

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA
INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS AISLADAS

Alumna: Payás, Muñoz, Aitana

Director: Mazón, Sainz-Maza, Ángel Javier

Curso: 2018-2019

Fecha: Bilbao, 19 de julio 2019

DATOS PRINCIPALES DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO

Alumna: Aitana Payás Muñoz

Director: Ángel Javier Mazón Sainz-Maza

Departamento: Departamento de Eléctrica

Título: Sistemas de monitorización para instalaciones fotovoltaicas aisladas

Resumen:

Este Trabajo Fin de Grado realiza el análisis de los diferentes dispositivos que existen para el control y monitorización de la operación de sistemas fotovoltaicos cuando funcionan en una de sus dos formas habituales: sistemas aislados de red. Se comienza dando una explicación general sobre la energía fotovoltaica, los sistemas fotovoltaicos conectados a red y los aislados de red. Posteriormente, partiendo de distintas alternativas de sistemas de monitorización, se propone un determinado control para una instalación fotovoltaica aislada.

Palabras clave: energía solar fotovoltaica, monitorización, instalación fotovoltaica aislada, instalación fotovoltaica conectada a red.

Laburpena:

Gradu-amaierako lan honetan, sistema fotoboltaikoen lana kontrolatu eta monitorizatzeko dauden hainbat gailu aztertzen dira, beti ere, sistema horiek ohiko diren bi moduetako batean funtzionatzen badute: saretik isolatutako sistemak. Argibide orokor batzuekin hasten da lana: energia foltoboltaikoa, sarera lotutako sistema foltoboltaikoak eta saretik isolatutakoak. Ondoren, Sistemas de monitorización para instalaciones fotovoltaicas aisladas

monitorizatzeko hainbat sistemetatik abiatuta, isolatutako instalazio foltoboltaikoa kontrolatzeko modu jakin bat proposatzen da.

Hitz gakoak: eguzki-energia foltoboltaikoa, monitorizazioa, isolatutako instalazio foltoboltaikoa, sarera lotutako instalazio foltoboltaikoa.

Abstract:

The aim of this work is to analyse the different devices that exist to control and monitor the operation of photovoltaic systems when they work in one of their two usual ways: as systems isolated from a network. It starts giving a general explanation about photovoltaic energy, photovoltaic systems connected to a network and the ones that are isolated from a network. Afterwards, taking into consideration different alternatives of monitoring systems, one specific control is suggested for an isolated photovoltaic system.

Key words: photovoltaic solar energy, monitoring, isolated photovoltaic system, network connected photovoltaic system

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| DATOS PRINCIPALES DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO | 3 |
| MEMORIA..... | 8 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 8 |
| 2. CONTEXTO | 12 |
| 2.1. ENERGÍA RENOVABLE EN ESPAÑA..... | 12 |
| 2.2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA..... | 15 |
| 3. OBJETIVOS Y ALCANCE | 17 |
| 4. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO | 18 |
| 5. ESTADO DEL ARTE | 19 |
| 5.1. ENERGÍA FOTOVOLTAICA..... | 19 |
| 5.2. COMPONENTES DE LA RADIACIÓN SOLAR..... | 20 |
| 5.3. EFECTO FOTOELÉCTRICO..... | 21 |
| 5.4. DOPAJE DE SEMICONDUCTORES-UNIONES “P-N” | 23 |
| 5.5. LA CÉLULA FOTOVOLTAICA..... | 24 |
| 5.6. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS | 26 |
| 5.7. CURVAS CARACTERÍSTICAS..... | 28 |
| 5.8. MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN..... | 34 |
| 6. SISTEMAS CONECTADOS A RED..... | 36 |
| 6.1. APLICACIONES DE LOS SFCR | 37 |
| 7. SISTEMAS AISLADOS DE RED | 40 |
| 7.1. APLICACIONES DE LOS SFA | 42 |
| METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO..... | 44 |
| 8. PARÁMETROS Y SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN | 44 |
| 8.1. EL CONVERTIDOR O INVERSOR: | 45 |
| 8.2. LA BATERÍA O ACUMULADOR:..... | 48 |
| 8.3. REGULADORES DE CARGA:..... | 51 |
| 8.4. CONTROL DE TEMPERATURA E IRRADIANCIA: | 57 |
| 9. EJEMPLO DE MONITORIZACIÓN DE UN SISTEMA AISLADO | 60 |
| Sistemas de monitorización para instalaciones fotovoltaicas aisladas | 5 |

| | |
|--|----|
| 10. DESCRIPCIÓN DE FASES | 66 |
| 11. DIAGRAMA DE GANTT | 67 |
| CONCLUSIONES Y MEJORAS..... | 69 |
| BIBLIOGRAFÍA | 70 |
| ANEXO I: Normativa..... | 72 |
| ANEXO II: Hoja de características..... | 75 |

LISTA DE IMÁGENES

| | |
|--|----|
| Imagen 1: Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica | 20 |
| Imagen 2: Representación del efecto fotovoltaico | 22 |
| Imagen 3: A) Silicio de tipo n. B) Silicio de tipo p. | 23 |
| Imagen 4: De izquierda a derecha; silicio monocristalino, policristalino y amorfo. | 25 |
| Imagen 5: Elementos constitutivos del panel fotovoltaico | 28 |
| Imagen 6: Esquema de un SFCR. | 36 |
| Fuente: Newen Solar | 36 |
| Imagen 7: Ejemplo de un SFCR sobre una edificación..... | 37 |
| Imagen 8: Panel fotovoltaico con seguimiento solar | 38 |
| Imagen 9: Huerto solar | 38 |
| Imagen 10: Ejemplo de edificio con integración..... | 39 |
| Imagen 11: Esquema de sistema fotovoltaico con carga | 40 |
| Imagen 12: Esquema de sistema fotovoltaico con regulador y batería | 41 |
| Imagen 13: Sistema fotovoltaico aislado. Fuente: EnergiaSolar | 41 |
| Imagen 14: Estación Espacial Internacional. Paneles fotovoltaicos..... | 43 |
| Imagen 15: Ingecon Sun 3PLAY 100TL. Apto para SFCR. Fuente: SumSol | 47 |
| Imagen 16: Victron BueSolar PWM-Ligth 12-24V. Fuente: SumSolar..... | 56 |
| Imagen 17: Victron SmartSolar 150-45/150-100. Fuente: SumSolar | 56 |
| Imagen 18: Esquema de una instalación FV aislada. Fuente: SOPELIA | 60 |
| Imagen 19: Control mediante el regulador. Fuente: SumSol | 61 |
| Sistemas de monitorización para instalaciones fotovoltaicas aisladas | 6 |

| | |
|---|----|
| Imagen 20: Monitorización del inversor. Fuente: SumSol | 62 |
| Imagen 21: Monitorización de la variable temperatura. Fuente: JMinidustrial | 63 |
| Imagen 22: Medidor de la radiación. Fuente: Instrumentos de Medida, S.L..... | 64 |
| Imagen 23: Esquema de los componentes de la instalación FV aislada. Parámetros a monitorizar..... | 65 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfica 1: Estructura de generación de energía eléctrica en 2018..... | 13 |
| Gráfica 2: Participación de la generación solar fotovoltaica en la generación total (%)...... | 15 |
| Gráfica 3: Curva intensidad-tensión (curva I-V) | 29 |
| Gráfica 4: Efecto de la radiación en la curva I-V..... | 31 |
| Gráfica 5: Efecto de la temperatura en la curva I-V | 31 |
| Gráfica 6: Etapas de carga de una batería. | 54 |

LISTA DE ACRÓNIMOS

- TFG: Trabajo de Fin de Grado
- REE: Red Eléctrica de España
- SF: Sistema Fotovoltaico
- SFCR : Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red
- SFAR : Sistema Fotovoltaico Aislado de Red
- FV: Fotovoltaica

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

La energía se puede almacenar de distintas formas y puede ser producida por distintas fuentes en función de las reservas disponibles y de su capacidad de regeneración.

Una primera clasificación de las fuentes de energía es: primarias y secundarias. En las primarias, se puede obtener la energía directamente de ellas, mientras que en las secundarias son necesarias sucesivas operaciones de transformación y transporte. Un ejemplo explicativo sería la energía eléctrica; esta es una fuente secundaria ya que para su producción se necesita recurrir a otras fuentes de energía y procesos de transformación.

También se clasifican en fuentes permanentes (renovables) y temporales (convencionales o no renovables). Este último tipo, como es bien sabido, tiende a agotarse ya que la velocidad de reposición mediante procesos naturales es considerablemente más lenta que su consumo. Las energías renovables son aquellas obtenidas a partir de fuentes inagotables; es decir, se producen de manera continua sin que se agote la fuente de la cual provienen.

Los combustibles fósiles: el carbón, el petróleo y el gas natural pertenecen a fuentes de **energía no renovables**. Fueron creados por la acumulación de materia orgánica en las capas de la tierra tras un proceso de descomposición anaerobia durante millones de años. Sin embargo, la energía obtenida a partir de ellos es previsto que se consuma en unos cientos de años. Como consecuencia del uso de los combustibles fósiles se generan grandes cantidades de compuestos nocivos para el medio ambiente como el CO₂, causante del efecto invernadero, o como los conocidos como NO_x (NO y NO₂) y SO_x, que junto al agua atmosférico dan lugar a la Sistemas de monitorización para instalaciones fotovoltaicas aisladas

lluvia ácida y resultan perjudiciales tanto para la salud humana como para la naturaleza.

En lo referente a la energía nuclear, se obtiene a partir de las reacciones de núcleos atómicos y partículas. La energía contenida en el núcleo se libera por mecanismos de fisión o fusión dando lugar a una desaparición de masa en forma de calor. Es destacable que a partir de pocas cantidades de combustible se logra gran cantidad de energía, además no emite CO₂ a la atmosfera y con el desarrollo de nuevos reactores y el avance de las tecnologías, se prevé que las reservas pueden llegar a abastecernos durante miles de años.. Sin embargo, presenta desventajas como la generación de residuos altamente radiactivos y de difícil eliminación, el alto costo de fabricación y mantenimiento de una central nuclear y que en caso de accidente, este puede ser catastrófico.

Con objeto de paliar esas emisiones, pensando en el futuro agotamiento de los combustibles fósiles y con vistas a un desarrollo sostenible, resurgen las denominadas **energías renovables**. El Sol es la fuente de energía de la Tierra, y las energías renovables son parte de la energía que el Sol aporta a la Tierra. La principal ventaja de este tipo de fuentes, frente a las convencionales, está en que el impacto medioambiental es mucho menor, además por su carácter autóctono contribuyen a disminuir la dependencia de suministros externos a nuestro país.

Con las energías renovables se pueden logran las dos formas de energía más utilizadas: calor y electricidad. Dentro de este grupo se encuentran la energía hidráulica, la eólica, la solar (térmica y fotovoltaica), la obtenida a partir de la biomasa, la geotérmica, la mareomotriz y la obtenida a partir de las olas.

- **Energía eólica:** consiste en el aprovechamiento de la energía cinética del viento para la producción de electricidad. Los molinos de viento que están en los parques eólicos son conectados a generadores eléctricos de forma

que el viento hace girar las palas del molino y el generador de electricidad. Se utilizan para demandas pequeñas de potencia.

- **Energía hidráulica:** también llamada hidroeléctrica, utiliza la energía potencial y cinética del agua a lo largo de su curso para convertirla en eléctrica. El dispositivo capaz de realizar la conversión es la turbina. En función del tamaño de la central hidroeléctrica, se pueden abastecer tanto demandas grandes de potencia como pequeñas.
- **Energía de biomasa:** se basa en la combustión de residuos de materia orgánica obteniendo principalmente energía térmica. Esta forma de energía es una de las más económicas y ecológicas y una de las energías renovables con mayor potencial.
- **Energía geotérmica:** se encuentra en el interior de la Tierra en forma de calor. Se extrae el fluido geotérmico; combinación de vapor de agua con otros materiales y se redirige a la planta geotérmica donde pasando por una turbina conectada a un generador se consigue energía eléctrica. Esta fuente de energía produce pequeñas emisiones de CO₂ que aumentan ligeramente el efecto invernadero.
- **Energía mareomotriz:** tiene su origen en la energía gravitatoria, se aprovecha la energía que libera el agua de mar en sus movimientos. Utilizando un alternador, se genera la electricidad. Es un tipo de energía renovable poco empleado debido al alto coste de construcción de dispositivos y el efecto negativo sobre fauna y flora.
- **Energía de las olas o undimotriz:** el oleaje es consecuencia del rozamiento del aire con la superficie del mar. Las boyas transmiten el movimiento de las olas a las turbinas instaladas generando así electricidad. Tiene un enorme potencial energético, se pueden llegar a obtener 100KW por metro de altura de ola. Sin embargo, sus costes de fabricación y mantenimiento son elevados.

- **Energía solar:** es la fuente primaria de todas las fuentes de energía, exceptuando la energía geotérmica, mareomotriz y undimotriz. Se basa en sistemas de captación y almacenamiento que aprovechan la radiación solar de distintas maneras: transformación en calor (térmica) o en electricidad (fotovoltaica).

2. CONTEXTO

2.1. ENERGÍA RENOVABLE EN ESPAÑA

Las energías renovables han sido utilizadas a lo largo de la historia hasta la llegada de la “Revolución Industrial” donde la aparición del carbón tuvo gran aceptación por su bajo coste y su alta densidad energética.

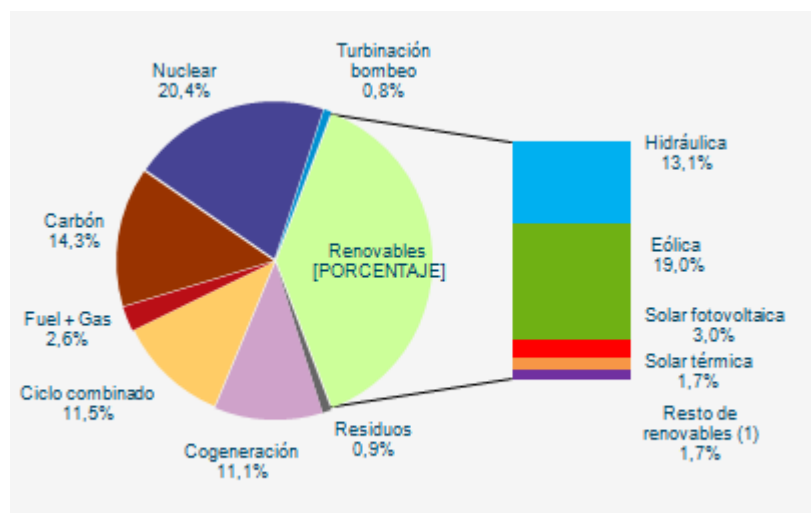
Más adelante el petróleo y posteriormente el gas natural se convirtieron en los combustibles fósiles pioneros.

A finales del siglo XX, las fuentes de energía renovable tuvieron un gran impulso a nivel nacional. El denominado “Plan de Fomento de las Energías Renovables” (2000-2010) tenía como fin generar el 30% de electricidad a partir de fuentes de energía inagotables; principalmente provenientes de la energía eólica. Dicho objetivo no solo se logró sino que se llegó a superar, siendo el 35% del total de la demanda eléctrica generada a través de fuentes de energía renovable.

En 2016, aproximadamente el 16% de la energía total consumida en España provenía de fuentes de energía renovable y casi el 40% de la energía eléctrica. Con todo, a finales de dicho año la Comisión Europea presentó el paquete “Energía Limpia para todos los europeos” cuyos objetivos aunaban los establecidos anteriormente en el Acuerdo de París de 2015 contra el cambio climático. La finalidad de dichas medidas era acelerar la transición energética hacia una energía limpia, segura y competitiva a nivel económico.

Debido a una menor aportación renovable eléctrica a consecuencia de la disminución de producción de energía hidráulica a causa de la sequía vivida durante el año, en 2017 se visualizó una bajada en el porcentaje de energía proveniente de fuentes de energía renovables.

En 2018, según los datos aportados por REE (Red Eléctrica de España) el 38,5% de la electricidad consumida en España fue generada por instalaciones de energía renovables; en especial, eólica, hidráulica y solar. La eólica se posicionó en primer lugar con un 49,35% de la energía eléctrica total originada por tecnologías renovables (19,0% de la energía total generada en el país), en segundo lugar la hidráulica con un 34,03% que presentó un considerable aumento frente al año anterior, y en último lugar las centrales de energía solar con un 7,8% de la energía producida por fuentes renovables (un 3% de la total). Las centrales nucleares generaron el 20,4% de la electricidad total; es decir, se posicionaron ligeramente por encima de la generación de energía eólica.



¹⁾ Incluye biogás, biomasa, geotérmica, hidráulica marina, hidroeólica y RSU renovables.

Gráfica 1: Estructura de generación de energía eléctrica en 2018.

Fuente: Red Eléctrica de España (REE)

En cálculos generales, en 2018 en España se consiguió que el 58,9% de la energía eléctrica generada procediera de fuentes renovables y de la energía nuclear. Un punto a favor en vistas al cambio climático ya que ninguna de ambas fuentes presenta emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

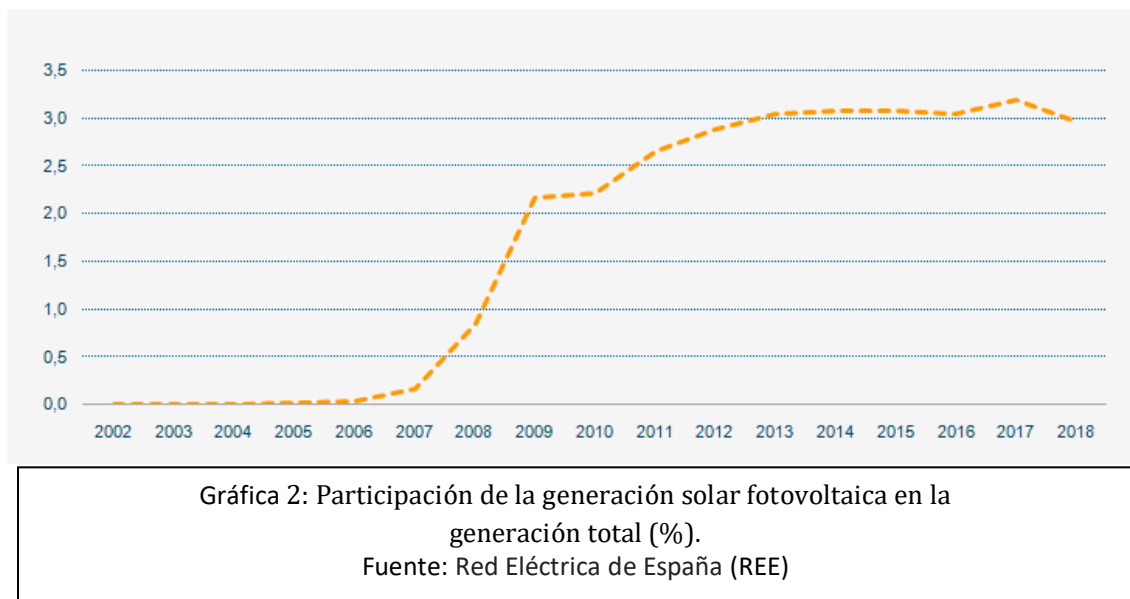
Sin embargo, a nivel tanto europeo como nacional se han propuesto mejorar la situación de las energías renovables de cara al año 2020 con el plan denominado “Triple 20”. Los objetivos de este plan se basan en la reducción de emisiones de gases a la atmosfera en un 20%, el aumento hasta el 20% del uso de energías renovables y la mejora de la eficiencia de estas en un 20%.

