



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Eléctrica

**Riego solar directo con estimación de
radiación diaria**

Autor:

De la Serna Marcilla, Miguel

Tutor:

**Frechoso Escudero, Fernando
Antonio
Ingeniería Eléctrica**

Valladolid, Diciembre, 2023.

Resumen

Este trabajo fin de grado tiene como objetivo diseñar una instalación de riego solar directo con bombeo de agua en función de la radiación horaria, con el fin de satisfacer las necesidades hídricas de un cultivo. Se estudiarán las necesidades de riego de un cultivo escogido, y se diseñará una instalación fotovoltaica que sea capaz de suplir dichas necesidades.

Palabras clave: riego, energía fotovoltaica, radiación horaria, bombeo directo, riego solar.

Abstract.

The objective of this final degree project is the design of a solar irrigation installation with water pumping based on hourly radiation, with the goal to satisfy the water needs of a crop. The irrigation needed by the crop will be studied, and a solar installation will be designed in order to satisfy the needs.

Key words: irrigation, photovoltaic energy, hourly radiation, direct pumping, solar irrigation.

A M^aPilar y Cecilia, a Miguel Ángel y Pilar, por confiar en mí y hacer esto posible.

A mi tutor Fernando y mi compañero David, por nutrirme de conocimientos.

Y a Lorena, por apoyarme y estar siempre ahí.

Índice

<i>Resumen</i>	ii
<i>Abstract</i>	ii
<i>Agradecimientos</i>	iii
1. OBJETIVOS	1
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1. <i>Contexto del agua en España</i>	4
2.2. <i>Contexto actual de la energía eléctrica</i>	6
2.3. <i>Situación de las energías renovables</i>	7
2.4. <i>Instalaciones fotovoltaicas para riego</i>	10
2.4.1 <i>Componentes de una instalación de riego solar</i>	11
2.4.1.1. <i>Paneles fotovoltaicos</i>	11
2.4.1.2. <i>Regulador, inversor y variador de potencia</i>	13
2.4.1.3. <i>Bomba hidráulica</i>	15
2.4.1.4. <i>Sistema de acumulación de energía</i>	16
2.4.1.5. <i>Sistema de riego</i>	17
2.5. <i>Datos de radiación y PVGIS</i>	18
2.5.1. <i>Definición de PVGIS</i>	18
2.5.2. <i>Base de datos SARA2</i>	19
2.5.3. <i>Ventajas de emplear datos satelitales</i>	20
2.5.4. <i>Cálculo de la radiación solar a partir de los datos satelitales</i>	21
2.5.5. <i>Validación de los datos de PVGIS</i>	22
2.6. <i>Evapotranspiración</i>	23
2.6.1. <i>Concepto de evapotranspiración</i>	23
2.6.2. <i>Ecuación de Penman - Monteith</i>	24
2.6.3. <i>Ecuación de FAO Penman - Monteith para periodos horarios</i>	25
3. MEMORIA DE DISEÑO	27
3.1. <i>Caso de estudio</i>	28
3.2. <i>Necesidades de la instalación</i>	29
3.2.1. <i>Necesidades hídricas</i>	29
3.2.1.1. <i>Obtención de datos mediante PVGIS</i>	30
3.2.1.2. <i>Parámetros de la ecuación de FAO Penman – Monteith</i>	31
3.2.1.3. <i>Cálculo de la evapotranspiración</i>	34
3.2.2. <i>Necesidades de potencia</i>	38
3.2.2.1. <i>Pérdidas por sistema de riego</i>	38

3.2.2.2. <i>Altura hidráulica</i>	38
3.2.2.3. <i>Dimensionamiento de la bomba</i>	40
3.3. <i>Diseño de la instalación fotovoltaica</i>	42
3.3.1. <i>Cálculo de la inclinación óptima</i>	42
3.3.2. <i>Cálculo de la potencia de la instalación</i>	43
4. Diseño de la instalación fotovoltaica	55
4.1. <i>Bomba</i>	56
4.2. <i>Inversor-Variador</i>	56
4.3. <i>Módulos fotovoltaicos y diseño de los strings</i>	57
4.4. <i>Estructura de soporte de paneles</i>	62
4.5. <i>Cálculo y diseño de protecciones</i>	63
4.5.1. <i>Protecciones de corriente continua</i>	63
4.5.2. <i>Protecciones de corriente alterna</i>	63
4.5.3. <i>Cálculo de puesta a tierra</i>	65
5. Mantenimiento de la instalación	67
6. Análisis económico	69
7. Conclusiones	73
8. Bibliografía	75
9. Anexo. Fichas técnicas	79

1. OBJETIVOS.

El objetivo del presente Trabajo Fin de grado es el estudio, diseño, cálculo y dimensionamiento de una planta solar fotovoltaica destinada al suministro de energía eléctrica, con el fin de realizar un bombeo directo para una parcela de cultivo. El motivo de emplear un bombeo directo es que no es necesario aplicar un sistema de almacenamiento ni de electricidad ni de agua, y aunque el peaje a pagar sea la instalación de un mayor número de paneles fotovoltaicos con respecto a los que tendría una instalación que dispone de almacenamiento, el precio a día de hoy de los módulos fotovoltaicos es mucho más barato que el de las baterías o las balsas de agua.

En estos últimos años, debido al cambio climático, las olas de calor y las sequías se han vuelto más frecuentes, aumentando las necesidades hídricas de los cultivos de regadío. Generalmente, para el cálculo de estas necesidades de riego se utilizan valores históricos con poca resolución espacial y temporal por lo que se diseñará un método de cálculo que para un emplazamiento dado haga uso de los datos climáticos diarios de los últimos años con el fin de calcular las necesidades de riego horarias de la manera más exacta posible. Además, hay que tener en cuenta que como se pretende bombear el agua del riego utilizando energía fotovoltaica, todo aquello que haga que podamos estimar el recurso solar de la manera más exacta posible redundará en un dimensionado más ajustado de la planta fotovoltaica.

Para comenzar se tratará cierta información referida a la situación del agua en España así como el estado actual de la tecnología fotovoltaica, enfocando el estudio al riego de cultivos y mencionando los principales componentes necesarios para el diseño de una planta de riego.

Seguidamente se calcularán las necesidades hídricas de un cultivo de forma horaria a partir de unas condiciones dadas tanto de radiación como climáticas, estudiando el caudal requerido de agua y calculando la potencia fotovoltaica precisa para satisfacer dichas necesidades.

Finalmente se definirán los componentes necesarios para la instalación, así como el cálculo de protecciones y el diseño de esquemas. También se realizará un estudio económico básico de la instalación fotovoltaica con el fin de estimar el precio de su posible construcción.

2. INTRODUCCIÓN.

2.1. Contexto del agua en España.

El agua hoy en día es el bien más empleado a nivel mundial, constituyendo un gran pilar en el desarrollo humano, social y económico del planeta. Se emplea en todo tipo de actividades, como el consumo personal, la industria o la agricultura.

La agricultura supone un gasto del 70% del agua potable a nivel mundial, convirtiendo esta actividad en la que más recursos hídricos emplea. [1]

En España este gasto asciende al 80% incluso pudiendo llegar a superarlo, lo que se traduce en un consumo de agua potable exageradamente elevado. [2]

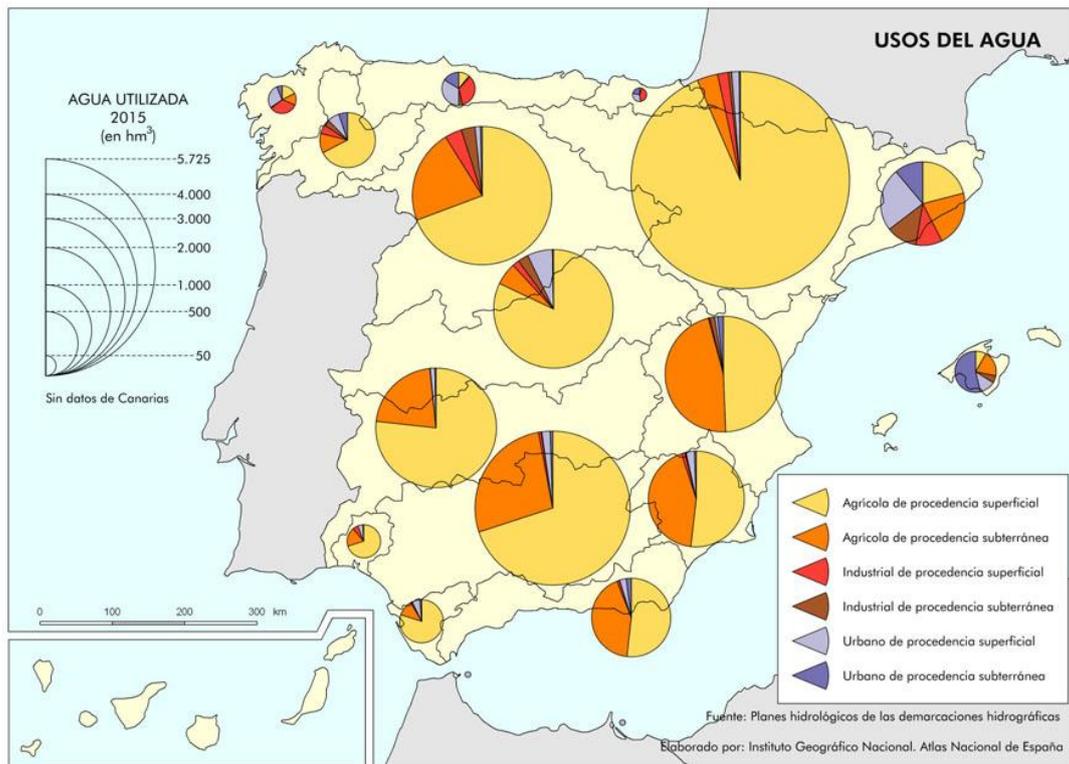


Imagen 1. Mapa de la distribución del agua en España según su actividad. [3]

El inconveniente es que la disponibilidad del agua, al igual que las precipitaciones, no son uniformes en todo el territorio español, provocando que en determinadas situaciones se pueda correr el riesgo de **sobreexplotar** los recursos hídricos de las regiones. Por ello se buscan técnicas que minimicen el derroche del agua en todo lo referido al riego dentro de la agricultura y las posibles causas que se puedan generar.

