



Trabajo Fin de Grado

HERRAMIENTA WEB PARA EL DISEÑO DE INSTALACIONES AISLADAS CON ENERGÍAS RENOVABLES

Web tool for the design of
isolated installations with
renewable energies

Autor

Pablo Esteban Fuertes

Director

José Luis Bernal Agustín

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
2016

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: <i>PulsarX</i> <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	--	--

HERRAMIENTA WEB PARA EL DISEÑO DE INSTALACIONES AISLADAS CON ENERGÍAS RENOVABLES

RESUMEN

Uno de los grandes retos a los que va a tener que hacer frente la humanidad en los próximos años va a ser lograr un modelo energético capaz de abastecer a una población mundial que está aumentando a un ritmo brutal, pero reduciendo las emisiones de efecto invernadero para evitar que la temperatura global del planeta siga aumentando con las consecuencias que esto conlleva.

Es por ello que el futuro de la energía está en el uso de las renovables para lograr un modelo energético más limpio y respetuoso para el medio ambiente, además de más justo.

Concienciado con la necesidad de llevar a cabo este cambio de mentalidad, he enfocado la realización del Trabajo de Fin de Grado al desarrollo de una herramienta que permita el diseño a nivel usuario de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica en cualquier parte del mundo con el objetivo de acercar el mundo de las energías renovables al público general.

Para ello se ha trabajado conjuntamente junto con la empresa turolense Pulsar Inara, en el proyecto *PulsarX*, con el objetivo de lograr una herramienta en una página web con acceso libre que nos ofrezca unos resultados aproximados de cuales van a ser los elementos necesarios en los distintos tipos de instalaciones introducidos por el usuario dependiendo de las características propias de cada una de estas instalaciones.

Pero *PulsarX* no acaba aquí, sino que una vez finalizada la realización de este Trabajo de Fin de Grado, el proyecto continuará desarrollándose para ampliar el abanico de posibilidades que puede ofrecernos la herramienta.



**DECLARACIÓN DE
AUTORÍA Y ORIGINALIDAD**

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Pablo Esteban Fuertes,

con nº de DNI 18454488-R en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) Grado

(Título del Trabajo)

Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energías renovables (Web tool for the design of isolated installations with renewable energies)

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 22 de Noviembre de 2016

Fdo: Pablo Esteban Fuertes



Índice de contenido

1	Introducción	4
2	La energía solar fotovoltaica	6
3	Sistemas fotovoltaicos aislados	7
4	Desarrollo de la herramienta web	8
4.1	Definiciones	8
4.2	Obtención de datos	10
4.3	Tipo de instalación	10
4.3.1	Periodo de diseño	11
4.3.2	Autonomía.....	11
4.4	Localización	12
4.5	Inclinación, orientación y sombreado.....	13
4.6	Estimación de la energía consumida.....	14
4.7	Diseño del sistema fotovoltaico	15
4.7.1	Dimensionado del sistema de acumulación (baterías)	15
4.7.2	Disposición y número de los módulos fotovoltaicos	20
4.7.3	Dimensionado del regulador.....	22
4.7.4	Dimensionado del inversor	24
5	Conclusiones	28
6	Bibliografía	29

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

1 Introducción

La industria fotovoltaica ha experimentado un enorme crecimiento en los últimos años, llegando a ser competitiva con las formas convencionales de producción de energía, especialmente en zonas en las que el acceso a la red de distribución es complejo o los costes de suministro son demasiado elevados. Durante este crecimiento el precio de los módulos y de los inversores se ha reducido significativamente por lo que hoy en día puede decirse que se trata de una opción cuanto menos interesante desde el punto de vista económico.

Con el propósito de ayudar en la medida de lo posible a que este crecimiento pueda ser todavía mayor, a fin de lograr un sistema energético más limpio y sostenible, he enfocado la realización del Trabajo de Fin de Grado hacia el ámbito de las energías renovables, en particular del aprovechamiento de la energía fotovoltaica en instalaciones aisladas de la red eléctrica, colaborando con el proyecto **PulsarX**.

Este proyecto es resultado de la formación recibida durante los 4 años del Grado de Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Zaragoza, y especialmente, al trabajo realizado durante los tres últimos meses en la empresa turolense Pulsar Inara, en la que he podido desarrollar el proyecto junto con un equipo multidisciplinar, de diferentes ingenierías y capacitaciones, lo que ha permitido crear una plataforma online muy visual e intuitiva, y personalmente, involucrarme en aspectos de la empresa como el trabajo en equipo y la coordinación interdepartamental. Desde la universidad, ha tenido una parte no menos importante D. José Luis Bernal, director del TFG, quien me ha aportado toda la información necesaria para llevar a cabo el proyecto desde un punto de vista eléctrico y que me ha asesorado siempre con la mayor celeridad posible.

El objetivo de **PulsarX** ha sido crear la herramienta www.pulsarx.com que permite a cualquier usuario, independientemente de los conocimientos en el ámbito energético que pueda tener, realizar el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico que le permita alimentar a su instalación de forma independiente de la red eléctrica en cualquier lugar del planeta. La herramienta abarca las distintas opciones atendiendo al tipo de instalación: viviendas, edificios, granjas, instalaciones de industria y cualquier otro tipo de instalación que introduzca el usuario. El alcance de la herramienta va desde pequeñas instalaciones de unos pocos vatios hasta instalaciones de gran tamaño, tanto monofásicas como trifásicas.

Para ello, en el diseño, desarrollo y ejecución de la plataforma, a nivel informática y comunicaciones, se ha optado por una arquitectura, cliente-servidor.

El sistema operativo en el servidor ha sido Linux (CentOS) y como capa de aplicación, se ha utilizado el motor PulsarEngine (propiedad de la empresa Pulsar Inara). Dicho motor utiliza los lenguajes de programación C, Python, PHP, JavaScript, CSS y HTML, y como base de datos MariaDB.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

Desde el lado del cliente/usuario, basta con utilizar un navegador actual como son: Google Chrome, Mozilla FireFox, Internet Explorer o Safari.

El cálculo de la herramienta está limitado para una potencia del generador fotovoltaico de 25kW y una potencia pico de las cargas de consumo de 24kW. Para instalaciones que requieran una potencia mayor se le indicará al usuario que revise los datos introducidos por si pudiera haber algún error. En el caso de que los datos introducidos sean correctos, la potencia es demasiado elevada para la herramienta de cálculo diseñada, por lo que para realizar el dimensionamiento de la instalación se le indique al usuario que contacte con una empresa instaladora.

El método de dimensionado con el que hemos trabajado ha sido el método “amperios-hora”, en el cual, la tensión nominal del sistema y la batería a utilizar se dimensionan teniendo en cuenta el número de días de autonomía y la energía consumida en la instalación, ambos valores introducidos por el usuario. Una vez conocida esta tensión se calculan el resto de componentes de la instalación.

Una vez se ha calculado el sistema de acumulación y la tensión del sistema, se realiza el dimensionado del resto de componentes de la instalación asegurando a lo largo de todo el proceso que el sistema fotovoltaico empleado para la instalación dada por el usuario es el idóneo.

Todos los fórmulas que hemos empleado para el dimensionado de la instalación son las dadas en el *Pliego de Condiciones Técnicas para Instalaciones aisladas de red del IDAE [1]*.

Los pasos a seguir que se han llevado a cabo para dimensionar el sistema fotovoltaico de los diferentes tipos de instalaciones han sido los siguientes:

1. Selección del tipo de instalación, periodo de diseño y autonomía de la instalación.
2. Localización de la instalación.
3. Situación y orientación de las placas solares, y pérdidas por sombreado.
4. Estimación energética de la instalación. Define cuales son las necesidades energéticas del proyecto.
5. Dimensionado del sistema de acumulación.
6. Dimensionado del generador fotovoltaico.
7. Dimensionado del regulador.
8. Dimensionado del inversor.

Tras realizar los pasos anteriores se le muestra por pantalla al usuario la solución obtenida. Tanto en esta etapa final, como a lo largo del resto de etapas, se muestran botones de ayuda que sirven para dar explicaciones breves y simples al usuario sobre diferentes aspectos que se tienen en cuenta a la hora de realizar el dimensionamiento de la instalación, de forma que en todo momento se realiza un guiado al usuario a la hora de diseñar su instalación.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

Además, se han incluido tres anexos, en el primero se profundiza en la obtención de los datos de la NASA y mejora de la precisión de los mismos. Tener una base de datos lo más precisa posible es una de las partes críticas del proceso por lo que hemos realizado un estudio de los mismos en profundidad. En el segundo anexo, se ha realizado el dimensionamiento de diferentes tipos de instalaciones manualmente siguiendo el procedimiento llevado a cabo en la herramienta web para comprobar que funciona correctamente. Finalmente, en el tercer anexo se adjuntan las fichas técnicas de los diferentes elementos utilizados para el dimensionado de las instalaciones.

2 La energía solar fotovoltaica

La tecnología solar fotovoltaica (FV) consiste en la conversión directa de la radiación del Sol en electricidad y nos permite realizar instalaciones que alimentan a sistemas alejados de la red de distribución (sistemas fotovoltaicos autónomos) o bien para generar energía a la red eléctrica (sistemas conectados a red).

El elemento principal de cualquier instalación de energía solar es el generador, que recibe el nombre de **célula solar**. Se caracteriza por convertir directamente en electricidad los fotones provenientes de la luz del sol. Una de las principales características de los generadores fotovoltaicos es que únicamente producen electricidad cuando reciben luz del Sol y además la cantidad de energía que generan es directamente proporcional a la irradiación solar que incide sobre su superficie.

No obstante, existen aplicaciones en las que el consumo energético se produce independientemente de la radiación solar y por lo tanto se requiere de un sistema de acumulación, mientras que otras aplicaciones, como pueden ser los sistemas conectados a la red, no requieren el uso de baterías. Existen por lo tanto diferentes opciones a la hora de construir un sistema fotovoltaico.

Los principales elementos de los que se compone una instalación fotovoltaica son los siguientes:

- **Generador fotovoltaico:** es el encargado de transformar la energía del Sol en energía eléctrica. Está formado por **módulos fotovoltaicos** que pueden estar conectados en serie y/o paralelo en función de la potencia requerida por la instalación. Estos módulos a su vez están formados por células fotovoltaicas.
- **Sistema de acumulación (Baterías):** almacenan la energía eléctrica producida por el generador fotovoltaico para poder utilizarla en los períodos en los que la demanda de energía supere a la producción del generador.
- **Regulador de carga:** es el encargado de proteger y garantizar el correcto mantenimiento de carga de la batería y evitar sobretensiones que puedan destruirla.
- **Inversor:** se encarga de convertir la corriente continua de la instalación en corriente alterna, igual a la utilizada en la red eléctrica.



- **Consumos:** se trata de las cargas que el sistema fotovoltaico tiene que satisfacer (luminarias, motores, electrodomésticos, etc...), pueden ser DC o AC. Sin embargo, para nuestra herramienta hemos supuesto que todas las cargas son AC, puesto que es lo más común.
- Generador auxiliar: en algunos casos, en los que el suministro de energía no puede ser interrumpido, pueden emplearse generadores que complementen la energía suministrada por el sistema fotovoltaico para mantener la demanda de la instalación.

La clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas se puede realizar en función de la aplicación a la que están destinadas. Así, distinguimos dos grandes grupos:

- Instalaciones aisladas de la red eléctrica, dando lugar a los denominados sistemas fotovoltaicos autónomos, para electrificación rural, señalización, bombeo de agua, etc...
- Instalaciones conectadas a la red eléctrica: centrales fotovoltaicas y edificios y viviendas conectados a red. Se trata de instalaciones que tienen la particularidad de trabajar en intercambio con la red eléctrica local.

Personalmente, considero que el empleo de instalaciones conectadas a la red eléctrica es la opción más interesante para entornos en los que el acceso a la energía no es un problema, puesto que aseguran un suministro eléctrico continuo y permite una inversión menor al evitarnos el uso de baterías, que incrementan considerablemente el coste de la instalación. No obstante, las trabas fiscales que existen todavía para este tipo de sistemas en algunos países, como puede ser el caso de España, me ha llevado a limitar la aplicación de la herramienta para instalaciones aisladas de la red eléctrica.

3 Sistemas fotovoltaicos aislados

Para el desarrollo de nuestra herramienta nos hemos centrado en los sistemas fotovoltaicos cuyo objetivo es satisfacer la demanda de energía eléctrica de aquellos lugares donde no existe red eléctrica de distribución, es de difícil acceso, o porque es el propio usuario el que desea abastecerse con un sistema autónomo, respetuoso con el medio ambiente.

Los sistemas aislados van equipados normalmente con sistemas de acumulación de energía, ya que los paneles solamente pueden proporcionar energía durante el día y la demanda se produce a lo largo

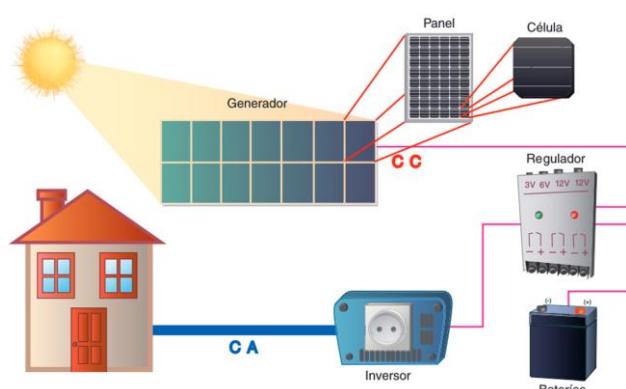


Figura 1. Esquema general de una instalación autónoma con inversor.

Fuente:

<http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>



del día y de la noche. Esto implica que el campo fotovoltaico ha de estar dimensionado de forma que permita, durante las horas de insolación, la alimentación de la carga y la recarga de las baterías de acumulación.

Además, suponemos que todas las cargas que vamos a tener son AC, puesto que a pesar de que las cargas DC son más eficientes para pequeñas potencias, y nos evitamos el uso del inversor, también son más difíciles de encontrar y su coste es mayor al de sus equivalentes AC. Por lo tanto todas las posibles configuraciones de los sistemas fotovoltaicos autónomos que vamos a dimensionar requerirán del uso de inversores (Figura 1).

4 Desarrollo de la herramienta web

4.1 Definiciones

- Ángulo de inclinación β : ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano

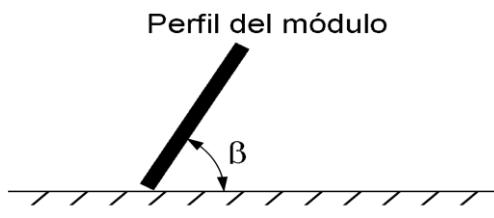


Figura 2. Perfil del módulo fotovoltaico
Fuente: PCT (IDAE)

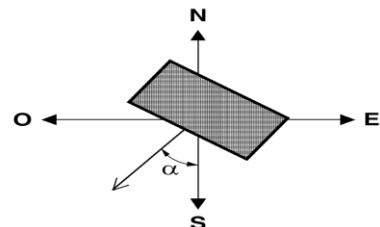


Figura 3. Ángulo de azimut.
Fuente: PCT (IDAE)

horizontal (figura 2): Su valor es 0º para módulos horizontales y 90º para verticales.

- Ángulo de azimut α : ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar (figura 3). Valores típicos son 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este, +90° para módulos orientados al oeste y 180° para módulos orientados hacia el norte.
- $G_{dm}(0)$: valor medio mensual o anual de la irradiación diaria sobre superficie horizontal en kWh/(m²·día).
- $G_{dm}(\alpha_{opt}, \beta_{opt})$: valor medio mensual o anual de la irradiación diaria sobre el plano del generador orientado de forma óptima ($\alpha_{opt}, \beta_{opt}$), en kWh/(m²·día). Se considera orientación óptima aquella que hace que la energía colectada sea máxima en un período.
- $G_{dm}(\alpha, \beta)$: valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del generador en kWh/(m²·día) y en el que se hayan descontado las pérdidas por sombreado (FS) y por variaciones en la inclinación y orientación de los paneles con respecto a las disposición óptima de los paneles (FI).

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

- Factor de irradiación (FI): porcentaje de radiación incidente para un generador de orientación e inclinación (α, β) respecto a la correspondiente para una orientación e inclinación óptimas ($\alpha_{opt}, \beta_{opt}$).
- Factor de sombreado (FS): porcentaje de radiación incidente sobre el generador respecto al caso de ausencia total de sombras.
- Rendimiento energético de la instalación o “performance ratio” (PR): eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo para el período de diseño, de acuerdo con la ecuación del PCT *et al* [1]:

$$PR = \frac{E_D \cdot G_{STC}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot P_{mp}}$$

G_{STC} : 1 kW/m²

P_{mp} : Potencia pico del generador (kW_p)

E_D : consumo expresado en kWh/día

Este factor "PR" considera las pérdidas en la eficiencia debido a:

- La temperatura. Los módulos fotovoltaicos presentan unas pérdidas de potencia del orden de un 0,4% por cada grado de aumento de su temperatura de operación de la célula. Dicha temperatura depende de la temperatura de operación de la célula está íntimamente relacionada con la temperatura ambiente y la irradiancia y se puede obtener mediante la siguiente fórmula aproximada obtenida en [2]:

$$T_C = T_a + I \cdot \frac{TONC - 20}{800}$$

Donde

T_C : temperatura de trabajo de la célula (°C)

T_a : Temperatura ambiente (°C)

TONC: temperatura de operación nominal de la célula (°C)

I: irradiancia (W/m²)

- El cableado
- Las pérdidas por dispersión de parámetros y suciedad.
- Las pérdidas por errores en el seguimiento del punto de máxima potencia
- La eficiencia energética, η_{rb} , de otros elementos en operación como el regulador, la batería, etc. (Rendimiento regulador-acumulador $\approx 0,8$)
- La eficiencia energética del inversor, η_{inv} (Rendimiento energético del inversor $\approx 0,85$)

Para el desarrollo de nuestra herramienta se estima que las pérdidas de eficiencia por el cableado, por dispersión y por errores en el seguimiento no superarán el 1,5%.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

4.2 Obtención de datos

La obtención de una base de datos fiable es una de las partes más críticas de nuestro proyecto, puesto que si se comete un error en dicha toma de datos, este error va a ser arrastrado hasta el final del proceso de dimensionado de la instalación.

Para la realización de nuestra herramienta hemos obtenido los datos de irradiación horizontal de la base de datos de la NASA *et al* [3]. No obstante, para comprobar que dichos datos son correctos y lo suficientemente precisos se ha realizado un estudio comparándolos con los valores existentes en la base de datos del PVGIS *et al* [4] y estudiando los métodos matemáticos usados para la obtención de dichos datos.

Todo lo referente a la obtención de datos a partir de la base de datos de la NASA, con sus métodos de análisis propios y los que hemos desarrollado de manera propia para comprobar la fiabilidad y la precisión de estos aparecen en el *Anexo I*.

4.3 Tipo de instalación

Como hemos visto anteriormente, PulsarX se trata de una herramienta que permite el dimensionado de instalaciones aisladas con energías renovables, por lo que el primer paso que se llevará a cabo será la identificación del tipo de instalación del que se trata, puesto que los parámetros de cálculo en muchos casos variarán para las distintas tipologías.

A continuación, se muestran los distintos tipos de instalación que el usuario podrá seleccionar y sus principales características a tener en cuenta a la hora del diseño de la instalación fotovoltaica:

- **Viviendas:** son instalaciones que presentan una gran variabilidad a la hora de estimar la energía consumida dependiendo de diversos factores (número de personas, hábitos de consumo, tamaño vivienda, etc.).
- **Edificios:** son instalaciones que tienen unos requerimientos de energía mayores que en el caso de las viviendas y que normalmente presentan unos patrones de consumo menos variables que en el anterior caso.
- **Industria:** suele tratarse de instalaciones con elevados consumos con unos patrones de demanda de la energía más continuos a lo largo del año que en los casos anteriores.
- **Granjas e invernaderos:** al igual que en el caso de la vivienda, las granjas e invernaderos presentan gran variabilidad de potencias y consumos de energía dependiendo de la actividad que se lleva a cabo en dicha instalación.
- **Seguridad y telecomunicaciones:** se trata de instalaciones que suelen tener consumos bajos de energía y que presentan poca variabilidad en los consumos.
- **Bombeo y riego:** se trata de **sistemas de bombeo con batería**, que permite el funcionamiento constante del sistema sin necesidad de depender de las horas de insolación. En este caso se suelen conocer de forma clara los requerimientos de energía y

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

potencia, puesto el grueso del consumo se da en los equipos de bombeo de los cuales conocemos sus principales características.

- **Otras instalaciones:** cabe la posibilidad de que ninguna de las instalaciones nombradas anteriormente sean exactamente lo que el usuario desea, por lo tanto se le da la opción de seleccionar un tipo de instalación según sus necesidades específicas.

4.3.1 Periodo de diseño

Se establecerá un periodo de diseño para calcular el dimensionado del generador en función de tipo de instalación que ha seleccionado el usuario previamente del que obtendremos el valor del parámetro "K" del PCT [1] y los datos de irradiación obtenidos anteriormente:

$$K = \frac{G_{dm}(\alpha_{opt}, \beta_{opt})}{G_{dm}(0)}$$

Para la selección de dicho periodo de diseño se le ofrecerá al usuario cuatro posibles alternativas atendiendo al periodo en el que se va a utilizar la instalación:

- Diario (todo el año)
- Fines de semana
- Verano
- Invierno

A efectos del dimensionamiento de la instalación, podemos distinguir dos grupos principalmente. En el primero, estarían los periodos de diseño diario e invernal, puesto que para ambos tomaremos el valor de irradiación mensual menor de los datos que obtendremos en la etapa de localización y el valor K será igual a 1,7 como se indica en el PCT [1]. Mientras que para los periodos de diseño de verano y fines de semana se realizará el dimensionado de la instalación para un valor de K=1 [1] y se dimensionará la instalación para los meses de mayor radiación. Para los fines de semana, se ha utilizado los meses de mayor radiación ya que se estima que la energía producida durante los días semanales en los que no se emplea la instalación será suficiente para abastecer a la instalación.

Se ha realizado esta diferenciación en los periodos de diseño puesto que no tiene sentido dimensionar una instalación que solo va a utilizarse los meses de verano utilizando el valor de irradiación mensual menor obtenido puesto que estaríamos sobredimensionando la instalación y por lo tanto el coste de la misma sería mucho mayor. El objetivo es, en ambos casos, satisfacer las necesidades energéticas del usuario para los meses en los que se va a utilizar dicha instalación con el coste menor posible.

