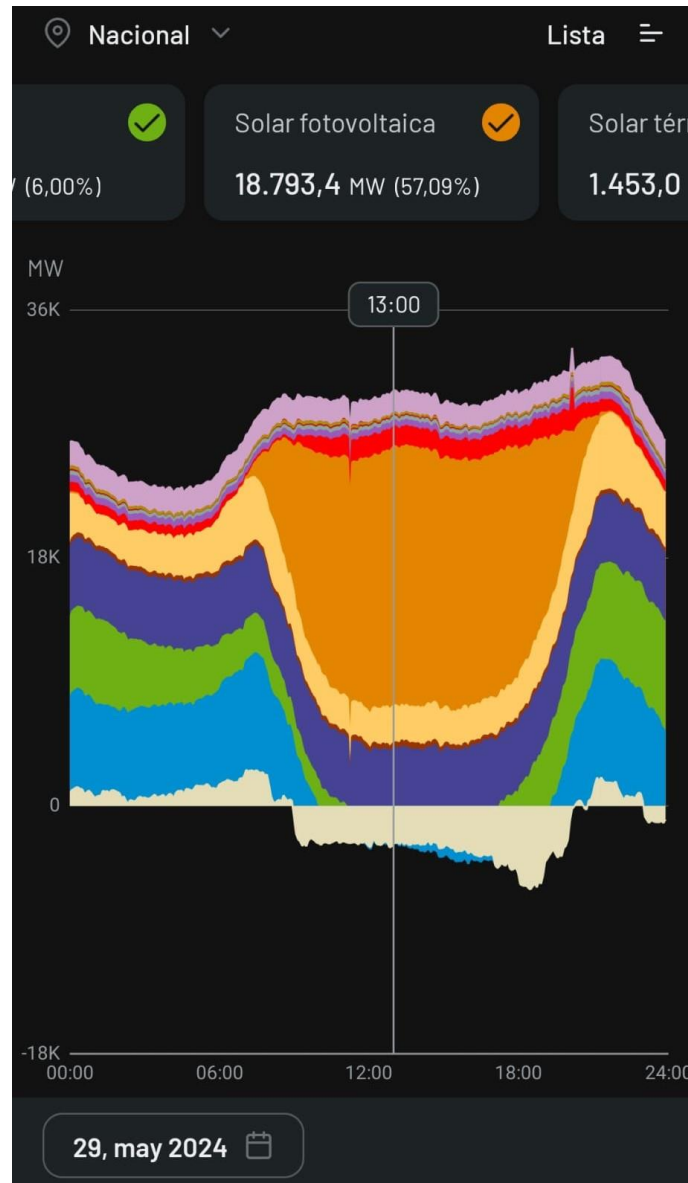
*Figura 1- Vista aérea de la instalación*

## 1.2. La tecnología fotovoltaica bifacial

Las estadísticas de capacidad renovable 2024 publicadas por la Agencia Internacional de Energías Renovables (Renewable Energy Agency, 2024) muestran que en el año 2023 se alcanzó un nuevo récord anual en el despliegue de energías renovables en el sector eléctrico a nivel mundial ya que se pusieron en marcha 473 GW de potencia nominal. Este dato afianza la tendencia que ha seguido el mercado en la última década, apostando claramente por la implantación de este tipo de energías frente a las que se denominan como “no renovables”. Las cifras indican que el 86% de la nueva capacidad de producción puesta en marcha durante el último año tiene origen renovable, destacando el crecimiento y el papel de la energía solar fotovoltaica, 345,5 GW en nuevas instalaciones, dato que permite asegurar que ya se ha alcanzado la cifra de 1,5TW fotovoltaicos instalados sobre nuestro planeta.

El sistema eléctrico español en absoluto es ajeno a esta tendencia. A finales del año 2023, y según datos de Red Eléctrica Española, de los 125,6 GW que conforman nuestro parque generador, 25,6 GW corresponden a potencia solar fotovoltaica (aproximadamente 5,6GW puestos en marcha en año 2023). La potencia fotovoltaica añadida al sistema eléctrico en red español se ha multiplicado por tres en el último lustro, suponiendo ya casi el 34% de la potencia renovable en España y todo ello sin incluir la multitud de instalaciones existentes en nuestro país, de pequeño y mediano tamaño, legalizadas en régimen de autoconsumo.

De los dos párrafos anteriores es fácil vislumbrar la importancia de la energía solar fotovoltaica en la generación de electricidad con origen renovable. Como ejemplo de la magnitud de aportación a la Red Eléctrica Española, se muestra una gráfica obtenida de su aplicación oficial (redOS):



*Figura 2- Aporte de la energía solar fotovoltaica a la red eléctrica para el día 29/05/2024*

En la figura 2 se observa el aporte de la energía solar fotovoltaica a lo largo del día 29 de mayo de 2024, el cuál superó el 50% de la generación eléctrica total, esto se ha repetido de forma recurrente en durante los últimos meses.

Entrando en detalle, ya no en la potencia si no en la tecnología de los módulos, se pueden diferenciar dos tecnologías las cuales abarcan la mayor parte del mercado:

- Tecnología monofacial: esta ha sido la tecnología dominante en el mercado desde el lanzamiento de la energía solar fotovoltaica. Basada en células monofaciales, las cuales solo están capacitadas para generar energía a partir de la radiación solar por una de sus caras. Esta tecnología ha avanzado mucho

desde su creación, llegando a obtenerse módulos con una eficiencia superior al 20%. Siendo el material más utilizado el silicio monocristalino.

- Tecnología bifacial: esta tecnología es una evolución de los tradicionales módulos FV monofaciales, con la diferencia de que sí que son capaces de captar irradiancia solar por ambas caras. Esto se traduce en un aumento de la producción fotovoltaica, así como de un aumento de la eficiencia de los módulos por unidad de área. Algunos autores afirman que, en algunos casos muy favorables, podría incrementarse la energía producida utilizando tecnología bifacial hasta en un 30%. (REFERENCIA Pickerel, K. 2018).

Las ventajas que ofrecen los módulos bifaciales han provocado que el mercado haya cambiado de tendencia, si atendemos a la edición anual del International Technology Roadmap for Photovoltaics (ITRPV) de marzo de 2024, podemos observar el cambio de tendencia en la fabricación de células fotovoltaicas.

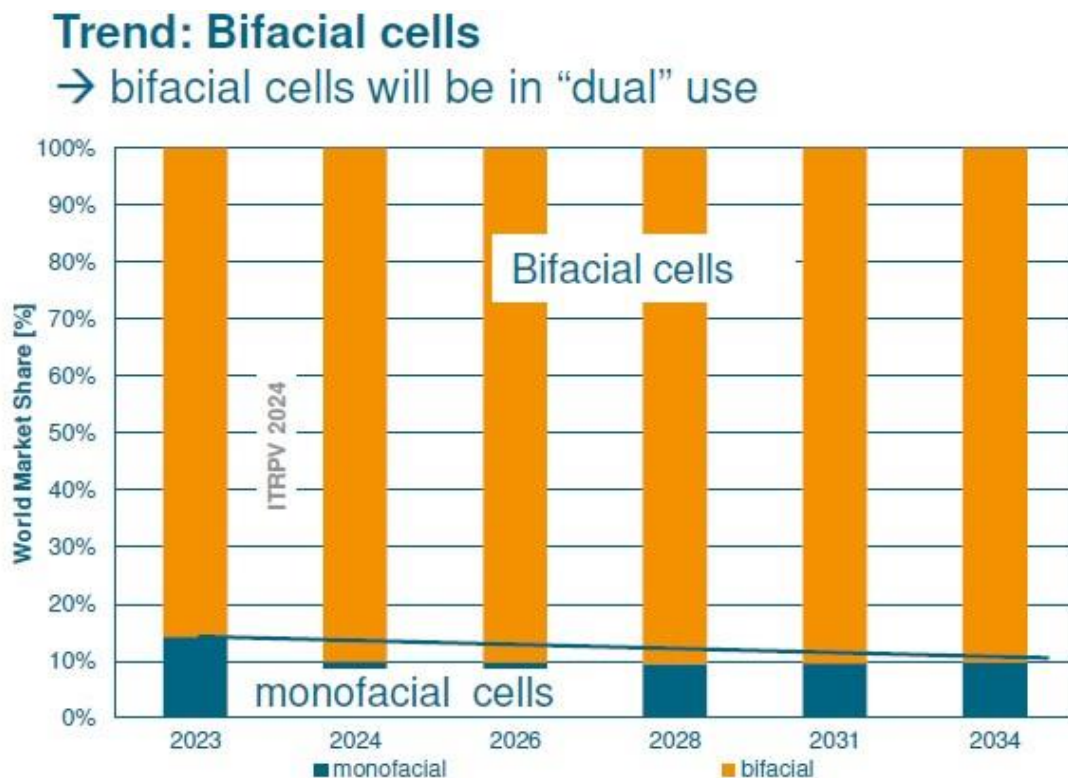


Figura 3- Tendencia en la fabricación de células fotovoltaicas.(2024 IRPV 15th Edition, n.d.)

Aunque sea evidente que la tecnología bifacial está acaparando el mercado de fabricación de células, los módulos monofaciales no desaparecerán al menos, en 15



años vista. Según ITRPV, la tendencia de fabricación de módulo tradicionales va en decremento, pero no concuerda con la cantidad de células monofaciales que se producen. Esto se debe a que los fabricantes están utilizando células bifaciales, pero con encapsulados donde su cara posterior no es translúcida, convirtiendo lo que en un principio podría ser un módulo bifacial, en un módulo monofacial clásico.

Si seguimos adentrándonos en la tecnología bifacial, los fabricantes cada vez innovan más en la fabricación de células en busca de mayores eficiencias. El avance de la tecnología, ha favorecido la creación de células bifaciales con eficiencias combinadas próximas al 25%.

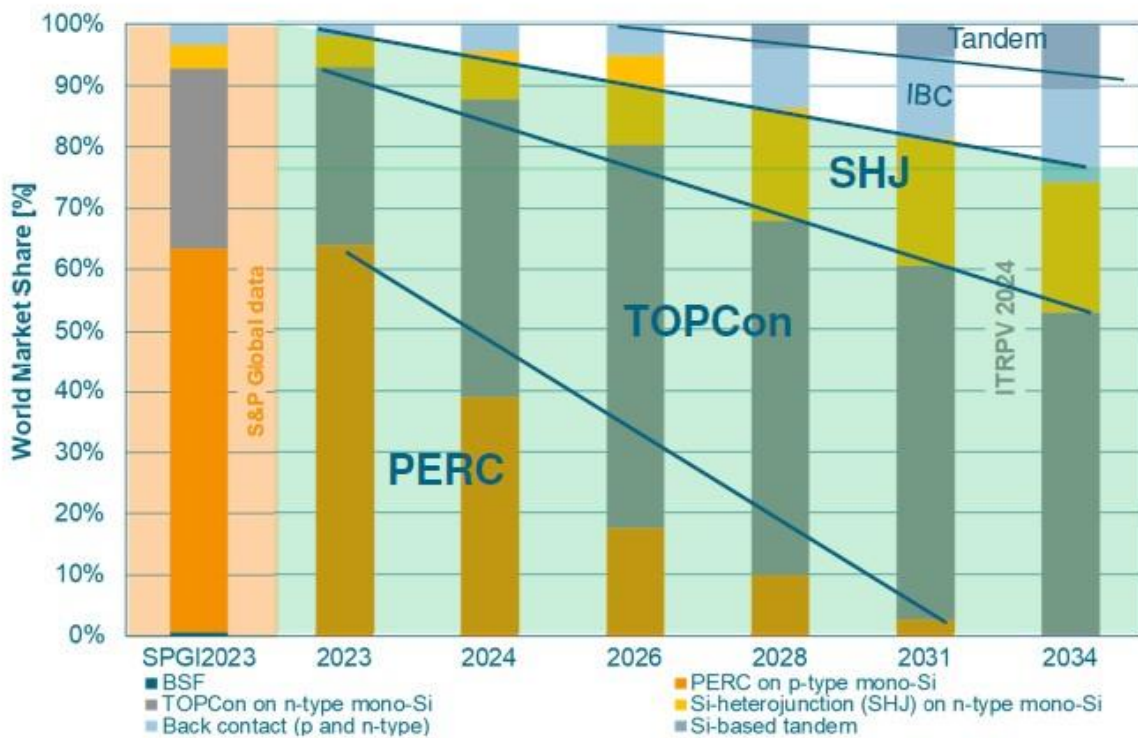


Figura 4- Tecnologías de célula más utilizadas.(2024 IRPV 15th Edition, n.d.)

Como se aprecia de la figura anterior, el mercado de fabricación de células se encuentra repartido actualmente entre 2 tipos. La tecnología PERC y TOPCon.

Se va a proceder a explicar escuetamente ambos tipos de células:

- Tecnología PERC: en este tipo de células tenemos una capa dieléctrica depositada en la parte trasera de la misma. Esto reduce la recombinación de

portadores de carga, lo que mejora la eficiencia de la célula al permitir que más electrones alcancen el contacto trasero y contribuyan a la corriente eléctrica. Asimismo, esto mejora la reflexión de la luz no absorbida en un primer momento, ayudando su absorción. Además, esta tecnología mejora las pérdidas por temperatura de los módulos.

- Tecnología TOPCon: es una innovación en la fabricación de módulos FV que mejora la eficiencia de las células solares de silicio cristalino. En estas células una capa muy delgada de óxido de silicio se deposita sobre la célula solar, esto, mejora la pasivación de la superficie, reduce las pérdidas resistivas y mejora la eficiencia.

Estas tecnologías no son excluyentes entre ellas, siendo posible la creación de células con una combinación de ambas. Aunque sean 2 tecnologías similares según el ITRPV será la tecnología TOPCon la cuál abarcará la mayor parte del mercado de cara al año 2034.