Estadísticas sobre el Uso del Agua, Comunidad autónoma, Aguas superficiales, 2018

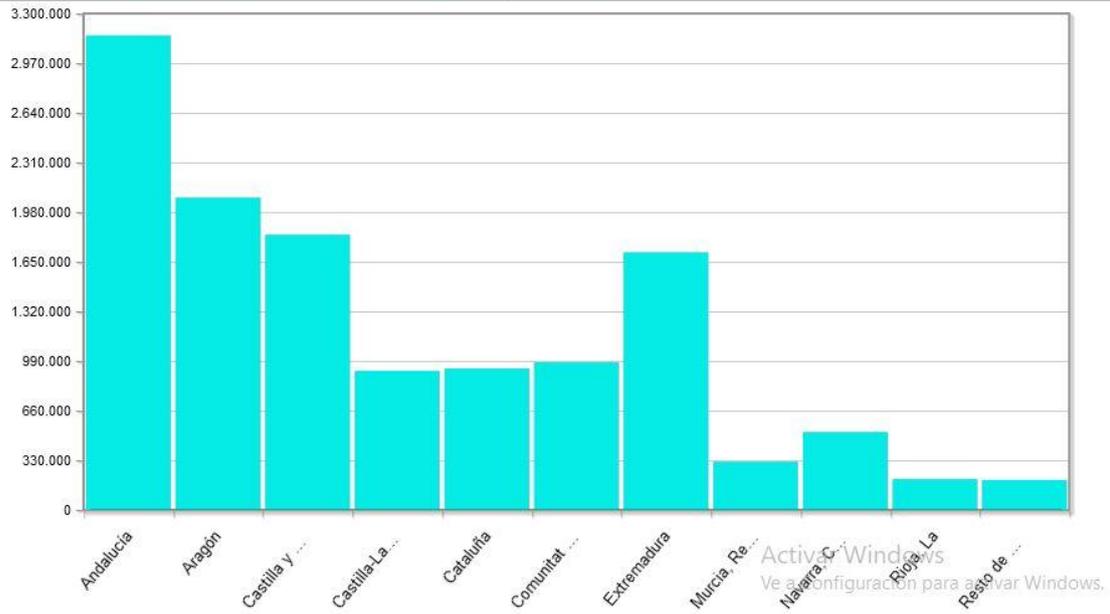


Imagen 2. Disponibilidad del agua en cada Comunidad Autónoma. [4]

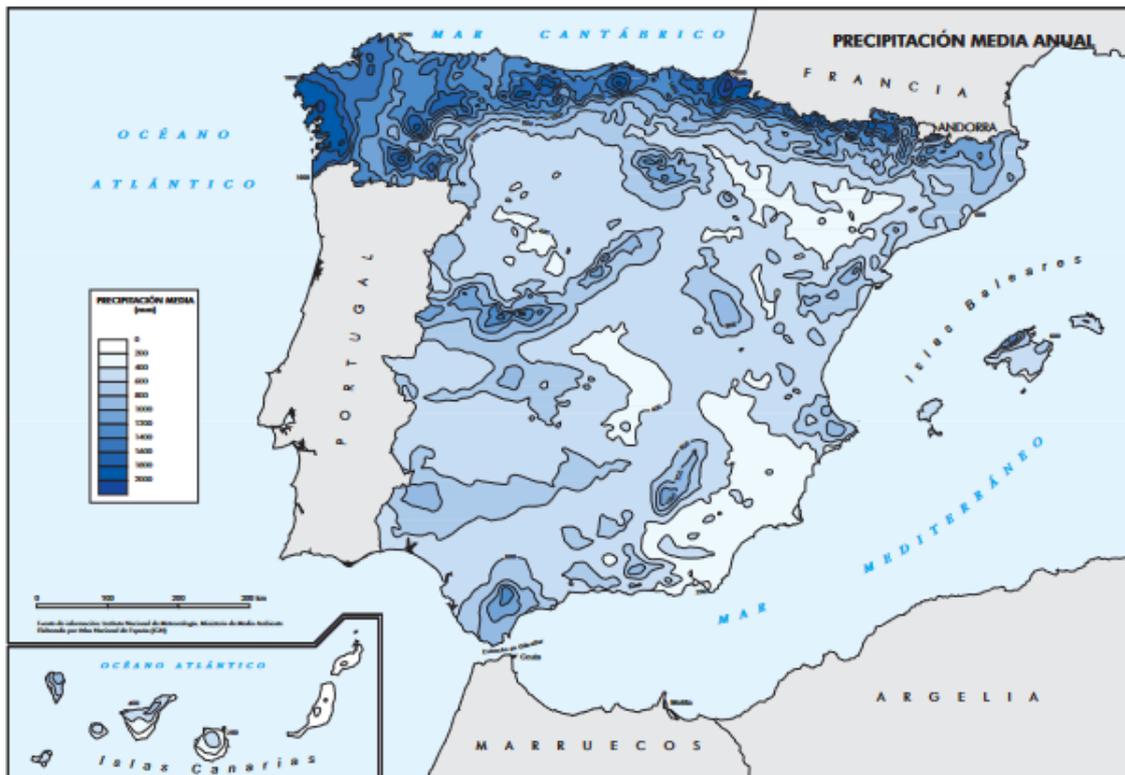


Imagen 3. Precipitación media anual en España. [5]

2.2. Contexto actual de la energía eléctrica.

El precio de la energía eléctrica no es algo estable, este varía de forma horaria y viene determinado por el mercado mayorista o **Pool**.

OMIE es el organismo encargado de fijar los precios y lo hace en función de la demanda prevista y la generación disponible.

Los factores que pueden hacer variar el precio son múltiples, destacando la disponibilidad de las energías en ese momento. Si hay elevada radiación, viento, un gran nivel de agua embalsada, todo ello correspondiente a las energías renovables, el precio fijado por lo general será bajo. Si por lo contrario las tecnologías predominantes son el gas, petróleo, carbón, denominadas energías no renovables, el precio estipulado será elevado. [6]

El precio de la electricidad en España durante los últimos años ha experimentado un aumento extremadamente grande, y aunque a fecha de 2023 la tendencia es que disminuya nada impide que se vuelvan a repetir situaciones como las de los años anteriores. Por este motivo es de gran importancia la implementación de las tecnologías renovables.

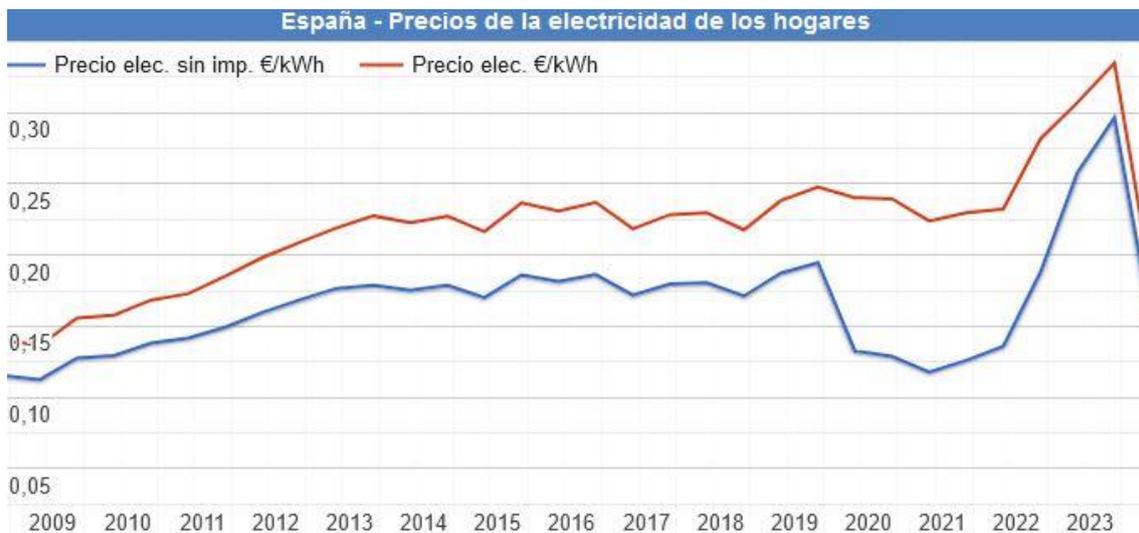


Imagen 4. Evolución del precio de la energía en España a lo largo de los años. [7]

2.3. Situación de las energías renovables.

La situación de las energías renovables en España ha mejorado notablemente en los últimos años. Se ha suprimido un gran porcentaje de tecnologías dependientes de recursos fósiles intentando complementarlo con energías renovables.

Desde 2015 a 2023 el ejemplo más claro se encuentra en la energía solar fotovoltaica, que ha aumentado casi un **15%** con respecto a la potencia total instalada en España.



Imagen 5. Porcentaje de potencia instalada en España según su tecnología (2015). [8]



Imagen 6. Porcentaje de potencia instalada en España según su tecnología (2023). [8]

Los principales motivos que han llevado a la implementación de energías renovables son:

- El precio de la energía eléctrica ha aumentado en exceso últimamente, por lo que la implementación de las energías renovables implica una disminución de dicho coste ya que su capacidad de producción tiene un coste muy inferior al de las tecnologías convencionales, beneficiando principalmente al usuario final.
- La disponibilidad de radiación en España, ya que, por su cercanía al trópico, es uno de los países europeos que recibe más radiación. Además es un territorio con una velocidad de viento media bastante elevada en la mayoría de sus zonas. Por estos motivos las energías renovables como la solar fotovoltaica y la eólica son idóneas.