España actualmente cuenta también con el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC 2021-2030) presentado en Febrero de 2019 y remitido a la Comisión Europea, cuya aprobación se espera para finales de año. El plan ha sido realizado con el ánimo de impulsar la transición energética; se prevé que la contribución de energías renovables en el sistema eléctrico alcance el 74% en 2030 y que para 2050 se logre una economía prácticamente descarbonizada.

En Abril de 2019, según los últimos datos aportados por Red Eléctrica de España las tecnologías renovables fueron las máximas productoras de electricidad a nivel nacional. Situándose a continuación los combustibles fósiles y posteriormente la energía nuclear.

2.2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA

España, a pesar de ser uno de los países con más horas de sol al año, actualmente solamente el 3% de la demanda de energía eléctrica en el país se cubre con energía solar fotovoltaica.



En 2018, se instalaron en España 261,7 MW de nueva potencia fotovoltaica según los datos aportados por la Unión Española Fotovoltaica (UNEF). Este dato representa un incremento del 94% respecto a la energía fotovoltaica instalada en 2017 y un gran aumento respecto a la instalada en 2015, 49MW. De los 261,7MW instalados en 2018, 235,7MW corresponden al autoconsumo y 36MW a plantas fotovoltaicas sobre el suelo.

En el pasado mes de abril, se aprobó el Real Decreto donde se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas referentes al autoconsumo de la energía fotovoltaica creando un marco estable y de libre mercado para su desarrollo. En esta nueva normativa se hace al ciudadano responsable de su

consumo permitiéndole tener libre acceso a la producción y venta de energía. Asimismo, se prevé suprimir las barreras económicas (derogando las cargas y peajes de la energía autoconsumida) y administrativas simplificando los trámites a la hora de instalar estaciones de pequeña potencia e introduciendo compensaciones económicas por la energía limpia vertida a la red. Cabe destacar que la nueva normativa también reconoce el derecho al autoconsumo compartido.

Todo ello con la finalidad de impulsar la implantación de paneles fotovoltaicos y a su vez acelerar la transición energética

3. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo principal del presente trabajo fin de grado (TFG) es el análisis y monitorización de los elementos de una instalación fotovoltaica aislada. Para ello, se comenzará explicando el concepto de energía renovable así como su evolución. Posteriormente, se continuará con la explicación de la energía solar fotovoltaica, sus principios de funcionamiento y sus formas de utilización de la energía en sistemas fotovoltaicos conectados a red y en sistemas fotovoltaicos aislados de red. Se explicarán los parámetros más importantes a monitorizar y se hará un análisis de alternativas de elementos de monitorización en una instalación fotovoltaica aislada.

El alcance de este TFG contempla la importancia que tiene monitorizar los parámetros de una instalación fotovoltaica con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del campo fotovoltaico; es decir, la verificación de la energía producida, la detección de averías y la comprobación de la vida útil de los elementos que componen la instalación.

4. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO

En primer lugar, la implementación de energías renovables en lugar de sistemas convencionales aporta tanto beneficios económicos como beneficios medioambientales a nivel mundial. En lo que se refiere a mejoras medioambientales, se reduce la emisión de contaminantes a la atmosfera frenando así el cambio climático y potenciando la transición energética. Además de que el impacto medioambiental es mucho menor, las energías renovables poseen carácter autóctono por lo que económicamente hablando pueden presentar un abaratamiento frente a las convencionales debido a que estas últimas si necesitan suministro exterior. Gracias a las energías renovables se presenta también una reducción de costes en la factura eléctrica.

En lo que respecta a la energía solar fotovoltaica, esta se presenta como una opción de energía renovable. Este tipo de energía se considera un recurso infinito ya que la fuente de energía es el Sol. El Sol irradia en todos los lugares del planeta por lo que permite el acceso a la utilización de energía fotovoltaica en cualquier lugar. Se considera una forma de energía económica que permite que la ciudadanía pueda disponer de ella. Con la energía fotovoltaica se evitan las pérdidas de transporte de energía debido a que se puede consumir la electricidad en el mismo lugar en el que se genera.

En cuanto a la monitorización de los sistemas fotovoltaicos, estos permiten que el usuario esté en todo momento informado sobre el estado de la instalación, pudiendo así verificar que se está generando la electricidad prevista. Así, si se presenta alguna deficiencia en el campo fotovoltaico esta puede ser rectificada a tiempo sin que los equipos del sistema se vean afectados.

5. ESTADO DEL ARTE

5.1. ENERGÍA FOTOVOLTAICA

La energía solar es la mayor fuente de radiación electromagnética del planeta. Es la energía contenida en la radiación solar que para ser transformada necesita sistemas de captación y de almacenamiento. Actualmente existen tres formas de aprovechamiento de dicha energía: la energía solar pasiva, energía solar térmica y energía solar fotovoltaica. Las dos últimas se pueden considerar dos tipos de energía solar activa.

La energía solar pasiva consiste en la utilización directa de la energía solar; sin el uso de ningún elemento externo. Mediante el correcto diseño, ubicación y orientación de los edificios y empleando elementos arquitectónicos con alta captación de energía térmica se logra utilizar la energía solar de forma conveniente.

La energía solar térmica pretende principalmente, transformar el calor de la radiación que proviene del sol en calor útil aprovechable. Su aprovechamiento se basa en calentar agua a través de colectores solares, superficies expuestas a la radiación solar que permiten absorber su calor y transmitirlo al fluido, aumentando así la energía interna del fluido, que de esta manera será más fácilmente transportada para posteriormente utilizarla. En función de la temperatura, se distinguen tres técnicas diferentes: captación directa (baja T^a), captación de bajo índice de concentración (media T^a) y captación de alto índice de concentración (alta T^a).

La energía solar fotovoltaica es otra forma de aprovechamiento de la radiación solar. Consiste en producir energía eléctrica a través de células fotovoltaicas basándose en efecto fotoeléctrico. Existen tres formas de utilizar la energía
Sistemas de monitorización para instalaciones fotovoltaicas aisladas

proveniente del efecto fotoeléctrico: en instalaciones aisladas de la red eléctrica, en instalaciones conectadas a la red eléctrica convencional e instalaciones de autoconsumo.

Dicha fuente de energía solar está indicada para un amplio rango de aplicaciones donde se necesite generar energía eléctrica. La ingeniería ha sido capaz de integrar la energía solar fotovoltaica en distintos sectores, a continuación se presentan algunos de ellos:

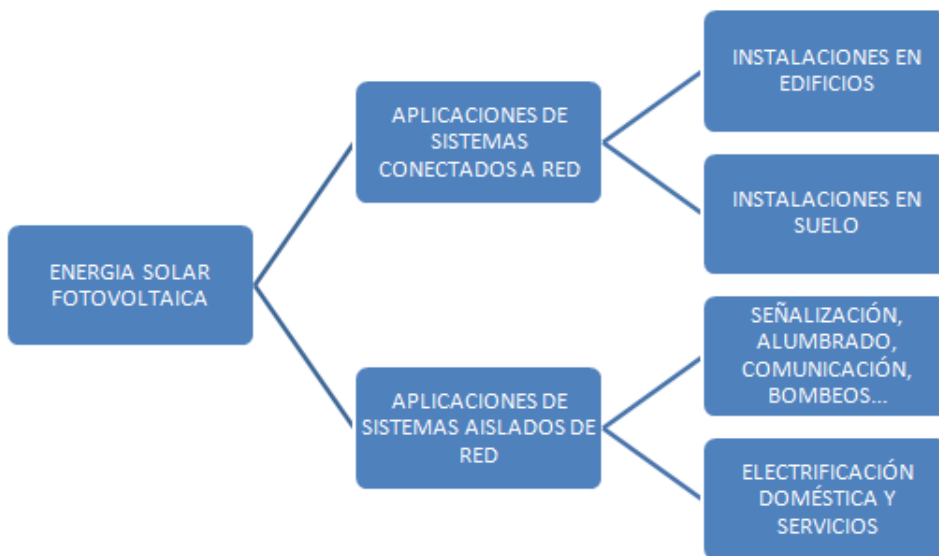


Imagen 1: Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica

5.2. COMPONENTES DE LA RADIACIÓN SOLAR

Dependiendo de cómo incidan los rayos solares en la Tierra se distinguen tres componentes.

1. Directa: Es la radiación que procede directamente del sol sin ser desviada ni transformada al pasar por la atmosfera. Es la más importante en las aplicaciones fotovoltaicas.
2. Difusa: Es la radiación que sufre cambios en su dirección como resultado de la reflexión y difusión en la atmosfera. La que se recibe a través de las nubes o del cielo azul es radiación difusa.
3. Albedo: Es la radiación directa y difusa que se recibe debido al reflejo del suelo, por reflexión.

5.3. EFECTO FOTOELÉCTRICO

La producción de energía eléctrica a través de la radiación solar se basa en el efecto fotoeléctrico.

La luz tiene una naturaleza dual, tiene carácter de onda y de cuerpo. El cuerpo es lo que conocemos por fotones, que llevan asociados una cantidad de energía. Por otro lado, los átomos están constituidos por un núcleo (formado por protones y neutrones) con carga eléctrica positiva y por electrones con carga eléctrica negativa que giran alrededor del núcleo en distintas capas de energía. Los electrones de la última capa son denominados electrones de valencia y son los electrones de mayor energía. Cuando los electrones tienen más energía que la última capa donde pueden estar, se escapan.

Este fenómeno se da en ciertos materiales cargados eléctricamente. Los materiales, eléctricamente hablando, se clasifican en conductores, semiconductores y aislantes. Los materiales utilizados en esta aplicación son los semiconductores; a bajas temperaturas presentan características aislantes mientras que a altas temperaturas adoptan las propiedades de un material conductor donde los

electrones tienen libertad de movimiento. Un ejemplo de material semiconductor es el Silicio o el Germanio.

Por tanto, cuando la radiación del Sol incide sobre un material semiconductor, los fotones que la constituyen son capaces de transmitir su energía a los electrones de valencia y romper el enlace electrón-núcleo. Al lugar que deja el electrón se le denomina hueco, tiene la misma carga que el electrón pero de carácter positivo. Por cada enlace roto se libera un electrón y se crea un hueco de manera que ambos se desplazan por el interior del sólido. Los electrones y los huecos se mueven de manera aleatoria sin una dirección predeterminada, lo cual no es aprovechable en un circuito externo. Para evitar la recombinación es preciso redirigir el movimiento de electrones y huecos mediante la creación de un **campo eléctrico** dentro del semiconductor, así carga positiva y negativa circulan en direcciones opuestas. Este fenómeno es conocido por el efecto fotovoltaico.

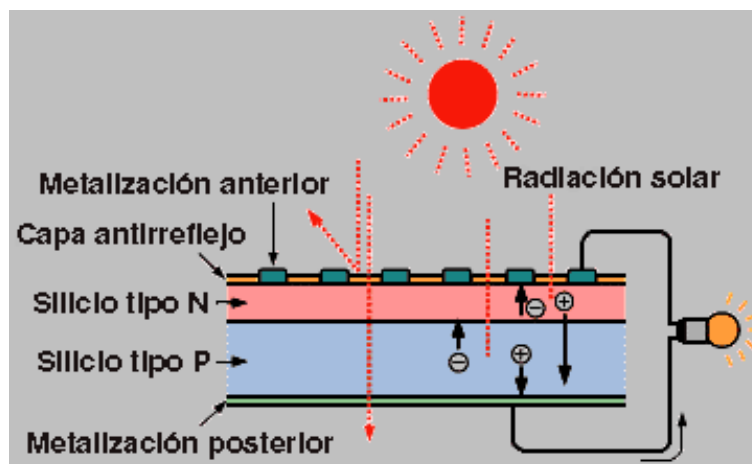


Imagen 2: Representación del efecto fotovoltaico

5.4. DOPAJE DE SEMICONDUCTORES-UNIONES “P-N”

El dopaje de semiconductores consiste en introducir impurezas a la red cristalina del semiconductor, permitiéndonos así conducir las cargas excedentes que mejoran la conductividad del material.

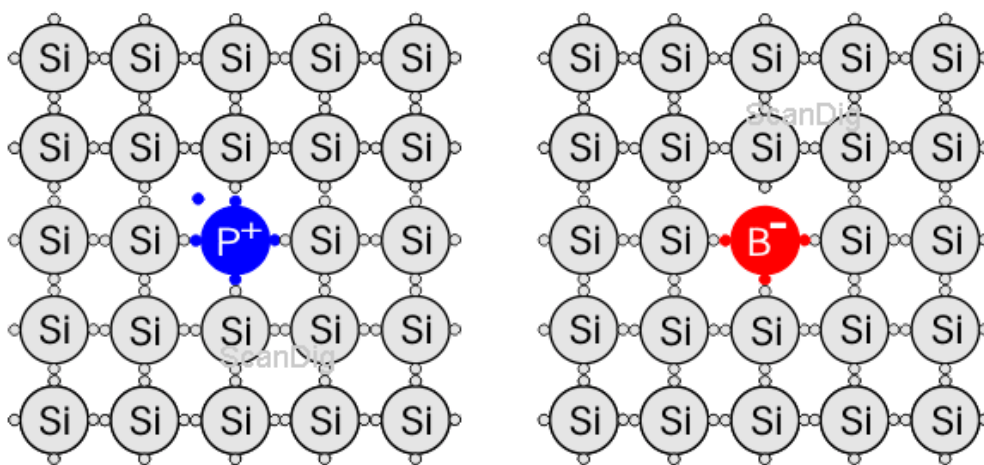


Imagen 3: A) Silicio de tipo n.

B) Silicio de tipo p.

Para que se cree un campo eléctrico es necesario unir dos regiones de material semiconductor, en este caso, de Silicio: unión “p-n”. El Silicio tiene cuatro electrones de valencia. Si se le dopa con átomos de fósforo, que tiene cinco electrones de valencia, se producirá un excedente de cargas negativas disponibles para la conducción eléctrica, silicio tipo “n”. Si se le dopa con átomos de Boro, que tiene tres electrones en su banda de valencia, el resultado será la aparición de un excedente de cargas positivas para la conducción de electricidad, silicio tipo “p”.

De esta manera, los electrones libres del material tipo “n” tienden a ocupar los huecos del material tipo “p” creándose así un campo eléctrico.

5.5. LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

La célula fotovoltaica es el dispositivo electrónico donde tiene lugar la conversión de radiación solar en electricidad, es el lugar donde ocurre el efecto fotoeléctrico. Generalmente, será una placa de silicio dopado “p” por un lado y de “n” por el otro lado. Las células fotovoltaicas se colocan entre una capa superior de vidrio templado y una capa inferior de aluminio o vidrio.

En función de la naturaleza y composición de las células, existen distintos tipos:

1. Células de silicio monocristalino. Estas células presentan una estructura perfectamente ordenada. Se fabrican a partir de un único cristal de silicio mediante un proceso de fabricación complejo. Visualmente se caracterizan por su monocromía azulada y metálica. Tienen un rendimiento elevado (16-18%) y consecuentemente un alto coste.
2. Células de silicio policristalino. Estas células presentan una estructura ordenada separada por regiones, las fronteras de estas regiones son las que hacen que el rendimiento de este tipo de células sea menor (12-14%). Su proceso de fabricación es similar al de las células monocristalinas pero con menos fases de cristalización. Visualmente se caracterizan por tener una estructura de cristales con distintos tonos de azules y grises metálicos.
3. Células de silicio amorfo. No tienen estructura cristalina definida, presentan un alto grado de desorden. Su proceso de fabricación es bastante simple comparándolo con los anteriores, también es menos costoso. Visualmente tienen un color marrón homogéneo. Su rendimiento (10%) es inferior a las células monocristalinas y policristalinas debido al gran número de defectos estructurales y de enlaces que tiene este tipo de célula.

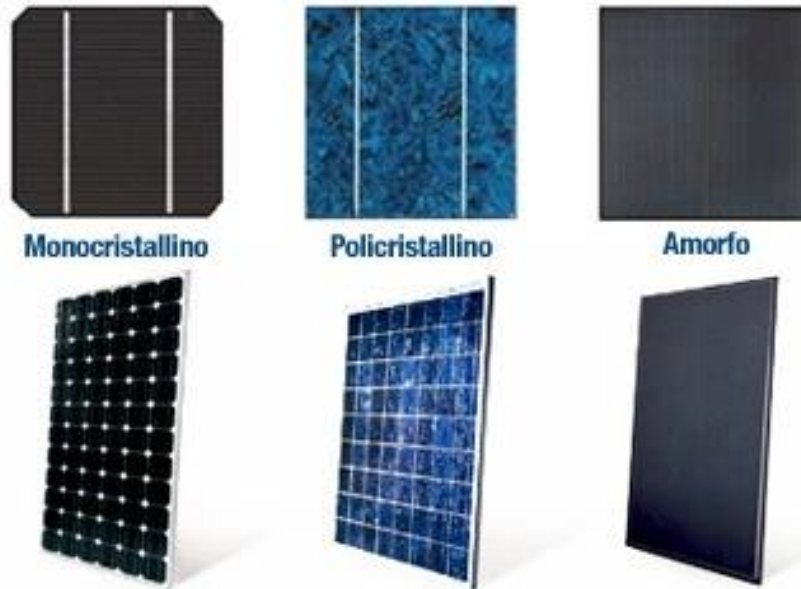


Imagen 4: De izquierda a derecha; silicio monocristalino, policristalino y amorfo.

A la hora de elegir una u otra tipología, el coste y la eficiencia son las variables más decisivas. En este sentido, las células de silicio monocristalino podrían ser la mejor cuando el espacio sea determinante. El motivo es debido a que las células monocristalinas tienen mayor rendimiento por lo que el espacio que se necesitará será menor que con las células policristalinas o amorfas. No obstante, el coste y la eficiencia son parámetros a analizar para cada situación particular.