4.3.2 Autonomía

La autonomía se define como el número de días durante los cuales la batería puede satisfacer el consumo de una determinada instalación cuando las condiciones climatológicas hacen que la

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
--	---	--

generación del campo fotovoltaico sea nula. Por defecto el valor que se la para el dimensionado de la instalación es de 3 días.

4.4 Localización

Una vez que hemos seleccionado cual es el tipo de instalación, comenzamos a desarrollar el que será el segundo paso para el dimensionado de la instalación fotovoltaica, la selección de la localización.

Para ello, el usuario, mediante el uso de Google Maps seleccionará el emplazamiento exacto de su instalación de forma que las coordenadas obtenidas se introducirán en la base de datos que hemos creado y de ahí obtendremos todos los valores medios mensuales de irradiación ($\text{Wh/m}^2/\text{día}$), temperatura ambiente ($^\circ\text{C}$) e irradiancia (W/m^2) del emplazamiento seleccionado. Estos valores se almacenarán, junto con los de la latitud y longitud del emplazamiento con el fin de ser utilizados para el cálculo del valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del generador en $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ y del factor de corrección por temperatura de la célula fotovoltaica.

Para realizar el cálculo de este factor de corrección por temperatura de la célula utilizamos los valores de temperatura máxima mensual y de la irradiancia al mediodía para la ubicación de la instalación. La ecuación utilizada para calcular la temperatura de la célula, como hemos visto anteriormente, es la siguiente:

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

El valor de la temperatura de operación nominal de la célula (**TONC**) es un parámetro que se obtiene de las hojas características de los módulos fotovoltaicos, toma valores que van de 43 a 49°C y atendiendo a las características de los módulos fotovoltaicos empleados, 46°C resulta un valor adecuado sea cual sea la potencia del panel utilizado. Sabemos que las de eficiencia por temperatura son de un 0,4% por cada grado que aumenta por lo que podemos calcular el factor de pérdidas por temperatura para una latitud y longitud dadas:

$$1 - K_T = \frac{0,4}{100} \cdot (T_{celula} - 25)$$

Una vez conocido el factor de pérdidas de la célula por temperatura podemos calcular el rendimiento energético PR de la instalación. Como ejemplo usaremos una instalación situada en Madrid donde las temperaturas y las irradiancias medias diarias mayores para mediodía son de $29,2^\circ\text{C}$ y 810W/m^2 :

$$T_c = T_a + I \cdot \frac{\text{TONC} - 20}{800} = 29,2 + 810 \cdot \frac{46 - 20}{800} = 55,525^\circ\text{C}$$

Sabemos que las pérdidas de eficiencia por temperatura son de un 0,4% por cada grado que aumenta:



$$1 - K_T = \frac{0,4}{100} \cdot (55,525 - 25) = 0,1221 \rightarrow K_T = 0,8779$$

Por lo que el rendimiento energético de la instalación localizada en Madrid es de:

$$PR = \eta_{inv} \cdot \eta_{reg} \cdot K_T \cdot K_{varios} = 0,85 * 0,8 * 0,8779 * 0,99 = 0,591$$

4.5 Inclinación, orientación y sombreado

En esta etapa, se determinará la orientación e inclinación óptimas para el período de diseño elegido, ($\alpha_{opt}=0^\circ$, β_{opt}) para el hemisferio norte y ($\alpha_{opt}=180^\circ$, β_{opt}) en el caso del hemisferio sur. En la tabla 2 se presentan períodos de diseño habituales y la correspondiente inclinación (β) del generador que hace que la colección de energía sea máxima.

$|\Phi| = \text{Latitud del lugar en grados en valor absoluto}$

Periodo de diseño	β_{OPT}	$K = \frac{G_{dm}(\alpha=0, \beta_{opt})}{G_{dm}(0)}$
Mes de menor radiación	$ \Phi +10$	1,7
Mes de mayor radiación	$ \Phi -20$	1
Anual	$ \Phi -10$	1,15

Tabla 1. Inclinación optima en función del periodo de diseño.

Fuente: PCT (IDAE)

En el caso de que la inclinación óptima resultante sea de valor negativo, como sería el caso de una instalación situada en un punto cercano al ecuador dimensionada para los meses de mayor radiación, tomaremos una inclinación óptima $\beta_{OPT} = 0^\circ$, es decir horizontal.

Por defecto la aplicación establecerá una orientación que haga que el generador capte la máxima energía (α_{opt} , β_{opt}). Sin embargo, no siempre es posible orientar e inclinar el generador de forma óptima, ya sea porque se desea colocar los paneles en un tejado, por la acumulación de suciedad, por la resistencia al viento, etc. Por lo que se le preguntará al usuario si existe alguna restricción con respecto a la orientación y a la inclinación y si es el caso que indique cuales son sus valores. En el caso que el usuario hay seleccionado que existen restricción en la orientación y/o en la orientación con los valores introducidos (α , β) se calcula el factor de inclinación (FI) siguiendo el criterio dado en el PCT [1]:

$$\begin{aligned} FI &= 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{OPT})^2 + 3,5 \times 10^{-5} (\alpha_{OPT} - |\alpha|)^2] && \text{para } 15^\circ < \beta < 90^\circ \\ FI &= 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{OPT})^2] && \text{para } \beta < 15^\circ \end{aligned}$$

En esta misma etapa además de preguntar al usuario por la orientación e inclinación de los paneles, se calcularán las posibles pérdidas que podamos tener por el sombreado de los módulos. Para ello se le indicará al usuario que seleccione de entre las tres opciones que se le ofrecen a continuación cual es la situación en la que se encuentran los paneles según su criterio:

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
--	---	--

- Sin pérdidas: Llanura o punto elevado sin elementos que hagan sombra. Recibe luz directa durante todo el día: FS = 1
- Muy pocas: En algún momento del día se proyectan sombras de arbustos o pequeños árboles o similares: FS = 0,95
- Pérdidas normales: Algunos árboles altos proyectan sombras durante un tiempo considerable: FS = 0,9
- Pérdidas considerables: Edificios o árboles altos y frondosos proyectan sombras durante gran parte del día: FS = 0,85
- Muchas pérdidas: Las montañas u otros elementos proyectan sombras casi todo el día, bloqueando la luz solar: FS = 0,8

Una vez hemos obtenido los valores de pérdidas por orientación, inclinación y sombreado tendremos los datos suficientes para realizar el cálculo de la irradiación sobre el generador.

Para ello deberán presentarse los siguientes datos:

- **G_{dm}(0)** irradiación obtenida en la etapa de localización de la instalación: corresponderá al valor máximo o mínimo de irradiación de los datos que hemos almacenado dependiendo del periodo de diseño utilizado como hemos visto anteriormente.
- **K** dependerá del periodo de diseño para el que se ha realizado el dimensionado.
- **Factor de inclinación (FI) y factor de sombreado (FS)**

Con todo lo anterior podremos calcular la irradiación sobre el generador **G_{dm}(α, β)** calculado a partir de la expresión dada en el PCT:

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0) \cdot K \cdot FI \cdot FS \quad [1]$$

4.6 Estimación de la energía consumida

Se trata del último paso en el que el usuario debe introducir datos referentes a la instalación. En él, se define cuales son las necesidades energéticas del proyecto.

Para la estimación del cálculo de energía que consume la instalación se deben tener en cuenta los aparatos que se utilizan en dicha instalación, la potencia de los mismos y las horas que están trabajando, además de los autoconsumos de los equipos de regulación e inversión empleados la misma.

El cálculo de la energía que consume cada elemento en un día es igual a la potencia de dicho elemento por las horas que está conectado (supondremos que cuando no se están utilizando los aparatos están desconectados y por lo tanto la energía consumida en standby será nula). Así pues la energía total de la instalación será la suma de las energías consumidas por los elementos de dicha instalación.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

$$E_{instalación} = \sum_{i=1}^N P_i t_i$$

El usuario deberá introducir también la potencia pico (kW) que va a tener su instalación y si se trata de una instalación trifásica o monofásica, ya que estos criterios son imprescindibles para el dimensionado de los inversores a emplear.

4.7 Diseño del sistema fotovoltaico

En esta etapa se llevan a cabo todos los cálculos que dan lugar a la solución final de la instalación. Es importante remarcar que, a pesar de seguir las pautas dadas por el PCT [1], en esta etapa entra en juego el criterio del diseñador en aspectos como los costes, la utilización de módulos de determinadas potencias, el empleo de unos equipos para la regulación y control u otros, etc. Por lo que no existe una única solución posible.

En la práctica habitual, para el diseño de un sistema fotovoltaico, se comienza con el dimensionado del número de paneles y su disposición. Sin embargo, como nuestra aplicación debe ser interactiva con el usuario, que puede aumentar o disminuir la autonomía según sus necesidades, lo que hará que la tensión del sistema se modifique para lograr la autonomía deseada, comenzaremos el diseño de la instalación dimensionando el sistema de acumulación. A este método se le denomina **método “amperios-hora”** [5].

4.7.1 Dimensionado del sistema de acumulación (baterías)

En muchas ocasiones, debido a la variabilidad cíclica de la radiación solar (variabilidad diaria y estacional), la energía instantánea generada en el generador fotovoltaico es distinto de la requerida por el sistema. Se necesita algún dispositivo que acumule energía cuando la generada es mayor que la consumida, y que devuelva esa energía cuando la demanda supere a la producción. El elemento que se encarga de esto es el acumulador. En los sistemas fotovoltaicos se utilizan acumuladores electroquímicos, comúnmente denominadas baterías recargables.

Existen en el mercado diferentes tipos de baterías solares, fabricadas cada una para cumplir con unas exigencias técnicas determinadas en cuanto a número de ciclos de descarga, vida útil, mantenimiento, capacidades de almacenaje y rendimiento.

En el desarrollo de nuestro proyecto PulsarX, para el dimensionado del sistema de acumulación hemos empleado diferentes tipos de baterías seleccionando la más adecuada para cada tipo de instalación.

Uno de los tipos de baterías utilizadas son las **baterías monoblock de plomo ácido**, las cuales son el modelo más económico y recomendado en instalaciones de baja y media potencia donde se utilicen aparatos eléctricos sencillos que no usen motor. Estos dispositivos son el televisor, el



reproductor de música o DVD, el microondas, bombillas o focos de iluminación, etc. Sin embargo, este tipo de baterías resulta desaconsejado para instalaciones donde haya motores, ya que se producen picos de corriente que reducen drásticamente la vida media de la batería de 4-5 años a menos de 1 año. Otro inconveniente que presentan, al tratarse de una batería de ácido abierto, es que requieren un mantenimiento periódico cada año y medio aproximadamente.

Otro tipo de baterías que hemos utilizado son las **baterías AGM (Absorbed Glass Mat)**, las cuales tiene un mayor rendimiento que las anteriores y no necesitan mantenimiento ya que se trata de baterías selladas compuestas de electrolito gelificado. Estas baterías son ideales para usar cualquier tipo de aparato eléctrico ya que soportan sin problemas los altos picos de arranque de cualquier electrodoméstico. La vida media de las baterías AGM en condiciones normales de uso son de 8-10 años. Estas baterías son muy utilizadas en instalaciones de tamaño medio ya que permiten ir añadiendo módulos y ampliar la capacidad de carga poco a poco.



Figura 4. De izquierda a derecha: Baterías monoblock de plomo ácido, AGM y OPzS.

Fuente: www.damiasolar.com

El siguiente tipo de baterías empleado son del tipo estacionario. En nuestro caso hemos utilizado las **baterías OPzS** puesto que son las baterías que nos ofrecen una mayor capacidad de carga. Se utilizan para grandes instalaciones o bien en instalaciones medias donde se necesite una batería de mayor duración que las AGM. Las OPzS tienen una vida útil de 20 años y tienen una gran resistencia para ciclos continuos de carga y descarga. Al tratarse de una batería abierta, requiere un mantenimiento de relleno cada 2 años. La principal desventaja que tienen este tipo de baterías es el precio que va desde los 800€ hasta los 9000€.

Para las instalaciones en las que se requieren elevadas capacidades, además de las OPzS, hemos utilizado las **baterías OPzV**, utilizadas en instalaciones con ciclos continuados de carga y descarga de uso diario. Esta batería estacionaria es de tipo gel por lo que no requiere ningún tipo de mantenimiento, y tiene una vida útil de más de 20 años. Son las más adecuadas para condiciones exigentes de temperatura, golpes o vibraciones. Su principal desventaja es su coste, puesto que son incluso más caras que las OPzS para una misma capacidad.

A la hora de dar los resultados, para las baterías OPzS y OPzV, hablamos de que se requieren un

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

número determinado de vasos de 2V con la configuración que sea necesaria. Por otro lado, para las baterías de plomo ácido Monoblock y las AGM, en lugar de hablar de vasos, se dan los resultados del sistema de acumulación como un número determinado de baterías de 12V con las conexiones necesarias para lograr la autonomía deseada, puesto que ambos tipos de batería tienen formato monoblock.

A la hora de seleccionar un tipo de batería u otro se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- *Profundidad de descarga máxima (PDmáx)*, se define como el nivel máximo de descarga que se le permite a la batería antes de la desconexión del regulador, para proteger la duración de la misma. La profundidad de descarga máxima que hemos tomado para el desarrollo del diseño de la herramienta es del 70%, sin posibilidad de ser modificado por el usuario.
- Capacidad nominal (C_{20}), es la cantidad de carga que es posible extraer de una batería en 20 horas, medida a una temperatura de 20°C, hasta que la tensión entre sus terminales llegue a 1,8 V/vaso. La capacidad (Ah) de un grupo de baterías conectadas en serie es igual a la capacidad de cada uno de los elementos que lo componen. La conexión de baterías en paralelo no es del todo recomendable puesto que hay ciertos fenómenos, como la pérdida de material, estratificación, pérdida de electrolito, que afecta más a unos elementos que a otros y que puede hacer sobrepasar el límite de sobrecarga o sobredescarga de algunos elementos aunque en conjunto no lo haga. No obstante, cuando tengamos grandes consumos de energía que requieran de una autonomía elevada la capacidad que pueden ofrecer las baterías conectadas en serie no será suficiente para alimentar al sistema. Por lo tanto emplearemos conexiones en paralelo de las baterías solamente para instalaciones de gran tamaño y cuando sea estrictamente necesario. La capacidad necesaria de las baterías en un sistema FV se calcula en función a los consumos y al número de días de autonomía del sistema. Por otro lado es importante que el dimensionado del acumulador con relación al generador FV esté bien realizado. Un exceso de capacidad de almacenamiento respecto de la capacidad de generación del generador FV daría lugar a la batería tendría dificultades en poder cargarse completamente por lo que debe cumplirse que $C_{20}/I_{sc} < 25$ [1].

Por el contrario, una baja capacidad de batería da lugar a poca autonomía y corre el riesgo de quedarse sin suministro de energía en caso de ausencia de radiación solar.

Para el dimensionado del sistema de acumulación es muy importante tener en cuenta los días de autonomía que se van a otorgar a la instalación. Dicha autonomía va a ser el parámetro crítico para realizar el cálculo de los acumuladores.

Para nuestro proyecto se ha tomado por defecto una autonomía de 3 días como se indica en el PCT del IDAE, no obstante el usuario podrá aumentar o disminuir los días de autonomía en caso de tratarse de zonas con baja irradiación donde pueden producirse períodos de varios días en

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

condiciones de poca insolación o en caso de tener apoyo de suministro como pudiera ser un generador de combustible.

Para propósitos de dimensionado del acumulador, se calculará el consumo medio diario en Ah/día, L_D , como:

$$L_D (\text{Ah/día}) = \frac{E_D (\text{Wh/día})}{V_{NOM} (\text{V})}$$

donde V_{NOM} (V) es la tensión nominal del acumulador.

La capacidad nominal del acumulador se calculará mediante la expresión:

$$C_{20} = \frac{A \cdot L_D}{PD_{máx} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{rb}}$$

donde:

A = autonomía del sistema en días

C_{20} = Capacidad del acumulador en Ah (*)

$PD_{máx}$ = Profundidad de descarga (70%)

η_{inv} = Rendimiento energético del inversor (se estima en un 85%)

η_{rb} = Rendimiento energético del acumulador + regulador (se estima en un 80%)

(*) La utilización de C_{20} en lugar de la C_{100} lleva a sobredimensionar el acumulador un 25%, pero se compensa con la pérdida de capacidad en el tiempo.

Para **sistemas monofásicos**, una vez que conocemos la autonomía del sistema, comenzamos un proceso iterativo en el que la tensión nominal inicial toma un valor de **12V** de forma que si se logra obtener una capacidad del acumulador C_{20} menor a 200 Ah querrá decir que se trata de un sistema con un consumo muy bajo, que no tiene cargas de motor y que por lo tanto puede utilizar una batería de plomo ácido Monoblock de 12V puesto que es la solución más económica.

Si el valor de la capacidad del acumulador que habíamos obtenido anteriormente C_{20} es mayor de 200 Ah, o en el caso de que el usuario haya indicado que se trata de una instalación trifásica, aumentamos la tensión del sistema hasta **24V** lo que hará disminuir el consumo diario, y comprobaremos de nuevo el valor de la capacidad de forma que si $C_{20} \leq 250\text{Ah}$ seleccionaremos 2 baterías AGM en serie puesto que son más económicas que las baterías OPzS y es probable que tengamos cargas con motor por lo que las baterías monoblock no resultan adecuadas; si $250\text{Ah} < C_{20} \leq 370\text{Ah}$ podremos seleccionar 12 vasos de 2V de OPZS en serie, así como 12 vasos de 2V de OPZV informando al usuario de cuales son las características principales de ambos tipos de baterías para que seleccione una u otra en función del uso que va a hacer de su instalación; si $370\text{Ah} < C_{20} \leq 4080\text{Ah}$ seleccionaremos 12 vasos de 2V baterías estacionarias OPzS en serie a pesar del alto coste puesto que los demás tipos de baterías no tienen la capacidad necesaria que requiere la instalación.

Si todavía no se ha llegado a una solución se vuelve a aumentar la tensión nominal del sistema

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

hasta los **48V** calculándose el nuevo valor de C_{20} . Si el valor de dicha capacidad es menor a 3708Ah podrán seleccionarse de nuevo entre los dos tipos de baterías estacionarias utilizadas, tanto OPzS como OPzV. Para ambos casos emplearemos 24 vasos de 2V conectados en serie. Si $3708Ah < C_{20} \leq 4080Ah$ se seleccionarán 24 vasos de OPzS de 2V en serie cuya capacidad supere a la requerida por el sistema. Si por el contrario $C_{20} > 4080Ah$ no existen baterías que tengan una capacidad tal que pueda hacer que se cumpla el valor de la autonomía fijada por el usuario, y por lo tanto, aunque no es lo más deseable, se conectarán en paralelo series de 24 vasos de 2V hasta lograr la autonomía fijada por el usuario con las medidas de protección oportunas para evitar que unas baterías se carguen a costa de la descarga de las otras.

El procedimiento para calcular el sistema de acumulación en **sistemas trifásicos** es equivalente al que hemos seguido para sistemas monofásicos. No obstante, en lugar de comenzar el proceso de iteración de 12V, lo empezaremos en 24V. Esto se debe a que consideramos que en sistemas trifásicos van a haber cargas de gran potencia que produzcan picos de corriente por lo que los baterías de plomo ácido Monoblock que habíamos utilizado anteriormente resultan desaconsejables.

En caso de que la capacidad del sistema de acumulación supere los 10.000Ah, se le recomienda al usuario contactar con un instalador puesto que los inversores utilizados no son aptos para sistemas de acumulación de capacidades superiores.

A continuación, se muestran ejemplos de diferentes tipos de acumuladores empleados para el desarrollo de nuestra herramienta de dimensionado de sistemas fotovoltaicos:

Tipo	C100 (Ah)	C20 (Ah)	Marca	Precio (€)
Plomo Ácido Monoblock	70	56	TAB	125
Plomo Ácido Monoblock	115	92	TAB	195
Plomo Ácido Monoblock	165	132	U-power	199
Plomo Ácido Monoblock	250	200	Solarlux	255
AGM	110	88	Victron Energy	275
AGM	275	220	Victron Energy	530
Estacionarias OPzS	456	364,8	Midac	885
Estacionarias OPzS	638	510,4	TAB	1200
Estacionarias OPzS	912	729,6	TAB	1395
Estacionarias OPzS	1200	960	Hawker	2240
Estacionarias OPzS	1830	1464	TAB	2560
Estacionarias OPzS	2352	1881,6	Midac	3875
Estacionarias OPzS	3186	2548,8	EXIDE	4625
Estacionarias OPzS	4703	3762,4	Midac	7491
Estacionarias OPzS	5100	4080	Faam	8595
Estacionarias OpzV	375	300	U-power	885
Estacionarias OpzV	1200	960	U-power	2310
Estacionarias OpzV	4636	3708,9	Hawker	8743

Tabla 2. Ejemplo de baterías utilizadas en el desarrollo de la herramienta.

Fuente: www.damiasoar.com

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

4.7.2 Disposición y número de los módulos fotovoltaicos

Serán los encargados de la generación eléctrica. Pueden ser de varios tipos, entre ellos, los más utilizados para este tipo de instalaciones son los paneles con tecnología monocristalina y policristalina. Los paneles solares monocristalinos y policristalinos, con uniones en serie de sus células, rondan los 12-18 voltios para uniones de 36 células y los 24-32 voltios para uniones de 72 células.

Los módulos suelen ser muy fiables y duraderos (vida útil 25 o 30 años). En muchas ocasiones un único módulo es insuficiente para cubrir la demanda de energía, por lo que hay que conectar varios en serie y/o paralelo para producir cualquier combinación de corriente o tensión. El conjunto de esos módulos constituyen lo que denominamos el generador fotovoltaico.

- **Dimensionado de la potencia mínima del generador**

El dimensionado mínimo del generador, en primera instancia, se realizará de acuerdo con los datos anteriores, según la expresión del PCT [1]:

$$P_{mp,mín} = \frac{E_D \cdot G_{STC}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot PR}$$

Igual que las células fotovoltaicas, los fabricantes de módulos fotovoltaicos dan los parámetros del módulo medidos en unas condiciones que se denominan estándar. Éstas son:

- Irradiancia 1000 W/m², incidencia normal.
- Distribuciónpectral correspondiente a AM 1,5
- Temperatura de la célula 25°C

Para esas condiciones, el fabricante da los valores de la corriente de cortocircuito, Isc, la tensión de circuito abierto, Voc, la potencia máxima, Pmax, la corriente para el punto de potencia máxima, Ipmax y la tensión para el punto de potencia máxima, Vpmax. Siendo los tres primeros (Isc, Voc, Pmax) los que definen el dimensionamiento del generador.