### **1.3. Arquitecturas de monitorización**

Los sistemas de monitorización en sistemas fotovoltaicos son fundamentales para garantizar la eficiencia y fiabilidad en la generación de energía solar. Estos sistemas permiten la supervisión en tiempo real del funcionamiento de los módulos FV, la detección de fallos, la optimización de la producción energética y el mantenimiento predictivo (Pérez et al., 2020).

Como consecuencia de integrar tecnologías avanzadas como pueden ser los sensores IoT, las plataformas de análisis de datos y los sistemas de control remoto, los sistemas de monitorización proporcionan información crítica sobre parámetros clave como: la irradiancia solar, temperatura del módulo, corriente y voltaje generados (Rathore et al., 2019).

Este enfoque no solo mejora la eficiencia operativa y la vida útil de los sistemas fotovoltaicos, sino que también facilita la gestión energética en instalaciones tanto residenciales como industriales e investigación (Huang & Tan, 2017).

Se van a comentar brevemente dos de los tipos principales de arquitecturas de monitorización más típicas, la primera de ellas se apoya en un software realizado por el propio usuario y la segunda está creada a partir de los softwares proporcionados por el propio fabricante.

- Tradicionalmente, los sistemas de monitorización se conforman de un grupo de sensores que miden variables ambientales y eléctricas de los sistemas fotovoltaicos, conectadas a un sistema de adquisición de datos. De este dispositivo, tendríamos una conexión a un sistema de almacenamiento en local, el cual mediante una herramienta software “ad-hoc” gestionaría el procesamiento y almacenamiento de todos los datos. Este tipo de estructura de monitorización es fácilmente modificable para tener un sistema que almacene los datos en la nube, aparte de en archivos locales. De esta forma sería posible su acceso desde la distancia sin necesidad de una conexión fija al equipo que almacena los datos. El principal inconveniente de este tipo de sistemas de monitorización es la necesidad de un software generado por el usuario para la recogida y almacenamiento de los parámetros de operación. Para ello es necesario desarrollar herramientas en Python, LabVIEW o Matlab entre otros.
- La segunda forma de realizar sistemas de monitorización se basa en el uso de los softwares propios del fabricante de los equipos. Esto se consigue gracias a los avances en electrónica e informática de los fabricantes, los cuales permiten tener dispositivos que no necesitan de una excesiva formación académica para utilizarse, siendo de mayor utilidad para el usuario medio, pero con limitaciones al intentar usarse con fines investigativos. Dichos softwares facilitan el montaje de los distintos sistemas de monitorización, pero a cambio ofrecen un menor control por parte del usuario a la hora de modificar variables como el tiempo de muestreo o el fondo de escala. Otro inconveniente de este tipo de arquitectura de monitorización basada en los softwares del fabricante puede ser, las incompatibilidades que se puedan presentar entre los diferentes sensores a la hora de buscar un único formato de salida en los datos obtenidos.

#### **1.4. Normas y certificaciones**

La importancia de usar normas y certificaciones en el análisis de sistemas fotovoltaicos radica en la necesidad de asegurar la calidad y fiabilidad de las medidas realizadas. Las normas establecen criterios y metodologías uniformes para la evaluación y comparación de su desempeño. La adopción de estándares reconocidos internacionalmente también contribuye a la confianza del mercado, promoviendo inversiones y el desarrollo sostenible de la energía solar (Dunlop & Halton, 2006).

La norma IEC 61724:2022 es una de las más relevantes en este ámbito, esta norma describe el equipo, los métodos y la terminología para la supervisión y el análisis del rendimiento de los sistemas fotovoltaicos. A partir de datos obtenidos, se definen los parámetros que deben ser calculados y las métricas de rendimiento. En su apartado 6, define los tiempos de adquisición, almacenamiento y reporte de las variables monitorizadas en función de la clase del sistema.

Esta norma define métodos precisos para la medición y el análisis de parámetros críticos como la irradiancia, la temperatura del módulo, la energía generada y las pérdidas del sistema. La norma IEC 61724:2022 también incluye especificaciones para la recopilación de datos, el cálculo de indicadores de rendimiento y la presentación de informes, garantizando así la consistencia y precisión en la evaluación de los sistemas fotovoltaicos (IEC, 2022).

El uso de la IEC 61724:2022 y otras normas similares es fundamental para identificar y solucionar problemas operativos, optimizar el rendimiento energético y prolongar la vida útil de los sistemas fotovoltaicos (Huld et al., 2010). Así pues, el cumplimiento de estas normas es crucial para cumplir con los requisitos regulatorios y obtener certificaciones que aseguren a los consumidores y a los inversores la calidad y la sostenibilidad de la instalación fotovoltaica.

Si nos centramos en la norma IEC 61724:2022, su principal objetivo es proporcionar directrices estandarizadas y claras acerca de la monitorización de los sistemas FV. Se trata de una norma muy completa la cuál abarca desde los sistemas FV autónomos hasta los sistemas conectados a red. Cubriendo diferentes niveles de monitorización, los cuales dependen de la complejidad y propósito de la instalación FV.



A modo de resumen, la norma IEC 61724:2022 se centra en dar las directrices para aplicar la norma en diferentes ámbitos, como pueden ser:

- Parámetros de monitorización: irradiancia solar, temperatura de módulos, condiciones ambientales y parámetros de funcionamiento del sistema FV.
- Equipos y métodos de medida: especificaciones de los sensores y sistemas de adquisición de datos.
- Análisis de datos: metodología de análisis de los datos recopilados.
- Mantenimiento y calibración: con el fin de asegurar la continuidad y precisión de las medidas realizadas.
- Informes y documentación: indicaciones para la creación de informes y reportes con una información clara y comprensible.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL LABORATORIO FV BIFACIAL**

### **2.1. Descripción global del sistema fotovoltaico**

El sistema, que ha sido legalizado y conectado a la red como una instalación FV orientada al autoconsumo, cuenta con una potencia global de inversor de 20kW. El sistema está compuesto por cinco inversores trifásicos de 4 kW de potencia que cuentan con dos seguidores independientes del punto de máxima potencia (MPPT) cada uno de ellos. Esto nos permitirá, gracias al algoritmo independiente de los MPPT por cada uno de los strings, evaluar configuraciones y punto de operación de los generadores FV hasta para diez configuraciones diferentes. Con la puesta en marcha de este laboratorio se pretende realizar estudios sobre la influencia de la distancia entre filas en la generación de la tecnología solar bifacial. Así mismo se investiga el efecto de la orientación de los módulos en su degradación y generación (retrato o apaisado). Las diferentes configuraciones de los sub generadores Fig. 5 que conforman cada uno de los strings permitirán, si se alcanzan los objetivos específicos propuestos en el proyecto, contribuir al desarrollo de la tecnología gracias a la propuesta de nuevos modelos de caracterización basados en inteligencia artificial y minería de datos.

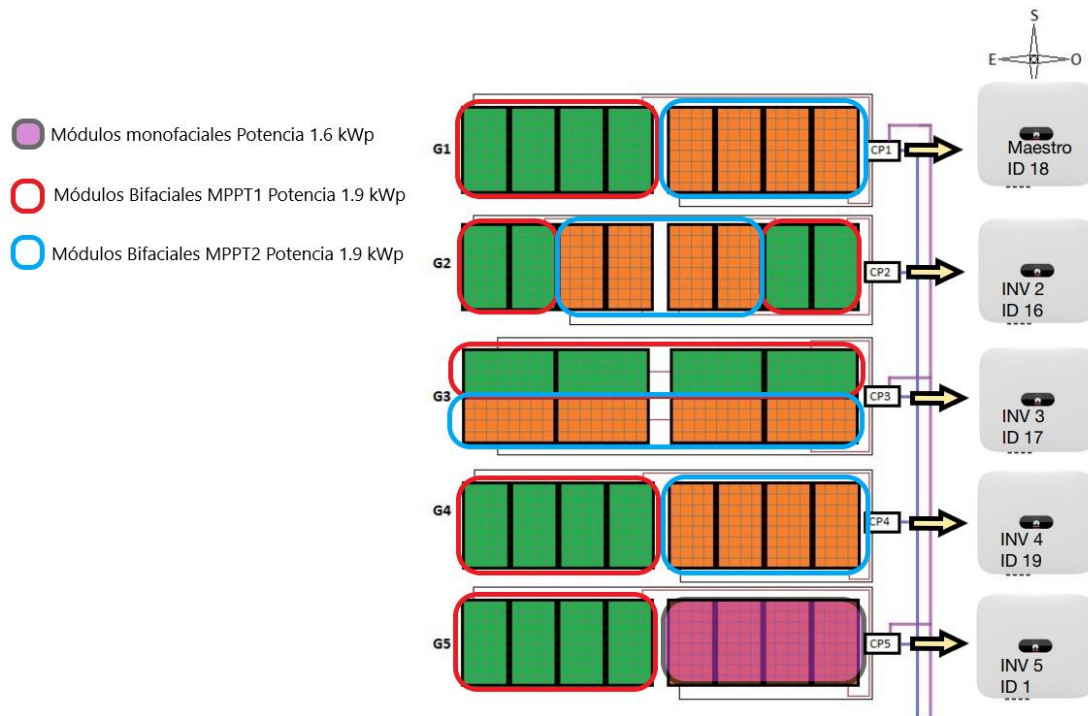


Figura 5- Configuraciones de los sub generadores FV

## 2.2. Elementos principales del sistema

Se pasará a continuación a describir someramente los elementos principales que conforman el sistema y que son de importancia para argumentar la solución adoptada.

### 2.2.1. Módulos

Los generadores están conformados por dos tipos de módulos FV de igual tecnología de fabricación (HIT). Un primer modelo incorpora células y encapsulado que le otorgan características bifaciales **Exiom® EX470-490HJT(B)-144(HC) (166) BF de 490 Wp** (véase Anexo A.1). Un segundo modelo, cuenta con células bifaciales, pero con un encapsulado que lo convierte en monofacial **REC Alpha® Pure-R Series de 410 Wp**, (Anexo A.2). El conjunto de todos los módulos nos proporciona una potencia pico de generador total aproximada de 20kW.

Modelo	EX490HJT	REC Alpha Pure-R
Pm (W)	490	410

Voc (V)	54	58.9
Isc (A)	11	8.84
Vm (V)	46.48	49.4
Im (A)	10.54	8.3

Tabla 1- Parámetros característicos de los módulos FV

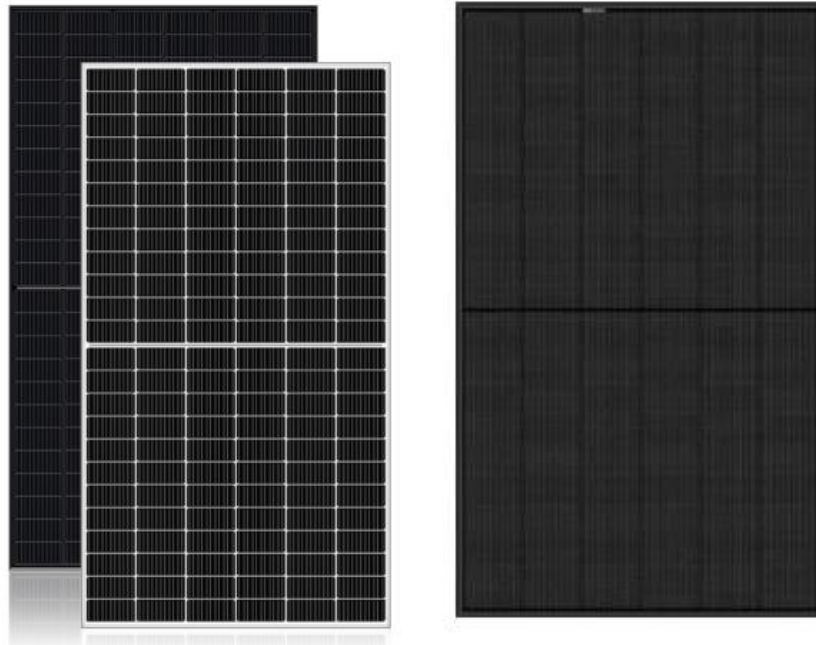


Figura 6- Módulos usados en la instalación (Izquierda: Exiom490, Derecha: REC ALPHA)

### 2.2.2. Inversores

La etapa de potencia está compuesta por cinco inversores de la marca **Huawei® SUN2000-3- 10KTL-M1 (High Current Version) de 4 kW**. Cada inversor cuenta con dos entradas independientes del MPPT. Se ha procurado que cada una de las etapas trabaje a tensiones y potencias similares para considerar uniformemente distribuido el efecto de las pérdidas por seguimiento del punto de máxima potencia. Con respecto a su bus de comunicaciones, estos inversores están conectados en cascada y con una configuración maestro-esclavo. A cada uno de estos inversores llega un string separado en dos MPPT, en todos ellos los dos seguidores trabajan con sistemas iguales, a excepción de uno de ellos que tiene uno de los seguidores MPPT con tecnología monofacial.