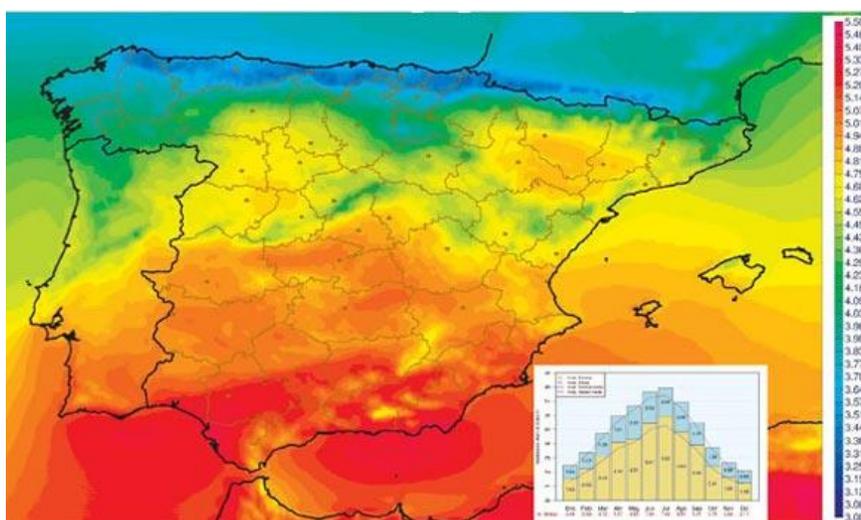


Imagen 7. Mapa de radiación media en España. [9]

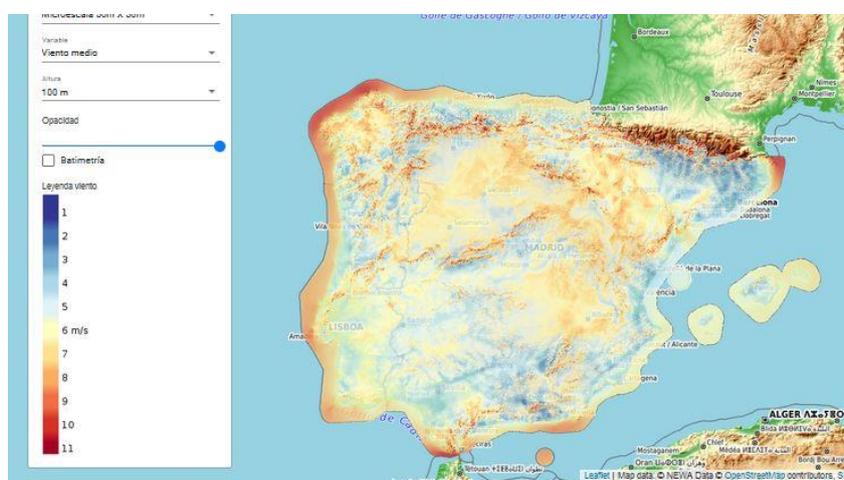


Imagen 8. Mapa de velocidad media del viento a 100m de altura en España. [10]

- La **descarbonización** es uno de los principales objetivos impuestos por la Unión Europea al que se pretende llegar antes de 2050. Este motivo impulsa a las economías europeas a generar cada vez más energía eléctrica a raíz de fuentes renovables. [11]

2.4. Instalaciones fotovoltaicas para riego.

Una instalación fotovoltaica para riego aprovecha la energía proveniente del sol en forma de radiación para accionar una bomba hidráulica alimentada mediante paneles fotovoltaicos, con el objetivo de regar una parcela de cultivo empleando diversas técnicas.

Una instalación de riego solar presenta numerosas ventajas.

- Proporcionan energía eléctrica a los dispositivos de riego situados en zonas remotas o aisladas donde sería muy caro una conexión directa a la red eléctrica.
- No tienen un impacto medioambiental tan grande como las tecnologías tradicionales de grupo diésel ya que no presentan niveles acústicos ni de polución.
- El coste a largo plazo, por lo general, es menor con respecto a los grupos diésel o el enganche a la red eléctrica, como consecuencia de la autoproducción de la energía y el descenso experimentado del precio en los últimos años de este tipo de instalaciones.

Aunque este tipo de instalaciones también tienen sus inconvenientes.

- A pesar de no generar un impacto ambiental acústico y contaminante los paneles fotovoltaicos ocupan vastas áreas de terreno cultivable.
- En días con amplia presencia de nubes la energía producida por la planta solar puede ser insuficiente respecto a las necesidades hídricas, lo que puede generar un bajo rendimiento del cultivo.

2.4.1 Componentes de una instalación de riego solar.

2.4.1.1. Paneles fotovoltaicos.

Un panel fotovoltaico es un dispositivo capaz de convertir la radiación proveniente del sol en energía eléctrica, y está compuesto por numerosas células fotovoltaicas conectadas en serie.

Una célula fotovoltaica es un elemento que transforma la radiación electromagnética proveniente del sol en corriente continua. Están fabricadas de silicio cristalino, un metal fotoeléctrico que al incidir un fotón sobre él, este libera un electrón de la última capa de uno de sus átomos. El silicio también es considerado un semiconductor ya que dependiendo del estado en que se encuentre puede actuar como conductor o como aislante.

El silicio es sometido a un proceso de dopado, que consiste en añadir pequeñas impurezas de otros elementos como el fósforo, boro, galio o arsénico, que modifican sus propiedades conductoras.

Semiconductores tipo N.

Se producen al dopar silicio con un elemento que tenga cinco electrones en su última capa de valencia, lo que origina que con cada átomo de dopante un electrón quede libre para que el átomo de silicio sea estable, provocando un aumento de la conductividad eléctrica.

Semiconductores tipo P.

Se produce al dopar silicio con un elemento que tenga tres electrones en su última capa de valencia, originando un hueco que se comporta como una carga positiva.

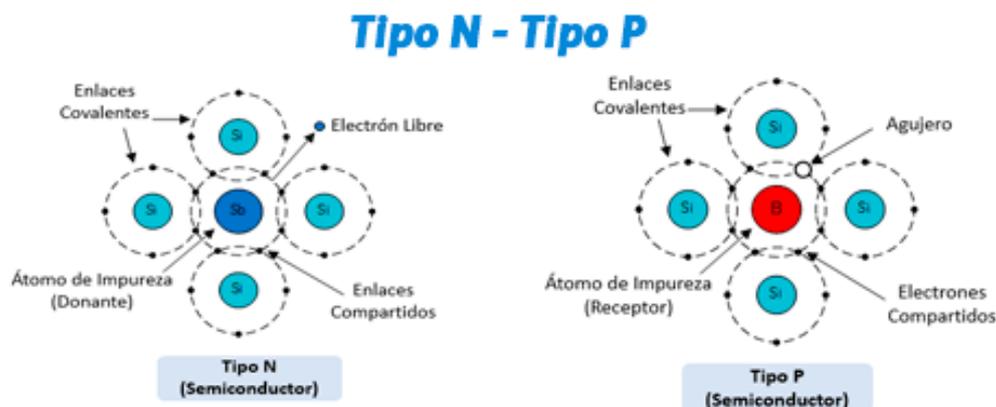


Imagen 9. Ilustración de átomos de silicio dopados. [13]

Cuando se une un semiconductor *N* y un semiconductor *P* se produce un efecto de difusión de la región *N* con alta concentración de electrones, a la región *P* con alta presencia de huecos. Ocurre lo mismo de forma inversa, una difusión de huecos de la región *P* a la región *N*.

En la zona de unión de ambos semiconductores, o barrera de potencial, se produce una neutralización debido a la presencia de cargas positivas y negativas apareciendo una tensión que impide que continúe el movimiento de cargas.

Cuando se expone una célula a la luz solar esta “moverá” los electrones de la región *N* hacia la región *P* como consecuencia del efecto fotoeléctrico, y al unir estas dos regiones por un conductor se producirá una corriente eléctrica. [12]

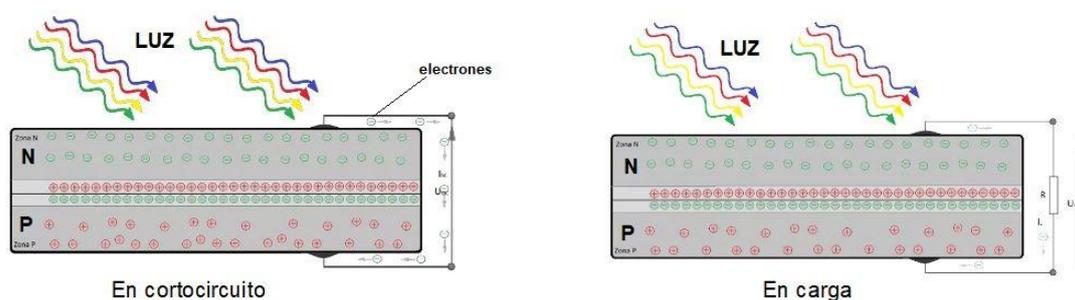


Imagen 10. Ilustración del efecto fotoeléctrico en una célula fotovoltaica. [12]

2.4.1.2. Regulador, inversor y variador de potencia.

Los paneles fotovoltaicos generan energía eléctrica en forma de corriente continua, esta puede ser interesante para determinadas aplicaciones pero por lo general la mayoría de los dispositivos y elementos que emplean electricidad para funcionar lo hacen a través de la corriente alterna.

Los paneles fotovoltaicos se comportan como una fuente de corriente continua con una tensión de corriente continua, esta relación viene mostrada en las *curvas I-V* las cuales muestran una gran variedad de posibles combinaciones, aunque todas reflejan el punto óptimo de funcionamiento que es el que muestra la máxima potencia en función de la radiación existente.

Por este motivo son necesarios unos dispositivos complementarios bien para hacer funcionar al panel a su máxima potencia o bien para convertir la corriente continua que este genera en corriente alterna.

Existen varios tipos de dispositivos, algunos de ellos son:

Inversor.

Un inversor es un dispositivo electrónico capaz de obtener corriente alterna transformando corriente continua. Este es indispensable para poder alimentar desde un panel fotovoltaico, el cual genera corriente continua, todo dispositivo que funcione con corriente alterna proporcionando una tensión y frecuencia de salida constantes.