La Potencia máxima, Pmax, (en vatios pico, Wp) de un módulo es el máximo de la curva de potencia P=V·I que se mide en condiciones estándar. La potencia que realmente da el módulo en un determinado instante depende de las condiciones de irradiancia y temperatura a las que se encuentre expuesto. Para el desarrollo de nuestra aplicación hemos empleado módulos fotovoltaicos con una potencia de 50, 200 y 300 Wp de la marca española Atersa cuyas características principales aparecen en los catálogos del Anexo III.

El cálculo del número y disposición de los módulos fotovoltaicos se realiza simultáneamente al dimensionado del sistema de acumulación. Así pues, cuando la tensión nominal del sistema sea de 12V utilizaremos módulos de 50 Wp. El número de módulos se calculará con la expresión:



$$n = \frac{P_{mp,mín}(W_p)}{P_{mód}(W_p/\text{módulo})}$$

En este caso la disposición se compondrá de n módulos en paralelo puesto que la tensión de circuito abierto de los módulos es aproximadamente de 22V. El exceso de tensión es debido a que se requiere cierta tensión para compensar las caídas de tensión en la resistencia de los conductores + la resistencia interna de la batería (R), compensar las pérdidas de tensión entre bornes del panel debido al aumento de la temperatura por exposición a la radiación solar, y poder cargar la batería. El número máximo de módulos de 50Wp que podrán colocarse en paralelo es de 9 para no superar la corriente de cortocircuito del regulador seleccionado para una tensión del sistema de 12V. En el caso de que se supere el valor de la corriente de entrada o salida que puede asumir el regulador aumentará la tensión del sistema a 24V y se dimensionará el generador como se indica a continuación.

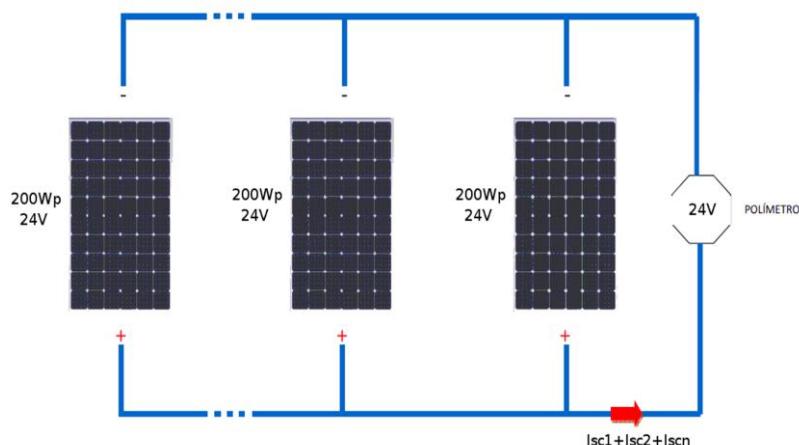


Figura 5. Disposición de paneles para $V_n=24V$. Fuente: elaboración propia

Para instalaciones de tamaño mediano en la que se requiera una mayor potencia, la tensión del sistema será de 24V. Para este valor de tensión utilizaremos módulos de 200Wp, los cuales tienen $V_{oc} \approx 44V$, por lo que, en caso de que el número de reguladores que calculamos posteriormente sea menor o igual a 4, solamente necesitaremos un módulo por cada rama en paralelo (figura 5). Dicho número de módulos en paralelo se calculará con la expresión que hemos utilizado para una tensión nominal del sistema de 12V.

Para tensiones del sistema de 24V en los que el número de reguladores sea mayor a 4, la configuración del sistema fotovoltaico se modifica completamente. Para esta nueva configuración los módulos se conectarán en strings (cadenas) de módulos de 200Wp en serie dando lugar a tensiones de hasta $1000V_{DC}$ a la salida del generador fotovoltaico, donde se conecta a un inversor



que transforma la corriente continua en alterna y alimenta a inversores que realizarán las tareas de regulación, es decir, se encargan de controlar que la carga y descarga de las baterías se realice de forma óptima.

Cuando se trate de grandes instalaciones en las que la tensión nominal del sistema sea de 48V utilizaremos módulos de 300Wp. La tensión de circuito abierto para los módulos de 300Wp, es aproximadamente igual a 45V por lo que para trabajar en un sistema cuya tensión nominal es de 48V se requerirán 2 módulos en serie (figura 6), en el caso de tener 4 o menos reguladores. El número de ramas en paralelo se calcula en este caso mediante la siguiente expresión:

$$n = \frac{P_{mp,mín}(W_p)}{2 \cdot P_{mód}(W_p/\text{módulo})}$$

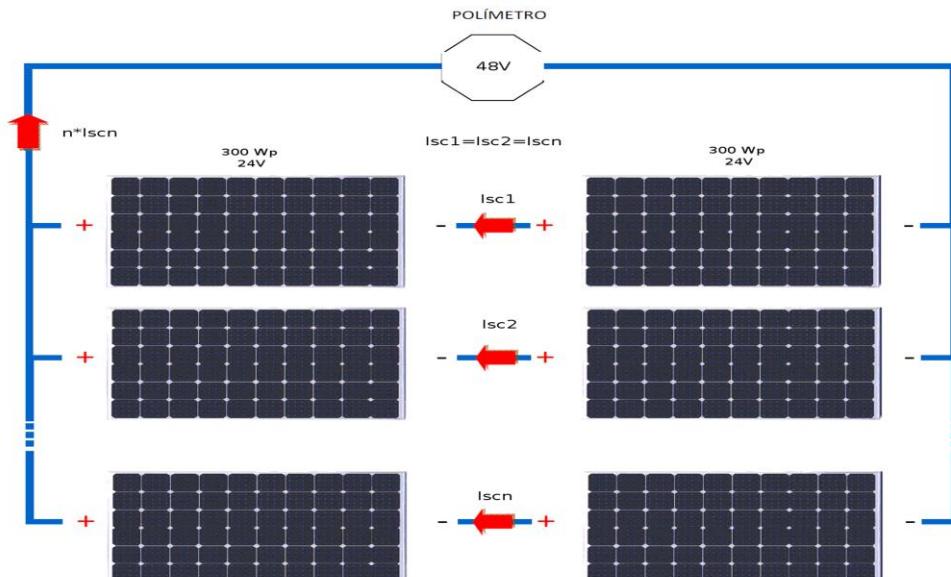


Figura 6. Disposición de paneles para $V_n=48V$. Fuente: elaboración propia

En caso contrario, al igual que en el para el sistema de 24V, la conexión de los módulos se realizará en serie a fin de aumentar la tensión y disminuir la corriente, y por lo tanto la sección del cable utilizado. De nuevo, se utilizan inversores para realizar la regulación de la carga de las baterías.

4.7.3 Dimensionado del regulador

En el proceso de carga de la batería, como la tensión que puede proporcionar el panel es mayor que la tensión que presenta la batería a plena carga, si no se controla el proceso de carga, continuaría produciéndose éste y puede dar lugar a una sobrecarga de la batería. Para evitar dicha sobrecarga, se utiliza el regulador. Este dispositivo controla el valor de la corriente inyectada en la

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

batería. Si no se evita la sobrecarga de las baterías, se produce gasificación y calentamiento, dando lugar a una diminución de la vida útil. También se encarga de evitar las sobredescargas, perjudiciales también para la vida útil.

Cuando la tensión de la batería indica que va a pasar a sobrecarga (tensión de corte por alta), se desconecta la batería del generador. Cuando la tensión de la batería indica que va a pasar a sobredescarga (tensión de corte por baja), se desconecta la batería del consumo.

El regulador debe ser configurado específicamente en función del tipo de batería, aplicación y condiciones climáticas. En nuestro caso, las tensiones del regulador se deben ajustar de forma que la profundidad de descarga máxima del sistema de acumulación sea del 70%.

Para el dimensionado del proyecto **PulsarX**, en el caso de instalaciones de pequeñas potencias, el control de la carga y descarga de las baterías se lleva a cabo por reguladores. Sin embargo, para instalaciones en la que la potencia es mayor, la función de regulación es llevada a cabo por inversores Sunny Island.

Las características que se deben tener en cuenta para calcular los reguladores son:

- **Tensión nominal:** iguales a las tensiones del sistema, que para nuestro proyecto son: 12, 24 y 48 V.
- **Intensidad máxima:** intensidad que permite que circule a través de él.

A la hora de dimensionar el regulador debemos tener en cuenta cual es la máxima corriente que debe soportar a su entrada pero tambien a su salida.

Para el cálculo de la corriente de entrada hacemos el producto de la corriente de cortocircuito de un módulo por el número de ramas en paralelo calculado anteriormente aplicándole además un factor de seguridad del 25% para evitar posibles daños ocasionados al regulador como nos indica *SunfieldsEurope et al [6]*:

$$I_{\text{entrada}} = 1,25 \cdot N_p \cdot I_{\text{sc}}$$

Para el cálculo de la corriente de salida hemos de valorar las potencias de las cargas:

$$I_{\text{salida}} = \frac{1,25 \cdot \left(P_{DC} + \frac{P_{AC}}{\eta_{inv}} \right)}{V_{BAT}}$$

siendo, P_{DC} la potencia de las cargas en continua. Como ya hemos dicho anteriormente para el diseño de nuestra herramienta únicamente hemos considerado cargas de corriente alterna por lo que $P_{DC}=0$, P_{AC} es igual a la potencia de las cargas en alterna y η_{inv} el rendimiento del inversor (85%).

En instalaciones de pequeña potencia en las que la tensión nominal es de 12V con baterías Monoblock de capacidad menor a 200Ah, emplearemos reguladores que protejan a todos los



elementos de la instalación y que proporcionen un óptimo control y gestión de la carga de los acumuladores pero no reguladores MPPT, puesto que el precio es considerablemente mayor (600-900€) que otros reguladores más simples (200€). En este caso se utilizan reguladores bitensión de 35A LEO10.

Por otra parte, para las instalaciones en las que la tensión del sistema sea de 24 o 48V, y el número de reguladores sea menor de 4, se utilizan los reguladores SunnyCharger 50, los cuales nos permiten sacar la máxima potencia de los módulos, haciéndolos trabajar siempre en su punto de máxima potencia. Las corrientes de entrada y salida del regulador empleado son 40 y 50A respectivamente.

En caso de que el número de reguladores requerido sea mayor a 4, emplearemos la configuración en la que se utilizan SunnyIsland (figura 7) para realizar la regulación de la carga de las baterías mostrada en la Figura 2, puesto que es el número máximo de reguladores que se pueden conectar con al inversor seleccionado en estos casos es demasiado elevado.

En los casos en los que utilicemos inversores SunnyIsland como equipos de regulación, se deberá tener en cuenta para su cálculo cual es la potencia pico de la instalación. Para poder cubrir posibles picos de demanda se le aplica un factor de sobredimensionado del 20%, por lo que la potencia requerida en caso de utilizar inversores SunnyIsland se calculará:

$$P_{REG} = 1,2 \cdot P_{AC}$$

Para instalaciones trifásicas utilizamos sistemas fotovoltaicos cuya regulación se lleva a cabo mediante el uso de inversores SunnyIsland en todos los casos.

Las características de los distintos tipos de equipos utilizados para regulación que hemos empleado aparecen el Anexo III.

4.7.4 Dimensionado del inversor

El inversor es el elemento del sistema encargado de transformar la corriente continua que generan las células fotovoltaicas en corriente alterna. Habitualmente en sistemas fotovoltaicos autónomos el inversor estará conectado a la salida del consumo del regulador de carga, en bornes

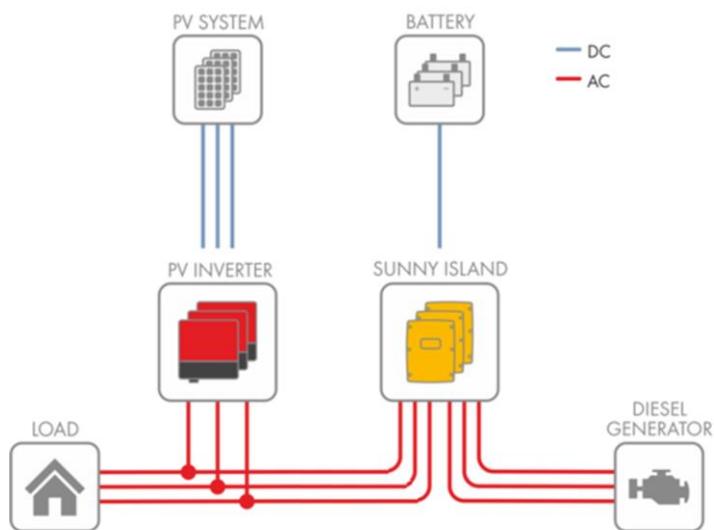


Figura 7. Esquema trifásico utilizando SunnyIsland.

Fuente: www.sma-iberica.com

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

del acumulador o bien a la salida del generador fotovoltaico.

Las funciones principales de los inversores son: inversión DC/AC, modulación de la onda alterna de salida y regulación del valor eficaz de la tensión de salida.

Los inversores que se pueden encontrar normalmente pueden ser monofásico o trifásicos a 50Hz, con diferentes voltajes nominales de entrada con un amplio rango de potencias disponibles y se clasifican en función de la forma de onda de la tensión de salida en dos grupos principalmente: los inversores de onda cuadrada y los de onda senoidal, siendo estos últimos los más convenientes y los que utilizaremos para el diseño de nuestras instalaciones ya que a pesar de tener un precio superior a los inversores de onda cuadrada tiene un filtrado más cuidadoso de la señal generadora, lo que es un factor especialmente a tener en cuenta para cargas inductivas, como es el caso de los motores, donde la forma de onda que llega al motor debe aproximarse lo más posible a una onda senoidal. Estos inversores ya tienen en cuenta los picos de arranque que tienen muchos electrodomésticos y aparatos con motor, que en ocasiones alcanza hasta 4 o 5 veces la potencia nominal prevista. Así pues, para el cálculo del inversor, únicamente hemos de calcular la suma de las potencias de las cargas de alterna y aplicar un margen del 20% para asegurar que es capaz de suministrar la potencia requerida a las cargas.

$$P_{INV\text{salida}AC} = 1,2 \cdot P_{AC}$$

En caso de que el inversor esté conectado directamente a los módulos fotovoltaicos se deberá tener en cuenta también la potencia que es capaz de soportar a su entrada. De nuevo le aplicamos un margen del 20%:

$$P_{INV\text{entrada}DC} = 1,2 \cdot n^{\circ}\text{paneles} \cdot P_{PANEL} = 1,2 \cdot P_{GENERADOR}$$

Las principales características de un inversor son:

- **Tensiones nominales de entrada y salida.**
- **Potencia máxima que puede proporcionar y soportar.**
- **Rendimiento** (que varía con la potencia).

Siguiendo el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE, hay ciertas cualidades que deben cumplir los inversores:

- **Eficiencia:** Debe ser lo más elevada posible, para todo el rango de potencias de salida. Los de control PWM senoidal suelen tener un rendimiento del 90% o mayor para el 70% de la potencia nominal de salida. Para potencias bajas el rendimiento cae.
- **Baja distorsión armónica:** La distorsión armónica da idea de lo que se asemeja una onda a la forma senoidal.



- **Capacidad para resistir potencia punta:** En situaciones como los arranques de motores, la potencia en los primeros instantes puede ser muy elevada (varias veces la nominal).
- **Elevado rango de temperaturas de trabajo:** Suelen estar entre -5 y 40ºC.
- Posibilidad de ser combinado en paralelo.
- **Arranque y desconexión automáticos:** Cuando no hay demanda energética por parte del sistema, el inversor debe pasar a OFF (en funcionamiento, aunque no haya carga, el inversor consume potencia). En el caso de que se detecte carga (a partir de un cierto umbral) debe ponerse ON automáticamente.
- **Seguridad:** Deben llevar protección contra cortocircuitos, sobrecargas e inversión de polaridad.

A la hora de dimensionar el sistema se deberá tener en cuenta si el usuario en la etapa de estimación de la energía consumida ha seleccionado que existe algún elemento trifásico en su instalación o no.

Una vez conocemos si existen elementos trifásicos en la instalación y si se han utilizado reguladores o inversores SunnyIsland para controlar la recarga de las baterías, procedemos a la selección de los inversores.

Algunos de los inversores utilizados en el desarrollo de **PulsarX** se muestran a continuación:

- En instalaciones monofásicas en las que se utilizan reguladores para la recarga de las baterías para el diseño de la herramienta se han empleado los siguientes inversores:

Vn	Pn	Tipo de convertidor
12	150	1 Inversor BCR-150-12
12	300	1 Inversor BCR-300-12
12	600	1 Inversor BCR-600-12
12	1500	1 Inversor BCR-1500-12
24	2200	1 Inversor SunnyIsland 2224
24	4400	2 Inversores SunnyIsland 2224
24	6600	3 Inversores SunnyIsland 2224
48	3000	1 Inversor SunnyIsland 3.0
48	4000	1 Inversor SunnyIsland 4.0
48	6000	1 Inversor SunnyIsland 6.0
48	8000	1 Inversor SunnyIsland 8.0
48	12000	2 Inversores SunnyIsland 6.0
48	16000	2 Inversores SunnyIsland 8.0
48	18000	3 Inversores SunnyIsland 6.0
48	24000	3 Inversores SunnyIsland 8.0

Tabla 3. Selección de inversores para sistemas monofásicos con reguladores
Fuente: elaboración propia

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

- Cuando se requieren elementos trifásicos cuyo sistema de regulación de la recarga de las baterías está compuesto de reguladores SunnyCharger hemos optado por la utilización de tres inversores monofásicos SunnyIsland de la siguiente tabla.

Vn	Pn	Tipo de convertidor
24	6600	3 Inversores Sunny Island 2224
48	9000	3 Inversores Sunny Island 3.0
48	12000	3 Inversores Sunny Island 4.0
48	18000	3 Inversores Sunny Island 6.0
48	24000	3 Inversores Sunny Island 8.0

Tabla 4. Selección de inversores para sistemas trifásicos

Fuente: elaboración propia

- En los casos, en los que se utilizan inversores SunnyIsland para realizar la reguladores, los inversores se conectarán directamente a la salida del generador fotovoltaico y emplearemos los siguientes inversores de la marca SMA:

Configuración	P_{AC} (W)	P_{DC} (W)	V_{DC MAX} (V)
Monofásica	5000	5150	600
Monofásica	6000	6200	600
Monofásica	7000	7200	600
Monofásica	7680	7950	600
Monofásica	9000	9400	600
Monofásica	10000	10400	600
Monofásica	11000	11500	600
Trifásica	5000	5100	1000
Trifásica	6000	6125	1000
Trifásica	7000	7175	1000
Trifásica	8000	8200	1000
Trifásica	9000	9225	1000
Trifásica	10000	10250	1000
Trifásica	12000	12275	1000
Trifásica	15000	15330	1000
Trifásica	20000	20440	1000
Trifásica	25000	25550	1000

Tabla 5. Selección de inversores conectados a la salida del generador FV.

Fuente: elaboración propia

Las características principales de los distintos inversores utilizados aparecen en el Anexo III.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

5 Conclusiones

Con el desarrollo del proyecto **PulsarX** se ha logrado crear una herramienta con un entorno visual, útil y sencillo que permite al usuario dimensionar su instalación fotovoltaica aislada de forma gratuita a nivel global.

La principal diferencia con otras herramientas similares disponibles en internet es que en nuestro caso no existe ánimo de lucro, es decir, no queremos imponer una marca porque seamos distribuidores de la misma, sino que tratamos de ofrecer la mejor solución para cada situación particular.

No obstante, a pesar de que es una herramienta bastante avanzada, el desarrollo de la aplicación podría ser mucho más extenso. Algunas de las novedades que podrían aplicarse son las siguientes:

- Calcular el dimensionado de los cables que unen los distintos elementos de la instalación.
- Mejorar la estimación de consumos para cada uno de los meses con el fin de realizar un dimensionado de la instalación lo más precisa posible.
- Poder ofrecer al usuario un precio aproximado de cuál va a ser el coste inicial y el periodo de recuperación de la inversión de su instalación.

A la hora de realizar el desarrollo de la herramienta el principal quebradero de cabeza se ha dado con la obtención de los datos de la NASA ya que la resolución espacial dada es de 1º lo que en kilómetros viene a ser unos 111 km aproximadamente. Para mejorar esta resolución buscamos una base de datos alternativa, no obstante seguimos teniendo en muchos casos el mismo problema y la única base de datos que ofrecía datos de todo el globo es la de la NASA, por lo que decidimos interpolar con los valores conocidos para mejorar la estimación de los valores de irradiación.

Otro de los problemas que se nos ha planteado ha sido que al dimensionar los inversores y reguladores estos sólo admitían un número determinado de módulos por lo que la potencia que podíamos obtener era muy limitada. Se solucionó contactando con instaladores y con D. José Luis Bernal, que nos propusieron como solución óptima aumentar la tensión del sistema fotovoltaico con el fin de reducir la corriente que circulará por los cables hasta el inversor.

Al haber realizado el TFG en una empresa el tiempo total de desarrollo de la herramienta es muy complejo de medir, puesto que han trabajado varias personas en su diseño y programación. Por mi parte, la dedicación ha sido total (8h/día), desde el 12 de septiembre que comencé las prácticas en la empresa, por lo que el tiempo total aproximado es de unas 450 horas, pero si contamos todo el tiempo de todas las personas que han participado en el proyecto, se superan las 1200 horas.

La realización del proyecto **PulsarX** me ha permitido conocer más sobre el dimensionamiento de instalaciones fotovoltaicas y crear una herramienta que puede resultar una buena carta de presentación para poder optar a oportunidades laborales en el campo de las energías renovables en el futuro.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

6 Bibliografía

- [1] “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red”, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), (PCT-A-REV- febrero 2009).
- [2] “Applied Photovoltaics”, Stuart R. Wenham, Martin A. Green, Muriel E. Watt, Richard Corkish, 2006, 2^a edición, Earthscan.
- [3] “Langley Research Center Atmospheric Science Data Center Surface meteorological and Solar Energy (SSE)”, NASA.
- [4] “Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)”, Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology; European Commission.
- [5] “Sistemas Fotovoltaicos. Introducción al diseño y dimensionado”, Miguel Alonso Abella, 2001, 1^a edición, Editorial SAPT de Publicaciones técnicas.
- [6] “Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas”, José A. Alonso Lorenzo, Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma, SunFields Europe (www.sfe-solar.com/suministros-fotovoltaica-aislada-autonoma/manual-calculo).