El Silicio es utilizado para dichas células debido a sus ventajosas propiedades frente a otros materiales y por su facilidad de obtención ya que es un elemento muy abundante en la corteza terrestre. Sin embargo, actualmente también se consiguen altos rendimientos con el Arsenio en combinación con el Galio o con el Diseleniuro de cobre.

Las células de Arseniuro de Galio, mantienen sus propiedades a elevadas temperaturas y obtienen muy buenos rendimientos (27%) con pequeños espesores. Asimismo, presentan una eficiente respuesta ante radiaciones ionizantes. No obstante, al ser un material poco abundante y con un proceso de fabricación difícil su coste es elevado.

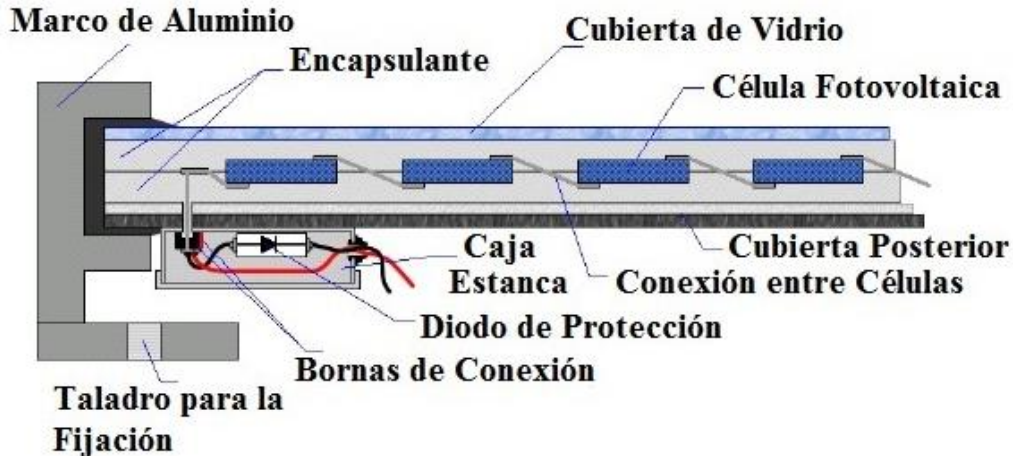
Finalmente, cabe destacar otro tipo de células, las células de película delgada. Estas células están formadas por la unión de dos materiales, normalmente sulfuro de cadmio (CdS) y sulfuro cuproso (Cu₂S). Debido a la capacidad de absorción de radiación de estos materiales, se necesita poco material activo y con espesores de tan solo 0,001mm es suficiente. Su rendimiento es de un 5%. Aunque su rendimiento es bastante inferior que a todas las células anteriores, la poca cantidad de material a utilizar, la baja energía consumida y la posibilidad de automatización del proceso de fabricación ofrecen una considerable reducción de costes frente a las demás, lo cual puede ser una razón determinante para ser utilizadas en determinadas instalaciones.

5.6. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Un panel o módulo fotovoltaico está formado por una asociación de celdas fotovoltaicas interconectadas convenientemente en serio y/o en paralelo de forma que la tensión y corriente suministrada por el módulo aumente hasta el valor necesario. Habitualmente se asocian las células en serie con el fin de alcanzar el voltaje deseado y posteriormente se asocia el conjunto de células en serie en paralelo para obtener la corriente deseada.

Las células que se utilizan para formar el panel fotovoltaico deben tener los mismos parámetros eléctricos para que no se produzcan descompensaciones que limiten su funcionamiento.

Los módulos fotovoltaicos son de distintos modelos y tamaños dependiendo de su aplicación. Sin embargo, con independencia de lo anterior, un panel fotovoltaico debe de estar dotado de protección mecánica, aislamiento eléctrico y protección contra agentes ambientales exteriores con el fin de favorecer la máxima captación solar, el máximo rendimiento. Se considera que la vida útil de un panel fotovoltaico es de 25 años.



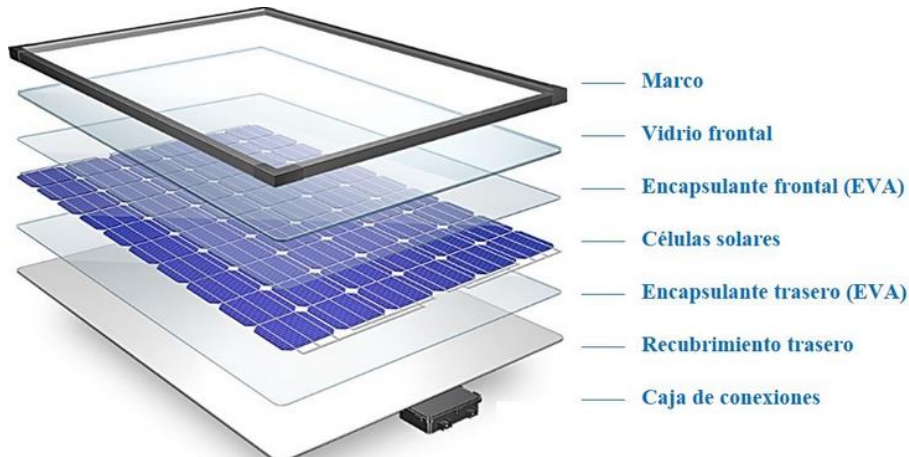


Imagen 5: Elementos constitutivos del panel fotovoltaico

5.7. CURVAS CARACTERÍSTICAS

5.7.1. Curvas características de las células fotovoltaicas

El comportamiento de las células fotovoltaicas es estudiado a partir de la curva intensidad-tensión (curva I-V). La curva viene dada por la suma algebraica de la corriente fotogenerada y la corriente de diodo o de oscuridad.

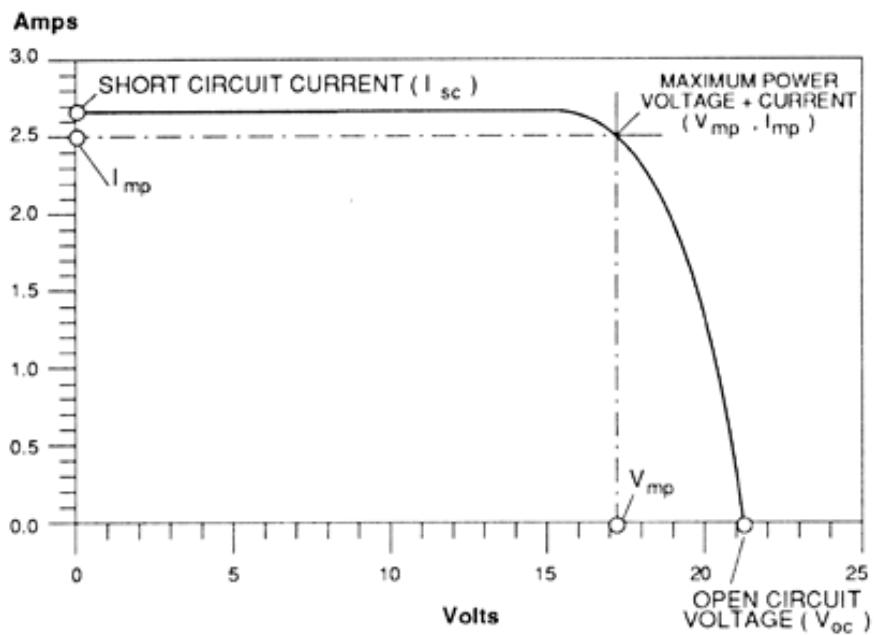
- La corriente fotogenerada (I_L): es la corriente debida a la generación de portadores que produce la radiación.
- La corriente de oscuridad (I_D): es la corriente debida a la recombinación de portadores que produce el voltaje externo necesario para poder entregar energía a la carga. Viene dada por la fórmula matemática:

$$I_D = I_0 [\exp((eV/KT)) - 1]$$

Con lo que la ecuación característica fundamental de la célula solar queda de la siguiente forma:

$$I = I_L - I_D$$

Se ha tomado el convenio de signos de manera que la corriente de generación sea positiva con lo que en la siguiente representación grafica se deberá tener en cuenta que en el primer cuadrante del plano I-V la célula está entregando intensidad a una carga bajo tensión positiva; es decir, la zona comprendida entre I_{sc} y V_{oc} corresponde al funcionamiento de la célula como generador de energía.



Gráfica 3: Curva intensidad-tensión (curva I-V)

Los Parámetros fundamentales de la curva I-V:

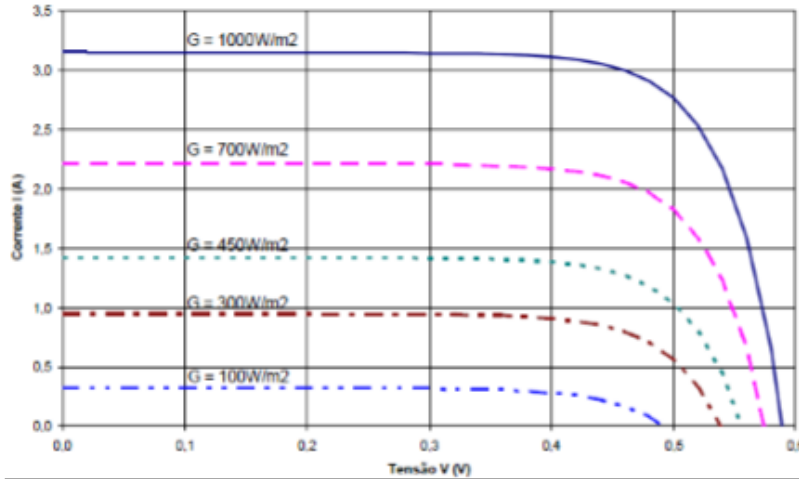
- Corriente de cortocircuito (I_{sc}): es el mayor valor de corriente que puede entregar la célula, se obtiene en condiciones de cortocircuito; es decir, para tensión nula.
- Tensión de circuito abierto (V_{oc}): es la mayor tensión que puede soportar la célula, se obtiene en condiciones de circuito abierto; es decir, para intensidad nula.
- Potencia de pico ($V_{mp} \cdot I_{mp}$): es la máxima potencia entregada por la célula por tanto los restantes puntos de la curva corresponden a valores inferiores.
- Corriente de potencia máxima (I_{mp}): es la corriente que entrega la célula a máxima potencia. También se le denomina corriente nominal de la célula.
- Tensión a máxima potencia (V_{mp}): es la tensión que entrega la célula bajo condiciones de máxima potencia. También se le denomina tensión nominal de la célula.
- Factor de forma (FF): es el cociente entre la potencia máxima y el producto de la tensión de circuito abierto y la intensidad de cortocircuito:

$$FF = \frac{I_M \cdot V_M}{V_{OC} \cdot I_{SC}}$$

Por otro lado, estos parámetros dependen de condiciones meteorológicas externas como la radiación solar incidente y la temperatura ambiente.

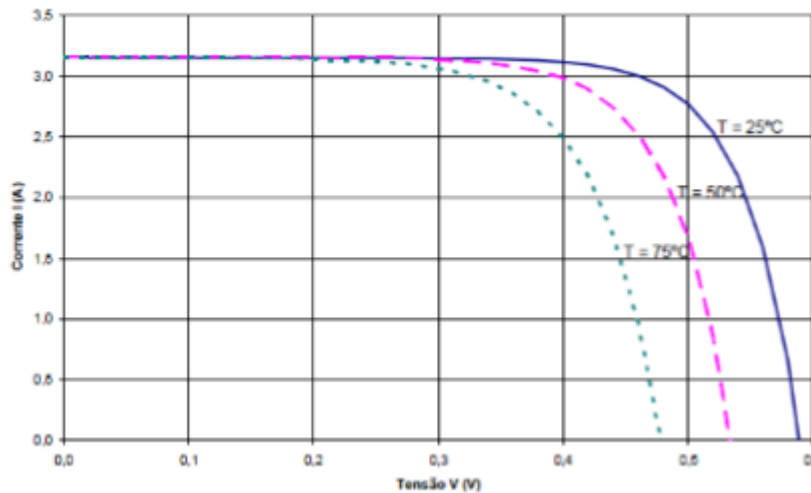
La radiación influye directamente sobre la corriente del panel fotovoltaico; la corriente que suministra la célula es proporcional a la intensidad de radiación y a la superficie de la célula. En la siguiente gráfica se puede observar cómo, a temperatura constante, a medida que la corriente se hace más pequeña la radiación también disminuye. Podemos observar que la tensión también

disminuye con la radiación pero en menor medida, de forma que se podría considerar despreciable.



Gráfica 4: Efecto de la radiación en la curva I-V

La tensión es función de la temperatura, cuando la temperatura aumenta la tensión disminuye. La corriente permanece prácticamente constante y por tanto la potencia de salida disminuye.



Gráfica 5: Efecto de la temperatura en la curva I-V

La temperatura de trabajo de una célula está relacionada con la temperatura ambiente y la irradiación mediante la siguiente ecuación:

$$T_c = T_a + G \cdot \frac{TONC - 20}{800}$$

Dónde;

- **T_c**= temperatura de trabajo de la célula (°C)
- **T_a**=temperatura ambiente (°C)
- **TONC**= temperatura de operación nominal de la célula (°C)
- **G**=irradiancia (W/m²)

A modo de conclusión, cabe destacar que, a medida que la temperatura de la célula aumenta, disminuye el rendimiento el cual se define como el cociente entre la potencia máxima que el modulo fotovoltaico puede entregar y la potencia de la radiación solar incidente:

$$\eta = \frac{P_M}{P_L} = \frac{I_M \cdot V_M}{P_L}$$

En la práctica, la temperatura de las células generalmente supera la temperatura estándar de 25°C debido a la disipación de calor por el interior de las celdas del panel. Este hecho hace que la potencia de salida nunca alcance el valor de pico esperado por el fabricante, es por ello que para el diseño de un sistema fotovoltaico debe tenerse en consideración el denominado factor de degradación que tiene en consideración las pérdidas en el rendimiento cuando se trabaja a condiciones que no son estándar.

Todos los parámetros especificados anteriormente serán variables a monitorizar para el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico. En apartados posteriores será explicado.

5.7.2. Curvas características de los módulos fotovoltaicos

La curva intensidad-tensión para el módulo fotovoltaico se obtiene a partir de la curva para la célula fotovoltaica. Todas las células de un panel deben tener las mismas características eléctricas por lo que los parámetros para el módulo quedaran de la siguiente manera:

- Intensidad: la intensidad de corto circuito del módulo será la intensidad de corto circuito de una célula por el número de células en paralelo que hay en el módulo.

$$I_{CC \text{ MÓDULO}} = I_{CC \text{ CÉLULA}} * N_{\text{CÉLULAS PARALELO}}$$

- Tensión: el voltaje será el parámetro de tensión de las células por el número de células en serie que tiene el módulo fotovoltaico.

$$V_{CA \text{ MÓDULO}} = V_{CA \text{ CÉLULA}} * N_{\text{CÉLULAS SERIE}}$$

- Potencia: la potencia máxima del módulo será el producto de la potencia de las células por el número de células en paralelo y por el número de células en serie que hay en el módulo.

$$P_{MÁX \text{ MÓDULO}} = P_{MÁX \text{ CÉLULA}} * N_{\text{CÉLULAS SERIE}} * N_{\text{CÉLULAS PARALELO}}$$

De esta manera, la curva intensidad-voltaje para el módulo fotovoltaico tendrá la misma forma que para la célula fotovoltaica y por tanto las variaciones en función de la temperatura ambiente y la radiación incidente tendrán los mismos efectos en ambos casos.

5.8. MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN

La importancia de realizar un plan de mantenimiento adecuado en la instalación solar fotovoltaica reside en asegurar el correcto funcionamiento de la instalación. Además, como se indica en el Pliego de Condiciones Técnicas de IDAE, con dicho plan de mantenimiento se consigue aumentar la eficiencia y tiempo de vida de la instalación. El plan lleva asociado dos tipos de mantenimiento: preventivo y no preventivo o correctivo.

- **Mantenimiento preventivo:** consiste en inspeccionar visualmente los distintos dispositivos de la instalación solar. Este tipo de mantenimiento puede ser realizado por personal no especialista, el mismo propietario de la instalación lo puede llevar a cabo. El mantenimiento preventivo engloba las siguientes actividades: limpieza del sistema de generación y acumulación, inspección visual de posibles degradaciones en las placas solares fotovoltaicas, comprobación de la estructura de soporte de los paneles y revisión del buen funcionamiento de los inversores.
- **Mantenimiento no preventivo o correctivo:** este plan de mantenimiento es recomendable que sea llevado a cabo por un personal cualificado con conocimientos sobre sistemas eléctricos. Dicho plan engloba todas las operaciones de sustitución necesarias para el buen funcionamiento de la instalación, el mantenimiento del sistema de generación (medición de tensión a circuito abierto, de intensidad de cortocircuito...), la medición de

la caída de tensión en los distintos circuitos, el mantenimiento del cuadro general de distribución, de la instalación interior y de la puesta a tierra.

6. SISTEMAS CONECTADOS A RED

Un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR) se basa en captar la radiación solar mediante los campos fotovoltaicos, generador fotovoltaico, y transformarla en energía eléctrica. Esta energía generada por el campo está en forma de corriente continua, con un sistema de acondicionamiento de potencia o inversor se convierte en corriente alterna con las mismas características que la red de distribución y finalmente se vierte a ella. Los SFCR entregan su energía a la red eléctrica, ya sea para su venta o como aporte de energía a la red.