Existen inversores que fijan la fase de tensión sin ninguna referencia previa, estos son más sencillos y generalmente son empleados para instalaciones fotovoltaicas aisladas. Otro tipo de inversores permiten un acoplamiento con la red eléctrica por lo que previamente necesitan tomar una referencia previa de la fase de tensión para realizar un correcto acoplamiento. Estos inversores por lo general son empleados en instalaciones fotovoltaicas con una conexión a red.

El principal inconveniente que presenta un inversor puro es que su tensión y frecuencia de salida son siempre constantes lo que puede generar problemas en diversas tareas, como variar la velocidad en un motor. Para esto existen los **variadores**, una versión del inversor que regula la tensión y la frecuencia que llega al motor en función de los requisitos buscados. [14]

Regulador.

Un regulador es un dispositivo que gestiona la energía eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos y la carga de las baterías. Su función es evitar las sobrecargas y sobredescargas de las baterías, bloquear la corriente inversa y asegurar su llenado óptimo con el fin de prolongar su vida útil.

En el mercado existen diversidad de tipos de regulador, pero los más comunes son:

- Los **reguladores PWM** (Pulse Width Modulation) actúan como un interruptor entre los paneles solares y la batería dejando pasar más o menos corriente, forzando así a las placas fotovoltaicas a trabajar a la tensión de la propia batería.
- Los **reguladores MPPT** (Maximun Power Point Tracking) buscan mejorar el rendimiento. Un regulador MPPT además puede ser un regulador PWM con una etapa convertora CC-CC para poder trabajar en la parte de los paneles en su punto de tensión que entrega la máxima potencia, con el fin de obtener la máxima potencia y en el otro lado la tensión a la que esté la batería o el inversor. [15][16]



Imagen 11. Regulador fotovoltaico MPPT. [17]

2.4.1.3. Bomba hidráulica.

Una bomba hidráulica es un dispositivo capaz de transmitir energía mecánica a un fluido a partir de energía eléctrica. Existe una gran variedad de bombas hidráulicas según su aplicación.

En la actividad del riego destacan:

Las **motobombas**, que funcionan a partir de un combustible fósil y permiten variar su velocidad y potencia mediante elementos mecánicos gracias a un acelerador.

Las **electrobombas** emplean la energía eléctrica para funcionar, y mediante un variador pueden modificar su potencia y velocidad. A su vez estas se dividen en:

- **Bombas de superficie** empleadas cuando la altura de aspiración es baja o nula. Se colocan en pequeñas instalaciones de riego o cuando la fuente de agua es una balsa o acequia.
- **Bombas sumergibles** instaladas cuando la altura de aspiración es bastante grande. Se emplean en pozos profundos o en plantas donde las necesidades hídricas son muy elevadas.



Imagen 12. Electrobomba de superficie. [18]

2.4.1.4. Sistema de acumulación de energía.

Las plantas fotovoltaicas generan energía eléctrica de forma proporcional a la radiación existente en cada momento, siendo esta generación bastante menor en días nublados, y nula durante los periodos nocturnos. También se puede dar el caso en el que los periodos de generación y consumo no coincidan.

Esto hace que para un gran número de situaciones y aplicaciones sea necesario implementar un sistema de acumulación de energía para poder disponer de esta última en su totalidad o cuando sea necesario.

Existen diversos métodos de almacenamiento de energía eléctrica, pero los más comunes y prácticos en una instalación de riego solar son las balsas de agua y las baterías.

Balsas de agua

Este método de acumulación de energía consiste en bombear agua desde un pozo o acequia a un depósito situado a cierta altura en los periodos donde la generación sea mayor que el consumo, transformando la energía eléctrica en energía potencial.

En los periodos donde la generación de energía no sea suficiente para satisfacer el consumo se empleará la reserva de agua para irrigar el cultivo.

Este método apenas requiere mantenimiento, pero necesita de un mayor funcionamiento de la bomba a mayores de ocupar gran cantidad de espacio.

Baterías.

Las baterías son el método de acumulación de energía eléctrica por excelencia, ofreciendo una gran flexibilidad y siendo empleadas en la mayoría de instalaciones fotovoltaicas aisladas.

Su funcionamiento se basa en una reacción química resultado de conectar un ánodo con un cátodo, generando así una corriente eléctrica que permite cargar o descargar la batería, todo depende del resultado que se pretenda obtener.

Existe un gran número de diferentes tipos de batería, amoldándose cada una a las distintas tareas a las que están destinadas.

Las baterías son una buena opción para la acumulación de energía por su rapidez y flexibilidad, pero su elevado precio y baja vida útil hacen que no sean la mejor opción en determinadas situaciones.

2.4.1.5. Sistema de riego.

No todos los cultivos emplean el mismo sistema de riego, sino que estos se ajustan a las diferentes necesidades de cada uno. Existe una gran variedad de estos sistemas, siendo los más comunes:

- **Riego por aspersión.** Se realiza a través de unos aspersores repartidos por el terreno que se pretende regar, dejándolo humedecido en la medida que se desee. Permiten un gran control y poseen una gran cobertura. Este método es el más común en agricultura.
- **Riego por goteo.** Consiste en dejar caer una gota de forma continua en zonas estratégicas del cultivo. Está formado por una red de tuberías y se caracteriza por la utilización óptima del agua.
- **Riego hidropónico.** Se emplea en aquellos cultivos que necesiten una cantidad de nutrientes superior a la demandada por norma general. El mayor inconveniente es la complejidad que presenta la instalación.
- **Riego por nebulización.** Consiste en pulverizar agua que se evapora para entrar en contacto con el aire. Su función es refrescar el ambiente y se suele implementar en viveros.
- **Riego por gravedad.** Mediante canales situados alrededor de los cultivos se distribuye el agua con el fin de infiltrarse en el terreno, conectando así con los cultivos.
- **Riego por inundación.** Se trata de inundar el terreno con la cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades hídricas del terreno. [19]



Imagen 13. Fotografía de un pivote destinado para el riego. [20]

2.5. Datos de radiación y PVGIS.

Antes de explicar qué es *PVGIS* y todo lo que ofrece se recordará nuevamente el objetivo del proyecto, el cual trata de diseñar una planta de riego fotovoltaica a partir de las necesidades hídricas de un cultivo, y para ello se partirá de los datos horarios de radiación de un periodo determinado. Todo esto será explicado más adelante.

2.5.1. Definición de PVGIS.

PVGIS es una aplicación web gratuita desarrollada por la Comisión Europea, que permite al usuario obtener datos e información acerca de la radiación solar y la producción fotovoltaica en un gran número de zonas alrededor del planeta.

PVGIS da la opción de obtener los datos de radiación mensual, diaria u horaria, por ello la aplicación requiere de un número de datos previos los cuales deben de ser introducidos por el usuario a la hora de obtener los resultados.

El dato principal es la ubicación, esta puede ser introducida mediante coordenadas, buscando la dirección, o simplemente “*pinchando*” en un mapa que ofrece el propio programa.

Otro dato importante a tener en cuenta es la base de datos que se va a emplear para la obtención de datos. Dependiendo de la base de datos escogida para trabajar se tendrá información de una u otra parte del mundo, teniendo en cuenta que la metodología a la hora de obtener los datos puede cambiar.

El software *PVGIS* cuenta con 4 bases de datos, *SARAH*, *SARAH2*, *NSRDB* y *ERA5*, mostrando cada una los datos de distintas zonas del planeta y empleando metodologías diferentes.

El usuario deberá introducir ciertos datos referentes a la instalación fotovoltaica tales como la potencia pico, la inclinación de los paneles, el grado de azimut, la tecnología de paneles empleada y las pérdidas del sistema.

Para finalizar *PVGIS* devuelve los resultados mediante una variedad de opciones como gráficos, tablas *Excel* o *PDF*. [21]

2.5.2. Base de datos SARA2.

La base de datos escogida para este proyecto es la base SARA2, siendo los principales motivos por los cuales se escoge esta herramienta su área de trabajo, ya que cubre Europa, África, gran parte de Asia y algunas regiones de Sudamérica, su modernidad y su amplio abanico de tiempo que lleva recopilando datos.

La base de datos SARA2 es generada a través de imágenes captadas por el satélite METEOSAT quien captura las imágenes cada 15 o 20 minutos. Además la base de datos SARA2 se ayuda de la aplicación CMSAF (*Satellite Application Facility on Climate Monitoring*), que mediante el monitoreo satelital a lo largo del tiempo genera estas bases de datos. [21][22]

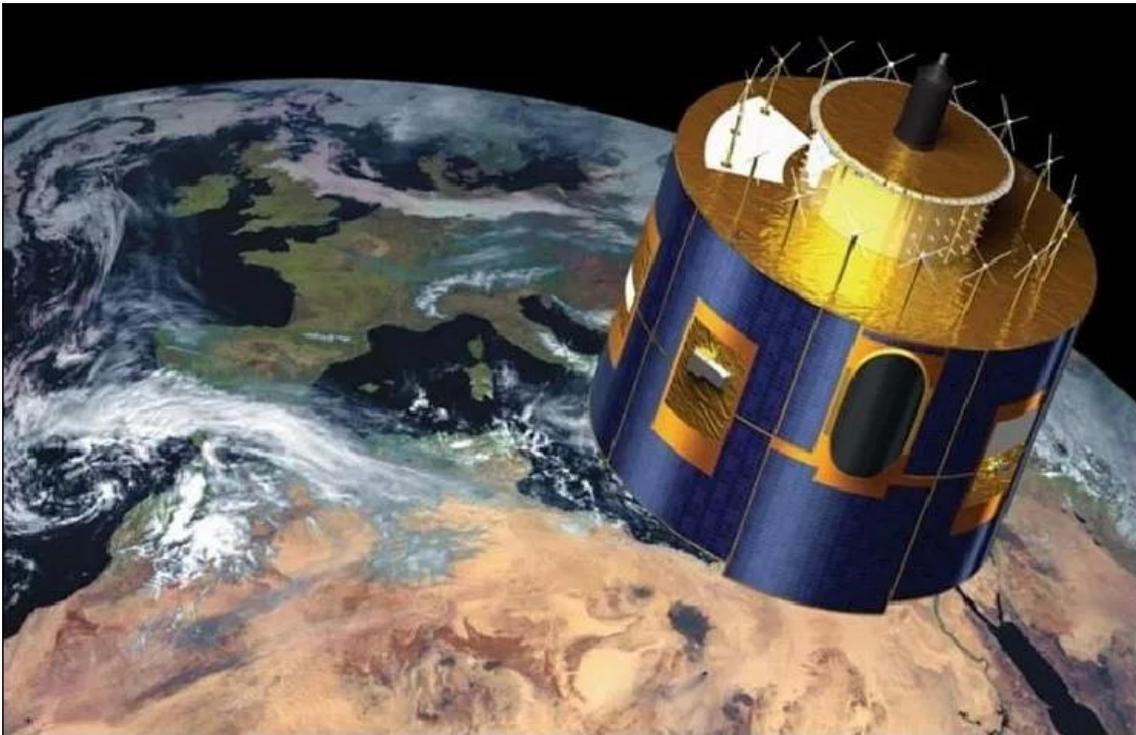


Imagen 14. Ilustración del satélite METEOSAT. [23]

2.5.3. Ventajas de emplear datos satelitales.

La mejor forma de medir la radiación solar es usar sensores de alta calidad situados a nivel de suelo, el inconveniente que se puede presentar es que para que los datos tomados por los sensores sean útiles se han de cumplir unos requisitos exigentes.