Trabajo Fin de Grado

ANEXOS

Autor

Pablo Esteban Fuertes

Director

José Luis Bernal Agustín

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
2016

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

Índice de contenido

1	Anexos.....	2
1.1	Anexo I: Comprobación de la fiabilidad de los datos obtenidos.....	2
1.1.1	Datos obtenidos de la NASA	2
1.1.2	Interpolación de los datos de la NASA.....	5
1.1.3	Datos obtenidos del PVGIS	5
1.1.4	Conclusión sobre la fiabilidad de los datos.....	6
1.2	Anexo II: Ejemplos de instalaciones	7
1.2.1	Ejemplo 1. Vivienda de verano en Celadas (Teruel)	7
1.2.2	Ejemplo 2. Vivienda para uso anual en Lima (Perú)	10
1.2.3	Ejemplo 3. Granja en Nuakchot (Mauritania)	13
1.2.4	Ejemplo 4. Instalación de seguridad en Plasencia (Cáceres)	16
1.2.5	Ejemplo 5. Instalación de vigilancia en Ohio (Estados Unidos)	19
1.2.6	Ejemplo 6. Instalación para almacenaje en Sídney (Australia).....	21
1.3	Anexo III. Catálogos de los componentes utilizados	25
1.3.1	Módulos fotovoltaicos	25
1.3.2	Reguladores	28
1.3.3	Inversores.....	31

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

1 Anexos

1.1 Anexo I: Comprobación de la fiabilidad de los datos obtenidos

1.1.1 Datos obtenidos de la NASA

Los datos meteorológicos están dados en una cuadricula de un grado para la longitud por un grado para la latitud cubriendo la totalidad del globo (64,800 regiones). Los datos han sido generados usando el Sistema de Visión Terrestre Goddard de la NASA – Versión 4 (GEOS 4) Series Temporales de Asimilación de Datos Multianuales. La colección de datos obtenida mediante GEOS 4 tiene un espaciado de 1,25 grados para la longitud por 1 grado para la latitud. Por lo que para producir regiones de 1x1 grados se ha utilizado interpolación bilineal.

Los datos de energía solar se han generado usando el algoritmo Pinker/Laszlo de onda corta. Los datos de nubosidad están tomados del “International Satellite Cloud Climatology Project DX dataset (ISCCP). Los datos del ISCCP DX están divididos en una cuadricula con un tamaño efectivo de pixel de 30x30 km. Los datos de salida están generados en una cuadricula anidada que contiene 44,016 regiones. La red anidada tiene una resolución de un grado para la latitud, y una resolución longitudinal que va desde un grado en los trópicos a 120 grados en los polos. Esto, de uno en uno, es de nuevo mallado en una cuadricula de ángulos iguales de 1x1 (360 longitudes por 180 latitudes).

El proceso de remallado se realiza por replicación, en la que cualquier región de la cuadricula es mayor de 1x1 grados es subdividida en regiones de 1x1 grados, cada una con el mismo valor que la original.

- **Precisión**

En esta sección se proporcionan estimaciones de los niveles de incertidumbre para la radiación solar, temperatura, presión en la superficie, humedad relativa, y velocidad del viento mediante comparaciones con datos obtenidos en medidas en el terreno. Se considera generalmente que la calidad de los datos de las medidas en terreno son más precisas que los valores provenientes de los satélites. Sin embargo, estas medidas tienen una incertidumbre asociada a la calibración, a la operación, o a huecos de datos en la colección de datos de terreno.

Las estimaciones llevadas a cabo con SSE han sido comparadas con los datos medidos en el terreno de forma global. Los parámetros de radiación han sido comparados con los datos de “Baseline Surface Radiation Network (BSRN). Los parámetros meteorológicos han sido comparados con los datos del “National Climate Data Center (NCDC).

- **Metodología**

La NASA, a través de su Directorio de Misiones Científicas, tiene un gran apoyo de sistemas por satélite e investigación que proporcionan información importante para el estudio del clima y del

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

proceso climático. Esta información incluye estimaciones a largo plazo de datos meteorológicos y de flujos de energía solar en la superficie. Estos satélites y productos modelados se han mostrado para asegurar que los datos solares y meteorológicos son lo suficientemente precisos donde las medidas en la superficie son escasas o inexistentes.

En general, la meteorología y radiación solar para SSE ha sido obtenido de los satélites del Directorio de Misiones Científicas de la NASA y de programas de análisis. Los parámetros basados en los datos solares y/o meteorológicos han sido derivados y validados basados en recomendaciones de compañeros en la industria energética. Los datos solares y meteorológicos fueron tomados durante más de 22 años, e incluyen nuevos parámetros y estudios de validación.

• Metodología de validación

La validación de los parámetros disponible de SSE se basa en la comparación de los parámetros primarios del SSE con las observaciones en la superficie de los correspondientes parámetros. Ejemplos de comparaciones de parámetros primarios incluye los valores solares y de temperatura de SSE comparado con las observaciones de superficie.

Los datos estadísticos asociados al SSE contra los valores de superficie se dan para proporcionar a los usuarios la información necesaria para asegurar la aplicabilidad de los datos de SSE a sus proyectos particulares. Los parámetros estadísticos asociados con la línea de mínimos cuadrados se ajusta con los respectivos gráficos de dispersión: coeficiente de correlación de Pearson; el margen de error (BIAS) entre el respectivo parámetro del SSE y las observaciones de superficie; el error cuadrático medio (RMSE) calculado como la diferencia entre los valores de SSE y los valores observados.

A continuación se muestran las expresiones usadas para calcular los parámetros estadísticos:
El coeficiente de correlación de Pearson se calcula usando expresiones tomadas desde:

$$r = r_{xy} = \frac{\sum x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{(n-1)s_x s_y}$$

donde:

n= número de muestras

x_i e y_i representan la superficie y SSE respectivamente

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

La expresión para el promedio del margen de error entre los parámetros de SSE y las observaciones de los parámetros de la superficie de una localización, j, en la siguiente:

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

$$(Bias)^j = \left\{ \sum_i \left\{ \left[(Parm_i^j)_{SSE} - (Parm_i^j)_{Sur} \right] \right\} \right\} / n$$

Donde

i=día dentro de un periodo de tiempo dado

j=número de la localización

n=número de las parejas de datos dentro de un periodo de tiempo dado

Σ_i = sumatorio de todas las parejas de datos en la localización j

La expresión para el promedio del margen de error para superficies múltiples viene dada por:

$$Bias = \sum_i \{(Bias^j)\} / N$$

Donde el sumatorio Σ_i abarca todas las localizaciones

N= número total de localizaciones

La expresión para el RMSE entre el parámetro de SSE, Parm, y la superficie de observación de dicho parámetro en una localización j viene dada por:

$$(RMSE)^j = \left\{ \left\{ \sum_i \left[(Parm_i^j)_{SSE} - (Parm_i^j)_{Sur} \right]^2 \right\} / n \right\}^{1/2}$$

Y RMSE para muchos sitios:

$$RMSE = \left\{ \sum_i (RMSE^j)_{SSE} \right\} / N$$

Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$$

Donde

μ =media de la muestra

x_i = valores individuales del SSE o valores observados

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

1.1.2 Interpolación de los datos de la NASA

Como ya hemos visto anteriormente, la base de datos de la NASA nos ofrece una resolución para datos de irradiancias de $1^\circ \times 1^\circ$, lo que hace que las distancias que se abarcan sean demasiado extensas, y por lo tanto los valores de irradiancia que obtenemos para latitudes y longitudes que están entre dichos puntos no sean totalmente precisos. Para ello hemos llevado a cabo un método mediante el cual se estima la radiación global diaria para un emplazamiento determinado y para cada día, a partir de la que se ha registrado en los 4 puntos que rodean a dicho emplazamiento. La radiación global estimada, G'_{dm} , se calcula utilizando un método gravitatorio según la expresión:

$$G'_{dm} = \frac{\sum_{i=1}^N G_{di} W_i}{\sum_{i=1}^N W_i}$$

donde

N es el número de puntos (4) de los que conocemos los valores de irradiancia, latitud, longitud y altitud y que rodean al punto que estamos estudiando.

G_{di} es el valor de radiación medida en el punto vecino i.

$$W_i = \left(\frac{1 - \frac{d_i}{R}}{\frac{d_i}{R}} \right)^2$$

Donde W_i es el peso con el que contribuye a la estimación de la radiación global el punto próximo i y R es el radio de la Tierra (6,371 Km). Para el cálculo de la distancia efectiva entre el punto en cuestión y el punto i se ha adoptado la propuesta por Zelelnka & Lazic (1987):

$$d_i = \sqrt{(d_{hor,i})^2 + (\Delta h_i f)^2}$$

siendo

$d_{hor,i}$ la distancia horizontal entre el punto en cuestión y el punto vecino i.

Δh_i la diferencia de altitud entre el punto en cuestión y el punto vecino i.

f=un factor de corrección igual a 0,1

La distancia horizontal $d_{hor,i}$ se calcula mediante la expresión $d_{hor,i} = R \cdot u_i$ donde u_i es el ángulo en radianes, tal que: $\cos u_i = (\sin \Phi_1 \sin \Phi_i) + (\cos \Phi_1 \cos \Phi_i \cos(\lambda_1 - \lambda_i))$ siendo Φ_1 la latitud del punto en cuestión, Φ_i la latitud del punto vecino i. λ_1 la longitud del punto en cuestión y λ_i la longitud del punto vecino i.

De esta forma podemos tener una mejor aproximación a los valores de irradiancia que teníamos directamente de la base de datos de la NASA.

1.1.3 Datos obtenidos del PVGIS

Mediante PVGIS se ha desarrollado una base de datos de radiación desde una base de datos climatológica para Europa y disponible en el Atlas Europeo de Radiación Solar, usando el modelo r.sun y las técnicas de interpolación s.vol.rst and s.surf.rst.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

El algoritmo modelo estima la componente incidente, difusa y reflejada de la irradiancia global en superficies horizontales e inclinadas. La radiación diaria total [$\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}$] es computada mediante integración de los valores de irradiancia [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] calculados en intervalos de tiempo regulares a lo largo del día. Para cada intervalo de tiempo durante el día la computación calcula el sombreado debido a características del terreno (colinas y montañas), calculadas mediante el sistema del modelo de elevación digital.

La base de datos consiste en mapas raster representando 12 medias mensuales y una media anual de la suma diaria de la irradiancia global para superficies horizontales, también para aquellas inclinadas en ángulos de 15,25 y 40 grados. Además de estos datos, mapas raster de irradiancia con el cielo despejado, la turbidez de Linke, y el ratio D/G han sido computados.

- **Irradiación global con cielo despejado en una superficie horizontal**

Todos los mapas raster (4500 x 5000 celdas) con una resolución de 1x1 km están integrados en la base de datos de GIS. La elevación se ha derivado desde el modelo de elevación digital USGS SRTM con una resolución de 30 segundos.

Las medias mensuales del factor de turbidez Linke T_{LK} son interpoladas de nuevo desde la base global de datos. La precisión de los datos desde esta fuente es de RMSE=0.7 T_{LK} unidades. Para eliminar el efecto de la elevación, la corrección sobre la presión sugerida por Temund et al. (2003) a los valores de T_{LK} se han aplicado.

- **Evaluación de la precisión y comparación con los mapas de interpolación de ESRA.**

La base de datos de la ESRA se compone de datos de irradiancia medidos o calculados por equipos de las estaciones meteorológicas europeas.

La precisión del modelado de los valores del PVGIS frente a los valores medidos en las estaciones fue evaluada mediante computación. Comparando los promedios anuales de la irradiancia diaria horizontal, el margen de error medio (MBE) es de 8.9 Wh/m² (0.3%) y el error cuadrático medio (RMSE) es de 118 Wh/m² (3.7%).

1.1.4 Conclusión sobre la fiabilidad de los datos

Se observa que los datos obtenidos para la irradiancia horizontal varían ligeramente, no obstante esta diferencia en tanto por ciento con respecto a los valores obtenidos en la NASA es siempre relativamente pequeña. Puesto que además ambas bases de datos, tanto la de la NASA como la del PVGIS, han sido comparadas con medidas realizadas en el terreno podemos considerar que los valores obtenidos de la NASA son admisibles para la realización de nuestro proyecto.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

1.2 Anexo II: Ejemplos de instalaciones

1.2.1 Ejemplo 1. Vivienda de verano en Celadas (Teruel)

1. Localización:

Celadas (lat= 40,47º, long=-1,15º)

Gdm(máx) = 5919 Wh/m²/día

Gdm(min) = 1714 Wh/m²/día

2. Tipo de instalación:

Vivienda de verano: se utiliza solamente durante los meses de verano por lo que realizamos el dimensionado del sistema fotovoltaico con el mes de mayor irradiación: Gdm(0) = 5919 Wh/m²/día

3. Estimación de la energía consumida

- Frigorífico clase A 100W: 374kWh/año: **1027,5 Wh/día**
- TV 32'': 150 W (4h): **600 Wh/día**
- PC portátil: 90 W (2h): **180 Wh/día**
- Bomba de agua: 640 W (2h): **1200 Wh/día**
- Lavadora : 1 lavado a 60º por semana: 950Wh/ciclo: **950 Wh/día**
- 7 bombillas de 11W: 77 W (2h): **154 Wh/día**

¿Existe algún elemento trifásico? No

- Consumo Inversores: **50 Wh/día**
- Consumo Reguladores: **48 Wh/día**

Consumo total energía diaria: **E_D= 4209,5 Wh/día**

Potencia corriente alterna total: **Pac = 1964W**

4. Cálculo de la Potencia de la Instalación

Mes de mayor irradiación:

K=1

$\alpha_{OPT} = 0^\circ$

$\beta_{OPT} = 40,47 - 20 = 20,27^\circ$

¿Existen restricciones de orientación e inclinación? No (**FI=1**)

¿Factor de sombreado? Existe algún elemento que puede producir sombras (**FS=0,9**)

$$Gdm = K \cdot FI \cdot FS \cdot Gdm(0) = 1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 7460 = **6714 Wh/m²/día**$$

Cálculo del PR:

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

- $T_C = T_a + I \cdot \frac{T_{ONC}-20}{800} = 29,089 + 791 \cdot \frac{46-20}{800} = 54,796^\circ C$

Sabemos que las pérdidas de eficiencia por temperatura son de un 0,4% por cada grado que aumenta:

- $1 - K_T = \frac{0,4}{100} \cdot (54,796 - 25) \rightarrow K_T = 0,8808$

Por lo que el rendimiento energético de la instalación localizada en Celadas es de:

$$PR = \eta_{inv} \cdot \eta_{reg} \cdot K_T \cdot K_{varios} = 0,85 * 0,8 * 0,8808 * 0,985 = 0,5899$$

Dimensionado del generador: $P_{mp,mín} = \frac{E_D \cdot G_{STC}}{G_{dm}(\alpha,\beta) \cdot PR} = \frac{4209,5 \cdot 1000}{5327,1 \cdot 0,5899} = 1339,4W$

5. Diseño del Sistema Fotovoltaico

¿Cuántos días de autonomía quieres? **4 días**

Empezamos nuestra interacción para el cálculo del sistema a partir de este valor:

- **Vn=12V**

Consumo diario de carga: $L_D(Ah/día) = \frac{E_D(Wh/día)}{V_{NOM}(V)} = \frac{4209,5}{12} = 350,79 Ah/día$

Capacidad nominal del acumulador: $C_{20} = \frac{A \cdot L_D}{PD_{máx} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{rb}} = \frac{4 \cdot 350,79}{0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,8} = 2947,83Ah$

No existe ninguna batería del tipo Monoblock que tenga tanta capacidad nominal por lo que aumentamos la tensión del sistema hasta 24V.

- **Vn=24V**

Consumo diario de carga: $L_D(Ah/día) = \frac{E_D(Wh/día)}{V_{NOM}(V)} = \frac{4209,5}{24} = 175,4 Ah/día$

Capacidad nominal del acumulador: $C_{20} = \frac{A \cdot L_D}{PD_{máx} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{rb}} = \frac{4 \cdot 175,4}{0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,8} = 1473,9Ah$

En este punto podremos seleccionar baterías Estacionarias, tanto OPzS como OPzV. Para ello seleccionamos: **12 vasos de 2V de baterías Estacionarias de C₂₀>1473,9Ah en serie.**

Sabiendo que la tensión del sistema es 24V podremos calcular la disposición y el número de los paneles: utilizando módulos de 200Wp que tiene las siguientes características:

- Potencia nominal: 200W
- Tensión Punto de Máxima Potencia: V_{mp}=37,18V
- Corriente en Cortocircuito: I_{sc}=5,78A
- Tensión de Circuito Abierto: V_{oc}=44,46V

Como su tensión a circuito abierto es V_{oc}≈44V necesitaremos un módulo por rama para trabajar con Vn=24V. Así pues el número de módulos necesarios será:

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

$$n = \frac{P_{mp,mín}(W_p)}{P_{mód}(W_p/módulo)} = \frac{1339,4}{200} = 6,69 \rightarrow 7 \text{ módulos de } 200W_p$$

$$P_{\text{GEN}} = 7 \cdot 200 = 1,4 \text{ kW}$$

Para calcular el número de reguladores tendremos en cuenta cual es la máxima corriente que debe soportar a su entrada pero también a su salida. Sabemos también que para un sistema de $V_n=24V$ el tipo de regulador usado va a ser un SunnyIsland Charger50, cuyas principales características son:

- Corriente de salida máxima: 50A
- Corriente de entrada de FV máxima: 40 A

Por lo tanto el número de reguladores conectados en paralelo será el mayor resultante de hacer el cálculo tanto a la entrada como a la salida del regulador.

$$\text{Nº reg (I}_{\text{entrada}}\text{)} = (1,25 \cdot N_p \cdot I_{\text{sc}}) / 40 = (1,25 \cdot 7 \cdot 5,78) / 40 = 1,264 \rightarrow 2 \text{ reguladores}$$

$$\text{Nº reg (I}_{\text{salida}}\text{)} = (1,25 \cdot P_{\text{ac}}) / (50 \cdot \eta_{\text{INV}} \cdot V_n) = (1,25 \cdot 1967) / (50 \cdot 0,85 \cdot 24) = 2,41 \rightarrow 3 \text{ reg.}$$

El resultado será de **3 Reguladores SunnyIsland Charger 50**.

Finalmente para el cálculo del inversor se debe tener en cuenta en primer lugar si se ha seleccionado anteriormente que existe algún elemento trifásico. Como en este caso todos nuestros elementos son monofásicos entraríamos en la tabla de inversores que nos hemos creado y seleccionaríamos la opción que nos diera una potencia inmediatamente superior a $P_{\text{INV}} = 1,2 \cdot P_{\text{AC}} = 1,2 \cdot 1964 = 2455 \text{ W}$ para potencias de 24V monofásicas.

Seleccionaremos **2 Inversores SunnyIsland 2224 en paralelo** que nos proporcionan una potencia de 4400W.

6. Resolución

Para la **Vivienda de verano en Celadas (Teruel)** con las potencias anteriormente fijadas y una autonomía de 4 días se requiere una instalación fotovoltaica con las siguientes características:

$V_n= 24V$

7 módulos de 200Wp

12 vasos de 2V baterías Estacionarias de $C_{20}>1473,9\text{Ah}$ en serie.

3 Reguladores SunnyIsland Charger 50.

2 Inversores SunnyIsland 2224.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

1.2.2 Ejemplo 2. Vivienda para uso anual en Lima (Perú)

1. Localización:

Lima (lat= -12°, long=77°)

Gdm(máx) = 6599 Wh/m²/día

Gdm(min) = 4662 Wh/m²/día

2. Tipo de instalación:

Vivienda de uso anual: se utiliza durante todo el año por lo que realizamos el dimensionado de la instalación para el mes de menor irradiación: (Gdm(0) = 4690 Wh/m²/día)

3. Estimación de la energía consumida

- Frigorífico clase A++ 78W: 284kWh/año: **780 Wh/día**
- Congelador clase A+++ 50W : 175 kWh/año: **480 Wh/día**
- 1 TV 32": 66 W (4h): **264 Wh/día**
- 1 TV 47": 125W (2h): **250 Wh/día**
- PC portátil: 90 W (2h): **180 Wh/día**
- Bomba de agua: 1000 W (3h): **3000 Wh/día**
- Lavadora : 1 lavado a 60° por semana: 950Wh/ciclo: **950 Wh/día**
- 10 bombillas de 15W: 150 W (3h): **450 Wh/día**
- Cafetera: 725W (0,25h): **181,25 Wh/día**
- Microondas: 800W (0,25h): **200Wh/día**

¿Existe algún elemento trifásico? No

Consumo total energía diaria: **E_D= 6671,25 Wh/día**

Potencia corriente alterna total: **P_{ac} = 4084 W**

4. Cálculo de la Potencia de la Instalación

Mes de menor irradiación:

K=1,7

α_{OPT} = 180°

β_{OPT} = |-12| + 10 = 22°

¿Existen restricciones de orientación e inclinación? No (**FI=1**)

¿Factor de sombreado? Tiene el horizonte sur totalmente despejado (**FS=1**)

Gdm = K · FI · FS · Gdm(0) = 1,7 · 1 · 1 · 4662 = **7925,4 Wh/m²/día**

Cálculo del PR:

- $T_C = T_a + I \cdot \frac{T_{ONC}-20}{800} = 17,731 + 240 \cdot \frac{46-20}{800} = 25,531^\circ C$

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

Sabemos que las pérdidas de eficiencia por temperatura son de un 0,4% por cada grado que aumenta:

- $1 - K_T = \frac{0,4}{100} \cdot (25,531 - 25) \rightarrow K_T = 0,997876$

Por lo que el rendimiento energético de la instalación localizada en Lima es de:

$$PR = \eta_{inv} \cdot \eta_{reg} \cdot K_T \cdot K_{varios} = 0,85 * 0,8 * 0,997876 * 0,985 = 0,66837$$

Dimensionado del generador: $P_{mp,mín} = \frac{E_D \cdot G_{STC}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot PR} = \frac{6671,25 \cdot 1000}{7925,4 \cdot 0,66837} = 1259,4W$

5. Diseño del Sistema Fotovoltaico

¿Cuántos días de autonomía quieres? **3 días**

Empezamos nuestra interacción para el cálculo del sistema a partir de este valor:

- **Vn=12V**

Consumo diario de carga: $L_D(Ah/día) = \frac{E_D(Wh/día)}{V_{NOM}(V)} = \frac{6671,25}{12} = 555,93 Ah/día$

Capacidad nominal del acumulador: $C_{20} = \frac{A \cdot L_D}{PD_{máx} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{rb}} = \frac{3 \cdot 555,93}{0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,8} = 3503,807Ah$

No existe ninguna batería del tipo Monoblock que tenga tanta capacidad nominal por lo que aumentamos la tensión del sistema hasta 24V.