Modelo	SUN2000-3- 10KTL-M1
Potencia máxima (W)	7500

Voltaje máximo (V)	1100
Rango de operación (V)	140~980
Corriente máxima (A)	11
Corriente de cortocircuito (A)	15
Potencia a la salida (W)	4000

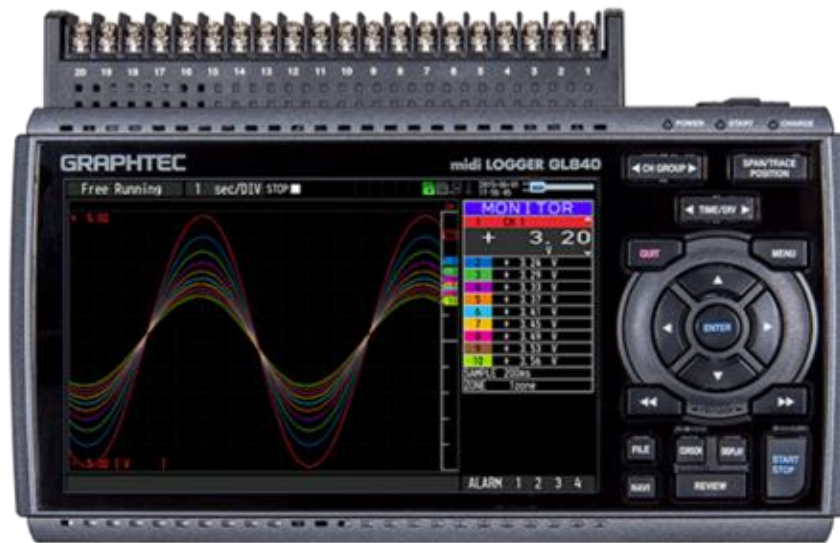
*Tabla 2- Parámetros característicos de los inversores*



*Figura 7- Caseta de inversores*

### 2.2.3. Sistema de adquisición de datos

También se incorpora un sistema adquisición de datos de propósito general, concretamente un **Graphtec® GL840** como el de la figura 8, que cuenta con pantalla y botones de ajuste para facilitar su configuración. Este equipo medirá y registrará todas las variables ambientales proporcionadas por los sensores que se distribuirán por el sistema.



*Figura 8- Sistema de adquisición de datos*

## 2.3. Descripción de las variables y sensores

### 2.3.1. Variables ambientales y de operación

Explicados los componentes de la instalación, es de gran importancia comentar las variables que se van a monitorizar. Atendiendo a los distintos apartados de la norma IEC 61724:2022, han sido identificados los parámetros de mayor importancia para el estudio del laboratorio FV presentado. Estos son:

- Irradiancia frontal y posterior en el plano horizontal no corregida espectralmente ( $W/m^2$ ).
- Irradiancia frontal y posterior en el plano del generador no corregida espectralmente ( $W/m^2$ ).
- Irradiancia posterior corregida espectralmente medida a diferentes alturas sobre la vertical, coplanar al plano posterior del generador y distribuida estratégicamente por diversos puntos de la instalación ( $W/m^2$ ).
- Temperatura ambiente ( $^{\circ}C$ ).
- Temperatura ( $^{\circ}C$ ) de operación de módulo (3 medidas en total) estratégicamente distribuidas por los generadores.
- Tensión (V) y corriente (A) de operación en cada uno de los diez subsistemas.
- Potencia activa (W) de salida de cada uno de los cinco inversores que conforman la instalación.



### 2.3.2. Sensores

Asimismo, es necesario hacer una descripción de los sensores que se usan para la medida de los parámetros significativos del generador FV.

- Para la medida de la irradiancia corregida espectralmente en tiempo real de un sistema bifacial, la norma IEC 61724:2022 indica que será necesaria la existencia de sensores capaces de medir la irradiancia coplanar y horizontal de la cara anterior y posterior. Para ello se han usado siete mini módulos fotovoltaicos calibrados frente a piranómetro previamente en nuestros laboratorios de investigación. También se registrará irradiancia frontal y posterior no corregida espectralmente tanto en el plano del generador como en el plano horizontal. Para ello se utilizarán dos parejas de piranómetro-albedómetro. Concretamente, los piranómetros empleados son del modelo **SMP7** de **Kipp&Zonen**, mientras que el modelo de albedómetros es el **SMP3** del mismo fabricante.



*Figura 9- Sensores de irradiancia usados en la instalación*

- Con respecto al resto de parámetros ambientales, que según la norma IEC 61724 son determinantes en el comportamiento del sistema FV, en una primera fase se medirán principalmente temperaturas (diferentes temperaturas de operación del módulo estratégicamente distribuidas y una medida de temperatura ambiente). El sensor utilizado en la medición de la temperatura es un termopar tipo **T RS PRO**, que, en conjunción con el sistema de adquisición

de datos, presenta las características deseadas para cumplir los requisitos de precisión impuestos por las diferentes normas: ofrece tiempos de respuestas muy rápidos para intervalos de muestreo pequeños (mínimo 0.7 segundos), poseen flexibilidad para el buen conexionado en la parte posterior de los módulos bifaciales y siguen la norma IEC 60584. Además, cumple los requisitos del apartado 9.1 de la norma IEC 61724:2022 en cuanto a la resolución e incertidumbre de la medida. La localización de los termopares se da en la cara posterior como queda indicado en el apartado 9.1 de la norma IEC 61724:2022.



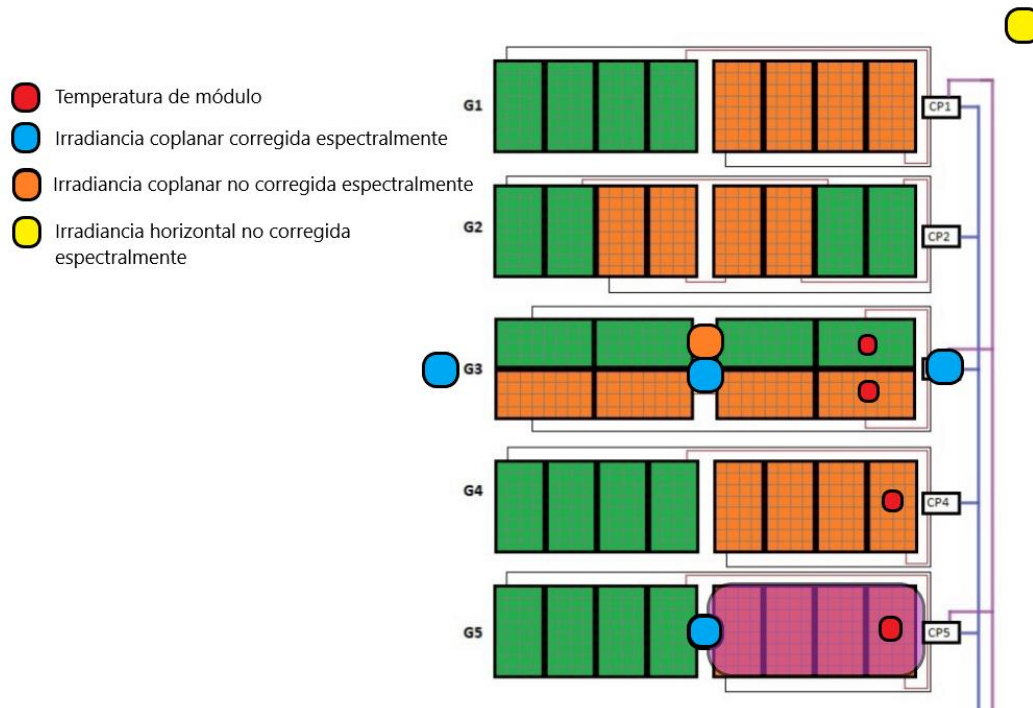
*Figura 10- Termopar tipo T RS PRO*

### **2.3.3. Parámetros eléctricos**

Los parámetros eléctricos de operación de los distintos sub generadores serán medidos por los propios inversores. Suponiendo que los inversores siempre van a trabajar en el punto de máxima potencia del sub generador FV nos aseguramos que las medidas de tensión y corriente son fiables, esto se debe a la alta fiabilidad de los algoritmos seguidores del punto de máxima de los inversores.

### **2.3.4. Resumen**

Ya vistos, tanto las diferentes variables que se van a monitorizar, como los diversos sensores que serán utilizados en la instalación, se muestra el esquema sintético con las diferentes ubicaciones de dichos sensores.



*Figura 11- Ubicación de los sensores colocados*

## 2.4. Consideraciones previas al diseño de la aplicación

Para entender el funcionamiento de la aplicación software es importante citar y explicar brevemente los distintos protocolos de comunicación del inversor y del sistema de adquisición de datos disponibles, para posteriormente describir la solución elegida.

### 2.4.1. Inversor

El inversor Huawei es capaz de transmitir los datos a la plataforma web FusionSolar a través de conexión Ethernet o WIFI, de esa forma el cliente tiene una visión clara del funcionamiento en tiempo real de su instalación. El inconveniente que presenta este método es que los parámetros eléctricos son actualizados cada 5



minutos, por tanto, no cumple con el intervalo máximo de muestreo para un sistema de clase B, que según la norma IEC 61724:2022 es de 1 minuto, por tanto, esto limita la exactitud del sistema de monitorización.

Por otro lado, el inversor es capaz de comunicarse mediante Modbus RTU, este protocolo facilita la obtención de los datos de tensión, corriente y potencia entre otros, pero presenta un problema. Debido a restricciones a nivel de software de los inversores, la comunicación Modbus RTU presenta interferencias que provocan algunos errores en la toma de datos, aunque son fácilmente corregibles. A pesar de ese inconveniente se consiguen tiempos de muestreo menores a 1 minuto y que, por tanto, son aceptados según la norma IEC 61724:2022.

De igual manera, existe la posibilidad de usar Modbus TCP, que tiene las mismas características que Modbus RTU con la diferencia de que no es necesaria una conexión física entre el inversor y el PC que recibe los parámetros eléctricos de funcionamiento del sistema FV. Siendo ineludible la conexión del inversor y el ordenador a la misma red de internet, aunque como se explicará posteriormente no se usará en nuestro sistema.

#### **2.4.2. Sistema de adquisición de datos**

El sistema de adquisición de datos GL840 presenta distintos protocolos de comunicación y de almacenamiento de datos. Este data logger es capaz de almacenar un archivo en diferentes formatos en la memoria local, lo que facilita en gran medida la recogida de los archivos por parte del usuario, ya que el archivo es fácilmente entendible y es posible obtenerlo cuando se desea a través del software propio del instrumento de medida o del servidor FTP propio del equipo en caso de estar conectado a la misma red que el PC.

También, es posible mantener una comunicación TCP entre el data logger y un PC, de esta forma se pueden obtener los valores de los canales del sistema de adquisición de datos a través del protocolo SCPI. Este es capaz de realizar operaciones de consulta en un instrumento, lo cual simplifica la creación de un archivo de datos con el formato requerido.

### 2.4.3. Problemas a resolver con el presente Trabajo de Fin de Grado

Conocidas las características de la instalación y del sistema de monitorización instalado, surge el problema que concierne a este trabajo de fin de grado. Se desea realizar un software capaz de recopilar los datos procedentes de un sistema de adquisición de datos, así como de los inversores. Este software debe ser capaz de recoger todos estos datos y guardarlos en un archivo que posteriormente se subirá a la nube para finalmente ser estudiado por el grupo de investigación. Con este software se pretenden corregir varios problemas que se han detectado al trabajar con los distintos softwares propios de los equipos comerciales utilizados ya que esta opción presenta claras desventajas y/o inconvenientes:

- La falta de sincronización en las medidas de los diferentes equipos.
- Los formatos en los que los datos son recibidos a través de los distintos softwares propios del fabricante. Aunque en ocasiones los archivos sean del mismo tipo, por ejemplo, un fichero separado por comas, la arquitectura interna del archivo suele ser diferente. Esto complica en gran medida la automatización del tratado de los datos.
- En la mayor parte de las ocasiones no se cumple con los requisitos de intervalo de muestreo expuestos en la norma IEC 61724:2022.
- Se está expuesto a la posible desaparición de los fabricantes y consecuentemente a la falta de cobertura por parte del servicio de atención al cliente.

## 2.5. Objetivos del Trabajo de Fin de Grado

El objetivo principal del presente trabajo es el desarrollo de una aplicación software que simplifique el proceso de recopilación y unificación de los parámetros procedentes de la monitorización de un laboratorio para la caracterización de tecnología fotovoltaica bifacial. Los principales requisitos que debe cumplir la aplicación son:

- Que sea capaz de recibir los datos y parámetros eléctricos procedentes de los inversores y el sistema de adquisición de datos.

- Todos los datos deben de estar muestreados cada minuto como mínimo, para así poder realizar un estudio acorde a norma del funcionamiento de la instalación.
- Conseguir la independencia de los distintos softwares propios de los fabricantes del sistema de adquisición de datos e inversores.
- Crear un archivo de datos donde se almacene la información de todos los parámetros de funcionamiento procedentes de los distintos instrumentos, estando todos ellos sincronizados y almacenados con un periodo de 1 minuto.
- Que se genere un mensaje diario vía correo electrónico al propietario donde aparezca un resumen de los parámetros de funcionamiento más relevantes de la instalación FV.

### **3. PROCESO DE DISEÑO DE LA APLICACIÓN SOFTWARE**

#### **3.1. Arquitectura de monitorización adoptada**

Una vez comentadas las características que presenta la instalación, así como sus componentes, se va a explicar cuál ha sido la solución adoptada y su proceso de diseño. Como se comentó en el apartado 2.5, la aplicación software que se desea obtener debe prescindir lo máximo posible de los softwares propios de los fabricantes. Por tanto, tras un estudio detallado de las opciones disponibles, se seleccionó la arquitectura de monitorización que se muestra en la figura.