- La calidad y precisión de estos ha de ser muy alta.
- Las mediciones que toman se deben tomar de forma horaria.
- Se han de calibrar y limpiar frecuentemente.
- Los datos deben de estar disponibles durante un largo periodo de tiempo.

La realidad es que el número de dispositivos y elementos que cumplen estos criterios es muy bajo encontrándose la mayoría en las estaciones meteorológicas, las cuales están muy alejadas entre sí, lo que resta precisión en la mayoría de zonas a la hora de adquirir datos. Por este motivo se emplean **satélites geoestacionarios** para monitorizar la meteorología, aportando las siguientes ventajas:

- Cubren una muy gran superficie.
- Disponen de bases de datos con datos de más de 30 años.

La toma de datos mediante satélite también presenta sus desventajas, como necesitar de algoritmos matemáticos muy complejos a la hora de realizar los cálculos de radiación, debido a que estos no solo tienen en cuenta datos satelitales, sino que también emplean datos del vapor de agua que hay en la atmósfera, los aerosoles y el ozono.

Factores como la nieve, la cual puede ser confundida con nubes, o las tormentas de arena, que dificultan la captación de imágenes, hacen que se pierda precisión a la hora de tomar datos. Además las zonas polares quedan descubiertas.

Los datos de radiación obtenidos mediante la imagen por satélite han de ser comparadas con los datos medidos por los instrumentos situados en las estaciones meteorológicas, todo ello con el fin de tener presente una idea de la incertidumbre que se puede presentar.

A pesar de todo lo anteriormente mencionado la toma de datos de radiación mediante el monitoreo satelital es la mejor opción a día de hoy. [24]

2.5.4. Cálculo de la radiación solar a partir de los datos satelitales.

Los cálculos mediante los cuales PVGIS obtiene los datos de radiación a partir de las imágenes captadas por el satélite METEOSAT son bastante complejos. Todos ellos fueron diseñados por **Ana Gracia Amillo, Thomas Huld, y Richard Müller** quienes los plasmaron en el artículo científico *A New Database of Global and Direct Solar Radiation Using the Eastern Meteosat Satellite, Models and Validation.* [25]

Sin embargo los métodos que emplea PVGIS para calcular la radiación son bastante más sencillos.

Cloud albedo.

Este método emplea las imágenes captadas por el satélite para estimar la influencia de las nubes en la radiación solar, ya que estas tienden a reflejar la luz del sol y como consecuencia la superficie terrestre recibe menos radiación.

La reflectividad que provocan las nubes es calculada observando el mismo píxel de las imágenes captadas por satélite durante todo el tiempo a lo largo de un mes. Este método asume que el píxel más oscuro del mes corresponde al momento donde el cielo estaba más despejado de nubes, a partir del cual se calcula la radiación correspondiente al resto de los días. Este método es calculado de forma horaria.

Clear-Sky irradiance.

Con este método se calcula la radiación solar que llega al suelo en condiciones de cielo despejado teniendo en cuenta las cantidades de aerosol (*polvo, partículas, etc.*), vapor de agua y ozono que hay en la atmósfera. Esto es debido a que dichos elementos absorben la radiación solar en unas determinadas longitudes de onda.

Juntando los dos métodos anteriores se obtiene el resultado final de la radiación solar que llega al suelo funcionando bien por norma general, pero en determinadas ocasiones puede fallar.

La nieve es confundida con nubes lo que origina que en las zonas nevadas el método *Cloud albedo* puede falsear la realidad y determinar que hay una radiación demasiado baja cuando no la hay.

Los datos de presencia de aerosoles en la atmósfera no son exactos ya que se obtienen mediante históricos, por lo que los parámetros y resultados obtenidos mediante el método *Clear-Sky irradiance* pueden fallar. Las tormentas de arena y las erupciones volcánicas son confundidas con partículas de polvo en la atmósfera lo que también falsean los cálculos y por tanto los resultados. [24]

2.5.5. Validación de los datos de PVGIS.

Como se ha mencionado con anterioridad los datos obtenidos mediante las imágenes del satélite son comparadas y contrastadas con los datos captados por las estaciones meteorológicas situadas en la superficie terrestre. Existe un elevado número de artículos científicos que muestran los procesos y resultados de los datos obtenidos por los satélites con respecto a los de las estaciones meteorológicas, aunque la mayoría de los datos tomados en estas instalaciones provienen de *Baseline Surface Radiation Network (BSRN)*, quien proporciona mediciones de radiación solar de alta calidad para estaciones terrestre alrededor de todo el mundo.

Los datos horarios de la radiación global horizontal con los que trabaja la base de datos *SARAH2* han sido validados con las mediciones tomadas por un conjunto de estaciones *BSRN*, y los datos de estas han sido pre-procesados antes de ser utilizados en la propia validación. [24]

2.6. Evapotranspiración.

2.6.1. Concepto de evapotranspiración.

La evapotranspiración es el proceso mediante el cual un cultivo se deshidrata, siendo esta la combinación de dos procesos separados, la evaporación a través del suelo y la transpiración del propio cultivo. Estos dos fenómenos ocurren de forma simultánea y es prácticamente imposible distinguirlos entre sí.

La evapotranspiración se expresa en *mm* por unidad de tiempo, además de presentar tres variantes.

- **Evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{To}).** Se trata de la evapotranspiración que ocurre en un cultivo de referencia, consistiendo este en un pasto con unas condiciones específicas y óptimas dadas.
- **Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (E_{Tc}).** Consiste en la evapotranspiración de cualquier cultivo exento de enfermedades y plagas, con buena fertilización, desarrollado en amplias parcelas y bajo unas condiciones óptimas de suelo y agua, alcanzando así la máxima producción conforme al clima predominante.
- **Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (E_{Tcaj}).** Hace referencia a la evapotranspiración de los cultivos que crecen bajo unas condiciones no estándar, ya sean plagas y enfermedades, salinidad del suelo, baja fertilidad del terreno y escasez de agua. [26]

2.6.2. Ecuación de Penman - Monteith.

A la hora de calcular las necesidades hídricas de un cultivo es necesario conocer la evapotranspiración de este bajo unas condiciones estándar.

En 1948, **Penman** combinó el balance energético con el método de transferencia de masa para derivar una ecuación con la que poder calcular la evaporación de una superficie abierta de agua a partir de datos climáticos estándar de horas de sol, humedad en el ambiente, temperatura y velocidad del viento.

Posteriormente el método de *Penman* fue desarrollado por diversos investigadores introduciendo factores de resistencia. A este método se le bautizó como el método combinado de **Penman - Monteith**.

En 1990 un grupo de expertos e investigadores organizados por la **FAO** en colaboración con la **Comisión Internacional para el Riego y Drenaje**, y la **Organización Meteorológica Mundial**, recomendó la adopción del método combinado de *Penman - Monteith* como nuevo método estandarizado para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, y pautó el desarrollo de los diferentes parámetros que tienen influencia.

Este método pasó a denominarse Método **FAO Penman-Monteith**, enfocándose en un cultivo de referencia hipotético con una altura asumida de 0,12m, una resistencia superficial de 70 s/m y un albedo de 0,23, representando una evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado.

La evapotranspiración puede ser calculada mediante la siguiente ecuación. [26]

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

Donde

- **ET_o**: Evapotranspiración de referencia (mm/día).
- **R_n**: Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²día).
- **G**: Densidad del flujo del calor del suelo (MJ/m²día).
- **T**: Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C).
- **Δ**: Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor en *Thr* (kPa/°C).
- **γ**: Constante psicométrica (kPa/°C).
- **e_s**: Presión de saturación de vapor (kPa).
- **e_a**: Presión real de vapor (kPa).
- **U₂**: Velocidad del viento a 2 m del suelo (m/s).

2.6.3. Ecuación de FAO Penman - Monteith para periodos horarios.

Esta ecuación es más adecuada para zonas donde durante el día se producen cambios substanciales en la velocidad del viento, la temperatura del punto de condensación o la nubosidad. Esta expresión cambia un poco respecto a la ecuación de FAO Penman- Monteith original, teniendo que modificar ciertos procedimientos. Viene representada por la siguiente expresión. [26]

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{37}{Thr + 273} u_2(e^\circ(Thr) - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

Donde

- **ET_o**: Evapotranspiración de referencia (*mm/hora*).
- **R_n**: Radiación neta en la superficie de referencia (*MJ/m²hora*).
- **G**: Densidad del flujo del calor del suelo (*MJ/m²hora*).
- **Thr**: Temperatura media del aire cada hora (*°C*).
- **Δ**: Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor en Thr (*kPa/°C*).
- **γ**: Constante psicométrica (*kPa/°C*).
- **e[°](Thr)**: Presión de saturación de vapor a temperatura del aire Thr (*kPa*).
- **e_a**: Promedio horario de la presión real de vapor (*kPa*).
- **U₂**: Promedio horario de la velocidad del viento a 2 m del suelo (*m/s*).