- **Vn=24V**

Consumo diario de carga: $L_D(Ah/día) = \frac{E_D(Wh/día)}{V_{NOM}(V)} = \frac{6671,25}{24} = 277,97 Ah/día$

Capacidad nominal del acumulador: $C_{20} = \frac{A \cdot L_D}{PD_{máx} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{rb}} = \frac{3 \cdot 277,97}{0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,8} = 1751,904Ah$

En este punto podremos seleccionar baterías Estacionarias. Para ello: **12 vasos de baterías Estacionarias, tanto OpzV como OPzS, de C₂₀ mayor a 1751,904 Ah en serie.**

Sabiendo que la tensión del sistema es 24V podremos calcular la disposición y el número de los paneles: utilizando módulos de 200Wp que tiene las siguientes características:

- Potencia nominal: 200W
- Corriente Punto de Máxima Potencia: Imp=5,38A
- Tensión Punto de Máxima Potencia: Vmp=37,18V
- Corriente en Cortocircuito: Isc=5,78A
- Tensión de Circuito Abierto: Voc=44,46V

Como su tensión a circuito abierto es Voc≈44V necesitaremos un módulo por rama para trabajar con Vn=24V. Así pues el número de módulos necesarios será:

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

$$n = \frac{P_{mp,mín}(W_p)}{P_{mód}(W_p/\text{módulo})} = \frac{1259,4}{200} = 6,29 \rightarrow 7 \text{ módulos de } 200W_p$$

$$P_{\text{GEN}} = 7 \cdot 200 = 1,4 \text{ kW}$$

- Para calcular el número de reguladores tendremos en cuenta cual es la máxima corriente que debe soportar a su entrada pero también a su salida. Sabemos también que para un sistema de $V_n=24V$ el tipo de regulador usado va a ser un SunnyIsland Charger50, cuyas principales características son:

- Corriente de salida máxima: 50A
- Corriente de entrada de FV máxima: 40 A

Por lo tanto el número de reguladores conectados en paralelo será el mayor resultante de hacer el cálculo tanto a la entrada como a la salida del regulador.

$$\text{Nº reg (I}_{\text{entrada}}\text{)} = (1,25 \cdot N_p \cdot I_{sc}) / 40 = (1,25 \cdot 7 \cdot 5,78) / 40 = 1,26 \rightarrow 2 \text{ reguladores}$$

$$\text{Nº reg (I}_{\text{salida}}\text{)} = (1,25 \cdot P_{ac}) / (50 \cdot \eta_{\text{INV}} \cdot V_n) = (1,25 \cdot 4084) / (50 \cdot 0,85 \cdot 24) = 5 \rightarrow 10 \text{ reg.}$$

Observamos que el número de reguladores es mayor a 4 por lo tanto volvemos a realizar en cálculo pero en este utilizaremos inversores SunnyIsland como reguladores. Para ello, seleccionaremos un 3 inversores SunnyIsland 2224 que proporcionan una $P_{\text{reg}}=6600W$ y por lo tanto cumplen que $P_{\text{reg}} \geq 1,2 \cdot P_{\text{ac}}$.

Finalmente para el cálculo del inversor se debe tener en cuenta en primer lugar si se ha seleccionado anteriormente que existe algún elemento trifásico. Como en este caso todos nuestros elementos son monofásicos entraremos en la tabla de inversores que nos hemos creado y seleccionaremos la opción que nos diera una potencia inmediatamente superior a la salida de los paneles fotovoltaicos: $P_{\text{INV DC}} = 1,2 \cdot P_{\text{GEN}} = 1,2 \cdot 1400 = 1680 \text{ W}$ para potencias de 24V monofásicas y que cumpla a la salida del inversor: $P_{\text{INV AC}} \geq P_{\text{ac}} = 4900,8$, por lo que seleccionaremos **1 Inversor SunnyBoy 5000W** que nos proporciona una potencia de 5000W.

6. Resolución

Para la **Vivienda de uso anual en Lima** con las potencias anteriormente fijadas y una autonomía de 3 días se requiere una instalación fotovoltaica con las siguientes características:

Vn= 24V

7 módulos de 200Wp

12 vasos de baterías Estacionarias de C₂₀<1751,9 Ah en serie.

3 Inversores SunnyIsland 2200W en paralelo.

1 Inversor SunnyBoy 5000W.

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

1.2.3 Ejemplo 3. Granja en Nuakchot (Mauritania)

1. Localización:

Nuakchot (lat= 18º, long=-16º)

Gdm(máx) = 7020 Wh/m²/día

Gdm(min) = 3990 Wh/m²/día

2. Tipo de instalación:

Granja de bovino de uso anual: se utiliza durante todo el año por lo que realizamos el dimensionado de la instalación para el mes de menor irradiación: (Gdm(0) = 3990 Wh/m²/día)

3. Estimación de la energía consumida

- Frigorífico clase A 100W: 374kWh/año: **102,5 Wh/día**
- Bomba de agua: 3000W (5h): **15000 Wh/día**
- Bomba de agua: 600W (4h): **2400 Wh/día**
- 10 bombillas de 15W: 150 W (2h): **300 Wh/día**
- Compresor: 2000W (2h): **4000 Wh/día**
- Hidrolimpiador : 2100W (2h): **4200 Wh/día**
- Motor: 3000W (2h): **6000 Wh/día**
- Motor: 1500W (2h): **3000 Wh/día**
- 2 ventiladores de 300W: 600 W (8h): **4800 Wh/día**
- Taladro: 710W (1h): **710 Wh/día**

¿Existe algún elemento trifásico? Sí

Consumo total energía diaria: **E_D= 40512,5 Wh/día**

Potencia corriente alterna total: **Pac = 13760 W**

4. Cálculo de la Potencia de la Instalación

Mes de menor irradiación:

K=1,7

$\alpha_{OPT} = 0^\circ$

$\beta_{OPT} = 18 + 10 = 28^\circ$

¿Existen restricciones de orientación e inclinación? Sí

$\alpha = 20^\circ$

$\beta = 30^\circ$

$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (30 - 28)^2 + 3,5 \times 10^{-5} (0 - 20)^2] = 0,98552$$

¿Factor de sombreado? Tiene el horizonte sur totalmente despejado (**FS=1**)

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
--	---	--

$$Gdm = K \cdot FI \cdot FS \cdot Gdm(0) = 1,7 \cdot 0,98552 \cdot 1 \cdot 3990 = \mathbf{6684,78 \text{ Wh/m}^2/\text{día}}$$

Cálculo del PR:

- $T_C = T_a + I \cdot \frac{T_{ONC}-20}{800} = 40,56 + 870 \cdot \frac{46-20}{800} = 68,835^\circ C$

Sabemos que las pérdidas de eficiencia por temperatura son de un 0,4% por cada grado que aumenta:

- $1 - K_T = \frac{0,4}{100} \cdot (68,835 - 25) \rightarrow K_T = 0,82466$

Por lo que el rendimiento energético de la instalación localizada en Nuakchot es de:

$$PR = \eta_{inv} \cdot \eta_{reg} \cdot K_T \cdot K_{varios} = 0,85 * 0,8 * 0,82466 * 0,985 = 0,5523$$

Dimensionado del generador: $P_{mp,mín} = \frac{E_D \cdot G_{STC}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot PR} = \frac{40512,5 \cdot 1000}{6684,78 \cdot 0,5523} = 10971,9W$

5. Diseño del Sistema Fotovoltaico

¿Cuántos días de autonomía quieres? **1 días**

Al haber elementos trifásicos comenzamos directamente con una tensión del sistema de 24V

- **Vn=24V**

Consumo diario de carga: $L_D (Ah/día) = \frac{E_D (\text{Wh/día})}{V_{NOM}(V)} = \frac{40512,5}{24} = 1688,02 Ah/día$

Capacidad nominal del acumulador: $C_{20} = \frac{A \cdot L_D}{PD_{máx} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{rb}} = \frac{1 \cdot 1688,02}{0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,8} = 3546,26 Ah$

En este punto podremos seleccionar baterías Estacionarias, tanto de las OPzS como OPzV. Para ello entramos seleccionamos: **12 vasos de 2V de baterías Estacionarias de C₂₀>3546,26 Ah en serie.**

Sabiendo que la tensión del sistema es 24V podremos calcular la disposición y el número de los paneles: utilizando módulos de 200Wp que tiene las siguientes características:

- Potencia nominal: 200W
- Corriente Punto de Máxima Potencia: Imp=5,38A
- Tensión Punto de Máxima Potencia: Vmp=37,18V
- Corriente en Cortocircuito: Isc=5,78A
- Tensión de Circuito Abierto: Voc=44,46V

Como su tensión a circuito abierto es Voc≈44V necesitaremos un módulo por rama para trabajar con Vn=24V. Así pues el número de módulos necesarios será:

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

$$n = \frac{P_{mp,mín}(W_p)}{P_{mód}(W_p/módulo)} = \frac{10971,89}{200} = 54,86 \rightarrow 56 \text{ módulos de } 200W_p$$

$$P_{GEN} = 56 \cdot 200 = 11,2 \text{ kW}$$

Para sistemas trifásicos se ha optado directamente por la opción de utilizar inversores SunnyIsland como reguladores. No obstante, para 24V la máxima potencia que se puede proporcionar es de 6600W por lo que aumentamos la tensión a 48V.

- **Vn=48V**

$$\text{Consumo diario de carga: } L_D(Ah/día) = \frac{E_D(Wh/día)}{V_{NOM}(V)} = \frac{40512,5}{48} = 844,01 Ah/día$$

$$\text{Capacidad nominal del acumulador: } C_{20} = \frac{A \cdot L_D}{PD_{máx} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{rb}} = \frac{1 \cdot 844,01}{0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,8} = 1773,13 Ah$$

En este punto podremos seleccionar baterías Estacionaria, tanto de las OPzS como OpZV. Para ello entramos seleccionamos: **24 vasos de 2V de baterías Estacionarias de C₂₀>1773,13 Ah en serie.**

Sabiendo que la tensión del sistema es 48V podremos calcular la disposición y el número de los paneles: utilizando módulos de 300Wp que tiene las siguientes características:

- Potencia nominal: 300W
- Corriente Punto de Máxima Potencia: Imp=7,99A
- Tensión Punto de Máxima Potencia: Vmp=37,57V
- Corriente en Cortocircuito: Isc=8,53A
- Tensión de Circuito Abierto: Voc=45,67V

Como su tensión a circuito abierto es Voc≈45V necesitaremos dos módulos por rama para trabajar con Vn=48V. Así pues el número de ramas necesarias será:

$$n^{\text{ramas}} = \frac{P_{mp,mín}(W_p)}{2(\text{módulos/rama}) \cdot P_{mód}(W_p/módulo)} = \frac{10971,89}{2 \cdot 300} = 18,28 \rightarrow 19 \text{ ramas}$$

Se requerirán **19 ramas en paralelo de 2 módulos de 300Wp en serie**

$$P_{GEN} = 19 \cdot 2 \cdot 300 = 11,4 \text{ kW}$$

Para sistemas trifásicos se ha optado directamente por la opción de utilizar inversores SunnyIsland como reguladores. Por lo que para realizar la carga de la baterías emplearemos 3 Inversores SunnyIsland 6.0 que proporcionan una potencia de 18kW, y por lo tanto cumplen que $P_{reg} \geq 1,2 \cdot P_{ac}$.

Como en este caso si que existen elementos trifásicos entraríamos en la tabla de inversores que nos hemos creado y seleccionaríamos la opción que nos diera una potencia inmediatamente superior a la salida de los paneles fotovoltaicos: $P_{INV DC} = 1,2 \cdot P_{GEN} =$

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

$1,2 \cdot 11400 = 13680$ W para potencias de 48V trifásicas y que cumpla a la salida del inversor: $P_{INV\ AC} \geq 1,2 \cdot P_{AC} = 16512$ W, por lo que seleccionaremos **1 Inversor SunnyTripower 20000W** que nos proporciona una potencia de 20000W.

6. Resolución

Para la **Granja de uso anual en Nuakchot** con las potencias anteriormente fijadas y una autonomía de 1 días se requiere una instalación fotovoltaica con las siguientes características:

Vn= 48V

38 módulos de 300Wp

24 vasos de 2V baterías Estacionarias de $C_{20} < 1773,13$ Ah en serie.

3 Inversores SunnyIsland 6.0 en paralelo.

1 Inversor SunnyTripower 20000W.

1.2.4 Ejemplo 4. Instalación de seguridad en Plasencia (Cáceres)

1. Localización:

Plasencia (lat= 40º, long= -6º)

Gdm(máx) = 7540 Wh/m²/día

Gdm(min) = 1720 Wh/m²/día

2. Tipo de instalación:

La instalación se utiliza durante todo el año por lo que realizamos el dimensionado de la instalación para el mes de menor irradiación: (Gdm(0) = 1720 Wh/m²/día)

3. Estimación de la energía consumida

- 4 cámaras de vigilancia 2,5W: 10W (24h): **240 Wh/día**
- Monitorización: 5 W (24h): **120 Wh/día**
- 2 lámparas de 25W: 50 W (2h): **100 Wh/día**

¿Existe algún elemento trifásico? No

Consumo total energía diaria: **E_D= 460 Wh/día**

Potencia corriente alterna total: **P_{AC} = 65 W**

4. Cálculo de la Potencia de la Instalación

Mes de mayor irradiación:

K=1,7

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
--	---	--

$$\alpha_{OPT} = 0^\circ$$

$$\beta_{OPT} = 40 + 10 = 50^\circ$$

¿Existen restricciones de orientación e inclinación? No (**FI=1**)

¿Factor de sombreado? Tiene el horizonte sur totalmente despejado (**FS=1**)

$$Gdm = K \cdot FI \cdot FS \cdot Gdm(0) = 1,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1720 = \mathbf{2924 \text{ Wh/m}^2/\text{día}}$$

Cálculo del PR:

- $T_C = T_a + I \cdot \frac{T_{ONC}-20}{800} = 29,3 + 840 \cdot \frac{46-20}{800} = 56,6^\circ C$

Sabemos que las pérdidas de eficiencia por temperatura son de un 0,4% por cada grado que aumenta:

- $1 - K_T = \frac{0,4}{100} \cdot (56,6 - 25) \rightarrow K_T = 0,8736$

Por lo que el rendimiento energético de la instalación localizada en Plasencia es de:

$$PR = \eta_{inv} \cdot \eta_{reg} \cdot K_T \cdot K_{varios} = 0,85 \cdot 0,8 \cdot 0,8736 \cdot 0,985 = 0,58513$$

Dimensionado del generador: $P_{mp,mín} = \frac{E_D \cdot G_{STC}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot PR} = \frac{460 \cdot 1000}{2924 \cdot 0,58513} = 268,85W$

5. Diseño del Sistema Fotovoltaico

¿Cuántos días de autonomía quieres? **4 días**

Empezamos nuestra interacción para el cálculo del sistema a partir de este valor:

- **Vn=12V**

Consumo diario de carga: $L_D (Ah/día) = \frac{E_D (\text{Wh/día})}{V_{NOM}(V)} = \frac{460}{12} = 38,33 Ah/día$

Capacidad nominal del acumulador: $C_{20} = \frac{A \cdot L_D}{PD_{máx} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{rb}} = \frac{4 \cdot 38,33}{0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,8} = 322,12 Ah$

No existe ninguna batería del tipo Monoblock que tenga tanta capacidad nominal por lo que aumentamos la tensión del sistema hasta 24V.

- **Vn=24V**

Consumo diario de carga: $L_D (Ah/día) = \frac{E_D (\text{Wh/día})}{V_{NOM}(V)} = \frac{460}{24} = 19,167 Ah/día$

Capacidad nominal del acumulador: $C_{20} = \frac{A \cdot L_D}{PD_{máx} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{rb}} = \frac{4 \cdot 19,167}{0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,8} = 161,06 Ah$

En este punto podremos seleccionar baterías AGM. Para ello entramos en la lista de baterías que hemos creado y seleccionamos la que tenga el valor superior más cercano al valor de la capacidad obtenido: **2 baterías AGM de C₂₀>161,06 Ah en serie.**

Sabiendo que la tensión del sistema es 24V podremos calcular la disposición y el número de los paneles: utilizando módulos de 200Wp que tiene las siguientes características:

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

- Potencia nominal: 200W
- Corriente Punto de Máxima Potencia: $Imp=5,38A$
- Tensión Punto de Máxima Potencia: $Vmp=37,18V$
- Corriente en Cortocircuito: $Isc=5,78A$
- Tensión de Circuito Abierto: $Voc=44,46V$

Como su tensión a circuito abierto es $Voc \approx 44V$ necesitaremos un módulo por rama para trabajar con $Vn=24V$. Así pues el número de módulos necesarios será:

$$n = \frac{P_{mp,mín}(W_p)}{P_{mód}(W_p/\text{módulo})} = \frac{268,85}{200} = 1,34 \rightarrow 2 \text{ módulos de } 200W_p$$

$$P_{\text{GEN}} = 2 \cdot 200 = 400 \text{ W}$$

Para calcular el número de reguladores tendremos en cuenta cual es la máxima corriente que debe soportar a su entrada pero también a su salida. Sabemos también que para un sistema de $Vn=24V$ el tipo de regulador usado va a ser un MPPT 50C, cuyas principales características son:

- Corriente de salida máxima: 50A
- Corriente de entrada de FV máxima: 40 A
- Rango de tensión de entrada: 16-112Vcc
- Sencilla conexión en paralelo de hasta 16 unidades para corrientes elevadas

Por lo tanto el número de reguladores conectados en paralelo será el mayor resultante de hacer el cálculo tanto a la entrada como a la salida del regulador.

$$\text{Nº reg (I}_{\text{entrada}}\text{)} = (1,25 \cdot Np \cdot Isc) / 40 = (1,25 \cdot 2 \cdot 5,78) / 40 = 0,361 \rightarrow 1 \text{ regulador}$$

$$\text{Nº reg (I}_{\text{salida}}\text{)} = (1,25 \cdot Pac) / (50 \cdot \eta_{\text{INV}} \cdot V_n) = (1,25 \cdot 65) / (50 \cdot 0,85 \cdot 24) = 0,079 \rightarrow 1 \text{ reg.}$$

El número de reguladores será de **1 MPPT 50C**.

Finalmente para el cálculo del inversor se debe tener en cuenta en primer lugar si se ha seleccionado anteriormente que existe algún elemento trifásico. Como en este caso todos nuestros elementos son monofásicos entraríamos en la tabla de inversores que nos hemos creado y seleccionaríamos la opción que nos diera una potencia inmediatamente superior a $P_{\text{INV}} = 1,25 \cdot P_{\text{AC}} = 1,25 \cdot 72 = 90 \text{ W}$ para potencias de 24V monofásicas.

Seleccionaremos **1 Inversor BCR 150-24** que nos proporcionan una potencia de 150 W.

6. Resolución

Para la Instalación de seguridad de una Finca rural en **Plasencia (Cáceres)** con las potencias anteriormente fijadas y una autonomía de 3 días se requiere una instalación fotovoltaica con las siguientes características:

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

Vn= 24V

2 módulos de 200Wp en paralelo

2 baterías AGM de C₂₀>161,06 Ah en serie

1 Regulador MPPT 50C.

1 Inversor BCR 150-24.

1.2.5 Ejemplo 5. Instalación de vigilancia en Ohio (Estados Unidos)

1. Localización:

Columbus (lat= 40º, long= -83º)

Gdm(máx) = 5810 Wh/m²/día

Gdm(min) = 1470 Wh/m²/día

2. Tipo de instalación:

La instalación se utiliza durante todo el año por lo que realizamos el dimensionado de la instalación para el mes de menor radiación: (Gdm(0) = 1470 Wh/m²/día)

3. Estimación de la energía consumida

- 1 cámara de vigilancia 2,5W (24h): **60 Wh/día**
- Monitorización: 5 W (24h): **120 Wh/día**
- 1 lámpara de 15W (2h): **30 Wh/día**

¿Existe algún elemento trifásico? No

Consumo total energía diaria: **E_D= 210 Wh/día**

Potencia corriente alterna total: **Pac = 22,5 W**

4. Cálculo de la Potencia de la Instalación

Mes de mayor radiación:

K=1,7

α_{OPT} = 0º

β_{OPT} = 40 + 10 = 50º

¿Existen restricciones de orientación e inclinación? No (**FI=1**)

¿Factor de sombreado? Tiene el horizonte sur totalmente despejado (**FS=1**)

$$Gdm = K \cdot FI \cdot FS \cdot Gdm(0) = 1,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1470 = \mathbf{2499 \text{ Wh/m}^2/\text{día}}$$

Cálculo del PR:

$$\bullet \quad T_C = T_a + I \cdot \frac{T_{ONC}-20}{800} = 27,96 + 180 \cdot \frac{46-20}{800} = 33,81^\circ C$$

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

Sabemos que las pérdidas de eficiencia por temperatura son de un 0,4% por cada grado que aumenta:

- $1 - K_T = \frac{0,4}{100} \cdot (33,81 - 25) \rightarrow K_T = 0,96476$

Por lo que el rendimiento energético de la instalación localizada en Columbus es de:

$$PR = \eta_{inv} \cdot \eta_{reg} \cdot K_T \cdot K_{varios} = 0,85 \cdot 0,8 \cdot 0,96476 \cdot 0,985 = 0,6462$$

Dimensionado del generador: $P_{mp,mín} = \frac{E_D \cdot G_{STC}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot PR} = \frac{210 \cdot 1000}{2499 \cdot 0,6462} = 13,933W$

5. Diseño del Sistema Fotovoltaico

¿Cuántos días de autonomía quieres? **3 días**

Empezamos nuestra interacción para el cálculo del sistema a partir de este valor:

- **Vn=12V**

Consumo diario de carga: $L_D (Ah/día) = \frac{E_D (Wh/día)}{V_{NOM}(V)} = \frac{210}{12} = 17,5 Ah/día$

Capacidad nominal del acumulador: $C_{20} = \frac{A \cdot L_D}{PD_{máx} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{rb}} = \frac{5 \cdot 17,5}{0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,8} = 110,29 Ah$

En este punto podremos seleccionar una batería Monoblock. Para ello entramos en la lista de baterías que hemos creado y seleccionamos la que tenga el valor superior más cercano al valor de la capacidad obtenido: **1 batería Monoblock de C₂₀=132 Ah.**

Sabiendo que la tensión del sistema es 12 V y que la potencia de dimensionado del generador es de 205,416 W podremos calcular la disposición y el número de los paneles: utilizando módulos de 50Wp que tiene las siguientes características:

- Potencia nominal: 50 W
- Corriente Punto de Máxima Potencia: Imp=2,65 A
- Tensión Punto de Máxima Potencia: Vmp=18,95 V
- Corriente en Cortocircuito: Isc=2,95 A
- Tensión de Circuito Abierto: Voc=22,46 V

Como su tensión a circuito abierto es Voc≈22V necesitaremos un módulo por rama para trabajar con Vn=12 V. Así pues el número de módulos necesarios será:

$$n = \frac{P_{mp,mín}(W_p)}{P_{mód}(W_p/módulo)} = \frac{130,04}{50} = 2,16 \rightarrow 3 \text{ módulos de } 50W_p$$

P_{GEN}= 3 · 50=150 W

Para calcular el número de reguladores tendremos en cuenta cual es la máxima corriente que debe soportar a su entrada pero también a su salida. Sabemos también que para un

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

sistema de $V_n=12V$ el tipo de regulador usado va a ser un LEO10 35A bitensión, cuyas principales características son:

- Corriente de salida máxima: 35A
- Corriente de entrada de FV máxima: 35 A

Por lo tanto el número de reguladores conectados en paralelo será el mayor resultante de hacer el cálculo tanto a la entrada como a la salida del regulador.

$$Nº \text{ reg } (I_{\text{entrada}}) = (1,25 \cdot N_p \cdot I_{\text{sc}}) / 35 = (1,25 \cdot 3 \cdot 2,95) / 35 = 0,316 \rightarrow 1 \text{ regulador.}$$

$$Nº \text{ reg } (I_{\text{salida}}) = (1,25 \cdot P_{\text{ac}}) / (35 \cdot \eta_{\text{INV}} \cdot V_n) = (1,25 \cdot 22,5) / (35 \cdot 0,85 \cdot 12) = 0,078 \rightarrow 1 \text{ reg.}$$

El número de reguladores será de **1 LEO10 35A**.