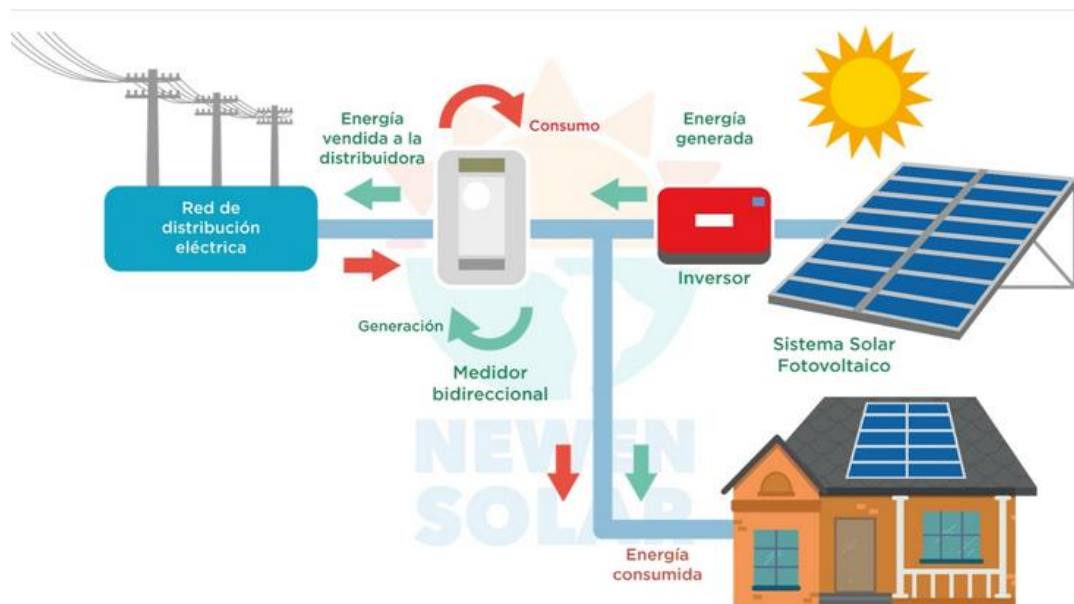


Imagen 6: Esquema de un SFCR.

Fuente: Newen Solar

Por tanto, instalar un sistema fotovoltaico conectado a la red equivale a disponer de una mini central eléctrica que inyecta energía a la red para ser consumida allá donde sea demandada eliminando las pérdidas en transporte de electricidad.

6.1. APLICACIONES DE LOS SFCR

Habitualmente, este tipo de instalaciones se ubican próximas a líneas eléctricas o subestaciones de modo que se facilite la conexión con la red eléctrica. Las aplicaciones más comunes en este tipo de instalaciones son:

1. Sobre una edificación: se aprovecha la superficie del tejado para colocar paneles fotovoltaicos de fácil instalación.



Imagen 7: Ejemplo de un SFCR sobre una edificación

2. En el suelo/huerto solar: generalmente son paneles fotovoltaicos que pueden instalarse en zonas rurales no aprovechadas para otros fines, son grandes extensiones. Los paneles normalmente están fijos al terreno y con sistemas de seguimiento de la luz solar con el fin de optimizar la captación de energía.



Imagen 8: Panel fotovoltaico con seguimiento solar



Imagen 9: Huerto solar

3. Integración en una edificación: se basa en la sustitución de elementos arquitectónicos convencionales por otros elementos fotovoltaicos de manera que funcionen como generadores de energía. La integración arquitectónica supone que dichos paneles combinen ambas funciones:

elementos constructivos y productores de electricidad. Es una de las últimas tecnologías desarrolladas para la generación de energía.



Imagen 10: Ejemplo de edificio con integración fotovoltaica

7. SISTEMAS AISLADOS DE RED

Un sistema fotovoltaico aislado de red (SFA) es el que abastece toda la demanda eléctrica a través de su propia producción. Este tipo de instalaciones se utilizan como alternativa cuando el sistema que se quiere abastecer está en un lugar remoto aislado de la red eléctrica.

Según los diferentes rangos de potencia los SFA se pueden clasificar en:

- Gran potencia: para cargas entre 1MW y 100KW con finalidad de abastecer zonas rurales.
- Media potencia: para cargas entre 100KW y 30KW con el fin de utilizarse en aplicaciones industriales.
- Baja potencia: para cargas entre 10KW y 5KW con el fin de uso doméstico, autoconsumo.
- Muy baja potencia: para cargas menores a 5KW, su finalidad también es doméstica.

Según las diferentes configuraciones se pueden distinguir tres tipos:

- Directamente conectados a carga: es el sistema más simple. El generador se conecta directamente a la carga. La carga es un motor de corriente continua. Con este tipo de configuración resulta difícil mantener la eficiencia a lo largo del día.

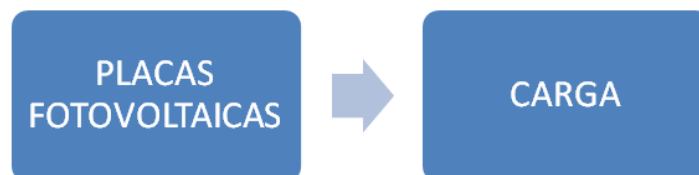


Imagen 11: Esquema de sistema fotovoltaico con carga

- Sistemas con regulador y batería: en este caso el panel fotovoltaico se conecta a la batería a través de un regulador. La batería alimenta cargas en corriente continua.



Imagen 12: Esquema de sistema fotovoltaico con regulador v batería

- Sistemas con regulador, batería e inversor: es la configuración más utilizada. La energía eléctrica puede ser transformada íntegramente en corriente alterna o en corriente alterna y corriente continua, dependiendo de las cargas a alimentar.



Imagen 13: Sistema fotovoltaico aislado. Fuente: EnergiaSolar

7.1. APLICACIONES DE LOS SFA

Como se ha mencionado en el anterior apartado, este tipo de instalaciones se utilizan en lugares donde la conexión a la red eléctrica es inviable. Las aplicaciones más comunes son las siguientes:

1. Aplicaciones terrestres

- 1.1. Telecomunicaciones: en la mayoría de los casos se opera en corriente continua, con lo cual la aplicación es simple y económica. Algunos ejemplos de aplicaciones en telecomunicaciones son: telefonía móvil, radares, repetidores de radio y televisión, tele ondas, cabinas telefónicas de uso público, cobertura de radio y comunicaciones en túneles de ferrocarril, postes SOS de carreteras, telefonía rural...
- 1.2. Iluminación: se utiliza los SFA en el alumbrado público para iluminar las áreas de descanso, los cruces de carreteras o para iluminar las entradas en los pueblos por ejemplo. Normalmente estos sistemas fotovoltaicos operan con un generador compuesto por uno o dos módulos; cada punto de luz puede tener su propio generador, batería y control con el objetivo de poder proporcionar la máxima flexibilidad y fiabilidad.
- 1.3. Sector agrícola y de ganadería: en este ámbito se utiliza el SFA para bombeos de agua sin batería y con batería para proporcionar agua al ganado, controles de riego o en invernaderos para la automatización de la iluminación.
- 1.4. Electrificación de zonas rurales y aisladas: hace referencia a casas aisladas, villas enteras, refugios y albergues de montaña y puestos de policía y fronteras entre otros, que pueden generar su propia electricidad gracias a dichos sistemas.

2. Aplicaciones espaciales: en este caso los SFA son utilizados para proporcionar electricidad a la tecnología usada en el espacio como por ejemplo los satélites o la Estación Espacial Internacional.



Imagen 14: Estación Espacial Internacional. Paneles fotovoltaicos.

METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO

8. PARÁMETROS Y SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN

El objetivo de la monitorización y el análisis de las instalaciones fotovoltaicas residen principalmente en la comprobación del correcto funcionamiento del campo fotovoltaico; esto se traduce en la verificación de la energía producida, la detección de averías y la comprobación de la vida útil de los elementos que componen la instalación.

Cada día es más frecuente la utilización de elementos que facilitan al usuario la información necesaria para conocer el estado de la instalación fotovoltaica. Con el fin de lograr la correcta monitorización se deberán considerar los parámetros más representativos asociados a cada elemento de la instalación. Una forma de monitorizar dichos parámetros es tratar y mostrar la información tras un proceso de adquisición de datos mediante elementos externos a dicha instalación. Sin embargo, actualmente la monitorización viene incluida en los elementos propios de una instalación FV (inversor, regulador de carga...) y es mostrada a través de ellos mediante indicadores o visualizadores. Los parámetros más importantes a monitorizar son:

- Irradiancia (G) y temperatura del campo FV
- Tensión en el campo FV
- Tensión en la batería
- Intensidad generada por el campo FV
- Intensidad de consumo
- Estado de carga de la batería
- Estado de regulación de carga
- Tensión, intensidad y potencia de salida del inversor

- Energía eléctrica generada por el campo FV
- Energía eléctrica consumida

A continuación se presentan los elementos propios de una instalación fotovoltaica aislada así como distintas alternativas para monitorizar los parámetros anteriormente mencionados.

8.1 .EL CONVERTIDOR O INVERSOR:

La función principal del inversor es convertir la energía en corriente continua proveniente del generador fotovoltaico en corriente alterna. Los parámetros característicos a monitorizar en un inversor son:

- Corriente de entrada: es el mayor valor de corriente a la cual funciona el inversor.
- Tensión de entrada: es la mayor tensión admisible a la que funciona el inversor.
- Potencia de salida: es la potencia que es capaz de proporcionar el convertidor de forma continua.
- Forma de onda: es la señal de corriente alterna a la salida del inversor, se caracteriza por los valores de frecuencia y tensión eficaz.

Hay distintos tipos de convertidores:

- Entrada de batería; el inversor se conecta únicamente a la batería. Suelen disponer de una función de monitorización contra la sobredescarga de la batería ya que la conexión directa implica una línea de consumo no controlada por el regulador.
- Entradas de batería y campo fotovoltaico; el inversor incluye un regulador de carga interno y la posibilidad de conectarse tanto a la batería como al

generador fotovoltaico. Este tipo de inversores incluyen tanto la monitorización de los parámetros propios del inversor como la monitorización característica del regulador que será explicada en el siguiente apartado.

- Entradas de batería y generador auxiliar; el inversor tiene posibilidad de conectarse a la batería y a un grupo electrógeno auxiliar. Este tipo de inversores por norma general solo incluyen la monitorización de sus propios parámetros; es decir, intensidad, tensión y voltaje de salida y de entrada del inversor.
- Entradas de batería, campo fotovoltaico y generador auxiliar; el inversor tiene posibilidad de conectarse a la batería, a un grupo electrógeno auxiliar y al generador fotovoltaico. Del mismo modo que en el caso anterior, este tipo de inversores monitorizan sus propios parámetros.

Cabe destacar que cuando la instalación FV está compuesta por más de un panel fotovoltaico (como ocurre siempre en los SFGR y en determinadas ocasiones en los SFAR) existe la posibilidad de utilizar un inversor central o un mini inversor. En el caso de utilizar un inversor central, todos los paneles fotovoltaicos asociados en serie son conectados a un único inversor. Si se utiliza un mini inversor cada panel dispone de uno. La principal desventaja del inversor central frente a los mini inversores es que en caso de que el convertidor presente un error, la generación de energía es nula. Sin embargo, con los mini inversores la monitorización y la generación de energía es independiente; en caso de que un inversor falle se dejará de generar la energía asociada al panel FV al que está conectado dicho inversor. El coste de estos últimos es más elevado.

A continuación se presenta un ejemplo de inversor central proporcionado por SumSol. Es un inversor trifásico para instalaciones fotovoltaicas comerciales, industriales y de gran escala. Se caracteriza por tener una eficiencia de hasta el 99,1%. Presenta una red comunicación inalámbrica WMN (WMN: Wireless Mesh Network) con lo que la planta puede ser puesta en marcha, monitorizada y controlada sin usar cables de comunicaciones. Además, con el webserver y el Ethernet y Wi-Fi que integra el inversor cabe la posibilidad de una puesta en marcha rápida y fiable mediante el uso de un teléfono móvil, una tablet o un ordenador portátil.

Por último cabe destacar otra diferenciación de convertidores, según la forma de onda:

- De onda cuadrada; es común de inversores económicos de baja potencia utilizados para la alimentación de aparatos puramente resistivos.
- De onda cuadrada modular; también característica de inversores de baja potencia pero utilizados para un conjunto de elementos de consumo más amplio el tipo anterior.
- De onda senoidal pura; la forma de onda de su salida se puede considerar prácticamente igual que la de la red eléctrica general permitiendo así la alimentación de cualquier aparato de consumo o la conexión de red. Actualmente, la mayoría de inversores del mercado son de este tipo. La monitorización de dichos equipos es más eficaz ya que la información de tensión, intensidad y voltaje de salida del inversor se acerca más a la realidad que en los casos anteriores, donde la aproximación de la onda era menos exacta.

8.2. LA BATERÍA O ACUMULADOR:

Las baterías son un elemento fundamental en una instalación fotovoltaica aislada. La función principal de las baterías es almacenar la energía para que sea utilizada por la noche o en periodos prolongados de mal tiempo en los que no tengamos suficiente radiación solar. Además se encarga de establecer una tensión de referencia tal que los paneles fotovoltaicos trabajen en un punto óptimo.

A grandes rasgos, una batería consiste en una o más celdas electroquímicas que pueden convertir la energía química almacenada en electricidad. Cada celda consta de un electrodo positivo y otro negativo, y electrolitos que permiten que los iones se muevan entre los electrodos facilitando que la corriente fluya fuera de la batería, realizando así su función.

Para la elección de una batería adecuada para una determinada instalación fotovoltaica hay que tener en cuenta las siguientes características propias de dichos elementos:

- Capacidad: es la cantidad de energía que puede obtenerse mediante la descarga total de una batería inicialmente cargada al máximo. Se mide en amperios hora (Ah). Los parámetros fundamentales que definen la capacidad de la batería son: tiempo de carga, tiempo de descarga, intensidad de descarga, temperatura y tensión final de descarga. La velocidad de descarga es directamente proporcional a la cantidad de energía que el acumulador es capaz de generar.

El valor facilitado por el fabricante es la capacidad nominal (C_N) y es usual referirse a tiempos de descarga de 100 horas (C_{100}) en SF ya que los ciclos de descarga son lentos. Para su cálculo se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$C_N [\text{Ah}] = I_N [\text{A}] * \text{Duración de la carga/descarga [h]}$$

- Profundidad de descarga: es el valor en tanto por ciento de la energía total que ha suministrado la batería en un ciclo de carga o un ciclo descarga.
Descargas superficiales: son descargas de aproximadamente el 20% de la capacidad nominal.
Descargas profundas: son descargas del 60-80% de la capacidad nominal.
- Vida útil: se refiere al número de ciclos que puede soportar la batería manteniendo una capacidad por encima del 80% de su capacidad nominal. La vida útil se mide en números de ciclos de carga o descarga. Es decir, si se somete a una batería a un régimen de trabajo de muchos ciclos diarios, su vida útil se reducirá.

Efecto de la temperatura en las baterías para SF: a mayor temperatura de operación menor será el tiempo de vida útil de la batería. A bajas temperaturas se produce un aumento de la resistencia interna y una disminución del voltaje de salida. A altas temperaturas se produce un aumento de la eficiencia total y reducción drástica de la vida útil. Como norma general, se recomienda un rango de temperatura de operación entre 20-25°C.

En una instalación fotovoltaica aislada es habitual encontrarse con asociaciones de baterías; estas asociaciones pueden ser en serie o en paralelo. Cabe destacar que no se deben utilizar baterías de distintos tipos cuando estas no estén preparadas para ello.

- **Baterías conectadas en paralelo:** se conectan todos los polos positivos por un lado y, por otro, todos los polos negativos. Así se logra aumentar la capacidad y mantener el mismo voltaje. Por tanto, la capacidad total del sistema de baterías será igual a la suma de todas las capacidades de cada batería.
- **Baterías conectadas en serie:** se conecta el polo positivo de una batería con el polo negativo de la siguiente batería y así sucesivamente. De esta manera se logra aumentar el valor del voltaje del sistema de baterías, que sería la suma de las tensiones de las baterías conectadas en serie. Por otro lado, se mantiene la capacidad unitaria de cada batería, suponiendo que son baterías del mismo modelo.

Se comercializan distintos tipos de batería para uso fotovoltaico, se presentan a continuación algunos de ellas:

1. Batería de plomo. Necesita ser revisada, echar agua destilada a modo de refrigeración cada tres-seis meses. Su uso se restringe a aplicaciones que requieran una baja potencia. Los años de vida suelen ser de tres a cinco años. Su precio es económico.
2. Batería de gel. Su principal ventaja es que no necesita mantenimiento. Su utilización se extiende a todo tipo de aplicaciones. Los años de vida suelen ser de cuatro a ocho años. No soporta descargas muy profundas ni altas temperaturas
3. La batería AGM. Surgen como evolución de la batería de gel. Estas baterías no tienen electrolito de gel, lo tienen solido. No necesitan mantenimiento. Soportan descargas considerablemente mayores que las de gel. Su uso se extiende también para cualquier tipo de aplicaciones. Los años de vida oscilan entre ocho y diez.

4. Batería OPZ-s. Son baterías de plomo ácido. Necesitan mantenimiento, rellenarlas de agua destilada, cada tres-seis meses. Son útiles para cualquier tipo de aplicación: instalaciones habituales, viviendas, instalaciones industriales... Los años de vida son de quince a veinte.
5. Batería de litio. No necesitan mantenimiento. Pesan poco. Admiten una velocidad de carga elevada. Tienen gran capacidad. Su precio es elevado.

En última instancia, cabe mencionar que la monitorización de las baterías está integrada en los reguladores de carga que serán explicados en el apartado siguiente.

8.3. REGULADORES DE CARGA:

Con el objetivo de que el funcionamiento de la instalación fotovoltaica aislada de red sea satisfactorio, en la unión de los paneles solares con el acumulador se debe instalar un regulador de carga. El buen estado de la batería, su tiempo de vida y sus prestaciones dependen fundamentalmente de las funciones del regulador:

- Proteger la batería contra la sobrecarga: la tensión del módulo fotovoltaico deber ser siempre mayor que la de la batería para poder cargarla adecuadamente. No obstante, si en el momento en el que la batería está completamente cargada el campo fotovoltaico sigue inyectando corriente a la misma, se produce una sobrecarga aumentando así la temperatura y pudiéndose producir una grave gasificación. Por tanto, el regulador debe limitar la energía eléctrica que el panel fotovoltaico proporciona al acumulador cuando este está completamente cargado.
- Proteger la batería contra la sobredescarga: si la demanda de consumo de energía eléctrica en la instalación provoca un estado de carga lo

suficientemente bajo y que se mantiene en el tiempo, ocurre una sobredescarga. Que la batería este sobredescargada conlleva una disminución de su capacidad; es decir, generará menor cantidad de energía eléctrica. Con lo cual, en este caso el regulador actuará desconectando los consumos de la batería cuando el estado de esta sea muy bajo.

- Facilitar información del funcionamiento del sistema a los usuarios monitorizando valores de corriente, voltaje, estado de cargas, etc.
- Proporcionar opciones de control: conectar y desconectar de forma automática los consumos en el momento determinado y establecer un control de consumos prioritario.
- Proporcionar un punto de conexión para otros generadores auxiliares y para otros componentes del sistema.