La ecuación depende únicamente de los parámetros de temperatura, radiación neta, humedad del ambiente y velocidad del viento.

3. MEMORIA DE DISEÑO.

3.1. Caso de estudio.

El proyecto se centrará en el cultivo de **girasol** en una parcela situada en la localidad de **Villalobón**, provincia de **Palencia**, con una superficie total de 39,74 hectáreas. El objetivo es realizar un sembrado completo de esta con el fin de obtener el mayor rendimiento posible.



Imagen 15. Ubicación de la parcela.

Las necesidades hídricas del cultivo se satisfarán a través de una acequia que discurre a escasos metros de la parcela.

El lugar presenta una climatología adecuada para el cultivo del girasol, recibiendo numerosas horas de sol y temperaturas cálidas durante la época de siembra.

3.2. Necesidades de la instalación.

Antes de comenzar a dimensionar la instalación de riego fotovoltaica es necesario conocer las necesidades que presenta el cultivo para poder suplirlas.

Las primeras necesidades que se han de calcular son los requerimientos hídricos de dicho cultivo, es decir, la cantidad de agua que se ha de aportar, en este caso al girasol, para que este crezca en las mejores condiciones posibles.

Seguidamente se procederá a calcular las necesidades de potencia con el fin de diseñar una instalación que funcione de la forma más óptima y durante el mayor tiempo posible, todo ello con el objetivo de suplir las necesidades hídricas calculadas anteriormente.

3.2.1. Necesidades hídricas.

No todos los cultivos son iguales, sus necesidades de luz, de riego, su tiempo de crecimiento, el suelo donde se planta, etc. varía en función del cultivo que se pretenda desarrollar. En este caso se va a plantar girasol, un vegetal que requiere cantidades exigentes de humedad, con una temperatura de crecimiento de hasta 30°C. Su ciclo de crecimiento puede llegar hasta los 140 días, estableciendo su periodo de cultivo idóneo entre el día 1 de Abril y el día 6 de Agosto. [27]

Existe una gran variedad de softwares que pueden calcular las necesidades hídricas de un cultivo, siendo el más conocido el **Cropwat 8.0**, desarrollado por la **FAO** (*Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura*). Este software proporciona multitud de información útil referida a los cultivos y sus características, pero de momento no es capaz de calcular las necesidades hídricas de un cultivo de forma horaria, aunque se empleará para comparar resultados más adelante.

Los requerimientos hídricos del girasol se obtendrán mediante el cálculo de la evapotranspiración del cultivo bajo unas condiciones dadas.

3.2.1.1. Obtención de datos mediante PVGIS.

Empleando el software PVGIS se puede obtener una serie de datos climáticos de forma horaria seleccionando una ubicación de estudio, en este caso las coordenadas correspondientes a la parcela serán **42.021, -4.503**, y la base de datos será la **SARAH2**. El periodo de tiempo escogido será desde **2018** hasta **2020**.

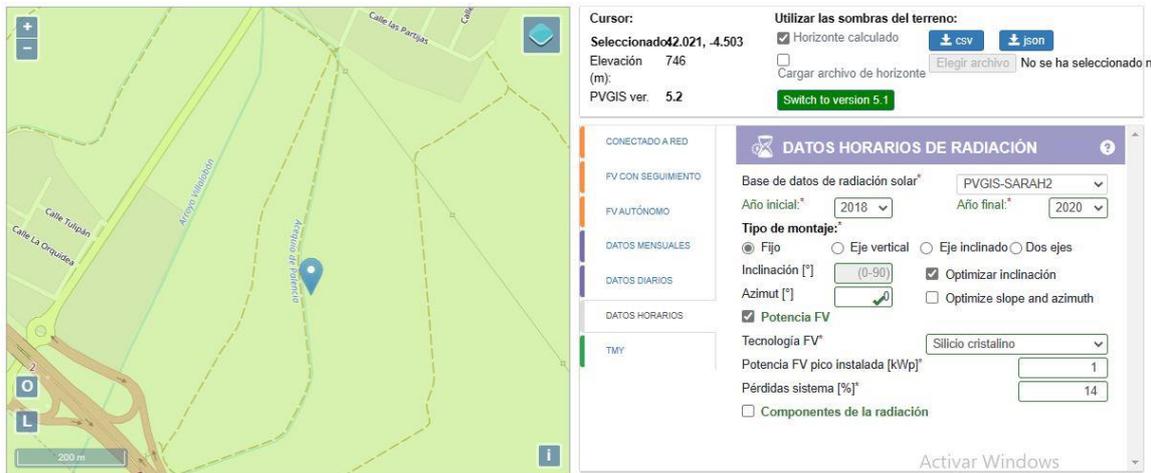


Imagen 16. Interfaz del software PVGIS. [28]

Los parámetros referentes a la potencia fotovoltaica de momento no son necesarios, por lo que se seleccionarán los que trae el programa por defecto.

PVGIS proporciona mediante una tabla Excel los siguientes datos:

- Radiación global (W/m^2).
- Altura solar ($^\circ$).
- Temperatura del aire ($^\circ C$).
- Velocidad del viento a 10 m (m/s).

3.2.1.2. *Parámetros de la ecuación de FAO Penman – Monteith.*

Para el cálculo de la evapotranspiración horaria es necesario emplear la fórmula de *Penman – Monteith* para periodos horarios. Esta ecuación trata con una serie de parámetros no proporcionados por *PVGIS*, existiendo la necesidad de desarrollar estos últimos en función de los datos iniciales dados por el software

Estos parámetros son:

Densidad de flujo de calor del suelo (G).

La densidad de flujo del calor del suelo es la energía que se emplea para el calentamiento de la superficie terrestre, tomando valores positivos si esta se calienta y negativos cuando esta se enfría. Este flujo es pequeño en comparación con la radiación, pero se ha de tener en cuenta a la hora de calcular la evapotranspiración de un cultivo.

Para los cálculos horarios G se puede estimar como. [26]

$$G = 0,1 \times Rn$$

Siendo Rn la radiación neta.

Presión de saturación de vapor (e^0).

Cuando un volumen de aire se encuentra retenido sobre una superficie de agua aparece un equilibrio entre las moléculas de aire que se incorporan al agua y las moléculas de agua que se incorporan al aire, es en este punto cuando el aire está saturado ya que no admite ninguna molécula más de agua. La presión resultante se conoce como la presión de saturación de vapor, siendo directamente proporcional con la temperatura del aire.

Viene determinada por la siguiente expresión. [26]

$$e^0 = 0,611 \times \exp\left(\frac{17,27 \times T}{T + 237,3}\right)$$

Siendo T la temperatura.

Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor (Δ).

La pendiente de la curva de presión de saturación de vapor es la relación existente entre la presión de saturación de vapor y la temperatura.

La expresión que la define es. [26]

$$\Delta = \frac{4098 \times \left[0,6108 \times \exp\left(\frac{17,27 \times T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2}$$

Siendo T la temperatura.

Promedio horario de la presión real de vapor (e_a).

La presión real de vapor es la medida de la cantidad de vapor de agua existente en el aire, calculándose esta a partir de datos de humedad relativa.

PVGIS no proporciona datos de humedad de forma horaria, por lo que es necesario estimar el valor de la presión real de vapor promedio.

Se supondrá que la temperatura de rocío es similar a la temperatura mínima del día. Al asumir que a la salida del sol, cuando la temperatura es próxima a la temperatura mínima diaria, el aire está prácticamente saturado y la humedad relativa presente es del 100%.

El promedio horario de la presión real de vapor viene definido por la siguiente expresión. [26]

$$e_a = 0,611 \times \left(\exp \frac{17,27 \times T_{min}}{T_{min} + 237,3} \right)$$

Siendo T_{min} la temperatura mínima del día.

Velocidad del viento (U_2).

La velocidad del viento tiene una gran influencia en la evapotranspiración de un cultivo, viéndose reducida por la fricción superficial. Cuanto mayor sea la proximidad al suelo la velocidad del viento disminuye, lo que provoca una menor evapotranspiración del cultivo.

En las estaciones meteorológicas los anemómetros están situados a una altura estándar fijada de 10 m, pero en agrometeorología la altura con la que se trabaja es de 2 m.

PVGIS proporciona los datos de velocidad del viento a una altura de 10 m, siendo necesario realizar una conversión de la velocidad del viento a una altura de 2 m.

La siguiente expresión relaciona los dos niveles de altura. [26]

$$U_2 = U_z \frac{4,87}{\ln(67,8 z - 5,42)}$$

Siendo:

- U_2 : Velocidad del viento a 2 metros sobre el nivel del suelo.
- U_z : Velocidad del viento a Z metros sobre el nivel del suelo.
- Z: Altura de medición sobre la superficie.

Constante psicométrica (γ).

Esta constante permite relacionar la presión parcial de vapor con la temperatura del aire. Para una altura de 700 m toma un valor de $0,062 \text{ kPa}/^\circ\text{C}$. [26]

3.2.1.3. Cálculo de la evapotranspiración.

Una vez estudiados los datos proporcionados por *PVGIS* se procederá a programar una calculadora con la ecuación de *Penman – Monteith* en el programa *Excel*, convirtiendo los datos a las unidades correspondientes y realizando las operaciones que figuran en la ecuación.

El resultado muestra la evapotranspiración de referencia de forma horaria durante un periodo de 3 años, viniendo esta expresada en *mm/h*. El software *Cropwat* muestra la evapotranspiración en periodos de diez días, por lo que se deberán sumar los resultados de las evapotranspiraciones en bloques de 240, correspondiendo cada bloque a la evapotranspiración total de una década.