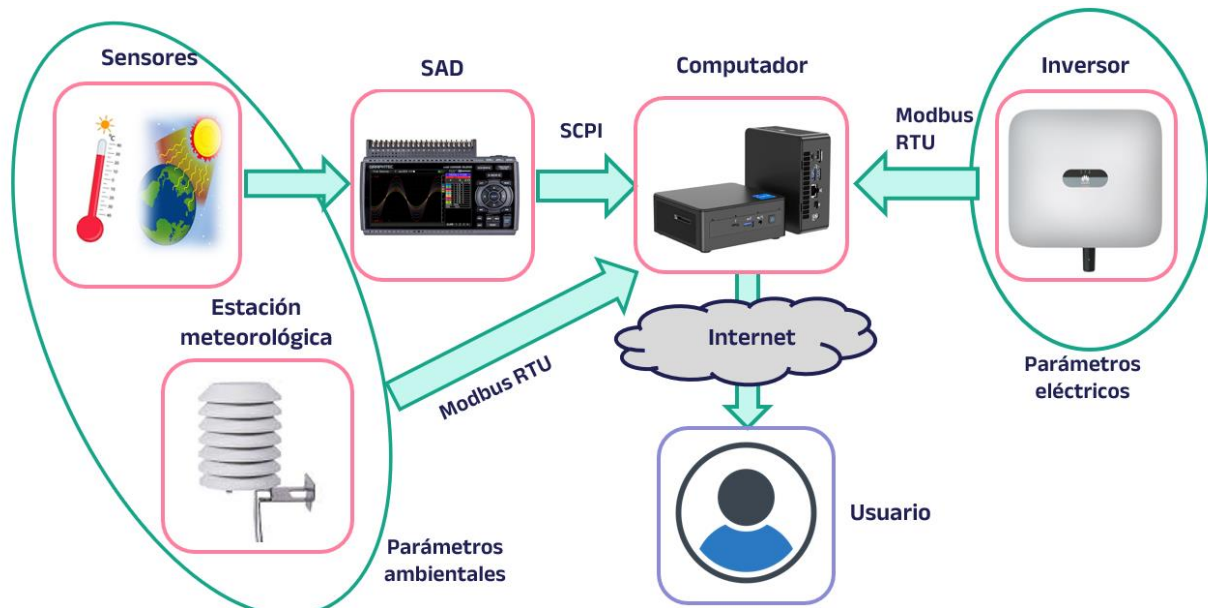


Figura 12- Arquitectura de monitorización adoptada

La elección de esta estructura de monitorización se ha basado en diferentes razones, entre las cuales se encuentran:

- No se usa ninguno de los softwares propietarios de los equipos.
- El usuario no tiene la necesidad de realizar la unificación de los parámetros procedentes de los diferentes equipos, todo el proceso se encuentra automatizado y gobernado por el software de monitorización.
- La estructura modular permite encontrar problemas en el sistema con rapidez.
- Facilidad a la hora de modificar los sensores y los registros del inversor.
- Todo el sistema está controlado por un equipo al que es posible acceder de forma remota si hubiera algún problema en el funcionamiento de la aplicación.

### 3.2. Elección del lenguaje de programación

Primeramente, se debe comentar la elección del lenguaje de programación utilizado en la creación de la aplicación software, el lenguaje elegido ha sido **Python**. Las principales características por las que es el lenguaje más adecuado para la realización de esta herramienta son:

- Lenguaje sencillo y fácil de interpretar,
- Gran modularidad y amplio repertorio de librerías capaces de simplificar en gran medida las instrucciones que se usarán en el script, además de aumentar su funcionalidad.

Como entorno de programación se ha elegido **Visual Studio Code**, este programa es ampliamente conocido por los programadores ya que tiene la cualidad de aceptar gran parte de los lenguajes existentes. Además, cuenta con un entorno de programación limpio y de fácil comprensión, con un código de colores agradable a la vista, así como es capaz de albergar extensiones que facilitan las labores de programación y depurado del código.

### 3.2.1 Librerías

Para aprovechar al máximo el uso de Python, se han usado varias librerías disponibles, con el fin de simplificar y mejorar la comprensión del código. Las librerías usadas en la aplicación son las siguientes.

- Openpyxl: es una herramienta para trabajar con archivos de Excel. Proporciona una amplia gama de funcionalidades para leer, escribir, modificar y analizar datos en hojas de cálculo de Excel.
- Os: esta librería permite interactuar con el sistema operativo subyacente de manera que sea independiente del sistema en el que se esté ejecutando el código (por ejemplo, Windows, macOS, Linux).
- Csv: se utiliza para trabajar con archivos de valores separados por comas (CSV), proporciona herramientas para leer, escribir y manipular estos archivos.
- Pymodbus.client: es una herramienta en Python diseñada para facilitar la comunicación con dispositivos que usan el protocolo Modbus, permite a los desarrolladores crear aplicaciones cliente que pueden leer y escribir datos en dispositivos Modbus.
- Time: es útil para diversas tareas como medir intervalos de tiempo, obtener la hora actual, pausar la ejecución de programas, y realizar conversiones entre diferentes representaciones de tiempo.

- Datetime: es una librería esencial para trabajar con fechas y horas. Proporciona clases para manipular fechas y tiempos de manera sencilla y eficiente.
- Shutil: es una herramienta útil para tareas relacionadas con la administración de archivos y directorios, tales como copiar, mover, eliminar y archivar.
- Socket: proporciona acceso a las capacidades de comunicación de red de bajo nivel a través de los sockets. En nuestro caso se usará para la comunicación con el data logger.
- Email.message: librería capaz para crear, gestionar y manipular mensajes de correo electrónico. La clase principal de esta librería es EmailMessage, que se utiliza para representar y construir mensajes de correo electrónico.
- Ssl: proporciona soporte para "SSL", que es un protocolo de seguridad diseñado para proporcionar comunicaciones seguras a través de una red internet.
- Smtplib: es una herramienta integrada que proporciona una interfaz para enviar correos electrónicos utilizando el protocolo SMTP (Simple Mail Transfer Protocol).
- Pandas: permite la creación de bloques de datos. Con esto, se pueden manipular tablas numéricas y series temporales
- Matplotlib.pyplot: es una biblioteca ampliamente utilizada en Python para la visualización de datos. pyplot proporciona una interfaz fácil de usar para crear gráficos y otras visualizaciones de datos en 2D.

### **3.3. Métodos de comunicación seleccionados**

También se considera imprescindible explicar cuáles son los métodos de comunicación seleccionados a la hora de realizar la recogida de datos y parámetros de la distinta instrumentación.

#### **3.3.1 Sistema de adquisición de datos**

Para poder obtener los datos procedentes del sistema de adquisición de datos GL840 se seleccionó la opción de acceder a los registros de los canales mediante

protocolo SCPI a través de una conexión TCP entre el data logger y un PC. La elección del protocolo SCPI se ha basado en varios factores:

- El GL840 no soporta el protocolo Modbus, lo cual habría simplificado el código y reducido el número de librerías necesarias.
- El uso del protocolo SCPI simplifica en gran medida la posibilidad de sincronización entre el data logger y los inversores. Ya que se obtendrán los valores de los canales activos siempre y cuando se soliciten y no cuando el sistema de adquisición de datos decida.
- El uso de este protocolo da libertad desde el punto de vista de la no dependencia de un software de terceros.
- Facilidad a la hora de aplicar constantes de calibración de los distintos sensores.

### **3.3.2 Inversores**

A la hora de obtener los parámetros eléctricos de los inversores se consideraron diversas opciones. Las cuales se citan a continuación:

- La posibilidad de usar los datos obtenidos a través del software FusionSolar se descartó desde un principio al no cumplir con el intervalo máximo de muestreo para un sistema de clase B, según la norma IEC 61724:2022.
- En un primer momento se usaría Modbus TCP por la facilidad de codificación y fiabilidad de la conexión, pero se descartó por la necesidad de un equipo hardware de un elevado coste Huawei® Smartlogger 3000A.
- Finalmente, se seleccionó la opción de Modbus RTU, puesto que era la única que cumplía con las necesidades suficientes para la realización de la herramienta software.

### **3.4. Hardware y conexionado de los equipos**

Una vez seleccionado el protocolo de comunicación, se procedió a la conexión del inversor con el PC mediante conexión USB, para ello fue necesaria la implementación de un conversor RS485, a la salida del puerto de comunicaciones del inversor y la entrada USB del ordenador.



Figura 13- Conversor RS485 a USB

Para la correcta instalación del conversor, es necesaria su conexión en el puerto de comunicaciones del inversor maestro, para ello, se estudió el mapa de conexiones del mismo. Toda esta documentación e instrucciones están disponibles en los manuales correspondientes al modelo de inversor.

Se consultó a su vez la hoja de características del conversor RS485 (véase Anexo A.4), para identificar los cables necesarios para conectar correctamente el inversor, los cuales son: naranja (*data +*), amarillo (*data -*) y negro para la conexión a tierra y evitar interferencias.

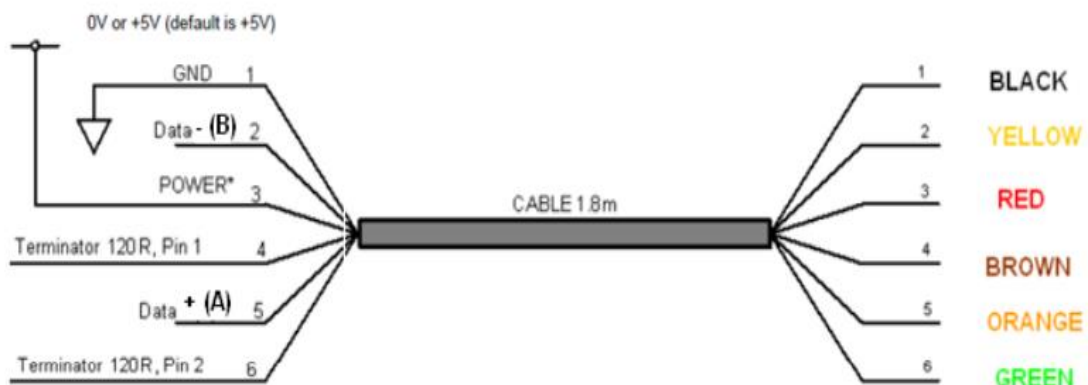


Figura 14- Esquema de conexiones del conversor RS485



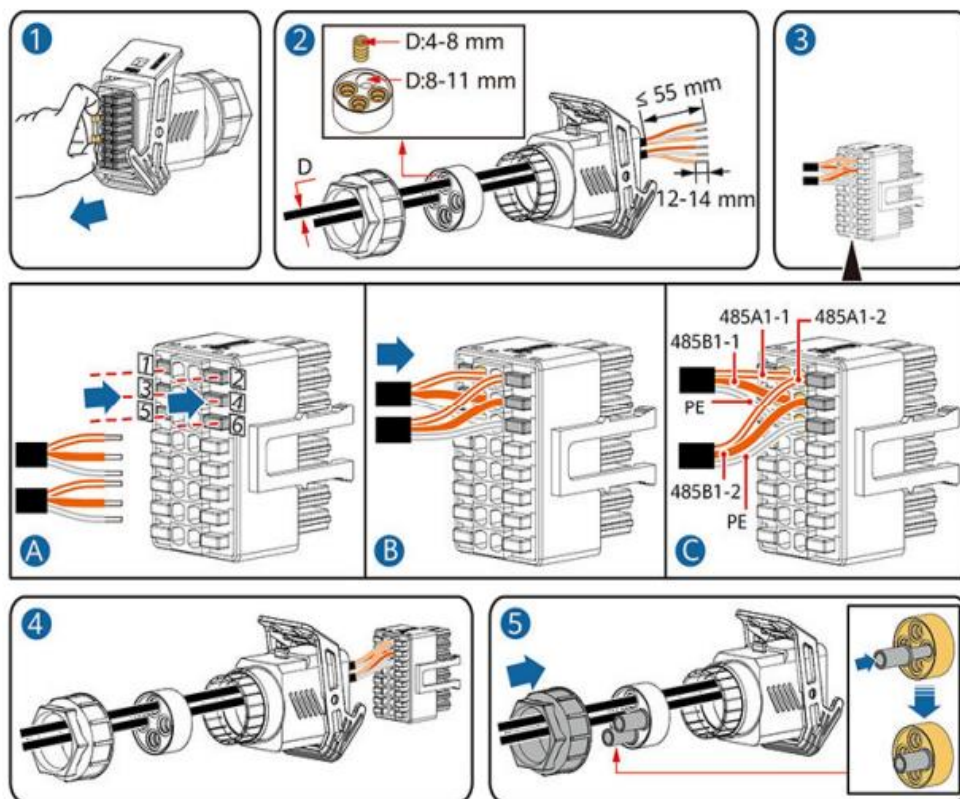
Una vez identificado el código de colores para el convertidor, es necesario identificar los pines del puerto de comunicación responsables de la comunicación Modbus RTU. Esto es fácilmente reconocible en el manual del inversor.

Pin	Definición	Funciones	Comentarios	Pin	Definición	Funciones	Comentarios
1	485A1-1	RS485A, señal diferencial RS485 con signo positivo	Se utiliza para conectar en cascada el SUN2000 o conectarse al puerto de señal RS485 de SmartLogger	2	485A1-2	RS485A, señal diferencial RS485 con signo positivo	Se utiliza para conectar en cascada el SUN2000 o conectarse al puerto de señal RS485 de SmartLogger
3	485B1-1	Señal diferencial RS485 con signo negativo		4	485B1-2	Señal diferencial RS485 con signo negativo	
5	PE	Puesta a tierra de protección	-	6	PE	Puesta a tierra de protección	-

*Figura 15-Tabla de definición de pines de comunicación*

De la tabla de definición de pines de comunicación anterior Fig. 15, se llega a la conclusión de que los pines necesarios para la conexión del convertidor al inversor son: pin 1 (*data +*), pin 2 (*data -*) y pin 13 (*tierra*).

Ya distinguidas las conexiones, es necesario desmontar el puerto de comunicaciones del inversor para realizar la conexión física entre convertidor RS485 e inversor, esto viene explicado en el mismo manual de usuario del mismo.