Finalmente para el cálculo del inversor se debe tener en cuenta en primer lugar si se ha seleccionado anteriormente que existe algún elemento trifásico. Como en este caso todos nuestros elementos son monofásicos entraríamos en la tabla de inversores que nos hemos creado y seleccionaríamos la opción que nos diera una potencia inmediatamente superior a $P_{\text{INV}} = 1,2 \cdot P_{\text{AC}} = 1,2 \cdot 29,5 = 36,875 \text{ W}$ para potencias de 12 V monofásicas.

Seleccionaremos **1 Inversor BCR 150-12** que nos proporcionan una potencia de 150 W.

6. Resolución

Para la Instalación de seguridad de una Finca rural en **Colombus (EEUU)** con las potencias anteriormente fijadas y una autonomía de 3 días se requiere una instalación fotovoltaica con las siguientes características:

$V_n= 12 \text{ V}$

3 módulos de 50Wp

1 batería Monoblock de $C_{20}=132 \text{ Ah}$

1 Regulador LEO10 35A.

1 Inversor BCR 150-12.

1.2.6 Ejemplo 6. Instalación para almacenaje en Sidney (Australia)

1. Localización:

Sidney (lat= -33,865°, long= 151,218°)

$Gdm(\text{máx}) = 6280 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$

$Gdm(\text{min}) = 2520 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$

2. Tipo de instalación:

La instalación se utiliza durante todo el año por lo que realizamos el dimensionado de la instalación para el mes de menor radiación: ($Gdm(0) = 2520 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$)

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

3. Estimación de la energía consumida

- 20 cámara de vigilancia 2,5W: 50W (24h): **1200 Wh/día**
- Sistema Monitorización: 100 W (24h): **2400 Wh/día**
- 20 lámparas de 15W: 300 W (10h): **3000 Wh/día**
- Ordenador: 120 W (24h): **2880Wh/día**
- 10 Televisores 20W: 200W (24): **4800 Wh/día**

¿Existe algún elemento trifásico? No

Consumo total energía diaria: **E_D= 14378 Wh/día**

Potencia corriente alterna total: **P_{ac} = 777 W**

4. Cálculo de la Potencia de la Instalación

Mes de menor irradiación:

K=1,7

$\alpha_{OPT} = 180^\circ$

$\beta_{OPT} = 34 + 10 = 44^\circ$

¿Existen restricciones de orientación e inclinación? No (**FI=1**)

¿Factor de sombreado? Se encuentra en una hondonada (**FS=0,8**)

$$Gdm = K \cdot FI \cdot FS \cdot Gdm(0) = 1,7 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 2520 = \mathbf{3427,2 \text{ Wh/m}^2/\text{día}}$$

Cálculo del PR:

$$\bullet \quad T_C = T_a + I \cdot \frac{T_{ONC}-20}{800} = 24,9 + 680 \cdot \frac{46-20}{800} = 47^\circ C$$

Sabemos que las pérdidas de eficiencia por temperatura son de un 0,4% por cada grado que aumenta:

$$\bullet \quad 1 - K_T = \frac{0,4}{100} \cdot (47 - 25) \rightarrow K_T = 0,912$$

Por lo que el rendimiento energético de la instalación localizada en Sídney es de:

$$PR = \eta_{inv} \cdot \eta_{reg} \cdot K_T \cdot K_{varios} = 0,85 * 0,8 * 0,912 * 0,985 = 0,6108$$

$$\text{Dimensionado del generador: } P_{mp,mín} = \frac{E_D \cdot G_{STC}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot PR} = \frac{14378 \cdot 1000}{3427,2 \cdot 0,6108} = 6867,82W$$

5. Diseño del Sistema Fotovoltaico

¿Cuántos días de autonomía quieres? **4 días**

Empezamos nuestra interacción para el cálculo del sistema a partir de este valor:

- **Vn=12V**



$$\text{Consumo diario de carga: } L_D(Ah/\text{día}) = \frac{E_D(Wh/\text{día})}{V_{NOM}(V)} = \frac{14378}{12} = 1198,167 Ah/\text{día}$$

$$\text{Capacidad nominal del acumulador: } C_{20} = \frac{A \cdot L_D}{PD_{máx} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{rb}} = \frac{4 \cdot 1198,167}{0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,8} = 10068,62 Ah$$

No existe ninguna batería del tipo Monoblock que tenga tanta capacidad nominal por lo que aumentamos la tensión del sistema hasta 24V.

- **Vn=24V**

$$\text{Consumo diario de carga: } L_D(Ah/\text{día}) = \frac{E_D(Wh/\text{día})}{V_{NOM}(V)} = \frac{14378}{24} = 599,08 Ah/\text{día}$$

$$\text{Capacidad nominal del acumulador: } C_{20} = \frac{A \cdot L_D}{PD_{máx} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{rb}} = \frac{4 \cdot 599,08}{0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,8} = 5034,3 Ah$$

No existe ninguna batería Estacionaria que tenga tanta capacidad nominal por lo que como es preferible no colocar las baterías en paralelo aumentamos la tensión del sistema hasta 48V.

- **Vn=48V**

$$\text{Consumo diario de carga: } L_D(Ah/\text{día}) = \frac{E_D(Wh/\text{día})}{V_{NOM}(V)} = \frac{14378}{48} = 299,54 Ah/\text{día}$$

$$\text{Capacidad nominal del acumulador: } C_{20} = \frac{A \cdot L_D}{PD_{máx} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{rb}} = \frac{4 \cdot 299,54}{0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,8} = 2517,175 Ah$$

En este punto podremos seleccionar baterías del tipo estacionario, tanto OPzS como OPzV. Para ello seleccionamos: **24 vasos de 2V de baterías Estacionarias de $C_{20}>2517,175$ Ah en serie.**

Sabiendo que la tensión del sistema es 48V podremos calcular la disposición y el número de los paneles: utilizando módulos de 300Wp que tiene las siguientes características:

- Potencia nominal: 300W
- Corriente Punto de Máxima Potencia: Imp=7,99A
- Tensión Punto de Máxima Potencia: Vmp=37,57V
- Corriente en Cortocircuito: Isc=8,53A
- Tensión de Circuito Abierto: Voc=45,67V

Como su tensión a circuito abierto es $Voc \approx 45V$ necesitaremos dos módulos por rama para trabajar con $Vn=48V$. Así pues el número de ramas necesarias será:

$$n^{\circ}\text{ramas} = \frac{P_{mp,mín}(W_p)}{2(\text{módulos}/\text{rama}) \cdot P_{mód}(W_p/\text{módulo})} = \frac{6867,82}{2 \cdot 300} = 11,44 \rightarrow 12\text{ramas}$$

Se requerirán **12 ramas en paralelo de 2 módulos de 300Wp en serie**

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX <hr/> Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

$$P_{\text{GEN}} = 12 \cdot 2 \cdot 300 = 7,2 \text{ kW}$$

Para calcular el número de reguladores tendremos en cuenta cual es la máxima corriente que debe soportar a su entrada pero también a su salida. Sabemos también que para un sistema de $V_n=48V$ el tipo de regulador usado va a ser un SunnyCharger 50, cuyas principales características son:

- Corriente de salida máxima: 50A
- Corriente de entrada de FV máxima: 40A

Por lo tanto el número de reguladores conectados en paralelo será el mayor resultante de hacer el cálculo tanto a la entrada como a la salida del regulador.

$$Nº \text{ reg} (I_{\text{entrada}}) = (1,25 \cdot N_p \cdot I_{\text{sc}}) / 70 = (1,25 \cdot 12 \cdot 8,53) / 40 = 3,19 \rightarrow 4 \text{ reguladores}$$

$$Nº \text{ reg} (I_{\text{salida}}) = (1,25 \cdot P_{\text{ac}}) / (80 \cdot \eta_{\text{INV}} \cdot V_n) = (1,25 \cdot 777) / (50 \cdot 0,85 \cdot 48) = 0,47 \rightarrow 1 \text{ reg.}$$

El número de reguladores será de **4 MPPT 50**

Finalmente para el cálculo del inversor se debe tener en cuenta en primer lugar si se ha seleccionado anteriormente que existe algún elemento trifásico. Como en este no existen en la instalación elementos trifásicos entraríamos en la tabla de inversores que nos hemos creado y seleccionaríamos la opción que nos diera una potencia inmediatamente superior a $P_{\text{INV}} = 1,2 \cdot P_{\text{AC}} = 1,2 \cdot 777 = 932,4 \text{ W}$ para potencias de 48V monofásicas.

Seleccionaremos **1 Inversor TAURO BC 1548** que proporciona una potencia de 1500 W.

6. Resolución

Para el **Sistema de vigilancia de un almacén de uso anual en Sídney** con las potencias anteriormente fijadas y una autonomía de 4 días se requiere una instalación fotovoltaica con las siguientes características:

$V_n=48V$

12 ramas de 2 módulos de 300Wp en serie

12 vasos de 2V de baterías Estacionarias de $C_{20}>2517,175 \text{ Ah}$ en serie.

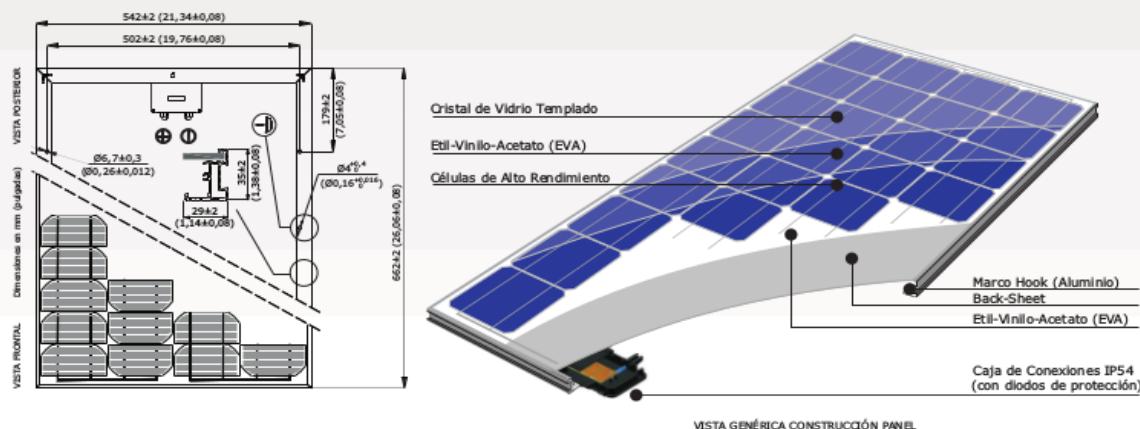
4 Reguladores MPPT 50.

1 Inversor TAURO BC 1548.



1.3 Anexo III. Catálogos de los componentes utilizados

1.3.1 Módulos fotovoltaicos



NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.



Características eléctricas (STC: 1kW/m², 25°C±2°C y AM 1,5)*

A-200M

Potencia Nominal ($\pm 5\%$)	200 W
Eficiencia del módulo	15,16%
Corriente Punto de Máxima Potencia (Imp)	5,38 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (Vmp)	37,18 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	5,78 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	44,46 V

Parámetros térmicos

Coeficiente de Temperatura de Isc (α)	0,08% /°C
Coeficiente de Temperatura de Voc (β)	-0,32% /°C
Coeficiente de Temperatura de P (γ)	-0,43% /°C

Características físicas

Dimensiones (mm ± 2 mm)	1618x814x35
Peso (kg)	14,8
Área (m ²)	1,63
Tipo de célula	Monocristalina 125x125mm (5 pulgadas)
Células en serie	72 (6x12)
Cristal delantero	Cristal templado ultra claro de 3,2mm
Marco	Aleación de aluminio pintado en poliéster
Caja de conexiones / Opcional	QUAD IP54 / QUAD IP65
Cables	Cable Solar 4mm ² 1100mm
Conectores	MC4 o combinable MC4

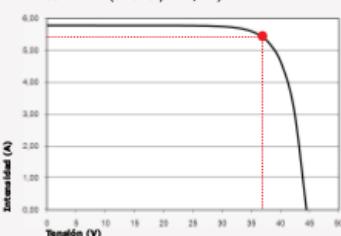
Rango de funcionamiento

Temperatura	-40 °C a +85 °C
Máxima Tensión del Sistema / Protección	1000 V / CLASS II
Carga Máxima Viento	2400 Pa (130 km/h)
Carga Máxima Nieve	5400 Pa (551 kg/m ²)

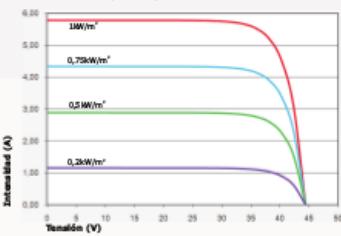
* Especificaciones eléctricas medidas en STC. NOCT: 47±2°C.
Eficiencia medida STC: ±3% (Pmp); ±10% (Isc, Voc, Imp, Vmp).

Curvas modelo A-200M

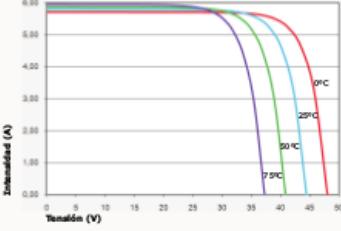
CURVA I-V (a 25°C y 1kW/m²)



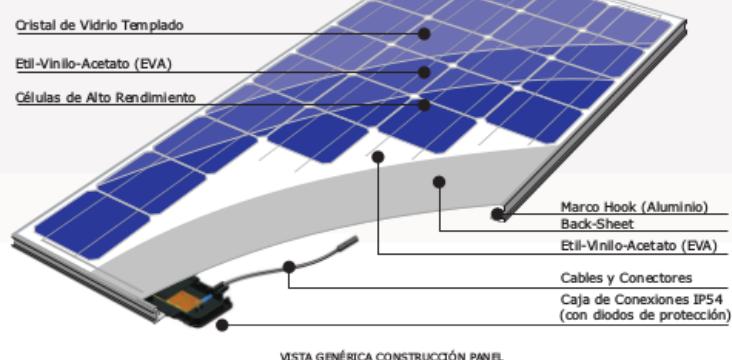
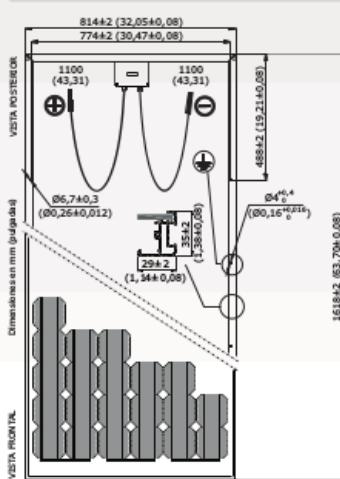
CURVA I-V (a 25°C)



CURVA I-V (a 1kW/m²)



* Max. Corriente Inversa (IR): 10,1A.



NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.



A-xxxM GSE (xxx = potencia nominal)

Características eléctricas

Potencia Máxima (Pmax)	300 W	305 W	310 W	315 W	320 W
Tensión Máxima Potencia (Vmp)	37.57 V	37.83 V	38.01 V	38.33 V	38.64 V
Corriente Máxima Potencia (Imp)	7.99 A	8.07 A	8.16 A	8.23 A	8.29 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	45.67 V	45.98 V	46.19 V	46.48 V	46.70 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	8.53 A	8.60 A	8.67 A	8.74 A	8.81 A
Eficiencia del Módulo (%)	15.41	15.66	15.92	16.18	16.43
Tolerancia de Potencia (W)	0/+5				
Máxima Serie de Fusibles (A)	15				
Máxima Tensión del Sistema	DC 1000 V (IEC) / DC 600 V (UL)				
Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula (°C)	46±2				

Características eléctricas medidas en Condiciones de Test Standard (STC), definidas como: Irradiación de 1000 w/m², espectro AM 1.5 y temperatura de 25 °C.
Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±10% (Isc, Voc, Imp, Vmp).

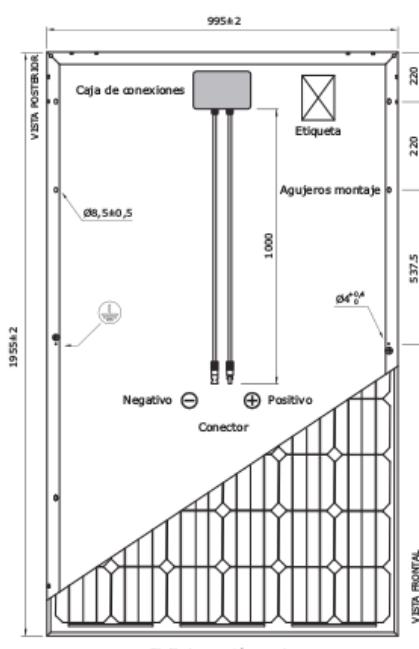
Especificaciones mecánicas

Dimensiones (± 2.0 mm.)	1955x995x50 mm.
Peso	27.3 kg
Máx. carga estática, frontal (nieve y viento)	5400 Pa
Máx. carga estática, posterior (viento)	2400 Pa

Materiales de construcción

Cubierta frontal (material/tipo/espesor)	Cristal templado/grado PV/4.0 mm.
Células (cantidad/tipo/dimensiones)	72 células (6x12)/Monocristalina/156 x 156 mm.
Marco (material/color)	Al aleación de aluminio anodizado/plata
Caja de conexiones (protección/nº diodos)	IP65/3 diodos
Cable (longitud/sección)/ Connector	1000 mm./ 4 mm ² / Compatible MC4

Vista genérica construcción módulo



El dibujo no está a escala

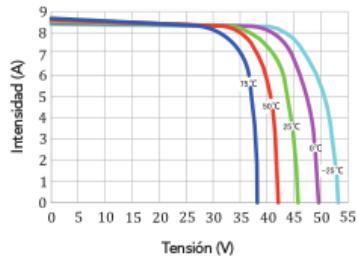
Características de temperatura

Coef. Temp. de Isc (TK Isc)	0.09% /°C
Coef. Temp. de Voc (TK Voc)	-0.32% /°C
Coef. Temp. de Pmax (TK Pmax)	-0.41% /°C
Temperatura de Funcionamiento	-40 a +85 °C

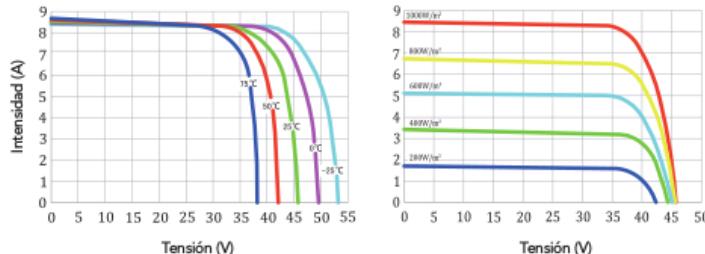
Embalaje

Módulos/palé	20 pzas
Palés/contenedor 40'	22 pzas
Módulos/contenedor 40'	440 pzas

Temperatura Varia (A-300 M GSE)



Irradiación Varia



NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.



1.3.2 Reguladores



CARACTERÍSTICAS

LEO 10

CARAC. ELÉCTRICAS

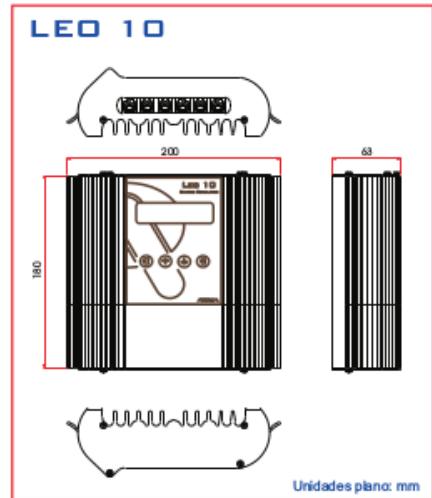
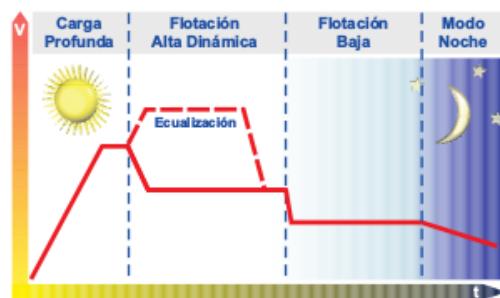
	16A	25A	35A
Tensión Nominal (V)	12 / 24 Bitensión		48
Tensión máxima Trabajo (V)	45		90
Consumo medio regulador (mA)	10		
Corriente máxima Paneles Constante (A) I_{M}	16	25	35
Corriente máxima Consumo Constante (A) I_{C}	16	25	35
Corriente máxima Paneles durante 1 minuto (A) $1,2 \times I_{\text{M}}$	20	30	42
Corriente máxima Consumo durante 1 minuto (A) $1,2 \times I_{\text{C}}$	20	30	42
Corriente de Cortocircuito en Paneles (A)	50		
Corriente de Cortocircuito en Consumo (A)	100	150	210
Tiempo de Detección de Cortocircuito	< 500 μ s		
Rango de Temperatura de Funcionamiento	-20... +40 °C		
Rango de Temperatura de Almacenamiento	-20... +75 °C		
Precisión Medida de Tensión	2% FS + 2 dígitos		
Precisión Medida de Corriente	3% FS + 2 dígitos		
Resolución Interna de la Tensión	0,1 V		
Resolución Interna de la Corriente	0,01 A		
Teclado con 4 teclas	NO		SI
Display LCD bajo Consumo	SI		
Humedad Relativa (sin condensaciones)	< 90%		
Máxima Sección admisible en las bornas (mm^2)	25		
Altura máxima de trabajo	2500m		

I_{M} = Corriente nominal a 40°C

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Envolvente	Aluminio
Peso	1,25 kg.
Dimensiones (H x W x L)	180x200x63mm
Grado Protección	IP 20

FASES DE CARGA

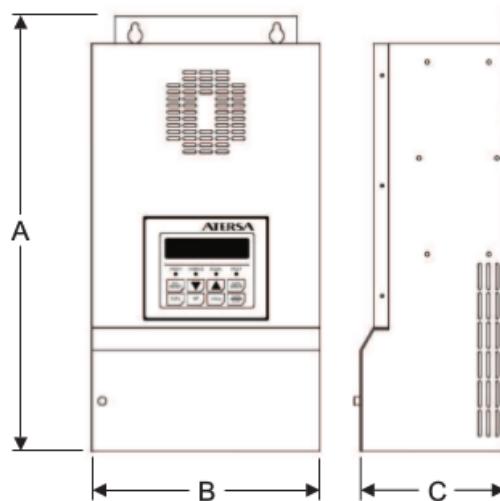


*Nota: Atersa se reserva el derecho de modificar las especificaciones del producto sin previo aviso y según sus propios criterios.