Para calcular la evapotranspiración de un cultivo *Cropwat* aplica un coeficiente a la evapotranspiración de referencia, dependiendo esta del cultivo a sembrar. Este coeficiente proporcionado por el software se empleará en el cálculo de la evapotranspiración del girasol, para posteriormente compararla con la del propio software y analizar sus resultados.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

2018			
Década/mes	ET _o (mm/dec)	K (Cropwat)	ET _c (mm/dec)
1º Abril	34.12	0.35	11.94
2º Abril	45.58	0.35	15.95
3º Abril	49.07	0.39	19.14
1º Mayo	57.96	0.60	34.77
2º Mayo	58.93	0.84	49.50
3º Mayo	48.01	1.09	52.33
1º Junio	42.15	1.19	50.16
2º Junio	66.00	1.19	78.53
3º Junio	73.83	1.19	87.85
1º Julio	65.68	1.19	78.16
2º Julio	67.51	1.12	75.61
3º Julio	86.25	0.78	67.28
1º Agosto	81.25	0.47	38.19

Imagen 17. Resultados de la evapotranspiración año 2018.

2019			
Década/mes	ET _o (mm/dec)	K (Cropwat)	ET _c (mm/dec)
1º Abril	35.07	0.35	12.27
2º Abril	42.70	0.35	14.95
3º Abril	53.45	0.39	20.84
1º Mayo	54.33	0.60	32.60
2º Mayo	63.88	0.84	53.66
3º Mayo	79.82	1.09	87.00
1º Junio	60.10	1.19	71.51
2º Junio	68.46	1.19	81.47
3º Junio	78.88	1.19	93.86
1º Julio	72.75	1.19	86.58
2º Julio	79.18	1.12	88.68
3º Julio	77.81	0.78	60.69
1º Agosto	49.27	0.47	23.16

Imagen 18. Resultados de la evapotranspiración año 2019.

2020			
Década/mes	ET _o (mm/dec)	K (Cropwat)	ET _c (mm/dec)
1º Abril	40.08	0.35	14.03
2º Abril	34.54	0.35	12.09
3º Abril	40.15	0.39	15.66
1º Mayo	52.72	0.60	31.63
2º Mayo	56.98	0.84	47.86
3º Mayo	79.21	1.09	86.34
1º Junio	46.92	1.19	55.84
2º Junio	61.48	1.19	73.16
3º Junio	68.68	1.19	81.73
1º Julio	75.70	1.19	90.08
2º Julio	80.74	1.12	90.43
3º Julio	90.56	0.78	70.63
1º Agosto	49.22	0.47	23.14

Imagen 19. Resultados del cálculo de la evapotranspiración año 2020.

El siguiente paso a realizar será comparar los resultados obtenidos mediante la calculadora programada con los proporcionados por el software *Cropwat*.

ETc (mm/dec)				
Cropwat	2018	2019	2020	Diferencia media
9.3	11.94	12.27	14.03	3.45
10.6	15.95	14.95	12.09	3.73
12.7	19.14	20.84	15.66	5.85
21.5	34.77	32.60	31.63	11.50
32.3	49.50	53.66	47.86	18.04
50.3	52.33	87.00	86.34	24.93
54.1	50.16	71.51	55.84	5.07
58.3	78.53	81.47	73.16	19.42
62.5	87.85	93.86	81.73	25.32
68.4	78.16	86.58	90.08	16.54
69.1	75.61	88.68	90.43	15.80
50.4	67.28	60.69	70.63	15.80
20.3	38.19	23.16	23.14	7.86

Imagen 20. Comparación de resultados.

Se ha calculado la diferencia de la evapotranspiración de cada década entre los resultados del *Cropwat* y la media de los tres años correspondientes estudio. Los datos del estudio obtenidos tienen una ligera variación con respecto a los proporcionados por el software *Cropwat*, esto se puede deber a diversos factores.

El programa *Cropwat* a la hora de trabajar con los datos climáticos se respalda en el ***Climwat 2.0***, otro software desarrollado por la *FAO* que recoge estos datos climáticos a través de las estaciones meteorológicas del mundo, volcándolos en *Cropwat* con el fin de que este pueda realizar los cálculos pertinentes.

En el caso de estudio los datos proporcionados por *Climwat* provienen de la estación meteorológica de *Autilla del Pino*, la más cercana a la parcela, y aunque no disten más de 12 km la una de la otra la precisión de los datos que se toman disminuye.

Los datos con los que se trabaja en este proyecto son los proporcionados por *PVGIS* que son tomados mediante el monitoreo de satélites, lo que también genera una cierta variación de los datos.

Climwat trabaja con bases de datos mucho más antiguas que con las que trabaja *PVGIS*, y debido al aumento global progresivo de la temperatura que se está

experimentando en los últimos años la diferencia de datos proporcionada por los softwares puede variar. [29]

Por todos estos motivos los resultados de evapotranspiración calculados se toman como correctos. Dados por válidos se procederá a obtener la mayor necesidad de riego por el cultivo con el fin de poder dimensionar los requerimientos de potencia.

Con los resultados obtenidos anteriormente, y transformados a m^3/h , se obtiene que la necesidad de irrigación mayor tiene un valor de **52,86 m^3/h** .

3.2.2. Necesidades de potencia.

Una vez conocida la cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades de riego del girasol, se procederá al cálculo de la energía necesaria para poder aportar dicha cantidad de agua al cultivo.

3.2.2.1. Pérdidas por sistema de riego.

El sistema de riego elegido para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo es el riego por aspersión. Este tiene múltiples beneficios comentados con anterioridad, pero también presenta una serie de pérdidas. Esto crea la necesidad de sobredimensionar ligeramente el caudal necesario para irrigar la parcela.

Durante el riego por aspersión parte del agua emitida por el aspersor se pierde debido a la evaporación y el arrastre por el viento. Estas pérdidas causan un efecto beneficioso en los cultivos ya que disminuyen las pérdidas por evapotranspiración sobre todo en los periodos diurnos.

Estas pérdidas se estiman en un valor medio de 7,6% en periodos diurnos y de 4,4% en periodos nocturnos. Con el fin de satisfacer con creces el déficit de agua debido al riego por aspersión se supondrá unas pérdidas del **10%**, por tanto el nuevo caudal a bombear será de **58,15 m³/h**. [30]

3.2.2.2. Altura hidráulica.

Para calcular las necesidades energéticas requeridas a la hora de regar un cultivo no basta solamente con conocer el caudal de agua necesario, también se ha de calcular la altura hidráulica que se ha de superar.

Se distinguen dos tipos de alturas hidráulicas en una instalación, la altura hidráulica estática y la altura hidráulica dinámica.

La **altura hidráulica estática** es la diferencia de nivel que existe entre la superficie del agua y la bomba. En este caso se va a considerar invariable a lo largo del año y tendrá un valor de 3 metros al tratarse de una acequia.

La **altura hidráulica dinámica** es la estimación en metros de las diferentes pérdidas de carga que puede presentar una instalación, como codos, válvulas, rozamiento, etc. Esta viene determinada por la fórmula de *Hazen - Williams*.

$$h = 10,674 \times \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} \times D^{4,871}} \times L$$

Donde:

- Q : Caudal en m^3/s .
- C : Coeficiente de Hazen-Williams.
- D : Diámetro interno de la tubería en m .
- L : Longitud de la tubería en m .

En este caso se tendrá un caudal de $0,02 m^3/s$, y una tubería de acero galvanizado de $15 cm$ de diámetro interno y $10 m$ de longitud. El coeficiente de *Hazen-Williams* tomará un valor de 100 .

Material	Coeficiente C
Asbesto-cemento	140
Hierro fundido (nueva)	130
Hierro fundido (10 años)	107 - 113
Hierro fundido (20 años)	89 - 100
Hierro fundido (30 años)	75 - 90
Hierro fundido (40 años)	64 - 83
Hormigón	100 - 140
Cobre	130 - 140
Acero	90 - 110
Hierro galvanizado	120
Polietileno	140
Policloruro de vinilo (PVC)	140
Plástico fibroreforzado (FRP)	150

Imagen 21. Tabla con los diferentes coeficientes de Hazen-Williams. [31]

La altura dinámica de la instalación tendrá un valor de $0,1 m$.

También hay que tener en cuenta la presión necesaria por el sistema de riego, ya que un sistema de riego por aspersión, como el que se va a implementar, trabaja con 3 bares de presión lo que se traduce en 30 metros de columna de agua.

Con todos estos factores se puede obtener la altura total de la instalación.

$$H_{Total} = H_{estática} + H_{dinámica} + H_{riego}$$

Y en este caso esta toma el siguiente valor:

$$H_{Total} = 3 + 0,1 + 30 = 33,1 m$$

3.2.2.3. Dimensionamiento de la bomba.

Conocido el caudal a bombear y la altura hidráulica total a superar se puede realizar un dimensionamiento de la bomba.

La potencia requerida por la bomba es función de unos determinados parámetros, y se puede calcular mediante la siguiente expresión. [32]

$$Potencia(kW) = 0,0098 \times \frac{Caudal (L/s) \times Altura\ hidráulica\ total (m)}{Rendimiento\ de\ la\ bomba \times Rendimiento\ del\ motor}$$

Los parámetros de la bomba son los siguientes:

- Caudal (Q) = 58,15 m³/h.
- Altura hidráulica (H) = 33,1 m.

Como no se dispone de los valores de los diferentes rendimientos se han hecho las siguientes suposiciones:

Como la mayoría de las bombas actuales tienen un rendimiento superior al 73% se escogerá este como dato de la ecuación.

Los motores eléctricos tienen rendimientos bastante elevados, entorno al 90%, convirtiendo a este en el rendimiento del motor en la ecuación.

El resultado de potencia será aproximado, por lo que se deberá escoger la bomba que mejor satisfaga las condiciones especificadas.

La resolución de la ecuación da como resultado una potencia de **7,97 kW**.

La bomba que mejor se adapta pertenece a la marca **GRUNDFOS**, concretamente el modelo **NB 50-200/198 AAF2AESBQQEOW1**. Esta presenta un rendimiento del 77%, trabajando a un 81% de su capacidad total a una potencia de **7,711 kW**, y bombeando un caudal de **58,15 m³/h** a una altura de **33,1 m**.