*Figura 16- Proceso de conexión del puerto de comunicaciones del inversor*

Para realizar esta acción, es necesario desmontar el puerto de comunicaciones del inversor para abrirlo y acceder a las clemas. Atendiendo a la tabla de la figura 15 y presionando las clemas se introducirán los cables correspondientes del convertidor RS485, finalmente el convertidor se llevará hasta el equipo donde se realizará la configuración del mismo.

Una vez se han determinado los diferentes tipos de comunicación a través de los cuales se van a obtener los parámetros característicos de la instalación, se ha de decidir cuál va a ser el dispositivo encargado de gestionar todas estas comunicaciones. Para ello se tienen en cuenta varias opciones, entre las que destacan el uso de una Raspberry Pi o un mini PC.

- Raspberry Pi. Está diseñada para ser una plataforma de bajo costo y de tamaño reducido que puede ejecutar diversas aplicaciones informáticas.
- Mini PC. Es un computador tradicional, pero con un tamaño más reducido, pensado para un uso más industrial del mismo.

Se decidió utilizar esta última opción ya que la interfaz del mini PC con un sistema operativo Windows es más familiar al usuario medio. En él, se instalaron los programas necesarios, así como los drivers encargados de la gestión del convertidor RS485, los cuales fueron descargados e instalados desde la página web del fabricante para no tener problemas de compatibilidad.

### 3.5. Estructura de la aplicación

Con respecto a la estructura del código fuente encargado de la gestión de todos los instrumentos y registros indicar que se trata de una estructura básica del programa de medida y guardado de datos.

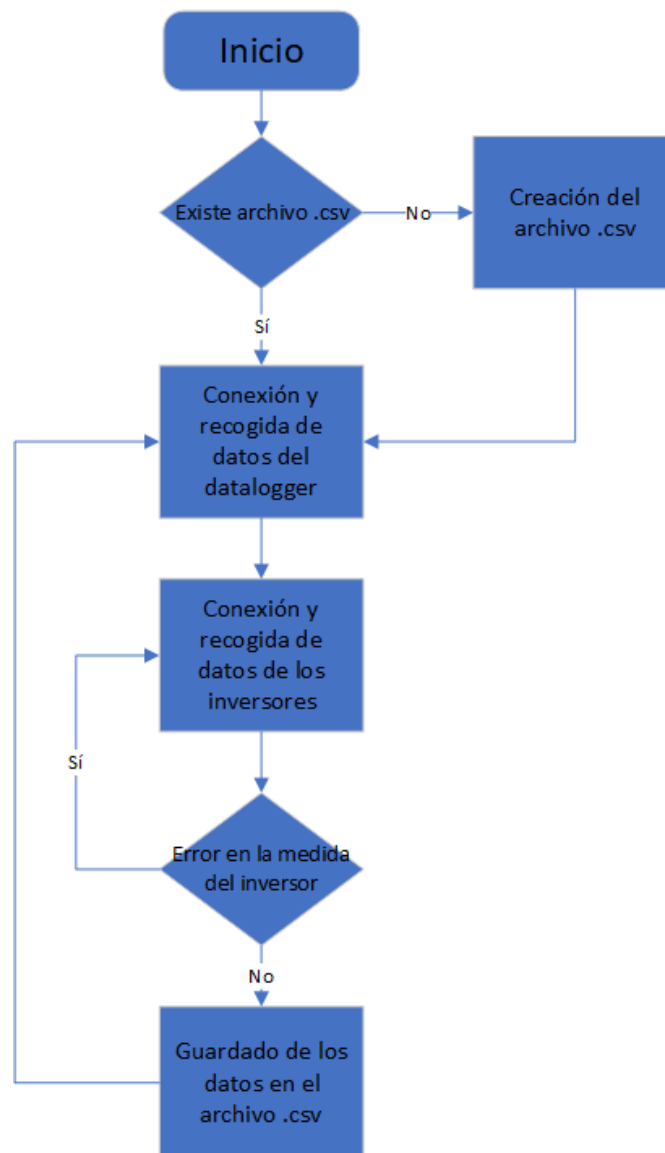


Figura 17-Estructura del programa.

En primer lugar, el programa se encarga de crear un fichero en formato “.csv”, para posteriormente hacer la conexión, con el data logger y el inversor.

### **3.5.1. Datos procedentes del sistema de adquisición de datos.**

Si atendemos a la figura anterior, se percibe que el programa realiza primero la conexión y pedida de datos del GL840. Para posteriormente hacer la misma operación con el inversor. Esta disposición es la más eficiente ya que una vez realizadas las pruebas oportunas se identificó que el data logger no presenta problema alguno a la hora de realizar la conexión y pedida de datos, teniendo una respuesta de los registros de los canales activos en menos de 1 segundo tras la solicitud.

Para realizar esta operación se ha realizado una función la cual se encarga de realiza la conexión con el sistema de adquisición de datos, posteriormente se solicitan los datos de los distintos canales y finalmente se almacenan en el archivo “.csv”.



Figura 18- Algoritmo de recepción para el sistema de adquisición de datos.

### **3.5.2 Datos procedentes de los inversores. Dificultades encontradas y soluciones propuestas.**

En cambio, a la hora de estudiar los datos recibidos por los inversores se detectó un problema, este es, que una vez se realiza la conexión con el inversor y se hace la pedida de datos, aleatoriamente algunos de los registros solicitados son recibidos con un valor de error. Esto se debe principalmente a 2 razones:

- Los inversores están restringidos a nivel de software para que el usuario compre el dispositivo capaz de mandar los registros a través de Modbus TCP.
- El uso de Modbus RTU por parte de los inversores está limitado a su uso para comunicación entre ellos mismos en configuración maestro-esclavo.

Para solucionar este problema se implementó un bucle de pedida de datos que comprueba que los registros procedentes del inversor no contienen ningún error y que, por tanto, son correctos para su guardado.

Este bucle básicamente realiza la petición de uno de los registros del inversor y comprueba si es un valor numérico o un error procedente del mismo. Si es un error, vuelve a pedir el dato hasta que se reciba un valor acorde a lo pedido. El problema es que esta iteración ralentiza el programa, pero se optimizó en posteriores versiones teniendo una duración media de 3 segundos para la correcta recepción de 30 valores procedentes de 6 registros en 5 inversores distintos.

Por tanto, el algoritmo de funcionamiento de la conexión y recepción de registros del inversor queda de la siguiente manera:

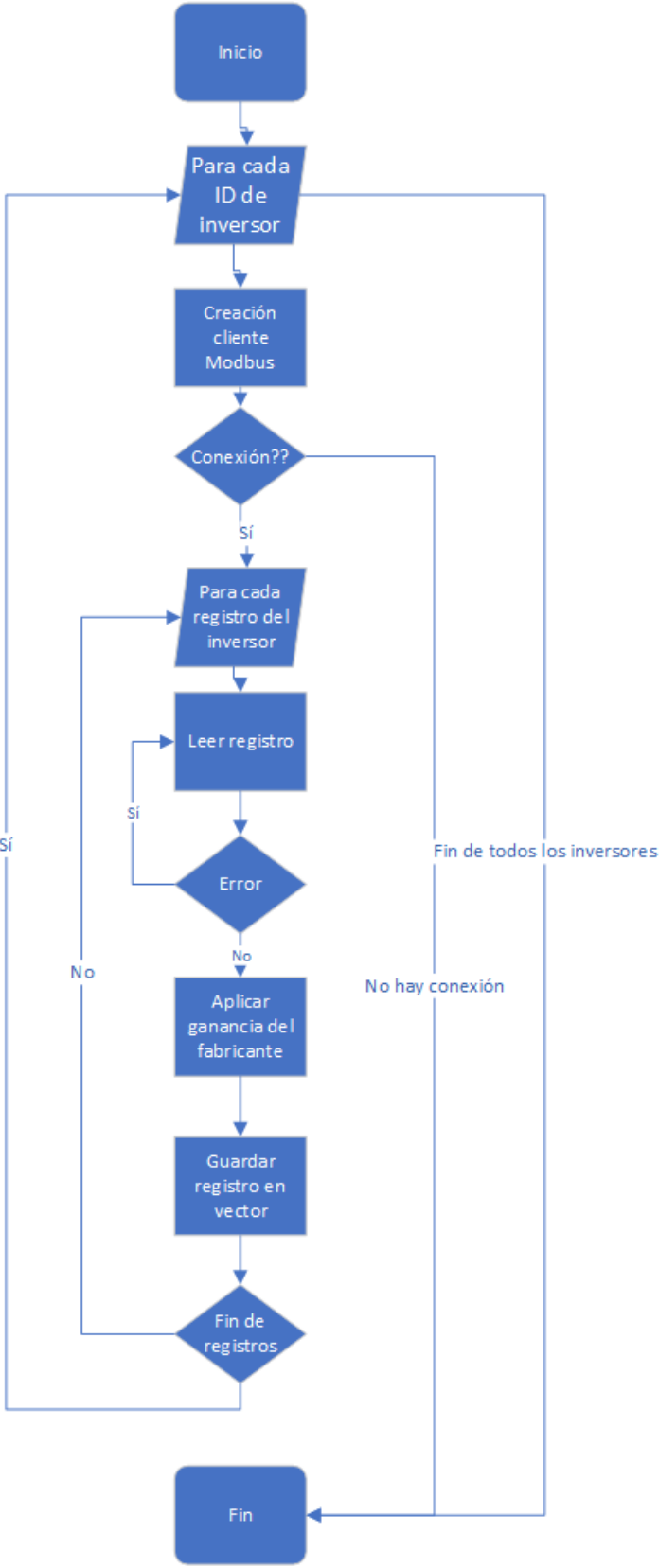
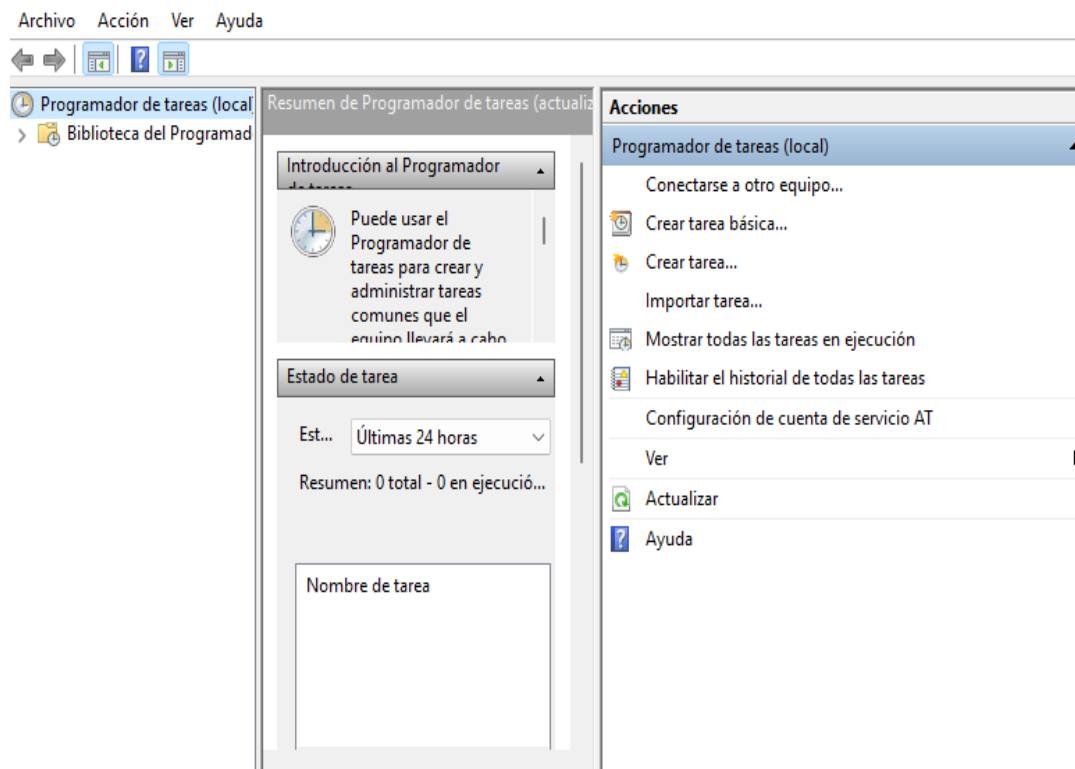


Figura 19- Algoritmo para la recepción de los registros de los inversores.

Una vez corregido este imprevisto, se procedió a un test de la aplicación a lo largo de un día completo tras el cual se detecta otro problema añadido.

Aunque el cliente Modbus de conexión con el inversor se cierre después de cada pedida de registros, llega un momento en el que el puerto serie se satura, siendo necesario un reinicio de la aplicación. Para solucionar esto, se usó el programador de tareas existente en el sistema operativo Windows. De esta manera se consigue ejecutar y cerrar la herramienta software cada 5 minutos, de este modo, el puerto serie de recepción de datos se reinicia y no se llegan a tener los errores por saturación del mismo.



*Figura 20-Interfaz del programador de tareas*

Finalmente, tras el paso del tiempo y posteriores actualizaciones a nivel de software de los inversores, el problema de la saturación del puerto serie fue solucionado por parte del fabricante. Por lo que la necesidad de usar el programador de tareas ya no es indispensable.

### 3.6. Creación de los ficheros de datos



Una vez obtenidos los datos se pasa al siguiente bloque dentro del programa, el guardado de los parámetros obtenidos. Para esto se crea una lista en la que los valores procedentes de los instrumentos serán almacenados. En primer lugar, se almacenan los datos procedentes del data logger, seguidos de los parámetros obtenidos de los registros de los distintos inversores. Una vez esta lista está completa, se procede a su almacenado en un archivo '.csv' creado anteriormente con nombre correspondiente a la fecha del día en el que se están tomando las medidas. Para el formato del nombre del archivo ha sido elegido el siguiente: 'AAMMDD.csv', derivando en que los diferentes ficheros aparecerán correctamente ordenados en la carpeta de guardado.