ESPECIFICACIONES

MODELOS	MPPT - 50C	MPPT - 80C
Corriente de salida máxima (continua hasta 50°C de temperatura ambiente)	50A	80A
Tensión de baterías	12, 24, 36, 48 VCC Normal	
Corriente de entrada de FV máx.	40A	70A
Rango de tensión de entrada	16 ~ 112 VCC operando 140 VCC máx. Tensión de circuito abierto	
Potencia máx. del campo FV	3250W (máx. al igualar una batería 48V a 64V en 50A)	5200W (máx. al igualar una batería 48V a 64V en 80A)
Modos de regulación de carga	Carga plena o Bulk, Absorción, flotación, Equalización manual/automática	
Compensación de temperatura de batería BTS	5mV por °C, por celda de 2V Batería de 12V: 16 ~ 112 VCC Batería de 24V: 32 ~ 112 VCC Batería de 36V: 36 ~ 112 VCC Batería de 48V: 48 ~ 112 VCC	
Capacidad de conversión de CC a CC		
Estado	Pantalla LCD muestra tensión de entrada y corriente, tensión de salida y corriente, modo de carga, estado de carga de la batería SOC	
Registro de datos	Registra la energía colectada en 90 días, pantalla LCD WH, KWH, AH	
Monitorización de energía	Pantalla LCD muestra el estado de la carga, AH, WH y corriente de descarga. Es preciso usar un shunt de 50mV/500A	
Relés auxiliares	Tres relés independientes de contacto A (SPST) para control de equipos externos	
Temperatura de operación	Potencia completa de salida hasta +50°C ambiente	
Potencia de reposo	<2W	
Dimensiones (AxBxC) mm.	267,7x196x147	414,8x225x147
Peso (kg.)	4,3	7,1



Modificaciones: El contenido de este documento puede ser modificado sin previo aviso. Atersa se reserva el derecho de modificar las especificaciones del producto sin previo aviso y según sus propios criterios.



Datos técnicos		Sunny Island Charger 50		
		12 V	24 V	48 V
Entrada (generador fotovoltaico)				
Potencia fotovoltaica máx.		630 W	1.250 W	2.400 W
Tensión máx. de CC		140 V CC	140 V CC	140 V CC
Rango óptimo de tensión MPPT		25 V - 60 V	40 V - 80 V	70 V - 100 V
Número de seguidores del punto de máxima potencia [MPP]	1	1	1	1
Corriente fotovoltaica máx.		40 A	40 A	40 A
Salida (batería)				
Potencia nominal de CC hasta 40 °C		600 W	1.200 W	2.400 W
Tensión nominal de batería		12 V	24 V	48 V
Rango de tensión CC [ajustable]		8 V - 15,6 V	16 V - 31,5 V	36 V - 65 V
Tipo de batería		Baterías de plomo selladas y cerradas		
Corriente de carga máx. / corriente de carga constante		50 A / 50 A	50 A / 50 A	50 A / 50 A
Regulación de carga		IUoU	IUoU	IUoU
Rendimiento				
Rendimiento máx.		98 %	98 %	98 %
Rendimiento europeo		97,3 %	97,3 %	97,3 %
Protección del equipo				
Polarización inversa de CC		●	●	●
Resistencia al cortocircuito		●	●	●
Protección contra sobrecargas		●	●	●
Protección contra sobretensión y subtensión		●	●	●
Protección contra temperatura excesiva o insuficiente		●	●	●
Datos generales				
Dimensiones [ancho / alto / fondo] en mm		421 / 310 / 143	421 / 310 / 143	421 / 310 / 143
Peso		10 kg	10 kg	10 kg
Clase de protección [según CEI 60529]		IP65	IP65	IP65
Rango de temperatura de servicio		-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Humedad del aire		0 % - 100 %	0 % - 100 %	0 % - 100 %
Consumo característico diurno		< 5 W	< 5 W	< 5 W
Consumo característico nocturno		< 3 W	< 3 W	< 3 W
Características y funciones				
Indicación		LED de varios colores	LED de varios colores	LED de varios colores
Parametrización		Plug and Play en combinación con interruptor DIL SI 5048, SI 2224, SI 2012 [se requiere Sync Bus Piggy-Back] para aplicaciones independientes		
Funcionamiento en paralelo		Hasta 4 equipos	Hasta 4 equipos	Hasta 4 equipos
Interfaz: Sync Bus Piggy-Back		○	○	○
Sensor de temperatura externo [tipo KTY]		○	○	○
Garantía: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 años		●/○/○/○/○	●/○/○/○/○	●/○/○/○/○
Certificados y autorizaciones		CE	CE	CE

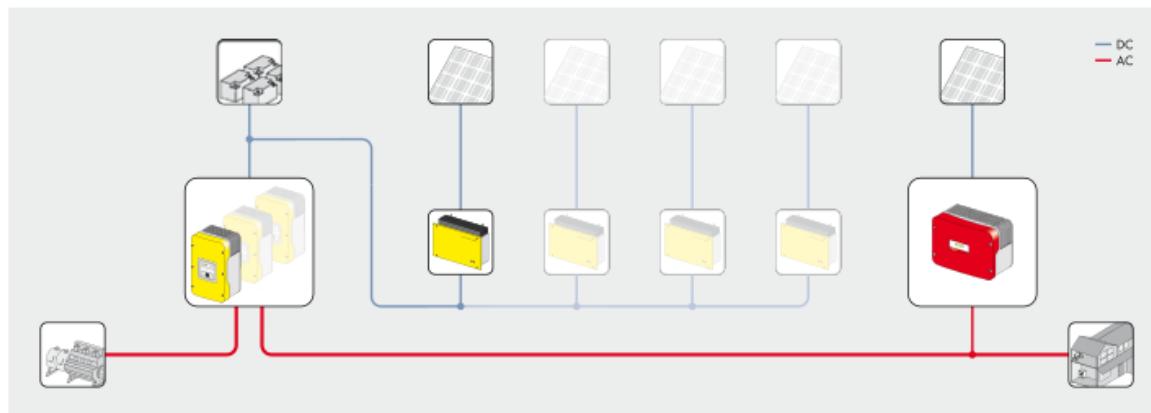
● De serie ○ opcional — no disponible

Designación de tipo

SIC50-MPT

SIC50-MPT

SIC50-MPT





1.3.3 Inversores

Inversor Senoidal TAURO BC

atera

INFORMACIÓN TÉCNICA

MODELO	712	1512	824	1524	1524/V	2024/V	3024/V	848	1548	2548	2548/V	5048/V	4120/V
Especificaciones Eléctricas													
Potencia Nominal a 20°C	700 VA	1500 VA	800 VA	1500 VA	1500 VA	2000 VA	3000 VA	800 VA	1500 VA	2500 VA	2500 VA	5000 VA	4000 VA
Tensión Nominal de Entrada	12 Vdc			24 Vdc						48 Vdc			120 Vdc
Rango Tensión de Entrada (Vdc)	10-16			20-32						40-64			100-160
Desconexión Automática Baja Tensión (Vdc)	10.8-11.6			21.9-23.2						43.8-46.4			108-116
Potencia Pico de Arranque								+300%					
Intensidad máxima de Pico de Arranque en DC	160 A		150 A		180 A		300 A	350 A		150 A		180 A	350 A
Forma de Onda													Senoidal Pura
Tensión Nominal de Salida													230 Vac o 110 Vac (según modelo)
Rango Tensión de salida													± 7 %
Frecuencia Nominal de Salida													50 Hz o 60Hz (según modelo)
Rango Frecuencia de salida													± 0.1 Hz
Distorsión Armónica Media													< 4 %
Rendimiento Máximo													93 %
Potencia en Régimen Constante	450 VA	1400 VA	500 VA	900 VA	1350 VA	1800 VA	2800 VA	600 VA	900 VA	1100 VA	2300 VA	4200 VA	3800 VA
Opción de tensión de salida 110V y 60Hz	Sí	Sí	Sí	Sí		No	Sí			Sí		Sí	Sí
Sensibilidad para Arranque Automático													9 W
Consumo aprox. en Vacío a tensión nominal generando AC.	0.70 A	0.80 A	0.35 A	0.39 A	0.65 A	0.85 A	0.15 A	0.25 A	0.30 A	0.86 A	0.30 A		
Consumo Medio en automático	70 mA		48 mA		60 mA	70 mA	32 mA	38 mA		90 mA	38 mA		
Consumo Mínimo en automático	47 mA		33 mA		33 mA		25 mA			25 mA			25 mA
Sistema de Aislamiento													Transformador toroidal según norma VDE-0550
Especificaciones Físicas													
Formato (ver página siguiente)	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B			
Sistema de Refrigeración (por convección)	Natural	Forzada	Natural	Forzada	Natural	Forzada	Natural	Forzada					
Rango de Temperatura de Trabajo					-5 / +40 °C								
Humedad Relativa Máxima (sin condensación)					< 95%								
Dimensiones aprox. (en mm.)	425x250x195	678x330x233	425x250x195		678x330x233		425x250x195		678x330x233				
Peso (aprox.)	14 Kg	30 Kg	14 Kg	17 Kg	34 Kg	34 Kg	14 Kg	17 Kg	19 Kg	34 Kg	32 Kg		
Índice de protección							IP20						
Material envolvente													Chapa de Aluminio pintada con resina EPOXI en caliente
Tornillería													Acero Inox

© 2004 atesa grupo elecnor. TAURO es una marca registrada de la empresa. Toda otra marca o nombre que aparece en este documento es propiedad de su respectivo dueño.

ESPECIFICACIONES

MODELOS	BCR-150-12 BCR-150-24	BCR-300-12 BCR-300-24	BCR-600-12 BCR-600-24	BCR-1500-12	BCR-3000-24
Potencia de salida continua	150W	300W	600W	1500W	3000W
Potencia de salida pico	250W	450W	900W	2000W	4000W
Voltaje de salida CA	100V ~ 120V ±2% Ajustable	200V ~ 240V ±2% Ajustable			
Regulación de voltaje de salida	-4% ~ +4%		-1,5% ~ +1,5%	Todos los modelos	
Frecuencia de salida		50Hz ±0,5% / 60Hz ±0,5%			
Forma de onda de salida	Onda Sinusoidal Pura THD (distorsión armónica total) <4%	Onda Sinusoidal Pura THD (distorsión armónica total) <2%			
Eficiencia (carga completa)	88%	89%	88%	87%	
Consumo de potencia sin carga	< 5W		< 4w (en modo de ahorro de energía)		
Rango de voltaje de entrada	12VCC (10 ~ 16VCC) / 24VCC (20 ~ 32VCC)				
Tiempo de recuperación modo ahorro	N/D		1 segundo		
LEDs de indicación de estado	RUN,TRIP, LED todo en uno		Potencia ON/OFF, RUN/STAND BY, Desc. por batería Alta/Baja, Desc. por sobrealentamiento, Desc. por sobrecarga.		
Características de protección	Voltaje de entrada muy alto/muy bajo, sobrecalefamiento y polaridad de entrada invertida (Fusible). Sobre carga, cortocircuito, desconexión, reinicio.				
Controlador remoto (opcional)	N/D		Potencia de salida ON/OFF, RUN, TRIP LED todo en uno		
Rango de temp. de operación			-20°C ~ +50°C		
Rango de temp. de almacenamiento			-30°C ~ +70°C		
Dimensiones (LargoxAnchoxAlto) mm.	250x136x85	290x136x85	325x285x120	355x285x185	24V: 355x315x245 12V: 410x315x245
Peso (kg.)	2,50	5	7	19	30

atera





Datos técnicos SUNNY ISLAND 2012 / 2224

	SI 2012	SI 2224
Salida de CA (consumidor)		
Tensión nominal CA (ajustable)	230 V [202 V - 253 V]	230 V [202 V - 253 V]
Frecuencia nominal de CA (ajustable)	50 Hz / 60 Hz [45 Hz - 65 Hz]	50 Hz / 60 Hz [45 Hz - 65 Hz]
Potencia constante de CA a 25 °C / 45 °C	2000 W / 1400 W	2200 W / 1600 W
Potencia de CA a 25 °C durante 30 min / 1 min / 3 s	2500 W / 3800 W / 3900 W	2900 W / 3800 W / 3900 W
Corriente nominal de CA / corriente de CA máx. [pico]	8,7 A / 25 A durante aprox. 500 ms	9,6 A / 25 A durante aprox. 500 ms
Coeficiente de distorsión no lineal de la tensión de salida / desfase [cos φ]	< 4% / -1 a +1	< 4% / -1 a +1
Entrada de CA (generador o red)		
Tensión de entrada de CA [rango]	230 V [172,5 V - 264,5 V]	230 V [172,5 V - 264,5 V]
Frecuencia de entrada de CA [rango]	50 Hz / 60 Hz [40 Hz - 70 Hz]	50 Hz / 60 Hz [40 Hz - 70 Hz]
Corriente de entrada máx. [ajustable] / potencia de entrada máx.	25 A [0 A - 25 A] / 5,75 kW	25 A [0 A - 25 A] / 5,75 kW
Entrada de CC de batería		
Tensión de la batería [rango]	12 V [8,4 V - 15,6 V]	24 V [16,8 V - 31,5 V]
Corriente de carga máx. de la batería / corriente constante de carga a 25 °C	180 A / 160 A	90 A / 80 A
Tipo de batería / capacidad de la batería [rango]	Plomo, NiCd / 100 - 10.000 Ah	Plomo, NiCd / 100 - 10.000 Ah
Regulación de carga	Proceso IUoU	Proceso IUoU
Rendimiento / consumo característico		
Rendimiento máx.	93 %	93,6 %
Consumo característico sin carga / stand-by	21 W / 6 W	21 W / 6 W
Dispositivos de protección		
Protección contra polarización inversa de CC / fusible de CC	-/-	-/-
Cortocircuito de CA / sobrecarga de CA	●/●	●/●
Sobrealentamiento / descarga total de la batería	●/●	●/●
Datos generales		
Dimensiones [ancho x alto x fondo] en mm	470 / 445 / 185	470 / 445 / 185
Peso	19 kg	19 kg
Rango de temperatura de servicio	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Grado de protección según IEC 60529	Montaje exterior [IP54]	Montaje exterior [IP54]
Características / Función		
Manejo y display / relé multifunción / Search Mode	externo mediante SRC-1 / 2 / ●	externo mediante SRC-1 / 2 / ●
Sistemas trifásicos / conexión en paralelo	●/●	●/●
Derivación integrada / funcionamiento multiclusler	●/-	●/-
Cálculo del nivel de carga / carga plena / carga de compensación	●/●/●	●/●/●
Arranque suave integrado / asistencia de generador	●/●	●/●
Sensor de temperatura de la batería / cables de comunicación	●/●	●/●
Garantía: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 años	●/○/○/○/○	●/○/○/○/○
Certificados y autorizaciones	www.SMA-iberica.com	www.SMA-iberica.com
Accesorios		
Cables de batería / fusibles de batería	○/○	○/○
Interfaces (RS485 / Multiclusler PB)	○/-	○/-
Arranque ampliado del generador "GenMan"	○	○
Protección de desconexión de carga / medición externa de la corriente de la batería	○/○	○/○
● Equipamiento de serie ○ Opcional – no disponible		
Actualizado: mayo de 2010		
Indicación de tipo		
SI 2012 SI 2224		





SUNNY ISLAND 3.0M / 4.4M

Technical data	Sunny Island 3.0M	Sunny Island 4.4M
Operation on the utility grid or generator		
Rated input voltage / AC input voltage range	230 V / 172.5 V ... 264.5 V	230 V / 172.5 V ... 264.5 V
Rated input frequency / permitted input frequency range	50 Hz / 40...Hz ... 70 Hz	50 Hz / 40 Hz ... 70 Hz
Maximum AC input current	50 A	50 A
Maximum AC input power	11,500 W	11,500 W
Stand-alone or emergency power operation		
Rated grid voltage / AC voltage range	230 V / 202 V ... 253 V	230 V / 202 V ... 253 V
Rated frequency / frequency range (adjustable)	50 Hz / 45 Hz ... 65 Hz	50 Hz / 45 Hz ... 65 Hz
Rated power (for Unom / from / 25°C / cos φ = 1)	2,300 W	3,300 W
AC power at 25°C for 30 min / 5 min / 3 s	3,000 W / 3,500 W / 5,500 W	4,400 W / 4,600 W / 5,500 W
AC power at 45°C continuously	2,000 W	3,000 W
Rated current / short circuit current (peak)	10 A / 60 A	14.5 A / 60 A
THD output voltage / power factor with rated power	<4% / -1 ... +1	<4% / -1 ... +1
Battery DC input		
Rated input voltage / DC voltage range	48 V / 41 V ... 63 V	48 V / 41 V ... 63 V
Maximum battery charging current / rated DC charging current / DC discharging current	51 A / 45 A / 51 A	75 A / 63 A / 75 A
Battery type / battery capacity (range)	Lithium*, FLA, VRRA / 100 Ah ... 10,000 Ah (lead) 50 Ah ... 10,000 Ah (lithium)	Lithium*, FLA, VRRA, / 100 Ah ... 10,000 Ah (lead) 50 Ah ... 10,000 Ah (lithium)
Charge control	IUoU charge procedure with automatic fullcharge and equalization charge	IUoU charge procedure with automatic full charge and equalization charge
Efficiency / self-consumption		
Maximum efficiency	95.3%	95.3%
Self-consumption without load / standby	18 W / 6.8 W	18 W / 6.8 W
Protective devices (equipment)		
AC short circuit / AC overload	• / •	• / •
DC reverse polarity protection / DC fuse	- / -	- / -
Overtemperature / battery deep discharge	• / •	• / •
Oversupply category as per IEC 60664-1	III	III
General data		
Dimensions (width x height x depth)	467 mm x 612 mm x 242 mm (18.4 inches / 24.1 inches / 9.5 inches)	467 mm x 612 mm x 242 mm (18.4 inches / 24.1 inches / 9.5 inches)
Weight	44 kg (97 lbs)	44 kg (97 lbs)
Operating temperature range	-25°C ... +60°C (-13°F ... +140°F)	-25°C ... +60°C (-13°F ... +140°F)
Protection class according to IEC 62103	I	I
Climatic category according to IEC 60721	3K6	3K6
Degree of protection according to IEC 60529	IP54	IP54
Features / function		
Operation and display / multifunction relay	External via SRC-20 / 2	External via SRC-20 / 2
Three-phase systems / battery backup function	• / •	• / •
State of charge calculation / full charge / equalization charge	• / • / •	• / • / •
Integrated soft start / generator support	• / •	• / •
Battery temperature sensor / data cables	• / •	• / •
Certificates and approvals	www.SMA-Solar.com	www.SMA-Solar.com
Warranty	5 years	5 years
Accessories		
For offgrid applications		
Battery cable / battery fuse	○ / ○	○ / ○
Interface SI-COMSMA (RS485)	○	○
Load-shedding contactor / external battery current measurement	○ / ○	○ / ○
Sunny Island Charger SIC50-MPT	○	○
For on-grid applications		
Battery cable / battery fuse	○ / ○	○ / ○
Interface SWDM SHNR (Speedwire)	○	○
Sunny Home Manager / SMA Energy Meter	○ / ○	○ / ○
Automatic transfer switch for battery backup (procurement via external supplier)	○	○