Con el fin de caracterizar completamente un regulador se deben conocer los siguientes parámetros:

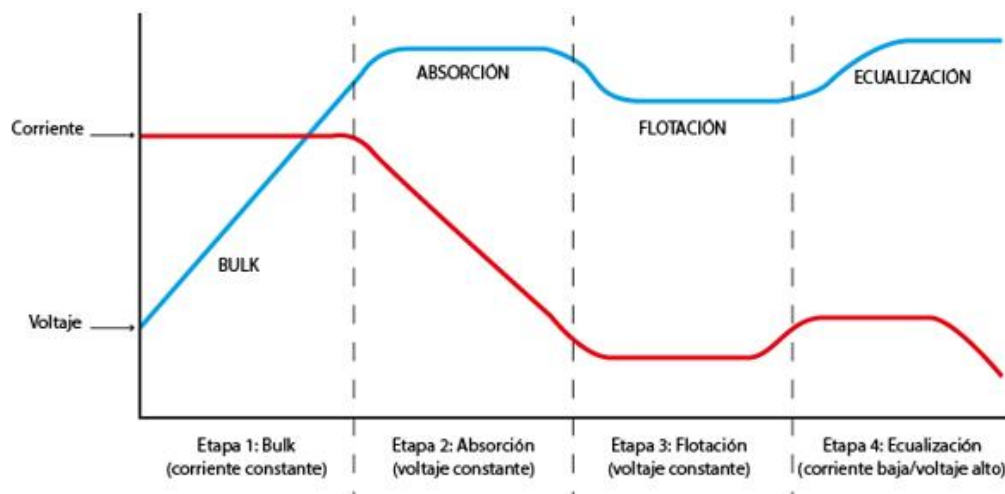
- Tensión nominal de trabajo: es la tensión nominal del sistema fotovoltaico, los valores más comunes son 12, 24 ó 48V.
- Corriente nominal: es la intensidad máxima que proviene del campo fotovoltaico y que puede circular a través del regulador. El regulador normalmente se diseña de forma que la intensidad recorrida a través de él pueda ser un 20% mayor que la máxima corriente que pasa por el generador fotovoltaico.
- Tipo de regulación: el regulador se puede conectar en serie o en paralelo a la batería.

1. En paralelo, la sobredescarga se controla a través de una resistencia interna del regulador interrumpiendo la línea batería-carga. Dicha resistencia interna va a disipar energía. El control de sobrecarga se efectúa cortocircuitando el campo fotovoltaico.

Este tipo de regulación se utiliza para los sistemas fotovoltaicos de baja potencia.

2. En serie, la sobrecarga se controla través de un relé (interruptor) que evita que pase corriente a la batería. El control de la sobredescarga se realiza interrumpiendo la línea batería-carga. En este tipo de regulación el interruptor de control no disipa potencia con lo que es adecuado para todo tipo de instalaciones.
- Estrategia de regulación: hace referencia a las etapas que se pueden identificar en el proceso. Comercialmente existen reguladores de dos, tres o cuatro etapas:
 1. Etapa 1, Bulk: se proporciona corriente a la batería aumentando así el voltaje hasta un límite. En esta etapa la corriente se suministra a intensidad máxima, si no estuviese el regulador esta fase sería permanente y la intensidad que proviene del campo fotovoltaico podría hacer que la batería se sobrecargara.
 2. Etapa de absorción: una vez alcanzada la tensión final en la batería, esta se mantiene durante un tiempo hasta que la batería se carga al 100%. La corriente de carga va disminuyendo lentamente.
 3. Etapa de flotación: una vez cargada completamente la batería, el regulador se encarga de proporcionar la corriente necesaria de manera que la batería no se sobrecarge y permanezca al 100%. En caso de que pretenda almacenarse, el voltaje de flotación no debe variar más de un 1% respecto al recomendado por el fabricante.
 4. Etapa de ecualización: tras un estado de baja carga o periódicamente se sobrecarga ligeramente y de forma controlada

el acumulador de forma que la tensión tenga un nivel un poco superior al de la etapa de absorción.



Gráfica 6: Etapas de carga de una batería.
Fuente: Autosolar

A nivel comercial existen dos tipos de reguladores: PWM y MPPT. Los controladores de carga PWM son los más antiguos y los más económicos del mercado actual. Un PWM (Pulse-Width Modulation, modulación por anchura de pulsos: carga la batería gradualmente de forma que la corriente se introduce poco a poco hasta que la batería se carga) tiene en su interior únicamente un diodo que se encarga de que los paneles funcionen a la misma tensión que las baterías; es decir, que la energía existente en la entrada y en la salida del controlador sea la misma. La potencia es impuesta por la batería según el estado de carga en el que se encuentra por lo que las placas FV no trabajan en su punto de máxima potencia y por tanto se suele presentar una pérdida de potencia entorno al 30%. Los reguladores PWM se averían al sobrepasar su intensidad nominal PWM y se dimensionan dependiendo intensidad máxima de paneles FV y tensión de baterías.

Resumiendo, actualmente los PWM solo se utilizan para pequeñas instalaciones y con paneles de 36 y 72 celdas. Para paneles solares de 24V y baterías de 12V no se podrá instalar un regulador de carga PWM, la única opción posible será un regulador MPPT.

Por otro lado, los MPPT (Maximum Power Point Tracking, o seguidor del punto de máxima potencia) tienen en su interior el diodo de protección, un convertidor de tensión CC-CC y un seguidor del punto de máxima potencia lo cual le otorga la capacidad de adaptar la entrada FV a la tensión de las baterías, maximizando la corriente a la salida de estas últimas. Esto implica que las placas fotovoltaicas puedan trabajar en su punto de máxima potencia y por tanto obtener la máxima eficiencia de producción. Los reguladores MPPT se dimensionan dependiendo la potencia fotovoltaica de entrada al regulador y de la intensidad de entrada al mismo. Estos reguladores son más robustos, más caros pero más versátiles que los PWM; pueden trabajar con paneles de 36 células, 72 células y paneles solares de conexión a red o paneles de 60 células.

➤ *Ejemplo de un PWM:*

“Salida de carga con función de desconexión de baja tensión de la batería. Función de control de iluminación, solo un temporizador. Pantalla de siete segmentos de siete dígitos para configurar de forma rápida y fácil la funcionalidad de salida de carga, incluida la configuración del temporizador. Carga de batería de tres etapas (a granel, absorción, flotador), no programable. Salida de carga protegida contra sobrecarga y cortocircuito. Protegido contra la conexión de polaridad inversa de la matriz solar y / o batería. Opciones de temporización de día / noche: consulte el manual para obtener más detalles” (Fuente: SumSolar)

Victron BlueSolar PWM-Light 12/24V



Imagen 16: Victron BlueSolar PWM-Light 12-24V. Fuente: SumSolar

➤ *Ejemplo de un MPPT:*

Los 150W hacen referencia a la potencia fotovoltaica máxima de entrada al regulador y los 45-100A a la intensidad de entrada al mismo.

Victron SmartSolar 150/45 a 150/100



Imagen 17: Victron SmartSolar 150-45/150-100. Fuente: SumSolar

En última instancia, destacar que por norma general el regulador lleva un amperímetro que mide la corriente y un voltímetro que mide la tensión de la batería monitorizando sus valores. Además, en algunos de ellos, existe una compensación con la temperatura; es decir, el regulador actúa en función del voltaje y el voltaje que llega de la batería es falseado por la temperatura por lo que el regulador debe poseer una compensación de temperatura para, basándose en ella, corregir las tensiones de sobrecarga o sobredescarga.

8.4. CONTROL DE TEMPERATURA E IRRADIANCIA:

Como se ha explicado anteriormente, a mayor irradiación mayor intensidad de cortocircuito, y a mayor temperatura menor tensión de circuito abierto y por tanto menor potencia máxima generada.

➤ **Temperatura:**

Se busca tanto la monitorización de la temperatura ambiente como de la temperatura de los paneles fotovoltaicos. El instrumento principal para medir la temperatura es el termómetro.

Temperatura ambiente:

Con el fin de medir la temperatura ambiente, se utilizará un termómetro simple de vidrio o un termómetro digital. Por un lado, los termómetros de vidrio están fabricados con vidrio sellado y en su interior presentan un líquido (por norma general el mercurio) que reacciona dilatándose o contrayéndose ante la presencia de calor. Su sistema de medición es preciso; sin embargo, como es el usuario quien debe hacer la lectura de la temperatura dicha precisión se puede ver afectada. Por

otro lado, los termómetros digitales se basan en un circuito electrónico; una vez detectada la información de la temperatura es enviada a un microchip que la transforma, procesa y posteriormente la registra numéricamente en una pantalla digital. Estos últimos tienen un sistema de monitorización más rápido y eficiente debido a que la temperatura es digitalizada y no es el usuario quien la lee.

Temperatura del panel fotovoltaico:

La más óptima alternativa para medir la temperatura de los paneles fotovoltaicos es utilizar sensores de temperatura, termopares. Un termopar es un transductor termoeléctrico; es decir, un dispositivo que a partir de un estímulo térmico genera un impulso eléctrico. Estos sensores están formados por la unión de dos metales que en función de la diferencia de temperatura que reciben, producen una diferencia de potencial. Son capaces de medir un amplio rango de temperaturas, desde los 2000°C a los -250°C, dependiendo de los materiales con los que se fabrique.

Los termopares se clasifican en función de los rangos de temperatura que pueden detectar, el material de los metales que lo componen y el tipo de aplicación para el que serán utilizados. Los más comunes son los de tipo J y tipo K para medir temperaturas de 95° C hasta 760° y de 96° C hasta 1 260° C respectivamente. Para temperaturas más bajas los más utilizados son los de tipo T y tipo N; su rango de temperatura es de -250° C a 350° C y de -270° C a 1 300° C respectivamente.

La monitorización de la temperatura de los paneles fotovoltaicos tiene lugar mediante aparatos con entradas analógicas (termopar) y compatibles con USB, tarjetas de adquisición de datos, Ethernet , con comunicación wifi o distintos software para controlar dicha variable mediante el PC o el móvil.

➤ ***Irradiancia:***

El utensilio para medir la radiación solar es el piranómetro. El radiómetro es un tubo de vidrio o cuarzo, con un eje y cuatro paletas, en el que se ha hecho un vacío parcial. Tres paletas son de metal pulimentado mientras que la otra paletas está ennegrecida. La palera negra absorbe más radiación que las demás lo cual hace que la paleta negra se aleja de la radiación. Esto produce una rotación constante de las paletas, con una velocidad que depende de la intensidad de la energía radiante.

Sin embargo, estos radiómetros mecánicos cada vez son menos utilizados. En la actualidad, para realizar y la medición de la radiación solar que llega al panel fotovoltaico se utilizan dispositivos eléctricos capaces de detectar y almacenar la información de la radiación. En muchos de ellos viene un Software incluido compatible con el PC o el móvil con el fin de monitorizar dicha variable.

9. EJEMPLO DE MONITORIZACIÓN DE UN SISTEMA AISLADO

Los elementos fundamentales en una instalación aislada son: los paneles fotovoltaicos, el inversor, el acumulador y el regulador de carga. A continuación se presenta un esquema de una instalación FV aislada.

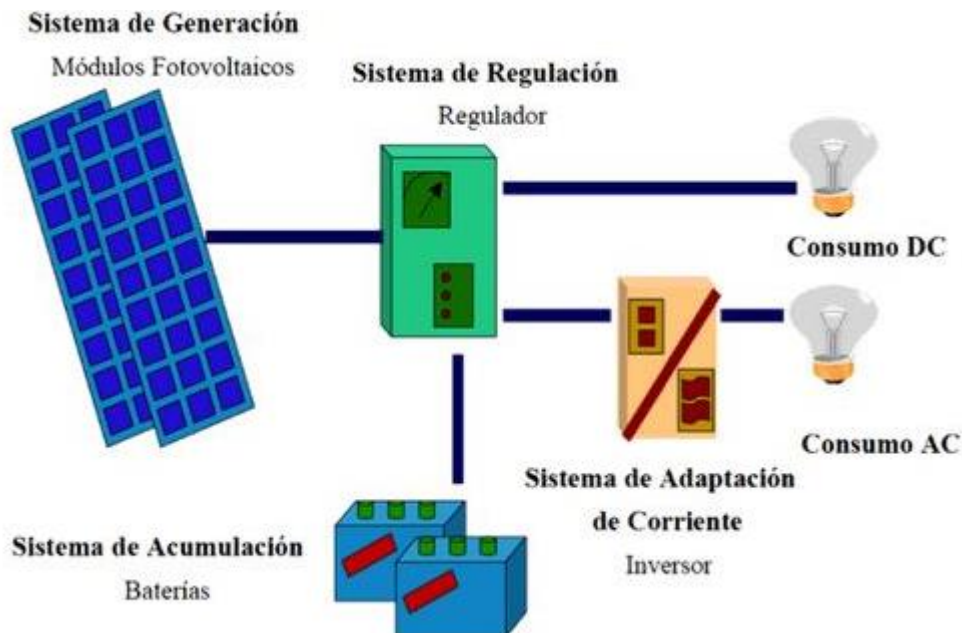


Imagen 18: Esquema de una instalación FV aislada. Fuente: SOPELIA

La instalación utiliza como generador fotovoltaico 26 módulos de 210W cada uno; es decir, un total de 5.460W de potencia.

Como sistema de acumulación se utilizarán 24 baterías (cada vaso de cada **batería** es de 2V=48V de instalación) **OPZs Solar 2350** con C10 valor 1751 Ah. Como se ha mencionado anteriormente el regulador será quien se encargue de monitorizar los parámetros necesarios de las baterías.

Los 26 módulos son distribuidos en tres grupos y a cada grupo se le asocia un **regulador**. Así pues, se tienen tres reguladores del mismo tipo. Para este caso se ha elegido un regulador **Victron SmartSolar MPPT 150/45**. Este dispositivo se caracteriza por:

- Posee un algoritmo innovador el cual se encarga de maximizar la recogida de energía seleccionando el punto de máxima potencia óptimo.
- Su algoritmo de carga es totalmente flexible.
- Dispone de una protección de sobretensión reduciendo la potencia en tal caso. Además dispone de una protección de cortocircuito y polaridad inversa en los paneles FV. Tiene también una protección de corriente inversa.
- Se encarga de compensar la tensión de carga de flotación y absorción en función de la información de temperatura que recibe.
- Tiene opción de visualizar los datos obtenidos en una pantalla; smartphones, tablets u otros dispositivos mediante la aplicación “VictronConnect”.



Imagen 19: Control mediante el regulador. Fuente: SumSol

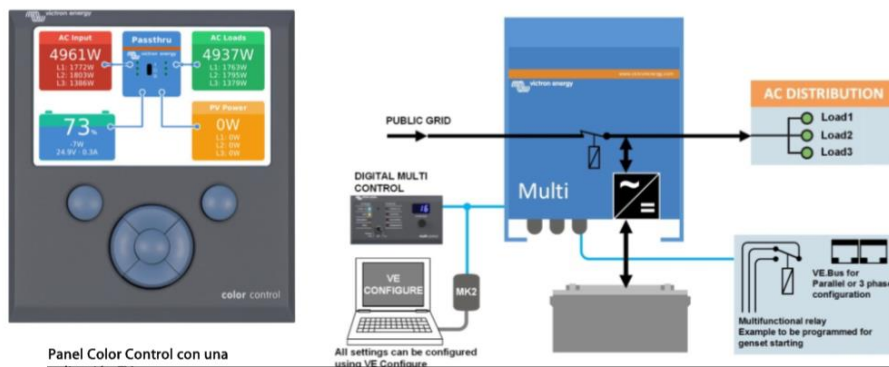
En lo que refiere al **inversor**, por requerimiento de la instalación propuesta, se utilizará un **Victron Multiplus 800VA-5000VA**. Su monitorización se basa en:

“Configuración del sistema - En el caso de una aplicación autónoma, si ha de cambiarse la configuración, se puede hacer en cuestión de minutos mediante un procedimiento de configuración de los conmutadores DIP. - Las aplicaciones en paralelo o trifásicas pueden configurarse con el software VE. Bus Quick Configure y VE. Bus System Configurator. - Las aplicaciones no conectadas a la red, que interactúan con la red y de autoconsumo que impliquen inversores conectados a la red y/o cargadores solares MPPT pueden configurarse con Asistentes (software específico para aplicaciones concretas).

Seguimiento y control in situ Hay varias opciones disponibles: Battery Monitor, Multi Control Panel, Ve.Net Blue Power panel, Color Control panel, smartphone o tableta (Bluetooth Smart), portátil u ordenador (USB o RS232).

Seguimiento y control a distancia Victron Ethernet Remote, Venus GX y el Color Control Panel. Los datos se pueden almacenar y mostrar gratuitamente en la web VRM (Victron Remote Management).

Configuración a distancia Se puede acceder a los datos y cambiar los ajustes de los sistemas con un panel Color Control si está conectado a Ethernet.” (Fuente: SumSol)



Panel Color Control con una
 Imagen 20: Monitorización del inversor. Fuente: SumSol

Con el fin de monitorizar la variable **temperatura**, se utilizará un registrador inalámbrico de temperatura mediante la red WiFi 501.



Imagen 21: Monitorización de la variable temperatura. Fuente: JIndustrial

“Registrador de temperatura (-20 a 60° C) inalámbrico mediante la red WiFi, la visualización es vista mediante el software incluido. Durante la configuración el sensor buscara una red disponible, el sensor puede ser colocado en cualquier lugar que tenga la cobertura de la red, si el sensor pierde conectividad de la red temporalmente el equipo lo grabara en su memoria interna (máx. 60 días a intervalos de 10 segundos). El alcance del sensor puede aumentar con un repetidor de WiFi.

Cuando se configura con periodos de muestreo típicos (por ejemplo cada minuto) la batería del sensor funcionara por más de un año, la batería puede ser recargada mediante una PC ó con el adaptador USB 5V incluido.

La batería se carga de forma segura cuando la unidad esta a temperatura de entre 0 a 40º C (32 a 140º F). El equipo cuenta con la protección contra la carga fuera de ese rango. Las lecturas pueden variar durante la carga de la temperatura.

Con el software incluido se permite la configuración del equipo, registro y análisis de datos, en la configuración podemos asignar un nombre a cada sensor, unidades (ºC ó ºF), frecuencia de muestreo así como las alarma baja y alta. Una vez configurado, los datos registrados se pueden exportar a Excel. ." (Fuente: JMindustrial)

Por último, para controlar los datos de **radiación** se dispondrá de un sensor denominado **piranómetro ISO9060 SR12**. La monitorización de esta variable podrá se realiza mediante un cable adquiridor de datos.



Imagen 22: Medidor de la radiación. Fuente: Instrumentos de Medida, S.L.