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
20240417.csv	17/04/2024 8:05	Archivo de valores sepa...	80 KB
20240416.csv	16/04/2024 23:59	Archivo de valores sepa...	273 KB
20240415.csv	15/04/2024 23:59	Archivo de valores sepa...	265 KB
20240414.csv	14/04/2024 23:59	Archivo de valores sepa...	273 KB
20240413.csv	13/04/2024 23:59	Archivo de valores sepa...	273 KB
20240412.csv	12/04/2024 23:59	Archivo de valores sepa...	273 KB

*Figura 21-Formato de nombre de los archivos ".csv" brutos.*

### 3.7. Comunicación con el usuario

Para concluir, el programa automáticamente mandará vía correo electrónico un resumen del funcionamiento diario del generador FV. En dicho resumen se muestra la energía generada a lo largo del día, tanto en la parte DC como AC, además, aparecerá una gráfica del perfil de potencia de la instalación.

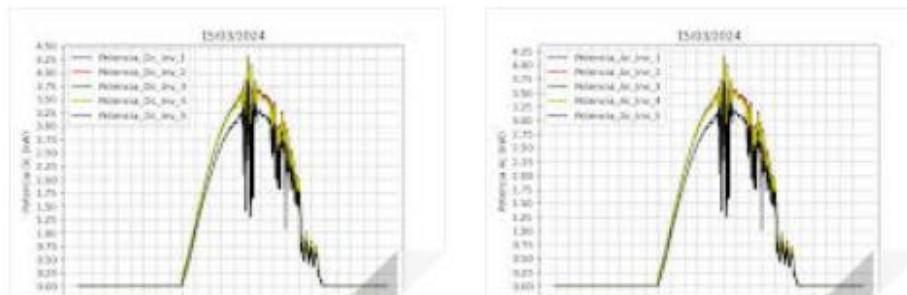
modbusfv@gmail.com



La energía DC generada es de: 118.57 kWh

La energía AC generada es de: 114.32 kWh

2 archivos adjuntos • Analizado por Gmail ⓘ



*Figura 22- Ejemplo del correo enviado por la aplicación.*

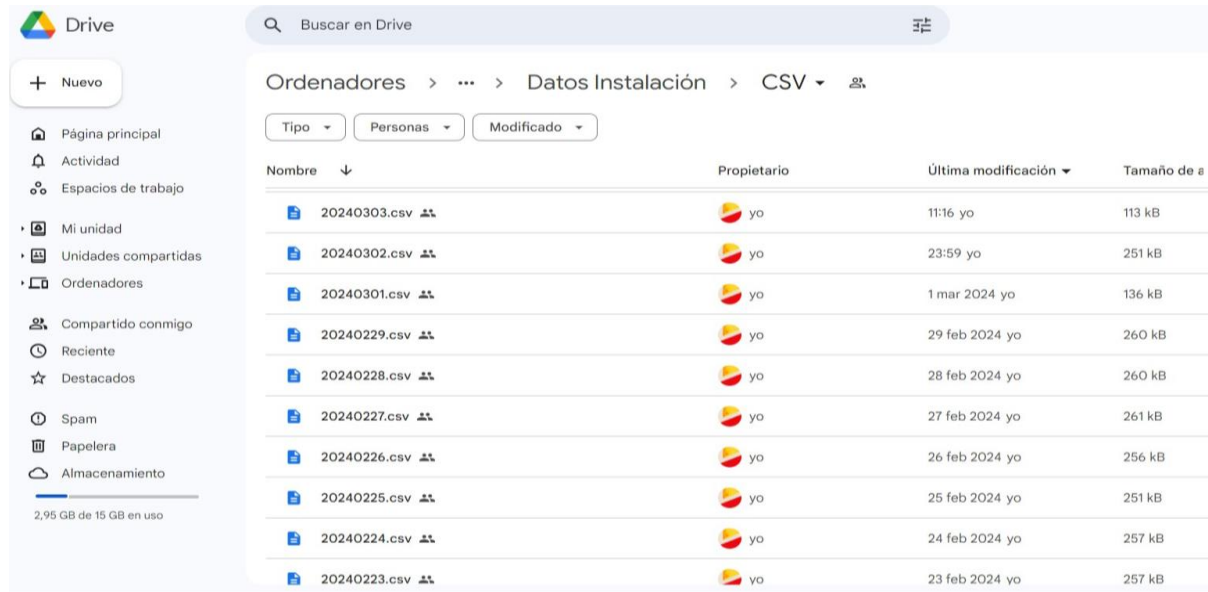
Los archivos son adjuntados en formato “.jpg”, de esta manera se pueden descargar y almacenar de una manera sencilla. De esta manera finaliza la labor de la aplicación preparándose para volver a empezar a grabar datos al día siguiente.

## 4. RESULTADOS

A continuación, se van a mostrar los resultados obtenidos tras el desarrollo y utilización de la instalación. Desde la generación y guardado de los ficheros hasta la finalización con el envío del resumen vía email.

### 4.1. Guardado de los archivos

Como se ha indicado anteriormente, la aplicación genera un archivo de datos separados por comas o ‘.csv’. Todos estos archivos se almacenan, tanto en el disco local como en Google Drive, permitiendo el acceso a los datos de forma remota.



Nombre	Propietario	Última modificación	Tamaño de e
20240303.csv	yo	11:16 yo	113 kB
20240302.csv	yo	23:59 yo	251 kB
20240301.csv	yo	1 mar 2024 yo	136 kB
20240229.csv	yo	29 feb 2024 yo	260 kB
20240228.csv	yo	28 feb 2024 yo	260 kB
20240227.csv	yo	27 feb 2024 yo	261 kB
20240226.csv	yo	26 feb 2024 yo	256 kB
20240225.csv	yo	25 feb 2024 yo	251 kB
20240224.csv	yo	24 feb 2024 yo	257 kB
20240223.csv	yo	23 feb 2024 yo	257 kB

*Figura 23- Carpeta de datos diarios de la instalación.*

Dentro de cada uno de estos archivos, se almacenan los parámetros obtenidos por la aplicación con una diferencia de 1 minuto entre medidas. Cada uno de los parámetros viene acompañado de una cabecera donde se indica el nombre y la unidad de medida del mismo.

Si ejecutamos una separación de datos en columnas se obtiene un archivo de cómoda modificación y estudio, donde los parámetros eléctricos son fácilmente identificables y separables para cada uno de los MPPT del inversor.

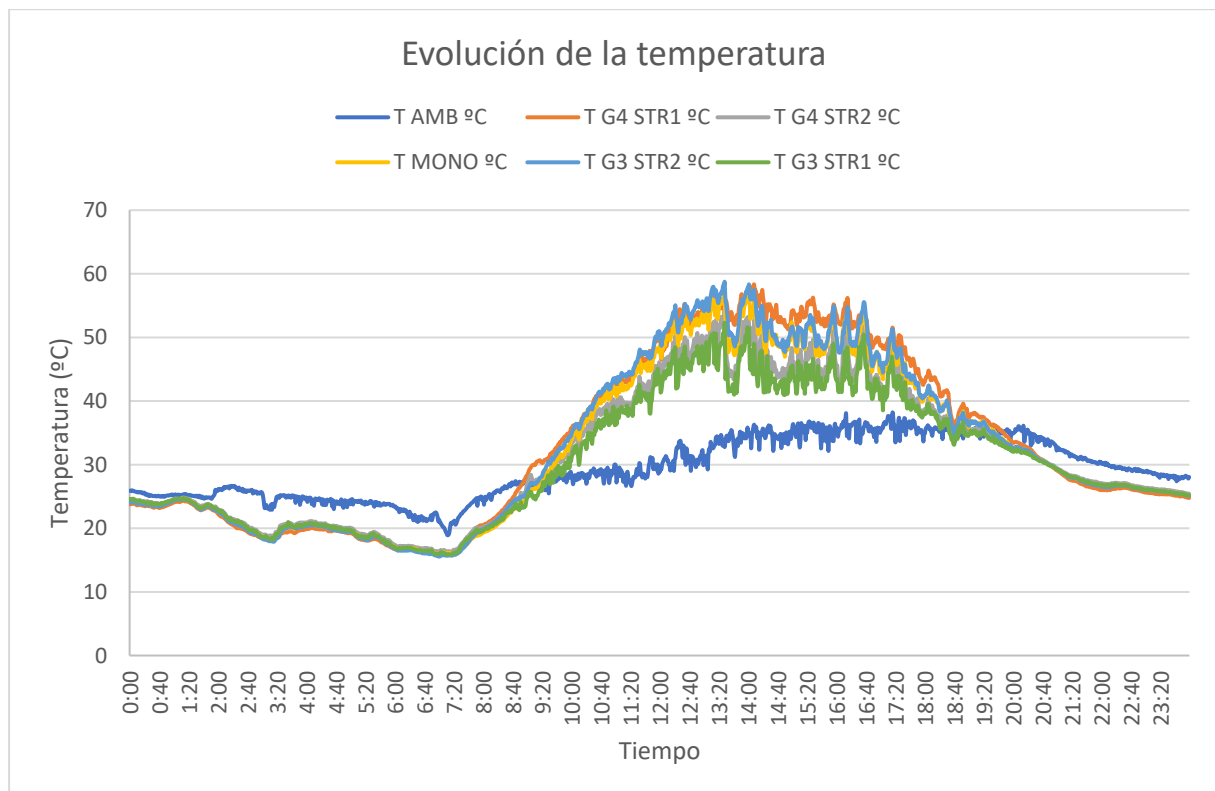
En la siguiente figura, se puede apreciar un fragmento del archivo de datos generado por la aplicación software. Como es apreciable, la información es separada en columnas para los diferentes canales del data logger, y separado en filas para cada uno de los minutos en los que se ha tomado la medida. Aunque en la imagen se haya recortado el número de columnas por falta de espacio, hay un total de 49 columnas, cada una de ellas con su correspondiente cabecera y unidades.

INSTALACIÓN BIFACIAL 05/06/2024												
Date	Time	T AMB	T G4 STR1	T G4 STR2	T MONO	T G3 STR2	T G3 STR1	PIR F1	PIR R1	PIR F2	PIR R2	G FRONT
Date	Time	°C	°C	°C	°C	°C	°C	(W/m2)	(W/m2)	(W/m2)	(W/m2)	(W/m2)
05/06/2024	12:28	32.455	56.935	47.84	52.745	55.08	44.075	825.2	86	906.6	178.4	857.595
05/06/2024	12:29	32.24	56.96	51.64	54.29	56.105	49.205	827.4	88.2	906.6	200.4	859.042
05/06/2024	12:30	32.31	57.41	51.21	55.27	56.42	48.435	829.6	86	908.8	222.4	861.121
05/06/2024	12:31	32.965	57.32	49.955	53.885	56.225	45.24	831.8	86	908.8	220.2	863.834
05/06/2024	12:32	32.76	57.52	50.36	53.385	55.945	46.14	831.8	86	911	222.4	865.823
05/06/2024	12:33	32.205	57.385	47.39	52.995	54.955	46.085	834	86	911	222.4	867.812
05/06/2024	12:34	32.32	57.805	47.83	52.78	55.475	47.555	836.2	86	911	222.4	869.259
05/06/2024	12:35	32.36	57.86	50.525	53.92	56.27	49.24	838.4	86	915.4	222.4	871.338
05/06/2024	12:36	32.82	57.95	52.59	54.715	56.89	50.405	840.6	83.8	917.6	222.4	873.96
05/06/2024	12:37	31.715	58.015	50.75	53.435	56.6	47.925	842.8	83.8	919.8	224.6	876.673
05/06/2024	12:38	32.915	57.5	50.06	52.72	56.765	49.125	845	48.6	919.8	224.6	878.21
05/06/2024	12:39	33.495	57.34	52.435	54.8	57.295	49.24	847.2	59.6	922	224.6	878.843
05/06/2024	12:40	32.715	56	49.385	52.375	56.51	47.53	851.6	55.2	924.2	224.6	881.103
05/06/2024	12:41	32.605	56.07	51.07	52.865	57.295	50.405	853.8	44.2	924.2	224.6	881.284
05/06/2024	12:42	32.605	55.88	49.645	53.23	56.86	48.495	856	48.6	926.4	226.8	883.273
05/06/2024	12:43	33.44	56.125	51.59	54.05	57.545	50.7	858.2	48.6	926.4	226.8	884.358
05/06/2024	12:44	32.81	56.575	51.08	54.25	58.04	51.725	858.2	53	928.6	226.8	888.246
05/06/2024	12:45	32.69	56.6	51.285	54.5	57.16	47.13	860.4	55.2	930.8	226.8	891.41
05/06/2024	12:46	32.715	56.465	49.61	52.97	56.8	47.115	862.6	55.2	933	229	894.213
05/06/2024	12:47	32.545	56.18	51.295	53.85	57.205	49.135	864.8	59.6	935.2	229	894.394
05/06/2024	12:48	32.75	55.97	48.34	51.875	55.925	45.44	869.2	59.6	935.2	229	896.564
05/06/2024	12:49	32.465	56.375	48.23	51.925	55.37	46.14	869.2	59.6	937.4	229	898.825
05/06/2024	12:50	32.51	56.585	49.015	52.27	55.495	46.18	871.4	59.6	937.4	229	900.904
05/06/2024	12:51	32.49	56.125	47.945	51.59	54.715	45.56	871.4	59.6	937.4	229	899.819
05/06/2024	12:52	32.32	56.36	49.505	53.1	55.53	48.22	873.6	90.4	939.6	229	903.436
05/06/2024	12:53	32.12	56.33	47.675	51.33	54.215	45.04	873.6	90.4	941.8	229	904.159
05/06/2024	12:54	32.82	56.045	45.765	50.82	52.815	43.105	878	90.4	941.8	229	905.515
05/06/2024	12:55	33.13	55.99	47.235	51.235	53.325	45.42	878	90.4	941.8	229	906.962
05/06/2024	12:56	32.68	56.745	49.54	53.375	54.36	47.21	880.2	90.4	944	229	910.127
05/06/2024	12:57	33.225	57.375	49.81	53.705	54.94	48.23	882.4	88.2	944	229	912.568
05/06/2024	12:58	33.675	57.375	50.19	53.8	55.01	45.99	871.4	86	935.2	226.8	904.521
05/06/2024	12:59	32.7	57.24	50.05	54.37	55.97	48.445	880.2	88.2	941.8	229	913.743
05/06/2024	13:00	33.4	57.24	50.775	54.63	56.675	49.86	884.6	88.2	946.2	229	917.089