Datos técnicos	Sunny Island 6.0H	Sunny Island 8.0H
Salida de CA (equipo consumidor / red aislada)		
Tensión asignada de red / rango de tensión de CA	230 V / 202 V ... 253 V	230 V / 202 V ... 253 V
Frecuencia nominal / rango de frecuencia (ajustable)	50 Hz / 45 Hz ... 65 Hz	50 Hz / 45 Hz ... 65 Hz
Potencia asignada (a $U_{nom,from} / 25^{\circ}\text{C} / \cos \varphi = 1$)	4 600 W	6 000 W
Potencia de CA a 25°C durante 30 min / 5 min / 3 s	6000 W / 6800 W / 11000 W	8000 W / 9100 W / 11000 W
Intensidad asignada / corriente de salida máxima (pico)	20 A / 120 A	26 A / 120 A
Coeficiente de distorsión no lineal de tensión de salida / factor de potencia para la potencia asignada	< 4 % / -1 ... +1	< 4 % / -1 ... +1
Entrada de CA (generador, red o MC-Box)		
Tensión asignada de entrada / rango de la tensión de entrada de CA	230 V / 172,5 V ... 264,5 V	230 V / 172,5 V ... 264,5 V
Frecuencia asignada de entrada / rango de frecuencia de entrada permitida	50 Hz / 40 Hz ... 70 Hz	50 Hz / 40 Hz ... 70 Hz
Corriente máxima de entrada de CA	50 A	50 A
Potencia máxima de entrada de CA	11500 W	11500 W
Batería de entrada de CC		
Tensión asignada de entrada / rango de tensión de CC	48 V / 41 V ... 63 V	48 V / 41 V ... 63 V
Corriente de carga máxima de la batería / corriente de carga asignada	110 A / 100 A	140 A / 115 A
Tipo de batería / capacidad de la batería (rango)	FLA, VRLA / 100 Ah ... 10 000 Ah	FLA, VRLA / 100 Ah ... 10 000 Ah
Regulación de carga	Procedimiento de carga IUoU con carga completa y de compensación automáticas	Procedimiento de carga IUoU con carga completa y de compensación automáticas
Rendimiento / consumo característico		
Rendimiento máximo	95 %	95 %
Consumo característico sin carga / en espera	< 26 W / < 4 W	< 26 W / < 4 W
Dispositivo de protección (equipo)		
Cortocircuito / sobrecarga de CA	• / •	• / •
Protección contra polarización inversa de CC / fusible de CC	- / -	- / -
Sobrecalentamiento / descarga total de la batería	• / •	• / •
Categoría de sobretensión según IEC 60664-1	III	III
Datos generales		
Dimensiones (ancho x altura x profundidad)	467 mm x 612 mm x 242 mm	467 mm x 612 mm x 242 mm
Peso	63 kg	63 kg
Intervalo de temperatura de servicio	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Clase de protección según IEC 62103	I	I
Clase climática según IEC 60721	3K6	3K6
Clase de protección según IEC 60529	IP54	IP54
Características / función		
Manejo y pantalla / relé multifunción	Externo mediante SRC-20 / 2	Externo mediante SRC-20 / 2
Sistemas trifásicos / conexión en paralelo	• / •	• / •
Desviación integrada / funcionamiento multiclúster	- / •	- / •
Cálculo del nivel de carga / carga completa / carga de compensación	• / • / •	• / • / •
Arranque suave integrado / asistencia de generador	• / •	• / •
Sensor de temperatura de la batería / cables de comunicación	• / •	• / •
Certificados y autorizaciones	www.SMA-Solar.com	www.SMA-Solar.com
Garantía (5 / 10 / 15 / 20 / 25 años)	• / ○ / ○ / ○ / ○	• / ○ / ○ / ○ / ○
Accesorios		
Cables de la batería / fusibles de la batería	○ / ○	○ / ○
Interfaz SI-COMSMA (RS485) / SI-SYSCAN (multiclúster)	○ / ○	○ / ○
Arranque avanzado del generador "GenMan"	○	○
Relé de deslastre de carga / medición externa de la corriente de la batería	○ / ○	○ / ○
Modelo comercial	SI6.0H-10	SI8.0H10



Technical data	Sunny Boy 3.0-US		Sunny Boy 3.8-US		Sunny Boy 5.0-US	
	208 V	240 V	208 V	240 V	208 V	240 V
Input (DC)						
Max. usable DC power	3100 W	3100 W	3450 W	4000 W	5150 W	5150 W
Max. DC voltage			600 V			
Rated MPP voltage range	155 - 480 V		195 - 480 V		220 - 480 V	
MPPT operating voltage range			100 - 550 V			
Min. DC voltage / start voltage			100 V / 125 V			
Max. operating input current per MPPT			10 A			
Max. short circuit current per MPPT			18 A			
Number of MPPT tracker / string per MPPT tracker	2 / 1		3 / 1			
Output (AC)						
AC nominal power	3000 W	3000 W	3330 W	3800 W	5000 W	5000 W
Max. AC apparent power	3000 VA	3000 VA	3330 VA	3800 VA	5000 VA	5000 VA
Nominal voltage / adjustable	208 V / ●	240 V / ●	208 V / ●	240 V / ●	208 V / ●	240 V / ●
AC voltage range	183 - 229 V	211 - 264 V	183 - 229 V	211 - 264 V	183 - 229 V	211 - 264 V
AC grid frequency			60 Hz / 50 Hz			
Max. output current	14.5 A	12.5 A	16.0 A	16.0 A	24.0 A	24.0 A
Power factor ($\cos \phi$)			1			
Output phases / line connections			1 / 2			
Harmonics			< 4 %			
Efficiency						
Max. efficiency	97.2 %	97.6 %	97.2 %	97.5 %	97.2 %	97.5 %
CEC efficiency	96 %	96.5 %	96.5 %	96.5 %	96.5 %	97 %
Protection devices						
DC disconnect device			●			
DC reverse polarity protection			●			
Ground fault monitoring / Grid monitoring			●			
AC short circuit protection			●			
All-pole sensitive residual current monitoring unit (RCMU)			●			
Arc fault circuit interrupter (AFCI)			●			
Protection class / overvoltage category			I / IV			
General data						
Dimensions (W / H / D) in mm (in)	535 x 730 x 198 (21.1 x 28.5 x 7.8)					
Packaging Dimensions (W / H / D) in mm (in)	600 x 800 x 300 (23.6 x 31.5 x 11.8)					
Weight	26 kg (57 lb)					
Packaging weight	30 kg (66 lb)					
Operating temperature range	- 25°C ... +60°C					
Noise emission (typical)	39 dB(A)					
Internal power consumption at night	< 5 W					
Topology	Transformerless					
Cooling concept	Convection					
Features						
Secure Power Supply	●					
Display (2 x 16 characters)	●					
Interfaces: Ethernet / WLAN	● / ●					
Sensor module / External WLAN antenna	○ / ○					
Warranty: 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○					
Certificates and approvals	UL 1741, UL 1998, UL 1699B, IEEE1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA V22.2 107.1-1					
● Standard features ○ Optional features – Not available	Data at nominal conditions NOTE: US inverters ship with gray lids.					
Type designation	SB3.0-1SP-US-40		SB3.8-1SP-US-40		SB5.0-1SP-US-40	
Accessories						



Technical data	Sunny Boy 6.0-US		Sunny Boy 7.0-US		Sunny Boy 7.7-US	
	208 V	240 V	208 V	240 V	208 V	240 V
Input (DC)						
Max usable DC power	5400 W	6200 W	6900 W	7200 W	6900 W	7950 W
Max. DC Voltage				600 V		
Rated MPP Voltage range	220 - 480 V		245 - 480 V		270 - 480 V	
MPPT operating voltage range			100 - 550 V			
Min. DC voltage / start voltage			100 V / 125 V			
Max. operating input current per MPPT			10 A			
Max. short circuit current per MPPT			18 A			
Number of MPPT tracker / string per MPPT tracker			3 / 1			
Output (AC)						
AC nominal power	5200 W	6000 W	6660 W	7000 W	6660 W	7680 W
Max. AC apparent power	5200 VA	6000 VA	6660 VA	7000 VA	6660 VA	7680 VA
Nominal voltage / adjustable	208 V / ●	240 V / ●	208 V / ●	240 V / ●	208 V / ●	240 V / ●
AC voltage range	183 - 229 V	211 - 264 V	183 - 229 V	211 - 264 V	183 - 229 V	211 - 264 V
AC grid frequency			60 Hz / 50 Hz			
Max. output current	25.0 A	25.0 A	32.0 A	29.2 A	32.0 A	32.0 A
Power factor ($\cos \varphi$)			1			
Output phases / line connections			1 / 2			
Harmonics			< 4 %			
Efficiency						
Max. efficiency	97.2 %	97.6 %	97.1 %	97.5 %	97.1 %	97.5 %
CEC efficiency	96.5 %	97 %	96.5 %	97 %	96.5 %	97 %
Protection devices						
DC disconnect device			●			
DC reverse polarity protection			●			
Ground fault monitoring / Grid monitoring			●			
AC short circuit protection			●			
All-pole sensitive residual current monitoring unit (RCMU)			●			
Ac fault circuit interrupter (AFCI)			●			
Protection class / overvoltage category			I / IV			
General data						
Dimensions (W / H / D) in mm (in)			535 x 730 x 198 (21.1 x 28.5 x 7.8)			
Packaging Dimensions (W / H / D) in mm (in)			600 x 800 x 300 (23.6 x 31.5 x 11.8)			
Weight			26 kg (57 lb)			
Packaging weight			30 kg (66 lb)			
Operating temperature range			- 25°C ...+60°C			
Noise emission (typical)	36 dB(A)			45 dB(A)		
Internal power consumption at night			< 5 W			
Topology			Transformerless			
Cooling concept	Convection			Fan		
Features						
Secure Power Supply			●			
Display (2 x 16 characters)			●			
Interfaces: Ethernet / WLAN			● / ●			
Sensor module / External WLAN antenna			○ / ○			
Warranty: 10 / 15 / 20 years			● / ○ / ○			
Certificates and approvals	UL 1741, UL 1998, UL 1699B, IEEE1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA V22.2 107.1-1					
● Standard features ○ Optional features – Not available	Data at nominal conditions		NOTE US inverters ship with gray lids.			
Type designation	SB6.0-1SP-US-40		SB7.0-1SP-US-40		SB7.7-1SP-US-40	



Technical data		Sunny Boy 9000TL-US	
		208 V	240 V
Input (DC)			
Max. usable DC power (@ cos φ = 1)		9400 W	9400 W
Max. input voltage		600 V	600 V
MPP voltage range / rated input voltage		300 V - 480 V / 345 V	345 V - 480 V / 379 V
Min. input voltage / initial input voltage		300 V / 360 V	345 V / 360 V
Max. input current		31.0 A	27.1 A
Max. input current per string		31.0 A	27.1 A
Number of independent MPP inputs		1	1
Strings per MPP input @ Combiner Box		6	6
Output (AC)			
Rated power / max. apparent AC power		9000 W / 9000 VA	
Nominal AC voltage / nominal AC voltage range		208 V / 183 V - 229 V	240 V / 211 V - 264 V
AC power frequency / range		60 Hz / 59.3 Hz ... 60.5 Hz	60 Hz / 59.3 Hz ... 60.5 Hz
Max. output current		43.3 A	37.5 A
Power factor at rated power			1
Feed-in phases / connection phases			1 / 2
Efficiency			
CEC efficiency / max. efficiency		98 % / 98.6 %	98 % / 98.7 %
Protective devices			
DC reverse polarity protection		●	
AC short-circuit current capability		●	
Galvanic isolation		—	
All-pole-sensitive residual-current monitoring unit		●	
Arc-fault circuit interrupter (according to UL 1699B)		●	
Protection class		I	
Oversupply category			IV
General data			
Dimensions (W / H / D)		470 / 615 / 240 mm (18.4 / 24.1 / 9.5 inch)	
Dimensions of DC Disconnect (W / H / D)		187 / 297 / 190 mm (7.28 / 11.7 / 7.5 inch)	
Weight		35 kg / 78 lb	
Weight of DC Disconnect		3.5 kg / 8 lb	
Operating temperature range		-40 °C ... +60 °C / -40 °F ... +140 °F	
Noise emission (typical)		46 dB(A)	
Self-consumption (night)		0.15 W	
Topology		Transformerless H5	
Cooling concept		OptiCool	
Degree of protection		NEMA 3R	
Degree of protection of connection area		NEMA 3R	
Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)		100 %	
Features			
DC connection		Screw terminal	
AC connection		Screw terminal	
Display		Text line	
Interface: RS485 / Bluetooth / WebConnect		○ / ○ / ○	
Warranty: 10 / 15 / 20 years		● / ○ / ○	
Certificates and approvals (more available on request)		UL1741, UL1998, IEEE1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA C22.2 107.1-1, UL 1699B	
● Standard features ○ Optional features — Not available			
NOTE: US inverters ship with gray lids Data at nominal conditions			
Type designation		SB 9000TLUS-12	



Sunny Boy 10000TL-US		Sunny Boy 11000TL-US
208 V	240 V	240 V
10500 W	10400 W	11500 W
600 V	600 V	600 V
300 V - 480 V / 345 V	345 V - 480 V / 379 V	345 V - 480 V / 379 V
300 V / 360 V	345 V / 360 V	345 V / 360 V
35 A	30.2 A	33.3 A
35 A	30.2 A	33.3 A
1	1	1
6	6	6
10000 W / 10000 VA		11000 W / 11000 VA
208 V / 183 V - 229 V	240 V / 211 V - 264 V	240 V / 211 V - 264 V
60 Hz / 59.3 Hz ... 60.5 Hz	60 Hz / 59.3 Hz ... 60.5 Hz	60 Hz / 59.3 Hz ... 60.5 Hz
48.1 A	41.7 A	45.8 A
1		1
1 / 2		1 / 2
98.0 % / 98.6 %	98 % / 98.7 %	98 % / 98.7 %
●		●
●		●
—		—
●		●
●		●
I		I
IV		IV
470 / 615 / 240 mm (18.4 / 24.1 / 9.5 inch)		
187 / 297 / 190 mm (7.28 / 11.7 / 7.5 inch)		
35 kg / 78 lb		
3.5 kg / 8 lb		
-40 °C ... +60 °C / -40 °F ... +140 °F		
46 dB(A)		46 dB(A)
0.15 W		0.15 W
Transformerless H5		Transformerless H5
OptiCool		OptiCool
NEMA 3R		NEMA 3R
NEMA 3R		NEMA 3R
100 %		100 %
Screw terminal		Screw terminal
Screw terminal		Screw terminal
Text line		Text line
○ / ○ / ○		○ / ○ / ○
● / ○ / ○		● / ○ / ○
UL1741, UL1998, IEEE1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA C22.2 107.1-1, UL 1699B		
SB 10000TLUS-12		SB 11000TLUS-12



Technical Data	Sunny Tripower 5000TL	Sunny Tripower 6000TL
Input (DC)		
Max. DC power (@ cos φ = 1)	5100 W	6125 W
Max. input voltage	1000 V	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	245 V ... 800 V / 580 V	295 V ... 800 V / 580 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	11 A / 10 A	11 A / 10 A
Max. input current per string input A / input B	11 A / 10 A	11 A / 10 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2
Output (AC)		
Rated power (@ 230 V, 50 Hz)	5000 W	6000 W
Max. AC apparent power	5000 VA	6000 VA
Nominal AC voltage	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V
Nominal AC voltage range	160 ... 280 V	160 V ... 280 V
AC grid frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Max. output current	7.3 A	8.7 A
Power factor at rated power	1	1
Adjustable displacement power factor	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited
Feed-in phases / connection phases	3 / 3	3 / 3
Efficiency		
Max. efficiency / European efficiency	98 % / 97.1 %	98 % / 97.4 %
Protective devices		
DC disconnect device	●	●
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	● / ●
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / -	● / ● / -
All-pole sensitive residual-current monitoring unit	●	●
Protection class (according to IEC 62103)/overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III	I / III
General data		
Dimensions (W / H / D)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch)
Weight	37 kg (81.6 lb)	37 kg (81.6 lb)
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)
Noise emission (typical)	40 dB(A)	40 dB(A)
Self-consumption (at night)	1 W	1 W
Topology / cooling concept	Transformerless / Opticool	Transformerless / Opticool
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP65	IP65
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	100 %	100 %
Features		
DC connection / AC connection	SUNCLIX / spring-cage terminal	SUNCLIX / spring-cage terminal
Display	Graphic	Graphic
Interface: RS485, Bluetooth, Speedwire / Webconnect	○ / ● / ●	○ / ● / ●
Multifunction relay / Power Control Module	● / ○	● / ○
Guarantee: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Certificates and permits (more available on request)	AS 4777, CE, CEI 0-21 ¹ , C10/11:2012, DIN EN 62109-1, EN 50438 ¹ , G59/3, G83/2, IEC 61727/MEA ² , IEC 61727/PEA ² , IEC 62109-2, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PPC, PPDS, RD 661/2007, RD 1699/2011, SI 4777, UTE C15.712-1, VDE 0126-1-1, VDE AR-N 4105, VFR 2013, VFR 2014	
Type designation	STP 5000TL-20	STP 6000TL-20



Sunny Tripower 7000TL	Sunny Tripower 8000TL	Sunny Tripower 9000TL
7175 W	8200 W	9225 W
1000 V	1000 V	1000 V
290 V ... 800 V / 580 V	330 V ... 800 V / 580 V	370 V ... 800 V / 580 V
150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V
15 A / 10 A	15 A / 10 A	15 A / 10 A
15 A / 10 A	15 A / 10 A	15 A / 10 A
2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2
7000 W	8000 W	9000 W
7000 VA	8000 VA	9000 VA
3 / N / PE; 220 / 380 V	3 / N / PE; 220 / 380 V	3 / N / PE; 220 / 380 V
3 / N / PE; 230 / 400 V	3 / N / PE; 230 / 400 V	3 / N / PE; 230 / 400 V
3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 240 / 415 V
160 V ... 280 V	160 V ... 280 V	160 V ... 280 V
50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz
50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
10.2 A	11.6 A	13.1 A
1	1	1
0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited
3 / 3	3 / 3	3 / 3
98 % / 97.5 %	98 % / 97.6 %	98 % / 97.6 %
• • / • • / • / - • I / III	• • / • • / • / - • I / III	• • / • • / • / - • I / III
470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch) 37 kg (81.6 lb) -25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F) 40 dB(A) 1 W Transformerless / Opticool IP65 	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch) 37 kg (81.6 lb) -25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F) 40 dB(A) 1 W Transformerless / Opticool IP65 	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch) 37 kg (81.6 lb) -25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F) 40 dB(A) 1 W Transformerless / Opticool IP65
SUNCLIX / spring-cage terminal Graphic ○ / ● / ● ● / ○ ● / ○ / ○ / ○ / ○	SUNCLIX / spring-cage terminal Graphic ○ / ● / ● ● / ○ ● / ○ / ○ / ○ / ○	SUNCLIX / spring-cage terminal Graphic ○ / ● / ● ● / ○ ● / ○ / ○ / ○ / ○
AS 4777, CE, CEI 0-21 ³ , C10/11:2012, DIN EN 62109-1, EN 50438 ¹ , G59/3, G83/2, IEC 61727/MEA ² , IEC 61727/PEA ² , IEC 62109-2, NEN EN 50438, NRS 0972-1, PPC, PPDS, RD 661/2007, RD 1699:2011, SI 4777, UTE C15-712-1, VDE0126-1-1, VDE ARN 4105, VFR 2013, VFR 2014		
STP 7000TL-20	STP 8000TL-20	STP 9000TL-20



Sunny Tripower 10000TL	Sunny Tripower 12000TL ³	Sunny Tripower 15000TL
10250 W	12275 W	15330 W / 15330 W
1000 V	1000 V	1000 V
370 V ... 800 V / 580 V	440 V ... 800 V / 580 V	240 V to 800 V / 600 V
150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V
18 A / 10 A	18 A / 10 A	33 A / 33 A
18 A / 10 A	18 A / 10 A	2 / A;3; B;3
2 / A;2; B;2	2 / A;2; B;2	
10000 W	12000 W	15000 W
10000 VA	12000 VA	15000 VA
3 / N / PE; 220 / 380 V	3 / N / PE; 220 / 380 V	3 / N / PE; 220 V / 380 V
3 / N / PE; 230 / 400 V	3 / N / PE; 230 / 400 V	3 / N / PE; 230 V / 400 V
3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 240 V / 415 V
160 V ... 280 V	160 V ... 280 V	180 V to 280 V
50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz / 44 Hz to 55 Hz
50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V	60 Hz / 54 Hz to 65 Hz
14.5 A	17.4 A	50 Hz / 230 V
1	1	29 A / 21.7 A
0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	1 / 0 overexcited to 0 underexcited
3 / 3	3 / 3	≤3%
98 % / 97.6 %	98.3 % / 97.9 %	98.4 % / 98.0 %
• • / • • / • / - • I / III	• • / • • / • / - • I / III	• • / • ○ • / • / - • I / AC: III; DC: II
470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inches) 37 kg (81.6 lb) -25°C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F) 40 dB(A) 1 W Transformerless / Opticool IP65 4K4H 100 %	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch) 38 kg / 84 lbs -25°C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F) 40 dB(A) 1 W Transformerless / Opticool IP65 4K4H 100 %	661 / 682 / 264 mm (26.0 / 26.9 / 10.4 inch) 61 kg (134.48 lb) -25 °C to +60 °C (-13 °F to +140 °F) 51 dB(A) 1 W Transformerless / Opticool IP65 4K4H 100%

 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza	Proyecto: PulsarX Herramienta web para el diseño de instalaciones aisladas con energía fotovoltaica	 PULSAR INARA
---	---	--

Technical Data	Sunny Tripower 20000TL	Sunny Tripower 25000TL
Input (DC)		
Max. DC power (at $\cos \varphi = 1$) / DC rated power	20440 W / 20440 W	25550 W / 25550 W
Max. input voltage	1000 V	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	320 V to 800 V / 600 V	390 V to 800 V / 600 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	33 A / 33 A	33 A / 33 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:3; B:3	2 / A:3; B:3
Output (AC)		
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	20000 W	25000 W
Max. AC apparent power	20000 VA	25000 VA
AC nominal voltage	3 / N / PE, 220 V / 380 V 3 / N / PE, 230 V / 400 V 3 / N / PE, 240 V / 415 V	
AC voltage range	180 V to 280 V	
AC grid frequency / range	50 Hz / 44 Hz to 55 Hz 60 Hz / 54 Hz to 65 Hz	
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	
Max. output current / Rated output current	29 A / 29 A	36.2 A / 36.2 A
Power factor at rated power / Adjustable displacement power factor	1 / 0 overexcited to 0 underexcited	
THD	≤ 3%	
Feed-in phases / connection phases	3 / 3	
Efficiency		
Max. efficiency / European Efficiency	98.4% / 98.0%	98.3% / 98.1%
Protective devices		
DC-side disconnection device	●	
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	
DC surge arrester (Type II) can be integrated	○	
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / -	
All-pole sensitive residual-current monitoring unit	●	
Protection class (according to IEC 62109-1) / overvoltage category (according to IEC 62109-1)	I / AC: III; DC: II	
General data		
Dimensions (W / H / D)	661 / 682 / 264 mm (26.0 / 26.9 / 10.4 inch)	
Weight	61 kg (134.48 lb)	
Operating temperature range	-25 °C to +60 °C (-13 °F to +140 °F)	
Noise emission (typical)	51 dB(A)	
Self-consumption (at night)	1 W	
Topology / cooling concept	Transformerless / Opticool	
Degree of protection (as per IEC 60529)	IP65	
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H	
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%	
Features / function / Accessories		
DC connection / AC connection	SUNCLIX / spring-cage terminal	
Display	○	
Interface: RS485, Speedwire/Webconnect	○ / ●	
Data interface: SMA Modbus / SunSpec Modbus	● / ●	
Multifunction relay / Power Control Module	○ / ○	
OptiTrack Global Peak / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7	● / ● / ●	
Off-Grid capable / SMA FuelSave Controller compatible	● / ●	
Guarantee: 5 / 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○ / ○	
Certificates and permits (more available on request)	ANNE 30, AS 4777, BD BW 2008, C10/11:2012, CE, CEI 0-16, CIE 0-21, EN 50438:2013*, G59/3, IEC 60068-2-4, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, MEA 2013, NBR 16149, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PEA 2013, PFC, RD 1699/413, RD 661/2007, Res. n° 7:2013, SI4777, TOR D4, TR 3.2.2, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, VFR 2014	
Type designation	STP 20000TL-30	STP 25000TL-30