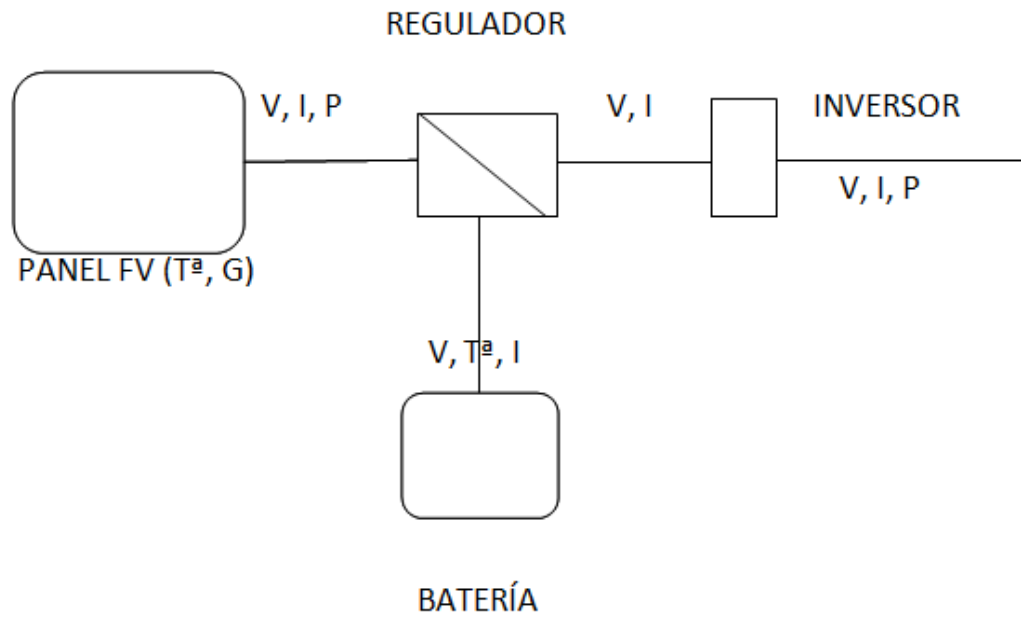


Imagen 23: Esquema de los componentes de la instalación FV aislada.
Parámetros a monitorizar.

10. DESCRIPCIÓN DE FASES

En este Trabajo Fin de Grado (TFG) se pueden destacar tres principales fases para su realización.


En primera instancia se comienza por escoger el tema que ocupará el trabajo. Para ello el tutor propuso una serie de temas a la alumna y de entre ellos se escogió uno. A continuación se procedió a la definición de los objetivos y alcance del proyecto así como al análisis que se esperaba del mismo.

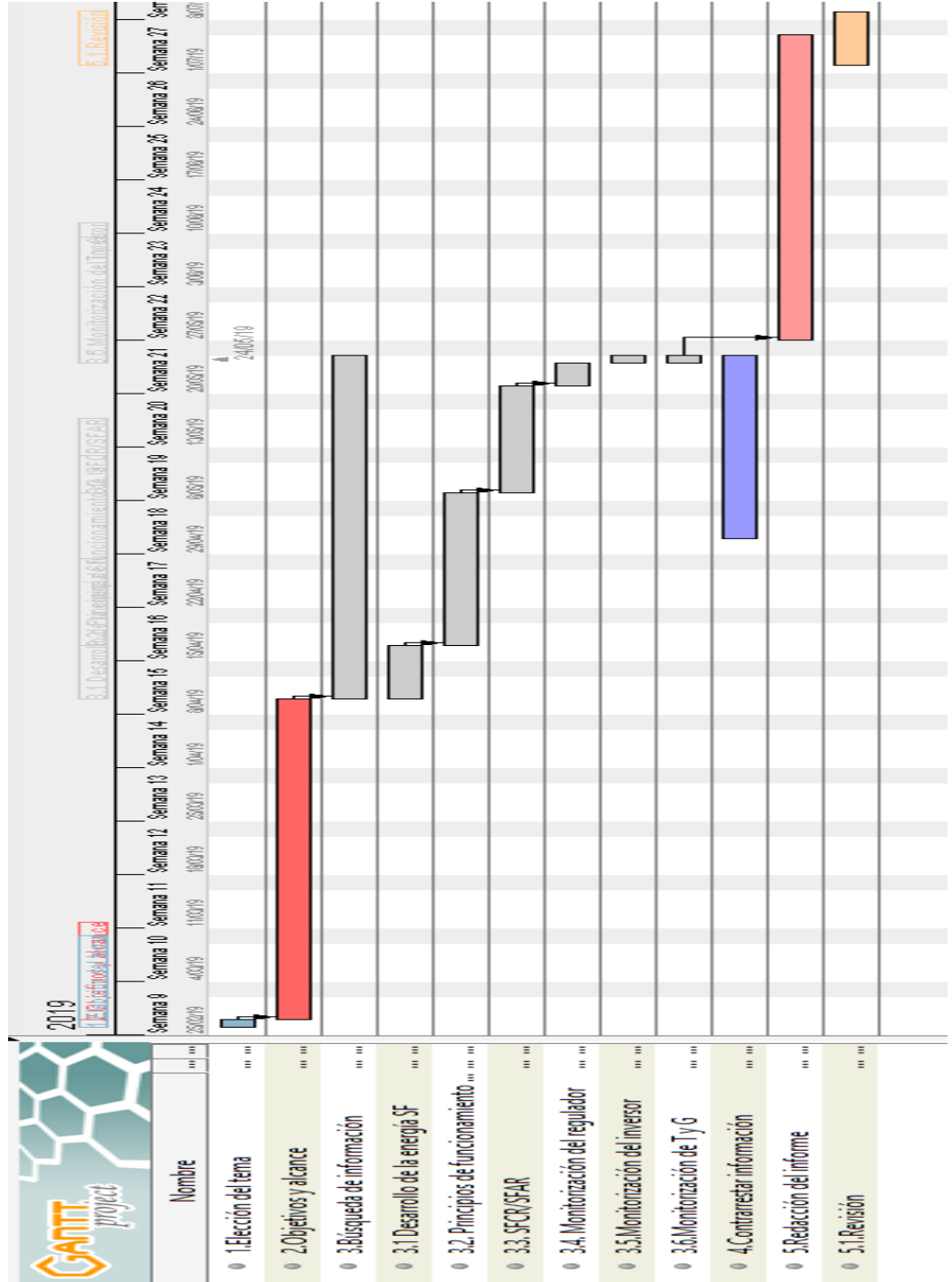
Una vez establecido el camino que seguiría el presente trabajo, se continuó con la búsqueda de información acerca del tema que acontece dicho trabajo. Se contrastó información en distintos medios como diferentes páginas de internet o algunos libros.

Por último, se procede a la redacción del documento. La estructura del presente documento se basa en el índice marcado por la escuela. A medida que se va redactando el documento se van resolviendo las dudas que surgen en distintas tutorías entre tutor y alumna. Se continúa con la búsqueda de información. Una vez acabada la redacción del documento el tutor lo corrige. Cuando está completamente finalizado, corregido y modificado por la alumna, es entregado a través de la plataforma online de Addi en las fechas marcadas por la escuela.

Las distintas fases de elaboración del proyecto se exponen en el diagrama de Gantt, en el apartado siguiente.

11. DIAGRAMA DE GANTT

|  | | |
|---|-----------------|--------------|
| Nombre | Fecha de inicio | Fecha de fin |
| • 1.Elección del tema | 26/02/19 | 26/02/19 |
| • 2.Objetivos y alcance | 27/02/19 | 9/04/19 |
| • 3.Búsqueda de información | 10/04/19 | 24/05/19 |
| • 3.1 Desarrollo de la energía SF | 10/04/19 | 16/04/19 |
| • 3.2. Principios de funcionamiento de la energia FV | 17/04/19 | 6/05/19 |
| • 3.3. SFRCR/SFAR | 7/05/19 | 20/05/19 |
| • 3.4. Monitorización del regulador | 21/05/19 | 23/05/19 |
| • 3.5.Monitorización del inversor | 24/05/19 | 24/05/19 |
| • 3.6.Monitorización de T y G | 24/05/19 | 24/05/19 |
| • 4.Contrarrestar información | 1/05/19 | 21/05/19 |
| • 5.Redacción del informe | 3/06/19 | 12/07/19 |
| • 5.1.Revisión | 2/07/19 | 8/07/19 |



CONCLUSIONES Y MEJORAS

En el presente Trabajo Fin de Grado se buscaba el análisis de distintos sistemas de monitorización para una instalación fotovoltaica aislada. En una instalación fotovoltaica es importante el seguimiento y control de los parámetros más representativos con el fin del correcto funcionamiento de dicha instalación.

La información que se recibe gracias a la monitorización de los parámetros es decisiva a la hora de tomar decisiones o estrategias para obtener la mejor eficiencia energética. Además gracias a la monitorización se puede identificar a tiempo la problemática de cada elemento de la instalación pudiendo evitar cualquier deficiencia energética o la rotura de los aparatos.

En cuanto a las mejoras, en el presente proyecto se ha estudiado la monitorización de cada elemento de la instalación por separado; sin embargo, para el control de la un SFA cabría la posibilidad de hacer una monitorización conjunta en la que con un único aparato y una única base de datos se controlen todas las variables necesarias para el buen funcionamiento. Se debería hacer un balance económico y de control para verificar que alternativa sería más conveniente. No obstante, este tema no era objeto del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- Méndez Muñoz, Javier María: *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid, FC editorial, 2010.
- De Juana, José M^a: *Energías Renovables para el desarrollo*. Madrid, Thomson, 2002.
- Sans Requena, José Francisco; Navas García, Luis Manuel; Rey de las Moras, María Cruz; Correa Guimaraes, Adriana: *Fundamentos de Energía Solar Fotovoltaica para los Grados de Titulaciones Científico-Técnicos*. Valladolid, UEMC publicaciones, 2009.
- Labouret, Anne; Viloz, Michel: *Energía Solar fotovoltaica*. Madrid, AMV, 2008.
- MONSOL: <https://monsol.net/demos/> [Consulta: 14 de abril de 2019]
- IDAE: <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/autoconsumo> [Consulta: 17 de abril de 2019]
- MeteoControl: <https://www.meteocontrol.com/es/monitorizacion-de-sistemas-fotovoltaicos/productos/bluelog-xm-bluelog-xc/> [Consulta: 23 de abril de 2019]
- SumSol: http://www.sumsol.es/productos/inversores-autoconsumo/Ingecon_Sun_Storage_1PLAY.html [Consulta: 23 de abril de 2019]
- REE, Red Eléctrica de España: <https://www.ree.es/es> [Consulta: 1 de mayo de 2019]
- Airalia: <https://www.airalia.es/blog/estado-la-energia-solar-espana/> [Consulta: 1 de mayo de 2019]

- AutoSolar:
https://autosolar.es/?gclid=EAIaIQobChMIjoebmsHG4wIVRkPTCh2Srgb7EAAAYASAAEgL-E_D_BwE [Consulta: 1 de mayo de 2019]
- PCEinstruments: <https://www.pce-instruments.com/espanol/?action=Query&-query.&query.katalog.key=70064&query.stichwort=SM-5-D+medidor-radiacion&query.mode=OR> [Consulta: 20 de junio 2019]
- JMindustrial: <https://www.jmi.com.mx/> [Consulta: 20 de junio 2019]

ANEXO I

NORMATIVA

NORMATIVA

La normativa seguida para la elaboración del presente proyecto es la siguiente:

- La normativa de aplicación de ámbito estatal es la siguiente:
 - **Ley 24/2013** del Sector Eléctrico.
 - **Real Decreto-ley 15/2018** de medidas urgentes para la transición energética y la protección de consumidores.
 - **Real Decreto 900/2015** por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y producción de autoconsumo.
 - **Real Decreto 1955/2000** por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
 - **Real Decreto 1699/2011** por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.
 - **Real Decreto 222/2008** por el que se establece el régimen retributivo de la actividad de distribución de energía eléctrica.
 - **Real Decreto 842/2002** por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico de baja tensión.
 - **Real Decreto 337/2014** por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.
 - **Real Decreto 1110/2007** por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.

- **Real Decreto 244/2019** en el cual se definen las nuevas modalidades de autoconsumo, incluyendo el nuevo concepto de autoconsumo colectivo, y por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de dichas modalidades de autoconsumo de energía eléctrica.

- Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red, IDEA, para Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. PCT-A-REV-febrero 2009.

- Normas UNE:
 - UNE-EN 61173:1998 Protección contra las sobretensiones de los sistemas fotovoltaicos (FV) productores de energía. Guía.
 - UNE-EN 61194:1997 Parámetros característicos de los sistemas fotovoltaicos (FV) autónomos.
 - UNE-EN 61277:2000 Sistemas fotovoltaicos (FV) terrestres generadores de potencia. Generalidades y guía.
 - UNE-EN 61724:2000 Monitorización de sistemas fotovoltaicos. Guías para la medida, el intercambio de datos y el análisis.
 - UNE-EN 61725:1998 Expresión analítica para los perfiles solares diarios.
 - UNE-EN 61727:1996 Sistemas fotovoltaicos (FV). Características de la interfaz de conexión a la red eléctrica.
 - UNE-EN 61829:2000 Campos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino. Medida en el sitio de características I-V

ANEXO II

HOJAS DE CARACTERÍSTICAS

Victron BlueSolar PWM-Ligh 12-24V. Ficha técnica. Fuente: SumSolar



BlueSolar PWM-Light 10 A

Características

- Función de desconexión de la salida de carga por baja tensión de la batería.
- Función de control de retroiluminación, un solo temporizador.
- Pantalla de dos dígitos y siete segmentos para un ajuste rápido y sencillo de la función de salida de carga, incluyendo el ajuste del temporizador.
- Carga de las baterías de tres etapas (inicial, absorción y flotación), no programable.
- Salida de carga protegida contra sobrecarga y cortocircuitos.
- Protegido contra la polaridad inversa de los paneles solares y/o de la batería.

Opciones de temporizador día/noche

Consulte el manual para más detalles.

| Blue Solar PWM-Light | 12/24-5 | 12/24-10 | 12/24-20 | 12/24-30 |
|---|--|--|------------------|----------|
| Tensión de la batería | 12/24V con detección automática de la tensión de entrada | | | |
| Corriente de carga nominal | 5 A | 10 A | 20 A | 30 A |
| Desconexión automática de la carga | Sí | | | |
| Tensión solar máxima | 28 V / 55 V (1) | | | |
| Autoconsumo | < 10 mA | | | |
| Salida de carga | Control manual + desconexión por baja tensión | | | |
| Protección | Inversión de la polaridad de la batería (fusible) | Cortocircuito de salida | Sobretemperatura | |
| Protección contra sobrecarga | Desconexión tras 60 s en caso de alcanzar el 130% de carga | | | |
| | Desconexión tras 5 s en caso de alcanzar el 160% de carga | | | |
| | Desconexión inmediata en caso de cortocircuito | | | |
| Puesta a tierra | Positivo común | | | |
| Rango de temp. de trabajo | -20 a +50°C (carga completa) | | | |
| Humedad (sin condensación) | Máx. 95 % | | | |
| BATERÍA | | | | |
| Tensión de carga de "absorción" | 14,2 V/28,4 V | | | |
| Tensión de carga de "flotación" | 13,8 V/27,6 V | | | |
| Desconexión de carga por baja tensión | 11,2 V/22,4 V | | | |
| Reconexión de carga por baja tensión | 12,6 V / 25,2 V (manual) 13,1 V / 26,2 V (automática) | | | |
| CARCASA | | | | |
| Clase de protección | IP20 | | | |
| Tamaño de los terminales | 5 mm ² / AWG10 | | | |
| Peso | 0,15 kg | | 0,2 kg | |
| Dimensiones (al x an x p) | 70 x 133 x 33,5 mm (2.8 x 5.3 x 1.3 pulgadas) | | | |
| ESTÁNDARES | | | | |
| Seguridad | IEC 62109-1 | | | |
| EMC | EN 61000-6-1, EN 61000-6-3, ISO 7637-2 | | | |
| 1) Usar paneles solares de 36 celdas para 12V Usar paneles solares de 72 celdas para 24 V o 2 de 36 celdas en conectados en serie | | 2) El controlador conmuta al nivel de tensión de flotación 2 horas después de alcanzada la tensión de absorción Siempre que la tensión de la batería cae por debajo de 13 V, se inicia un nuevo ciclo de carga. | | |

Victron SmartSolar 150-45/150-100. Ficha técnica. Fuente: SumSol



Controlador de carga solar MPPT 150/100-Tr

Seguimiento ultrarrápido del punto de máxima potencia (MPPT, por sus siglas en inglés)

Especialmente con cielos nublados, cuando la intensidad de la luz cambia continuamente, un controlador MPPT ultrarrápido mejorará la recogida de energía hasta en un 30%, en comparación con los controladores de carga PWM, y hasta en un 10% en comparación con controladores MPPT más lentos.

Detección Avanzada del Punto de Máxima Potencia en caso de nubosidad parcial

En casos de nubosidad parcial, pueden darse dos o más puntos de máxima potencia (MPP) en la curva de tensión de carga.

Los MPPT convencionales tienden a seleccionar un MPP local, que pudiera no ser el MPP óptimo.

El innovador algoritmo de BlueSolar maximizará siempre la recogida de energía seleccionando el MPP óptimo.

Excepcional eficiencia de conversión

Sin ventilador. La eficiencia máxima excede el 98%.

Algoritmo de carga flexible

Algoritmo de carga totalmente programable (consulte la sección Asistencia y Descargas > Software en nuestra página web), y ocho algoritmos preprogramados, seleccionables mediante interruptor giratorio (ver manual para más información).

Amplia protección electrónica

Protección de sobretemperatura y reducción de potencia en caso de alta temperatura.

Protección de cortocircuito y polaridad inversa en los paneles FV.

Protección de corriente inversa FV.

Sensor de temperatura interna

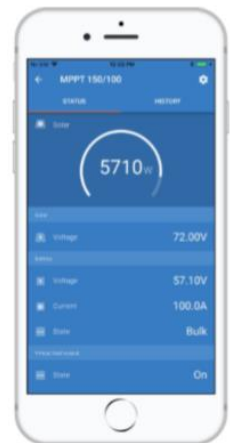
Compensa la tensión de carga de absorción y flotación, en función de la temperatura.