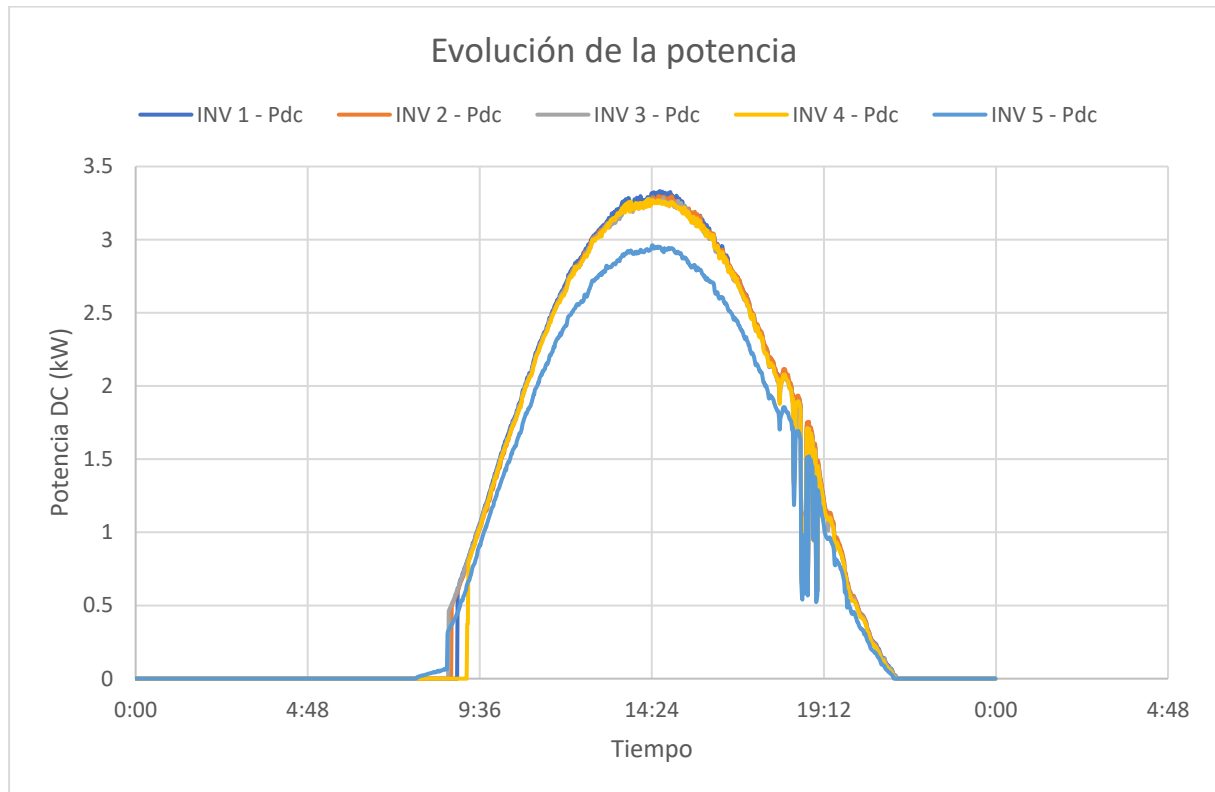
Figura 24- Fragmento del archivo generado por la aplicación software

## 4.2. Gráficas generadas

Gracias a esta estructura de archivo, los cálculos y gráficas típicas para el estudio e interpretación de los sistemas FV se convierten en tareas sencillas. Además, los archivos generados tienen una disposición que se presta al posterior tratamiento por parte de cualquier software generado para tal fin. Posteriormente, se muestran varias gráficas de ejemplo para un día típico de funcionamiento de la instalación FV.



*Figura 25- Evolución de la temperatura medida en la instalación.*



*Figura 26- Curva de potencia para un día concreto.*

### 4.3. Uso en el Grupo de investigación

La aplicación software se está usando desde, aproximadamente, 6 meses en la instalación FV bifacial para la cual fue diseñada. Durante este tiempo se ha visto sujeta a modificaciones con el fin de aumentar el número de sensores ambientales colocados en el sistema FV.

Dado que se demostró su efectividad de uso en el ámbito de la investigación, se han diseñado sendas aplicaciones a partir del núcleo del software desarrollado, para usarse en distintos proyectos correspondientes al Grupo de Investigación IDEA. Entre ellos se encuentra la instalación fotovoltaica bifacial vertical, ubicada en la terraza del edificio A3 de la Universidad de Jaén.



*Figura 27- Instalación fotovoltaica bifacial vertical. (Sergio Contreras, 2023)*

Otra de las instalaciones en la que se encuentra actualmente en funcionamiento la aplicación es el Proyecto MOBILETE, puesto en funcionamiento recientemente por parte del Grupo de Investigación IDEA.





*Figura 28- Smart tree correspondiente al Proyecto MOBILETE.*

Finalmente, también se ha realizado una versión de la aplicación para el proyecto MOBILETE ubicado en la Escuela Politécnica Superior de Linares, este se encuentra actualmente en proceso de construcción.





*Figura 29- Renderizado del Proyecto MOBILETE Linares*

Tanto en la instalación bifacial vertical, como en el Proyecto MOBILETE (Jaén), se encuentra instalada una versión de la aplicación modificada para poder usarse con solamente un inversor. Asimismo, se dispone de un sistema de adquisición de datos GLT400 de la marca **Graphtec®**, este data logger es capaz de comunicarse por protocolo Modbus TCP, por tanto y gracias a las ventajas respecto al protocolo SCPI, se está usando Modbus TCP en lugar del protocolo SCPI.

## 5. CONCLUSIONES

A lo largo de este Trabajo de Fin de Grado, se han mostrado las principales características de una aplicación software que facilita las tareas de monitorización y evaluación de un laboratorio fotovoltaico de tecnología bifacial de 20 kW, que ha sido construido con fines científicos y con el propósito de contribuir a la caracterización de la tecnología fotovoltaica bifacial.

La aplicación software para la monitorización de un laboratorio de tecnología fotovoltaica bifacial, lleva en funcionamiento 6 meses en el Grupo de Investigación

IDEA de la Universidad de Jaén. A lo largo de este tiempo se ha demostrado su funcionalidad en el campo de la investigación, habiendo recopilado datos de la instalación FV para su posterior caracterización. Durante su utilización, se han ido corrigiendo errores de diseño que se han detectado y a su vez se encuentra en constante desarrollo con la intención de crear una interfaz visual que ayude a la configuración de la misma aplicación.

A medida que se ha usado la aplicación se han realizado estudios y evaluaciones de la instalación FV para la cual fue creada, dando más importancia si cabe a la necesidad de la creación de software propio por parte de los investigadores. Ya que esto facilita en gran medida el trabajo que desempeñan.

Este software puede ser utilizado para distintos propósitos, aunque principalmente su funcionalidad se basa en la investigación FV, también es posible su implementación en asignaturas de la mención en sistemas FV, así como en diferentes materias de los másteres relacionados con la tecnología FV. Se cree firmemente que en un mundo donde la cantidad de información recibida va en aumento, es necesario que se estudien diferentes vías a través de las cuales obtenerla y almacenarla, facilitando de este modo su posterior procesamiento. Por tanto, el estudio por parte de las universidades de aplicaciones similares a la realizada en este Trabajo de Fin de Grado, darán un aumento de posibilidades profesionales a los estudiantes.

## **6. LÍNEAS FUTURAS**

A lo largo de la realización de este TFG se han detectado diversas áreas de investigación en las que se debiera hacer mayor hincapié. Sería de interés avanzar con la parte del código responsable del envío y redacción del correo vía email, como pudiera ser la recepción de resumen más elaborados o investigar la implementación de ese resumen en diferentes aplicaciones de comunicación.

Aunque durante la finalización de este trabajo ya se esté trabajando en mejorar el software existente añadiendo diferentes equipos de medida, así como la interacción entre el usuario y la propia aplicación. Queda en el aire el desarrollo de una verdadera interfaz visual con diferentes funciones.

De igual forma, sería de interés el desarrollo de una aplicación software basada en un dispositivo (Raspberry). De lograrse con éxito, permitiría la fusión, en un solo equipo del sistema de adquisición de datos y del mini-PC. Para eso, sería también necesario desarrollar la electrónica para la adquisición y acondicionamiento de las medidas eléctricas.

## 7. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Huang, B., & Tan, H. (2017). Advanced Monitoring and Management of Photovoltaic Systems. *Renewable Energy Journal*, 85, 1203-1212.

Pérez, J., García, M., & Rodríguez, L. (2020). Tecnologías de Monitorización en Sistemas Fotovoltaicos. *Revista de Energía Solar*, 15(2), 78-92.

Rathore, V. S., Manjunath, R., & Kumar, A. (2019). IoT-based Monitoring of Solar Photovoltaic Systems. *International Journal of Sustainable Energy*, 39(1), 45-60.

Dunlop, E. D., & Halton, D. (2006). Harmonization of photovoltaic performance standards. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 14(7), 551-556.

IEC. (2022). IEC 61724-1:2022 - Photovoltaic system performance - Part 1: Monitoring. International Electrotechnical Commission.

Huld, T., Gottschalg, R., Beyer, H. G., & Topic, M. (2010). Mapping the performance of PV modules, effects of module type and data averaging. *Solar Energy*, 84(2), 324-338.

SERGIO CONTRERAS P. DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS BIFACIALES

*2024 IRPV 15th Edition*. (n.d.).

Renewable Energy Agency, I. (2024). *RENEWABLE CAPACITY STATISTICS 2024 STATISTIQUES DE CAPACITÉ RENOUVELABLE 2024 ESTADÍSTICAS DE CAPACIDAD RENOVABLE 2024*

## ANEXO A. HOJAS DE CARACTERÍSTICAS

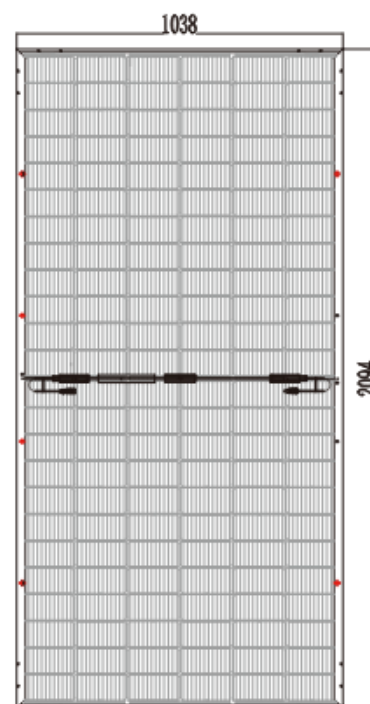
### A. 1. Módulo Exiom® EX470-490HJT(B)-144(HC)(166) BF.

**EX470-490HJT(B)-144(HC)(166)BF**

**HJT TECHNOLOGY  
CELL N-TYPE**

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (STC*)					
Maximum power - Pmax (W)	470	475	480	485	490
Open circuit current - Voc (V)	53.48	53.61	53.74	53.87	54.00
Short circuit current - Isc (A)	10.70	10.76	10.82	10.92	11.00
Voltage at maximum power - VMP (V)	45.66	45.86	46.08	46.28	46.48
Current at maximum power point - IMP (A)	10.30	10.36	10.43	10.48	10.54
Module efficiency (%)	21.6	21.9	22.1	22.3	22.5
Maximum System Voltage	1500Vdc (IEC / UL)				
Maximum Series Fuse	20A				
Max. power tolerance (%)	(0,+5)				
Bifaciality (%)	85±5				
BSTC**					
Maximum power - Pmax (W)	520	525	530	535	540
Open circuit current - Voc (V)	55.33	55.93	56.53	57.13	57.73
Short circuit current - Isc (A)	11.61	11.65	11.69	11.73	11.77
Voltage at maximum power - VMP (V)	46.60	46.80	47.00	47.20	47.40
Current at maximum power point - IMP (A)	11.61	11.65	11.69	11.39	11.40
*STC: Irradiance 1000 W/m <sup>2</sup> , module temperature 25°C, AM=1.5; Best in Class AAA solar simulator used, power measurement uncertainty is within +/- 3%. **BSTC: Front side irradiation 1000W/m <sup>2</sup> , back side reflection irradiation 135W/m <sup>2</sup> , spectrum AM1.5, ambient temperature 25°C. Values are based on RETC certified results from a light-soaked module.					
MECHANICAL PARAMETERS					
Laminate Structure	Glass/ POE/ Cells/ POE/Glass				
Cell Type	HJT Mono 166 x 83 mm				
Cell Connection	144 (72x2)				
Module Dimensions	2094x1038 mm				
Weight	27 kg				
Junction Box	IP68, 3 bypass diodes				
Output Cable	4.0mm <sup>2</sup> , 50cm (+), 50cm (-), length can be customized				
Connectors Type	UV Resistant Cable/Compatible MC4				
Frame	Anodised Aluminum				
Front Load	5400 Pa				
Rear Load	2400 Pa				
Glass Thickness	(F) 2.0mm Anti-reflective surface Solar glass   (B) 2.0mm Solar glass				