Opciones de datos en pantalla en tiempo real

- Smartphones, tabletas y otros dispositivos Apple y Android

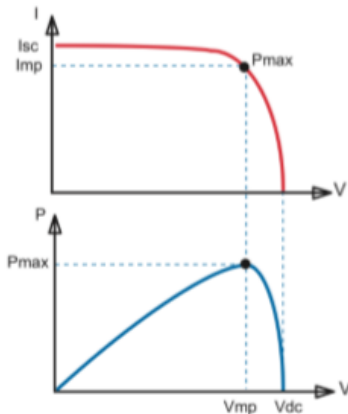
consulte "Mochila inteligente de conexión VE.Direct a Bluetooth"

- Panel ColorControl





Controlador de carga solar MPPT 150/100-MC4



Seguimiento del punto de potencia máxima

Curva superior:

Corriente de salida (I) de un panel solar como función de tensión de salida (V). El punto de máxima potencia (MPP) es el punto Pmax de la curva en el que el producto de I x V alcanza su pico.

Curva inferior:

Potencia de salida $P = I \times V$ como función de tensión de salida. Si se utiliza un controlador PWM (no MPPT) la tensión de salida del panel solar será casi igual a la tensión de la batería, e inferior a Vmp.

| Controlador de carga BlueSolar | MPPT 150/45 | MPPT 150/60 | MPPT 150/70 | MPPT 150/85 | MPPT 150/100 |
|--|--|-------------|-------------|---|--------------|
| Tensión de la batería | Selección automática 12 / 24 / 48 V (se necesita una herramienta de software para seleccionar 36 V) | | | | |
| Corriente de carga nominal | 45A | 60A | 70A | 85A | 100A |
| Potencia FV nominal, 12V 1a,b) | 650W | 860W | 1000W | 1200W | 1450W |
| Potencia FV nominal, 24V 1a,b) | 1300W | 1720W | 2000W | 2400W | 2900W |
| Potencia FV nominal, 48V 1a,b) | 2600W | 3440W | 4000W | 4900W | 5800W |
| Corriente de cortocircuito máxima FV 2) | 50A | 50A | 50A | 70A | 70A |
| Tensión máxima del circuito abierto FV | 150 V máximo absoluto en las condiciones más frías 145 V en arranque y funcionando al máximo | | | | |
| Eficiencia máxima | 98% | | | | |
| Autoconsumo | 10mA | | | | |
| Tensión de carga de "absorción" | Valores predeterminados: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (ajustable) | | | | |
| Tensión de carga de "flotación" | Valores predeterminados: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (ajustable) | | | | |
| Algoritmo de carga | variable multietapas | | | | |
| Compensación de temperatura | -16 mV / -32 mV / -64 mV / °C | | | | |
| Protección | Polaridad inversa de la batería (fusible, no accesible por el usuario) Polaridad inversa/Cortocircuito de salida/Sobretensión | | | | |
| Temperatura de trabajo | -30 a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C) | | | | |
| Humedad | 95%, sin condensación | | | | |
| Puerto de comunicación de datos y on-off remoto | VE.Direct (consulte el libro blanco sobre comunicación de datos en nuestro sitio web) | | | | |
| Funcionamiento en paralelo | Sí (no sincronizado) | | | | |
| CARCASA | | | | | |
| Color | Azul (RAL 5012) | | | | |
| Terminales FV 3) | 35 mm ² /AWG2 (modelos Tr), Dos conjuntos de conectores MC4 MC4 (modelos de hasta 150/70) Tres conjuntos de conectores MC4 MC4 (modelos 150/85 y 150/100) | | | | |
| Bornes de batería | 35 mm ² / AWG2 | | | | |
| Tipo de protección | IP43 (componentes electrónicos), IP22 (área de conexión) | | | | |
| Peso | 3kg | | | 4,5kg | |
| Dimensiones (al x an x p) | Modelos Tr: 185 x 250 x 95mm Modelos MC4: 215 x 250 x 95mm | | | Modelos Tr: 216 x 295 x 103mm Modelos MC4: 246 x 295 x 103mm | |
| ESTÁNDARES | | | | | |
| Seguridad | EN/IEC 62109-1 | | | | |
| 1a) Si se conecta más potencia FV, el controlador limitará la potencia de entrada. 1b) La tensión FV debe exceder en 5V la Vbat (tensión de la batería) para que arranque el controlador. Una vez arrancado, la tensión FV mínima será de Vbat + 1V. 2) Un sistema FV con una corriente de cortocircuito más alto dañaría el controlador. 3) Modelos MC4: se podrían necesitar varios separadores para conectar en paralelo las cadenas de paneles solares. Corriente máxima por conector MC4: 30A (los conectores MC4 están conectados en paralelo a un rastreador MPPT) | | | | | |

Victron Multiplus 800VA-5000VA. Ficha técnica. Fuente: SumSol



MultiPlus 24/3000/70



MultiPlus Compact

Dos salidas CA

La salida principal dispone de la función "no-break" (sin interrupción). El MultiPlus se encarga del suministro a las cargas conectadas en caso de apagón o de desconexión de la red eléctrica/generador. Esto ocurre tan rápidamente (menos de 20 milisegundos) que los ordenadores y demás equipos electrónicos continúan funcionando sin interrupción. La segunda salida sólo está activa cuando una de las entradas del MultiPlus tiene alimentación CA. A esta salida se pueden conectar aparatos que no deberían descargar la batería, como un calentador de agua, por ejemplo (segunda salida disponible en modelos con una capacidad nominal de 3kVA o más).

Potencia prácticamente ilimitada gracias al funcionamiento en paralelo

Hasta 6 Multis pueden funcionar en paralelo para alcanzar una mayor potencia de salida. Seis unidades 24/5000/120, por ejemplo, darán una potencia de salida de 25 kW/30 kVA y una capacidad de carga de 720 amperios.

Capacidad de funcionamiento trifásico

Además de la conexión en paralelo, se pueden configurar tres unidades del mismo modelo para una salida trifásica. Pero eso no es todo: se pueden conectar en paralelo hasta 6 juegos de tres unidades que proporcionarán una potencia de salida de 75 kW / 90 kVA y más de 2000 amperios de capacidad de carga.

PowerControl – Potencia limitada del generador, de la toma de puerto o de la red

El MultiPlus es un cargador de baterías muy potente. Por lo tanto, usará mucha corriente del generador o de la red del pantalán (casi 10 A por cada Multi de 5kVA a 230 VCA). En el Panel Multi Control puede establecerse una corriente máxima proveniente del generador o del pantalán. El MultiPlus tendrá se hará cargo de otras cargas CA y utilizará la corriente sobrante para la carga, evitando así sobrecargar el generador o la toma de puerto.

PowerAssist – Aumento de la capacidad eléctrica de la toma de puerto o del generador

Esta función lleva el principio de PowerControl a otra dimensión. Permite que el MultiPlus complemente la capacidad de la fuente alternativa. Cuando se requiera un pico de potencia durante un corto espacio de tiempo, como pasa a menudo, el MultiPlus compensará inmediatamente la posible falta de potencia de la corriente de la red o del generador con potencia de la batería. Cuando se reduce la carga, la potencia sobrante se utiliza para recargar la batería.

Energía solar: Potencia CA disponible incluso durante un apagón

El MultiPlus puede utilizarse en sistemas PV, conectados a la red eléctrica o no, y en otros sistemas eléctricos alternativos.

Hay disponible software de detección de falta de suministro.

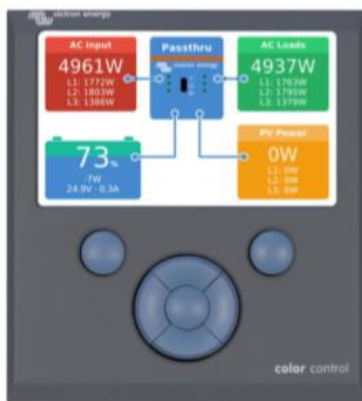
Configuración del sistema

- En el caso de una aplicación autónoma, si ha de cambiarse la configuración, se puede hacer en cuestión de minutos mediante un procedimiento de configuración de los conmutadores DIP.
- Las aplicaciones en paralelo o trifásicas pueden configurarse con el software VE.Bus Quick Configure y VE.Bus System Configurator.
- Las aplicaciones no conectadas a la red, que interactúan con la red y de autoconsumo que impliquen inversores conectados a la red y/o cargadores solares MPPT pueden configurarse con Asistentes (software específico para aplicaciones concretas).

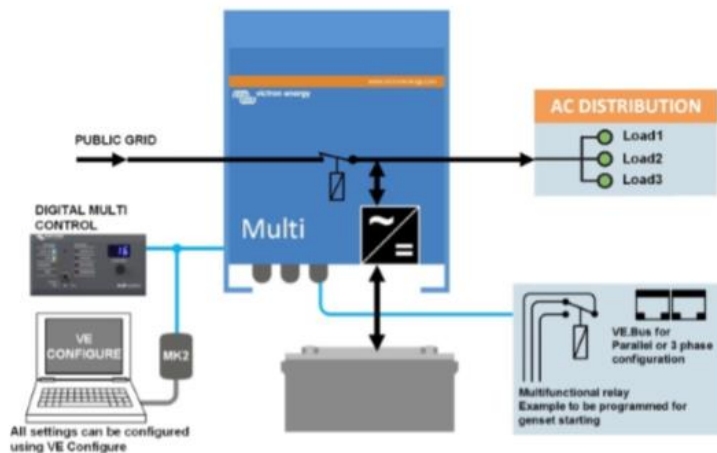
Seguimiento y control in situ

Hay varias opciones disponibles: Battery Monitor, Multi Control Panel, Ve.Net Blue Power panel, Color Control panel, smartphone o tableta (Bluetooth Smart), portátil u ordenador (USB o RS232).

Seguimiento y control a distancia



Panel Color Control con una aplicación FV



| MultiPlus | 12 voltios 24 voltios 48 voltios | C 12/800/35 C 24/ 800/16 | C 12/1200/50 C 24/1200/25 | C 12/1600/70 C 24/1600/40 | C 12/2000/80 C 24/2000/50 | 12/3000/120 24/3000/70 48/3000/35 | 24/5000/120 48/5000/70 |
|--|--|---|------------------------------|-----------------------------------|---|--|---------------------------|
| PowerControl | | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí |
| PowerAssist | | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí |
| Conmutador de transferencia (A) | | 16 | 16 | 16 | 30 | 16 ó 50 | 100 |
| INVERSOR | | | | | | | |
| Rango de tensión de entrada (VCC) | | 9,5 – 17V | | 19 – 33V | 38 – 66V | | |
| Salida | | Tensión de salida: 230 VAC ± 2% | | | Frecuencia: 50 Hz ± 0,1% (1) | | |
| Potencia cont. de salida a 25°C (VA) (3) | | 800 | 1200 | 1600 | 2000 | 3000 | 5000 |
| Potencia cont. de salida a 25°C (W) | | 700 | 1000 | 1300 | 1600 | 2400 | 4000 |
| Potencia cont. de salida a 40°C (W) | | 650 | 900 | 1200 | 1400 | 2200 | 3700 |
| Potencia cont. de salida a 65°C (W) | | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1700 | 3000 |
| Pico de potencia (W) | | 1600 | 2400 | 3000 | 4000 | 6000 | 10,000 |
| Eficacia máxima (%) | | 92 / 94 | 93 / 94 | 93 / 94 | 93 / 94 | 93 / 94 / 95 | 94 / 95 |
| Consumo en vacío (W) | | 8 / 10 | 8 / 10 | 8 / 10 | 9 / 11 | 20 / 20 / 25 | 30 / 35 |
| Consumo en vacío en modo de ahorro (W) | | 5 / 8 | 5 / 8 | 5 / 8 | 7 / 9 | 15 / 15 / 20 | 25 / 30 |
| Consumo en vacío en modo de búsqueda (W) | | 2 / 3 | 2 / 3 | 2 / 3 | 3 / 4 | 8 / 10 / 12 | 10 / 15 |
| CARGADOR | | | | | | | |
| Entrada CA | | Rango de tensión de entrada: 187-265 VCA | | Frecuencia de entrada: 45 – 65 Hz | | Factor de potencia: 1 | |
| Tensión de carga de 'absorción' (V CC) | | 14,4 / 28,8 / 57,6 | | | | | |
| Tensión de carga de "flotación" (V CC) | | 13,8 / 27,6 / 55,2 | | | | | |
| Modo de almacenamiento (VCC) | | 13,2 / 26,4 / 52,8 | | | | | |
| Corriente de carga batería auxiliar (A) (4) | | 35 / 16 | 50 / 25 | 70 / 40 | 80 / 50 | 120 / 70 / 35 | 120 / 70 |
| Corriente de carga de la batería de arranque (A) | | 4 (solo modelos de 12 y 24V) | | | | | |
| Sensor de temperatura de la batería | | Sí | | | | | |
| GENERAL | | | | | | | |
| Salida auxiliar (5) | | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | Sí (16A) | Sí (50A) |
| Relé programable (6) | | Sí | | | | | |
| Protección (2) | | a – g | | | | | |
| Puerto de comunicación VE.Bus | | Para funcionamiento paralelo y trifásico, supervisión remota e integración del sistema | | | | | |
| Puerto de comunicaciones de uso general | | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | Sí | Sí |
| On/Off remoto | | Sí | | | | | |
| Características comunes | | Rango de temp. de trabajo: -40 a + 65°C (refrigerado por aire) Humedad (sin condensación): máx 95% | | | | | |
| CARCASA | | | | | | | |
| Características comunes | | Material y color: aluminio (azul RAL 5012) | | | Categoría de protección: IP 21 | | |
| Conexión de la batería | | cables de batería de 1,5 metros | | Pernos M8 | Cuatro pernos M8 (2 conexiones positivas y 2 negativas) | | |
| CARCASA | | | | | | | |
| Características comunes | | Material y color: aluminio (azul RAL 5012) | | | Categoría de protección: IP 21 | | |
| Conexión de la batería | | cables de batería de 1,5 metros | | Pernos M8 | Cuatro pernos M8 (2 conexiones positivas y 2 negativas) | | |
| Conexión 230 V CA | | Conector G-ST18i | | | Abrazadera de resorte | Bornes de tornillo de 13 mm ² (6 AWG) | Pernos M6 |
| Peso (kg) | | 10 | 10 | 10 | 12 | 18 | 30 |
| Dimensiones (al x an x p en mm.) | | 375x214x110 | | 520x255x125 | 362x258x218 | 444x328x240 | |
| ESTÁNDARES | | | | | | | |
| Seguridad | | EN-IEC 60335-1, EN-IEC 60335-2-29, IEC 62109-1 | | | | | |
| Emisiones / Inmunidad | | EN 55014-1, EN 55014-2, EN-IEC 61000-3-2, EN-IEC 61000-3-3, IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3 | | | | | |
| Vehículos de carretera | | Modelos de 12 y 24V: ECE R10-4 | | | | | |
| Anti-Islla | | Visite nuestra página web | | | | | |



Panel Digital Multi Control
Una solución práctica y de bajo coste para el seguimiento remoto, con un selector giratorio con el que se pueden configurar los niveles de PowerControl y PowerAssist.



Panel Blue Power
Se conecta a un Multi o a un Quattro y a todos los dispositivos VE.Net, en particular al controlador de baterías VF-Net.

Funcionamiento y supervisión controlados por ordenador
Hay varias interfaces disponibles:



Color Control GX
Proporciona monitorización e control, de forma local e remota, por [Portal VLM](#).



Interfaz MK3-USB VE.Bus a USB
Se conecta a un puerto USB (ver [Guía para el VEConfigure](#))



Interfaz VE.Bus a NMEA 2000
Liga o dispositivo a una red electrónica marina NMEA2000. Consulte o [guía de Integración NMEA2000 a ME4](#)



Monitor de baterías BMV-700
El monitor de baterías BMV-700 dispone de un avanzado sistema de control por microprocesador combinado con un sistema de alta resolución para la medición de la tensión de la batería y de la carga/descarga de corriente. Aparte de esto, el software incluye unos complejos algoritmos de cálculo, como la fórmula Peukert, para determinar con exactitud el estado de la carga de la batería. El BMV-700 muestra de manera selectiva la tensión, corriente, Ah consumidos o el tiempo restante de carga de la batería. El monitor también almacena una multitud de datos relacionados con el rendimiento y uso de la batería.
Hay varios modelos disponibles (ver la documentación del monitor de baterías).

Monitorización de la variable temperatura. Ficha técnica. Fuente: JMindustrial

Software



Especificaciones

| | |
|---|---|
| TEMPERATURA | |
| Rango de operación | -20 a 60° C (-4 a 140° C) |
| Precisión (entre -10 y 60° C) | ± 1.0° C typ |
| Resolución interna | ± 0.1° C (± 1.0° F) typ |
| Rango de alarma (Software) | -20 a 60° C (-4 a 158° F), alarma alta y baja |
| MUESTREO DE DATOS | |
| Frecuencia de muestreo | 10s, 30s, 1 min, 5 min, 30 min, 1 hr, 6 hr y 12 hr. |
| Cantidad de lecturas | Más de 1,000,000 lecturas entre temperatura y humedad. |
| Unidad temperatura | °C y °F |
| TRANSMISIÓN INALÁMBRICA DE DATOS | |
| Frecuencia de transmisión de datos | 1 a 100 lecturas. Por ejemplo: si el muestreo es de 10s y la frecuencia de transmisión esta a 6 lecturas, el sensor transmite 6 lecturas a la PC cada minuto (10 segundos X 6 lecturas = 60 segundos) |
| USB | |
| Tipo de USB | USB 2.0 (full speed) |
| Compatibilidad | USB 1.1 y USB 2.0 |
| INDICADOR LCD | |
| Pantalla inicial | Muestra las lecturas de la temperatura y humedad actuales, estatus de batería, alarma y red WiFi. |
| Oprimir botón 1 vez | Muestra las lecturas de temperatura y humedad máximas. |
| Oprimir botón 2 veces | Muestra las lecturas de temperatura y humedad mínimas. |
| Oprimir botón 3 veces | Si el conector esta conectado a la red WiFi la pantalla |

| MODO DE RESET Y RESTAR | |
|-------------------------------|---|
| Restar | Presionar el botón por más de 10 segundos hasta que LOW parpadee (parte superior derecha). Se conservaran los ajustes, pero se perderán los datos que aun no se hayan transmitido a la PC |
| Reset | Presionar el botón mediante 20 segundos, se pondrá en la configuración de fabrica y mostrara: FA – rS. |
| SUMINISTRO | |
| Suministro USB | 4.5 a 5.5 V |
| Fuente de poder | Batería recargable de litio mediante USB |
| Tiempo de vida | Más de 1 año, esta depende de la frecuencia que transmita datos a la PC, a mayor frecuencia, menor el tiempo de vida |
| AMBIENTE | |
| Rangos de temperatura | -20 a 60° C (-4 a 140° F), si la temperatura esta por debajo de este rango la pantalla tendrá una respuesta más lenta de apróx. 10 segundos. |
| MECANICO | |
| Dimensiones (L x W x H) | 97.3 x 71.3 x 26.4 mm |

Vista de lecturas y programación del equipo

Los usuarios pueden seleccionar cualquiera de los equipos conectados en la red WiFi que se hayan configurado en la misma PC para programarlos ó descargar las lecturas de un sensor específico.



Las operaciones que se pueden realizar desde el software incluido por WiFi mediante la pantalla son:

- Ajuste de parámetros
- Despliegue de parámetros y propiedades de los equipos
- Borrado de lecturas
- Reset de alarmas
- Silenciar alarmas sonoras del software
- Borrar y desconectar un equipo del software ó red WiFi

Medidor de la radiación. Ficha técnica Fuente: PCEinstruments

Especificaciones técnicas

| | |
|---|---|
| Principio de medición / Detector de radiación | Tubo contador Geiger-Müller, auto apagado, carcasa de acero inoxidable con relleno de halógeno |
| | - longitud de medición = 38,1 mm |
| | - diámetro de medición = 9,1 mm |
| | - ventana = 1,5 ... 2 mg/cm ² |
| Tipos de radiación | - Radiación alfa a partir de 4 MeV |
| | - Radiación beta a partir de 0,2 MeV |
| | - Radiación gamma a partir de 30 keV |
| Selección de diafragma | - Alpha + Beta + Gamma (sin diafragma) |
| | - Beta + Gamma (hoja Al (aprox 0,1 mm) protege totalmente alfa) |
| | - Gamma (pantalla Al (aprox 3 mm) protege totalmente radiación alfa y beta aprox. 2 MeV, atenúa Gamma menos del 7 % según Cs-137) |
| Sensibilidad Gamma | 95,0 impulsos / min. para radiación Co60 |
| Cuota nula | < 10 impulsos / min. con protección 3 mm Al y 50 mm Pb |
| Rangos de medición | 0,01 µSv / h - 5000 µSv/h |
| Medición de impulsos | 1 ... 99 s, 1 ... 99 min, 1 ... 99 h, valor medio de 24 h en µSv / h |
| Grabación interna de impulsos | A seleccionar intervalos de 1 min, 10 min, 1 hora, 1 día y 7 días |
| Capacidad de la memoria interna de datos | 256,000 byte (100,000 conjuntos de datos) |
| Software / cable de datos | Si, en el envío |
| Alimentación | Batería interna |
| Consumo | Por media menos de 10 microamperios |
| Duración aproximada | Más de 117000 h a 20 impulsos / min. (aprox. 10 años) |
| Alarma acústica | Si |
| Pantalla | LCD de 4 posiciones, numérica, con denominación y representación cuasi logarítmica e indicación de funciones |
| Carcasa | Plástico Novodur resistente a golpes |
| Temperatura de funcionamiento | -20 ... +60 °C |
| Tensión de funcionamiento | Aprox. 450 V |
| Dimensiones | 163 x 72 x 30 mm |
| Peso | 153 g |
| Certificado | Si, en el envío se incluye el certificado de calidad para cada aparato numerado |
| Normativa | - Estándar europeo antiperturbador CE - Estándar USA FCC-15 |

OPZs Solar 2350 con C10 valor 1751 Ah. Ficha técnica.

8.1 Dimensiones, pesos y capacidades (C_n) a diferentes tensiones de descarga (U_n) y tiempos de descarga (t_n)

8.1.1 Monoblocs estacionarios de plomo ácido EnerSol

con placas positivas y negativas planas. Densidad nominal del electrolito 1,28 kg/l

| Tiempo de descarga [h] | Datos de descarga | | | | Dimensiones y pesos | | | | |
|---------------------------------|-------------------|------|----------------------------|------|---------------------|------------|---------------------------|----------------|-------------|
| | Capacidad [Ah] | | Intensidad de descarga [A] | | Largo max. | Ancho max. | Altura ¹⁾ max. | Peso con ácido | Peso ácido |
| | 120 | 100 | 120 | 100 | | | | | |
| Tensión final de descarga [Vpe] | 1,85 | 1,85 | 1,85 | 1,85 | [mm] | [mm] | [mm] | aprox. [kg] | aprox. [kg] |
| EnerSol 50 | 53 | 52 | 0,44 | 0,52 | 210 | 175 | 190 | 13,7 | 2,1 |
| EnerSol 65 | 66 | 65 | 0,55 | 0,65 | 242 | 175 | 190 | 17,3 | 2,7 |
| EnerSol 80 | 80 | 78 | 0,67 | 0,78 | 278 | 175 | 190 | 20,7 | 4,7 |
| EnerSol 100 | 99 | 97 | 0,83 | 0,97 | 353 | 175 | 190 | 26,4 | 7,0 |
| EnerSol 130 | 132 | 130 | 1,10 | 1,30 | 349 | 175 | 290 | 33,0 | 10,9 |
| EnerSol 175 | 179 | 175 | 1,49 | 1,75 | 513 | 223 | 223 | 47,8 | 14,6 |
| EnerSol 250 | 256 | 250 | 2,13 | 2,50 | 518 | 276 | 242 | 63,0 | 18,6 |

¹⁾ La altura arriba mencionada puede variar en función del tapón(es) utilizado(s)

8.1.2 Elementos estacionarios de plomo ácido EnerSol T

con placas positivas y negativas planas. Densidad nominal del electrolito 1,26 kg/l

| Tiempo de descarga [h] | Datos de descarga | | | | | | | | Dimensiones y pesos | | | | |
|---------------------------------|-------------------|------|------|------|----------------------------|-------|-------|-------|---------------------|------------|---------------------------|----------------|-------------|
| | Capacidad [Ah] | | | | Intensidad de descarga [A] | | | | Largo max. | Ancho max. | Altura ¹⁾ max. | Peso con ácido | Peso ácido |
| | 120 | 48 | 24 | 10 | 120 | 48 | 24 | 10 | | | | | |
| Tensión final de descarga [Vpe] | 1,85 | 1,80 | 1,80 | 1,80 | 1,85 | 1,80 | 1,80 | 1,80 | [mm] | [mm] | [mm] | aprox. [kg] | aprox. [kg] |
| EnerSol T 370 | 367 | 361 | 333 | 280 | 3,06 | 7,52 | 13,88 | 28,0 | 83 | 198,5 | 445 | 17,3 | 5,1 |
| EnerSol T 460 | 452 | 437 | 416 | 350 | 3,77 | 9,10 | 17,33 | 35,0 | 101 | 198,5 | 445 | 21,0 | 6,3 |
| EnerSol T 550 | 542 | 524 | 499 | 425 | 4,52 | 10,92 | 20,79 | 42,5 | 119 | 198,5 | 445 | 24,7 | 7,5 |
| EnerSol T 650 | 668 | 656 | 625 | 527 | 5,57 | 13,67 | 26,04 | 52,7 | 119 | 198,5 | 508 | 29,5 | 8,6 |
| EnerSol T 760 | 779 | 766 | 729 | 615 | 6,49 | 15,96 | 30,38 | 61,5 | 137 | 198,5 | 508 | 31,0 | 10,0 |
| EnerSol T 880 | 897 | 854 | 840 | 714 | 7,48 | 17,79 | 35,00 | 71,4 | 137 | 198,5 | 556 | 38,0 | 11,0 |
| EnerSol T 1000 | 1025 | 1008 | 960 | 809 | 8,54 | 21,00 | 40,00 | 80,9 | 155 | 198,5 | 556 | 43,1 | 12,6 |
| EnerSol T 1130 | 1154 | 1134 | 1080 | 910 | 9,62 | 23,63 | 45,00 | 91,0 | 173 | 198,5 | 556 | 47,7 | 14,1 |
| EnerSol T 1250 | 1282 | 1260 | 1200 | 1011 | 10,68 | 26,25 | 50,00 | 101,1 | 191 | 198,5 | 556 | 52,8 | 15,6 |

¹⁾ La altura arriba mencionada puede variar en función del tapón(es) utilizado(s)

8.1.3 Monoblocs estacionarios de plomo ácido OPzs Solar

 con placas positivas tubulares y placas negativas planas. Densidad nominal del electrolito 1,24 kg/l

Monoblocs

| Tiempo de descarga [h] | Datos de descarga | | | | | | | | Dimensiones y pesos | | | | |
|---------------------------------|-------------------|-------|-------|-------|----------------------------|------|------|------|---------------------|------------|---------------------------|----------------|-------------|
| | Capacidad [Ah] | | | | Intensidad de descarga [A] | | | | Largo max. | Ancho max. | Altura ¹⁾ max. | Peso con ácido | Peso ácido |
| | 120 | 48 | 24 | 10 | 120 | 48 | 24 | 10 | | | | | |
| Tensión final de descarga [Vpe] | 1,85 | 1,80 | 1,80 | 1,80 | 1,85 | 1,80 | 1,80 | 1,80 | [mm] | [mm] | [mm] | aprox. [kg] | aprox. [kg] |
| 12V OPzS Solar 70 | 82,7 | 78,4 | 69,4 | 51,5 | 0,7 | 1,6 | 2,9 | 5,2 | 275 | 208 | 385 | 35 | 15 |
| 12V OPzS Solar 140 | 139,0 | 141,0 | 118,0 | 103,0 | 1,2 | 2,9 | 4,9 | 10,3 | 275 | 208 | 385 | 45 | 14 |
| 12V OPzS Solar 210 | 210,0 | 200,0 | 177,0 | 154,0 | 1,8 | 4,2 | 7,0 | 15,5 | 383 | 208 | 385 | 64 | 19 |
| 6V OPzS Solar 280 | 294,0 | 296,0 | 250,0 | 206,0 | 2,5 | 6,2 | 10,5 | 20,6 | 275 | 208 | 385 | 41 | 13 |
| 6V OPzS Solar 350 | 364,0 | 374,0 | 311,0 | 257,0 | 3,0 | 7,8 | 13,0 | 25,8 | 383 | 208 | 385 | 56 | 20 |
| 6V OPzS Solar 420 | 417,0 | 420,0 | 354,0 | 309,0 | 3,5 | 8,8 | 14,8 | 30,9 | 383 | 208 | 385 | 63 | 20 |

Elementos

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-----|-----|-----|-------|------|
| OPzS Solar 190 | 190 | 165 | 145,0 | 132,0 | 1,6 | 3,4 | 6,0 | 13,2 | 105 | 208 | 405 | 13,7 | 5,2 |
| OPzS Solar 245 | 245 | 215 | 190,0 | 173,0 | 2,0 | 4,5 | 7,9 | 17,3 | 105 | 208 | 405 | 15,2 | 5,0 |
| OPzS Solar 305 | 305 | 270 | 240,0 | 220,0 | 2,5 | 5,6 | 10,0 | 22,0 | 105 | 208 | 405 | 16,6 | 4,6 |
| OPzS Solar 380 | 380 | 330 | 300,0 | 273,0 | 3,2 | 6,9 | 12,5 | 27,3 | 126 | 208 | 405 | 20,0 | 5,8 |
| OPzS Solar 450 | 450 | 395 | 355,0 | 325,0 | 3,8 | 8,2 | 14,8 | 32,5 | 147 | 208 | 405 | 23,3 | 6,9 |
| OPzS Solar 550 | 550 | 480 | 430,0 | 391 | 4,6 | 10,0 | 17,9 | 39,1 | 126 | 208 | 520 | 26,7 | 8,1 |
| OPzS Solar 660 | 660 | 575 | 515,0 | 469 | 5,5 | 12,0 | 21,5 | 46,9 | 147 | 208 | 520 | 31,0 | 9,3 |
| OPzS Solar 765 | 765 | 670 | 600,0 | 546 | 6,4 | 14,0 | 25,0 | 54,6 | 168 | 208 | 520 | 35,4 | 10,8 |
| OPzS Solar 985 | 985 | 860 | 770 | 700 | 8,2 | 17,9 | 32,1 | 70,0 | 147 | 208 | 695 | 43,9 | 13,0 |
| OPzS Solar 1080 | 1080 | 940 | 845 | 773 | 9,0 | 19,6 | 35,2 | 77,3 | 147 | 208 | 695 | 47,2 | 12,8 |
| OPzS Solar 1320 | 1320 | 1150 | 1030 | 937 | 11,0 | 24,0 | 42,9 | 93,7 | 215 | 193 | 695 | 59,9 | 17,1 |
| OPzS Solar 1410 | 1410 | 1225 | 1105 | 1009 | 11,8 | 25,5 | 46,0 | 100,9 | 215 | 193 | 695 | 63,4 | 16,8 |
| OPzS Solar 1650 | 1650 | 1440 | 1290 | 1174 | 13,8 | 30,0 | 53,8 | 117,4 | 215 | 235 | 695 | 73,2 | 21,7 |
| OPzS Solar 1990 | 1990 | 1730 | 1550 | 1411 | 16,6 | 36,0 | 64,6 | 141,1 | 215 | 277 | 695 | 86,4 | 26,1 |
| OPzS Solar 2350 | 2350 | 2090 | 1910 | 1751 | 19,6 | 43,5 | 79,6 | 175,1 | 215 | 277 | 845 | 108,0 | 33,7 |
| OPzS Solar 2500 | 2500 | 2215 | 2015 | 1854 | 20,8 | 46,1 | 84,0 | 185,4 | 215 | 277 | 845 | 114,0 | 32,7 |
| OPzS Solar 3100 | 3100 | 2755 | 2520 | 2318 | 25,8 | 57,4 | 105,0 | 231,8 | 215 | 400 | 815 | 151,0 | 50,0 |
| OPzS Solar 3350 | 3350 | 2985 | 2740 | 2524 | 27,9 | 62,2 | 114,2 | 252,4 | 215 | 400 | 815 | 158,0 | 48,0 |
| OPzS Solar 3850 | 3850 | 3430 | 3135 | 2884 | 32,1 | 71,5 | 130,6 | 288,4 | 215 | 490 | 815 | 184,0 | 60,0 |
| OPzS Solar 4100 | 4100 | 3650 | 3355 | 3090 | 34,2 | 76,0 | 139,8 | 309,0 | 215 | 490 | 815 | 191,0 | 58,0 |
| OPzS Solar 4600 | 4600 | 4100 | 3765 | 3451 | 38,3 | 85,4 | 156,9 | 345,1 | 215 | 580 | 815 | 217,0 | 71,0 |

¹⁾ La altura arriba mencionada puede variar en función del tapón(es) utilizado(s)

Piranómetro ISO9060 SR12. Ficha técnica. Fuente: Instrumentos de medida, S.L.



Figure 1 SR12 first class pyranometer for solar energy test applications



Figure 2 PV system performance monitoring pyranometers

Introduction

SR12 is a solar radiation sensor that is applied in high accuracy observations. It measures the solar radiation received by a plane surface from a 180° field of view angle. This quantity, expressed in W/m^2 , is called "hemispherical" solar radiation. SR12 pyranometer has two unique features: a heater and a temperature sensor for additional quality assurance. The incorporated heater reduces measurement errors caused by early-morning dew deposition. Finally, all sensors have individually been tested on directional response; a report is included with SR12's calibration certificate.

PV system performance testing

The ASTM E2848 "Standard Test Method for Reporting Photovoltaic Non-Concentrator System Performance" (issued end 2011) confirms that a pyranometer is the preferred instrument for outdoor PV testing. SR12 pyranometer complies with the requirements of this standard. SR12 is also the first pyranometer of its kind meeting the ISO 9060 mandate for first class pyranometers for "solar energy test applications".

Improved measurement accuracy

Calibration of SR12 has been improved; our latest calibration method results in an uncertainty of the sensitivity of 1.8 %, compared to typical uncertainties of higher than 2.8 % for this pyranometer class.

Uncertainty evaluation

The uncertainty of a measurement under outdoor conditions depends on many factors. Guidelines for uncertainty evaluation according to the "Guide to Expression of Uncertainty in Measurement" (GUM) can be found in our manuals. We provide spreadsheets to assist in the process of uncertainty evaluation of your measurement.

SR12 design

SR12 pyranometer employs a thermal sensor with black coating, two glass domes and an anodised aluminium body.

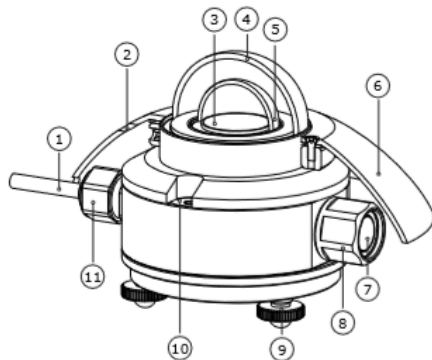


Figure 3 overview of SR12:
 (1) cable, (2) opening for fixation of sun screen, (3) thermal sensor with black coating, (4) outer dome, (5) inner dome, (6) sun screen, (7) humidity indicator, (8) desiccant holder, (9) levelling feet, (10) bubble level, (11) cable gland

Suggested use

- PV system performance monitoring
- general solar resource monitoring
- indoor simulated solar testing

Choosing the right instrument

Pyranometers are subject to classification in three classes according to ISO 9060. From second class to first class and from first class to secondary standard, the achievable accuracy improves by a factor 2. Measurement accuracy does not only depend on instrument properties, but also on measurement conditions. A very accurate instrument will quickly underperform without a regular schedule of maintenance. Our pyranometer [selection guide](#) assists you in choosing the right instrument. Whatever your application is: Hukseflux offers the highest accuracy in every class at the most attractive price level.

SR12 specifications

| | |
|-----------------------------------|--|
| Measurand | hemispherical solar radiation |
| ISO classification | first class pyranometer for solar energy test applications |
| Directional response | report included |
| Calibration uncertainty | 1.8 % (k = 2) |
| Calibration traceability | to WRR |
| Spectral range | 285 to 3000 x 10 ⁻⁹ m |
| Sensitivity (nominal) | 15 x 10 ⁻⁶ V/(W/m ²) |
| Rated operating temperature range | -40 to +80 °C |
| Temperature response | < ± 2 % (-10 to +40 °C) |
| Temperature sensor | Pt100 or 10 kΩ thermistor |
| Standard cable length | 5 m |
| Heater | 1.5 W at 12 VDC |

Options

- longer cable, in multiples of 5 metres

See also

- [SR12-TR](#) first class pyranometer with 4-20 mA transmitter
- [SR11](#) first class pyranometer
- [SR20](#) secondary standard pyranometer for higher accuracy measurements
- [view our complete product range of solar sensors](#)

Standards

Applicable instrument classification standards are ISO 9060 and WMO-No. 8. Calibration is according to ISO 9847. PV related standards are ASTM E2848 and IEC 61724.