#### DRAWINGS



#### TEMPERATURE PARAMETERS

Nominal Operating Cell Temp. (NOCT)	45°C (±2°C)
Temperature Coefficient of Pmax	-0.24 %/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.22 %/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.04 %/°C

#### PRODUCT CERTIFICATION

CERTIFIED IEC 61730 Ed.1  
 CERTIFIED IEC 61215 Ed.2  
 Anti-PID System voltage durability PPP 56042

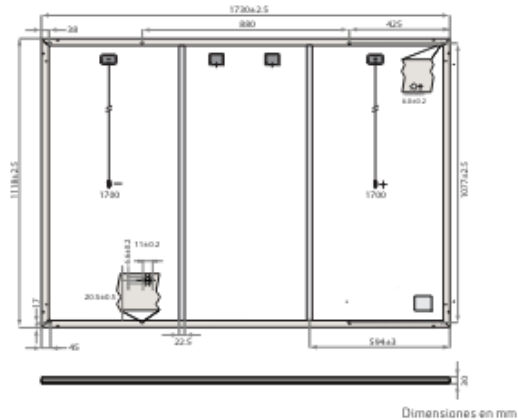


## A. 2. Módulo REC Alpha® Pure-R Series.



### DATOS GENERALES

Tipo de célula:	80 células partidas REC heterounión sin plomo, tecnología sin hueco
Cristal:	Vidrio solar de 3,2 mm con tratamiento antirreflejante de conformidad con EN 12150
Lámina posterior:	Poliéster de alta resistencia
Marco:	Aluminio anodizado
Caja de conexiones:	IP68, en 4 partes, 4 diodos de derivación, de conformidad con IEC 62790
Conectores:	Stäubli MC4 PV-KBT4/KST4 (4 mm <sup>2</sup> ) e conformidad con IEC 62852, IP68 solo cuando se conecta
Cable:	4 mm <sup>2</sup> cable solar, 1,7 m + 1,7 m de conformidad con EN 50618
Dimensiones:	1730 x 1118 x 30 mm [1,93 m <sup>2</sup> ]
Peso:	21,5 kg
Origen:	Fabricado en Singapur



### PARÁMETROS ELÉCTRICOS

	Código de producto*: RECxxAA Pure-R		
Potencia nominal - P <sub>MAX</sub> (Wp)	410	420	430
Clasificación de potencia - (W)	0/+10	0/+10	0/+10
Tensión nomina - U <sub>MPP</sub> (V)	49,4	50,0	50,5
Corriente nomina - I <sub>MPP</sub> (A)	8,30	8,40	8,52
Tensión a circuito abierto - U <sub>OC</sub> (V)	59,2	59,4	59,7
Corriente corto circuito - I <sub>CC</sub> (A)	8,81	8,89	8,97
Densidad de potencia (W/m <sup>2</sup> )	212	218	223
Eficiencia del módulo (%)	21,2	21,8	22,3

STC

NMOT

Potencia nominal - P <sub>MAX</sub> (Wp)	312	320	327
Tensión nomina - U <sub>MPP</sub> (V)	46,6	47,1	47,6
Corriente nomina - I <sub>MPP</sub> (A)	6,70	6,78	6,88
Tensión a circuito abierto - U <sub>OC</sub> (V)	55,8	56,0	56,3
Corriente corto circuito - I <sub>CC</sub> (A)	7,12	7,18	7,24

Valores en condiciones estándares de medida (STC: masa de aire AM1,5; irradiancia 1000 W/m<sup>2</sup>; temperatura 25°C) basados en una distribución de producción con un ±3% de tolerancia de P<sub>MAX</sub>, U<sub>OC</sub> e I<sub>CC</sub> en un tipo de potencia. En bajas radiaciones de 200 W/m<sup>2</sup> y condiciones STC es posible obtener, al menos el 95% de la eficiencia. Valores en condiciones nominales del módulo (NMOT: masa de aire AM1,5; irradiancia 800 W/m<sup>2</sup>; temperatura 20°C; velocidad del viento 1 m/s) \*Donde xxx indica la clase de potencia nominal (P<sub>MAX</sub>) en STC indicada anteriormente.

### LÍMITES OPERATIVOS

Margen de temperatura del módulo:	-40 ... +85°C
Voltaje máximo del sistema:	1000 V
Máxima carga de test (frontal):	+ 7000 Pa (713 kg/m <sup>2</sup> )*
Máxima carga de test (posterior):	- 4000 Pa (407 kg/m <sup>2</sup> )*
Capacidad máxima del fusible:	25 A
Máxima Corriente Inversa:	25 A

\* Ver manual de instalación para la instrucción sobre el montaje. Carga de diseño= Carga de test/1,5 (factor de seguridad)

### GARANTÍA

	Estándar	REC ProTrust	
Instalado por un REC Certified Solar Professional	No	Si	Si
Tamaño del sistema	Todo	<25 kW	25-500 kW
Garantía del producto (año)	20	25	25
Garantía de potencia (año)	25	25	25
Garantía Laboral (año)	0	25	10
Potencia en el año 1	98%	98%	98%
Degradación anual	0,25%	0,25%	0,25%
Potencia en el año 25	92%	92%	92%

Consulte los documentos de garantía para obtener más detalles. Se aplican algunas condiciones.

### CERTIFICADOS (PENDIENTE)

IEC 61215:2016, IEC 61730:2016, UL 61730
IEC 62804 PID
IEC 61701 Corrosión de niebla salina
IEC 62716 Resistencia al amoníaco
ISO 11925-2 Combustibilidad (Clase E)
IEC 62782 Carga Dinámico Mecánica
IEC 61215-2:2016 Módulos fotovoltaicos (FV) para uso terrestre
IEC 62321 Sin plomo, acorde a RoHS EU 2015/863
ISO 14001, ISO 9001, IEC 45001, IEC 62941



### PARÁMETROS TÉRMICOS\*

Temp. de operación nominal del módulo:	44°C (±2°C)
Coefficiente de temperatura para P <sub>MAX</sub> :	-0.26 %/°C
Coefficiente de temperatura para V <sub>OC</sub> :	-0.24 %/°C
Coefficiente de temperatura para I <sub>CC</sub> :	0.04 %/°C

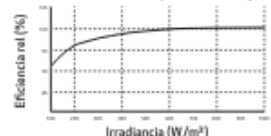
\* Los coeficientes de temperatura mencionados son valores lineales

### INFORMACIÓN DE ENTREGA

Paneles por palet:	33
Paneles por camión (13,6 m):	924 (28 palets)

### COMPORTAMIENTO LUMINICO BAJO

Rendimiento de irradiancia típicamente bajo en STC:



### A. 3. Inversor Huawei® SUN2000-3- 10KTL-M1 (High Current Version).

SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1 (High Current Version)

#### Technical Specification

Technical Specification	SUN2000 -3KTL-M1	SUN2000 -4KTL-M1	SUN2000 -5KTL-M1	SUN2000 -6KTL-M1	SUN2000 -8KTL-M1	SUN2000 -10KTL-M1
<b>Efficiency</b>						
Max. efficiency	98.2%	98.3%	98.4%	98.6%	98.6%	98.6%
European weighted efficiency	96.7%	97.1%	97.5%	97.7%	98.0%	98.1%
<b>Input (PV)</b>						
Recommended max. PV power <sup>1</sup>	4,500 Wp	6,000 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp	12,000 Wp	15,000 Wp
Max. input voltage <sup>2</sup>	1,100 V					
Operating voltage range <sup>3</sup>	140 V ~ 980 V					
Start-up voltage	200 V					
Rated input voltage	600 V					
Max. input current per MPPT	13.5 A					
Max. short-circuit current	19.5 A					
Number of MPP trackers	2					
Max. input number per MPP tracker	1					
<b>Input (DC Battery)</b>						
Compatible Battery	HUAWEI Smart String ESS 5kWh – 30kWh					
Operating voltage range	600 V ~ 980 V					
Max operating current	16.7 A					
Max charge Power	10,000 W					
Max discharge Power	3,300 W	4,400 W	5,500 W	6,600 W	8,800 W	10,000 W
<b>Output (On Grid)</b>						
Grid connection	Three-phase					
Rated output power	3,000 W	4,000 W	5,000 W	6,000 W	8,000 W	10,000 W
Max. apparent power	3,300 VA	4,400 VA	5,500 VA	6,600 VA	8,800 VA	11,000 VA <sup>4</sup>
Rated output voltage	220 Vac / 380 Vac, 230 Vac / 400 Vac, 3W / N+PE					
Rated AC grid frequency	50 Hz / 60 Hz					
Max. output current	5.1 A	6.8 A	8.5 A	10.1 A	13.5 A	16.9 A
Adjustable power factor	0.8 leading ... 0.8 lagging					
Max. total harmonic distortion	≤ 3 %					
<b>Output (Off Grid)</b>						
Backup Box	Backup Box – B1					
Maximum apparent power	3,000 VA	3,300 VA	3,300 VA	3,300 VA	3,300 VA	3,300 VA
Rated output voltage	220 V / 230 V					
Maximum output current	13.6 A	15 A	15 A	15 A	15 A	15 A
Power factor range	0.8 leading ... 0.8 lagging					

## A. 4. Convertidor RS485.

### 5.1 USB-RS485-WE Connections and Mechanical Details

The following **Figure 5.1** shows the cable signals and the wire colours for the signals on the USB-RS485-WE cable.

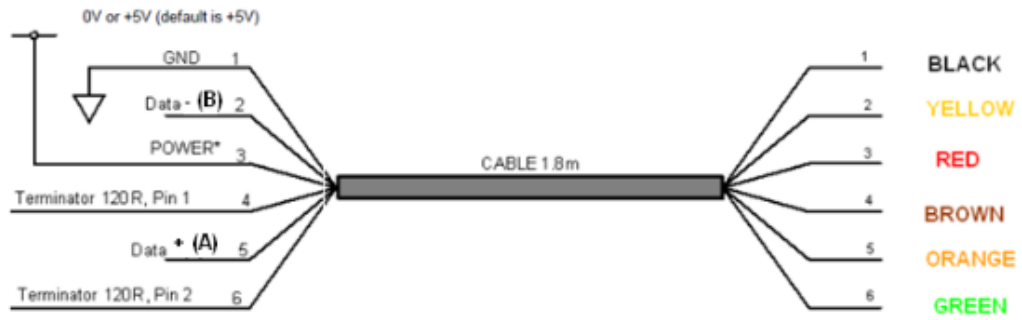


Figure 5.1 USB-RS485-WE Connections

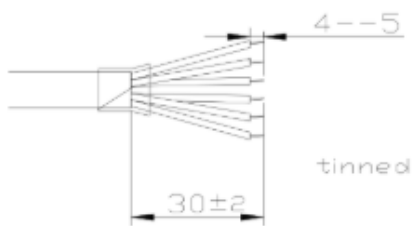


Figure 5.2 USB-RS485-WE Mechanical Details (dimensions in mm)



Figure 5.3 USB-RS485-WE Cable images

## A. 5. Registros Modbus Inversor.

Solar Inverter Modbus Interface Definitions

3 Register Definitions

No.	Signal Name	Read/Write	Type	Unit	Gain	Address	Quantity	Scope
14	State 3	RO	Bitfield32	N/A	1	32003	2	Bit 0: off-grid (0: on-grid; 1: off-grid) Bit 1: off-grid switch (0: disable; 1: enable)
15	Alarm 1	RO	Bitfield16	N/A	1	32008	1	For details, see <a href="#">5.1</a> .
16	Alarm 2	RO	Bitfield16	N/A	1	32009	1	For details, see <a href="#">5.1</a> .
17	Alarm 3	RO	Bitfield16	N/A	1	32010	1	For details, see <a href="#">5.1</a> .
18	PV1 voltage	RO	I16	V	10	32016	1	A maximum of 24 PV strings are supported. The number of PV strings read by the host is defined by the <b>Number of PV strings</b> signal. The voltage and current register addresses for each PV string are as follows: PV $n$ voltage: $32014 + 2n$ PV $n$ current: $32015 + 2n$ $n$ indicates the PV string number, which ranges from 1 to 24.
19	PV1 current	RO	I16	A	100	32017	1	
20	PV2 voltage	RO	I16	V	10	32018	1	
21	PV2 current	RO	I16	A	100	32019	1	
22	PV3 voltage	RO	I16	V	10	32020	1	
23	PV3 current	RO	I16	A	100	32021	1	
24	PV4 voltage	RO	I16	V	10	32022	1	
25	PV4 current	RO	I16	A	100	32023	1	
26	Input power	RO	I32	kW	1000	32064	2	N/A
27	Power grid voltage/Line voltage between phases A and B	RO	U16	V	10	32066	1	When the output mode is L/N, L1/L2/N, or L1/L2, <b>Power grid voltage</b> is used.



## ANEXO B. MANUAL DE USUARIO

Para el correcto uso de la aplicación, se ha generado un ejecutable el cuál alberga todas las librerías Python necesarias para su ejecución. De esta manera el usuario no necesita descargar ninguna de estas librerías.

La única descarga necesaria por parte del usuario, son los drivers del conversor RS485. Los cuales son accesibles desde el siguiente enlace: <https://ftdichip.com/drivers/vcp-drivers/> .

Para la recepción y envío del resumen vía email, es necesario dar los permisos correspondientes a la aplicación, ya que por defecto Gmail no permite el acceso a aplicaciones externas al ordenador. Además, se necesitan dos cuentas de correo distintas, una que mande los resúmenes y otra distinta para recibirlos.