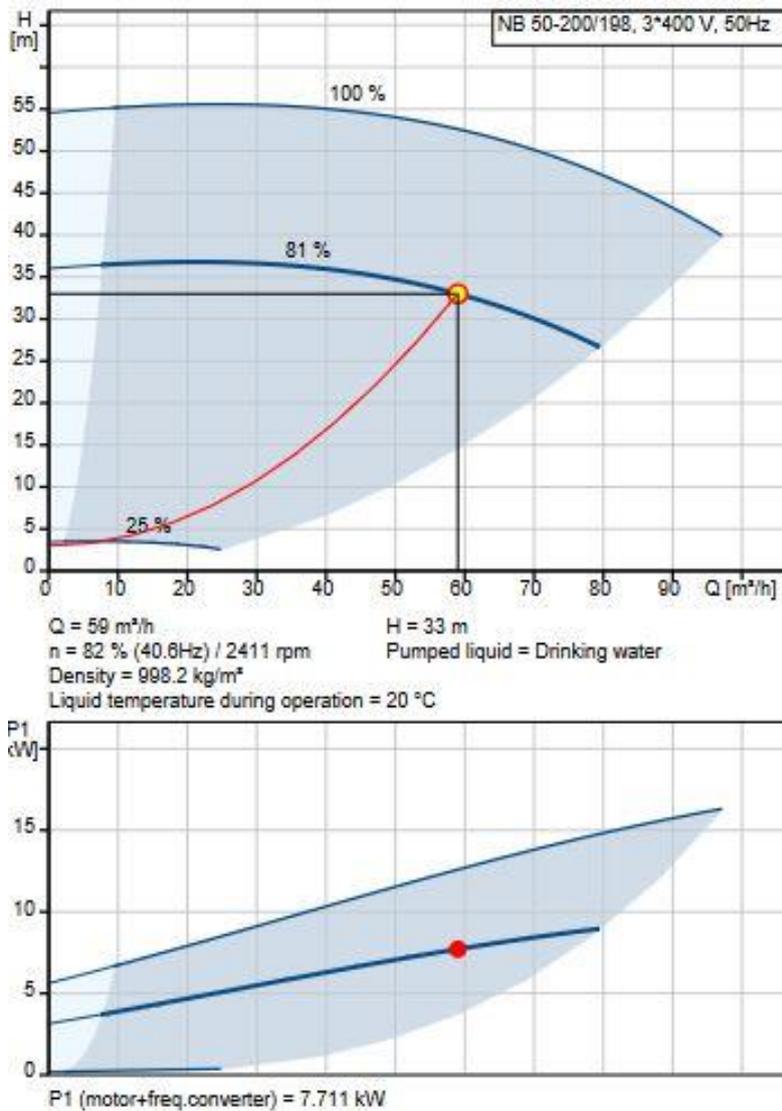


Imagen 22. Curvas de la bomba GRUNDFOS. [33]

3.3. Diseño de la instalación fotovoltaica.

Calculado el caudal horario de riego y la potencia necesarios para accionar la bomba se procederá a diseñar la instalación fotovoltaica que más se adecúe a estas necesidades. Para ello se estudiará la inclinación más óptima de los paneles fotovoltaicos durante el periodo de estudio, el número de paneles solares necesarios para satisfacer la energía necesaria, y la configuración de su colocación y el dimensionando de sus sistemas de protección.

3.3.1. Cálculo de la inclinación óptima.

La inclinación de los paneles es fundamental en el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica, la latitud, la época del año y el consumo son determinantes a la hora de calcular la mejor opción de inclinación.

Lo primero de todo será determinar la relación **consumo/generación** de cada hora, para ello se ha obtenido mediante *PVGIS* la radiación horaria desde el año 2018 hasta el 2020 para las inclinaciones de 15°, 20°, 25°, 30° y 35°. Como consumo se escogerá el máximo necesario por la bomba hidráulica.

Realizada la relación *consumo/generación* se escogerá la que presente el mayor valor dentro de cada inclinación, lo que corresponde a la hora con menor radiación ya que el consumo es constante, y por tanto la que más dificultades presentará a la hora de satisfacer las necesidades energéticas.

Para finalizar se seleccionará la relación *consumo/generación* menor entre la mayor de cada inclinación. Esto corresponde a la hora donde mejor se satisfacen las necesidades energéticas dentro de las horas más pésimas.

Inclinación	15°	20°	25°	30°	35°
Consumo/Generación	7949.48	8032.29	8291.40	8473.63	8863.22

La inclinación más óptima será de **15°**, teniendo esto sentido debido a que el periodo de cultivo del girasol corresponde a los meses de verano, donde la altura solar es mayor y por tanto la inclinación será menor con respecto a la horizontal del suelo.

3.3.2. Cálculo de la potencia de la instalación.

Para dimensionar la potencia necesaria de una instalación fotovoltaica destinada al riego se comparará el caudal necesario para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo con el caudal que la bomba puede aportar en cada momento.

El caudal necesario para el riego se ha obtenido previamente calculando la evapotranspiración del cultivo.

Entre los datos que es capaz de ofrecer *PVGIS* de forma horaria se encuentra el de la potencia que es capaz de suministrar una planta fotovoltaica con una inclinación, potencia pico, y pérdidas del sistema dadas. Como inclinación se escogerá la calculada anteriormente de **15°**, como potencia pico bastará con seleccionar la que viene por defecto de **1kWp**, ya que los datos de potencia que ofrece el software son proporcionales a la potencia pico de la instalación, y como pérdidas del sistema se tomará un valor de **16%** correspondiente a las pérdidas del variador, de la bomba, del cableado y otros factores determinantes como la posible suciedad que se pueda acumular en los paneles fotovoltaicos. Para determinar el caudal que puede aportar la bomba se hará uso de la curva Caudal-Potencia que esta nos proporciona.

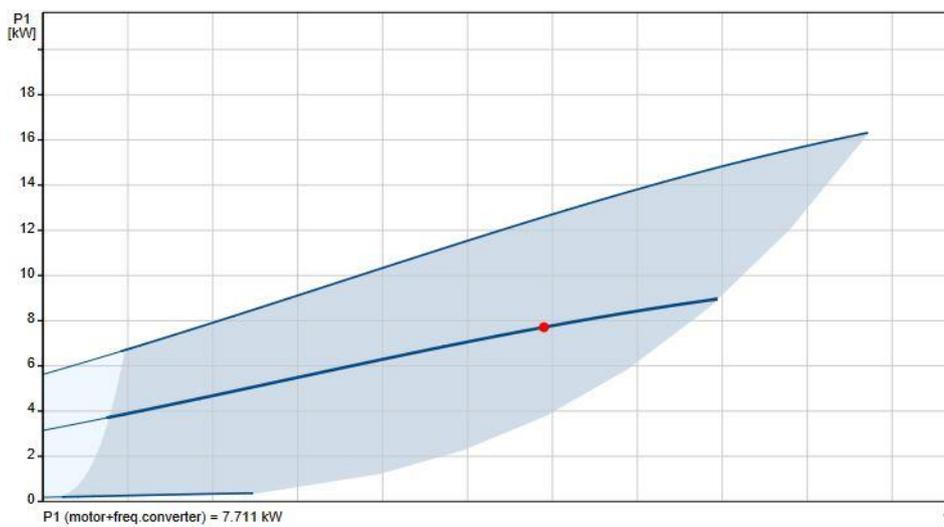


Imagen 23. Curva Q-P de la bomba. [33]

Bastará con dividir la potencia obtenida mediante el software *PVGIS* por la pendiente de la recta, obteniendo así el caudal que puede impulsar la bomba.

Con ayuda del Excel se programa una tabla cuya función sea comparar el caudal necesario y el caudal obtenible de forma diaria. Al incrementar la potencia pico de la instalación lo hará a su vez de forma proporcional el caudal que es capaz de aportar la bomba. Esta comparación se representa en unas gráficas donde el eje horizontal muestra el número de días de cultivo del girasol y el eje vertical el nivel de satisfacción de riego. Se hará de forma porcentual, siendo el 100% las necesidades hídricas del cultivo.

Para realizar el estudio se ha modificado la potencia y analizando los resultados.

Potencia pico de la instalación = 1kWp.

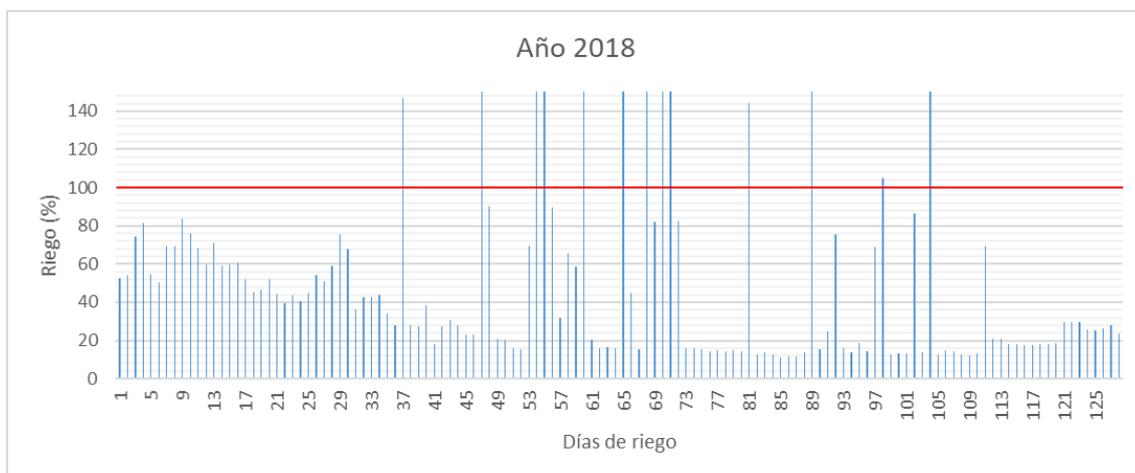


Imagen 24. Satisfacción de riego año 2018 1kWp.



Imagen 25. Satisfacción de riego año 2019 1kWp.



Imagen 26. Satisfacción de riego año 2020 1kWp.

Potencia pico de la instalación = 5kWp.

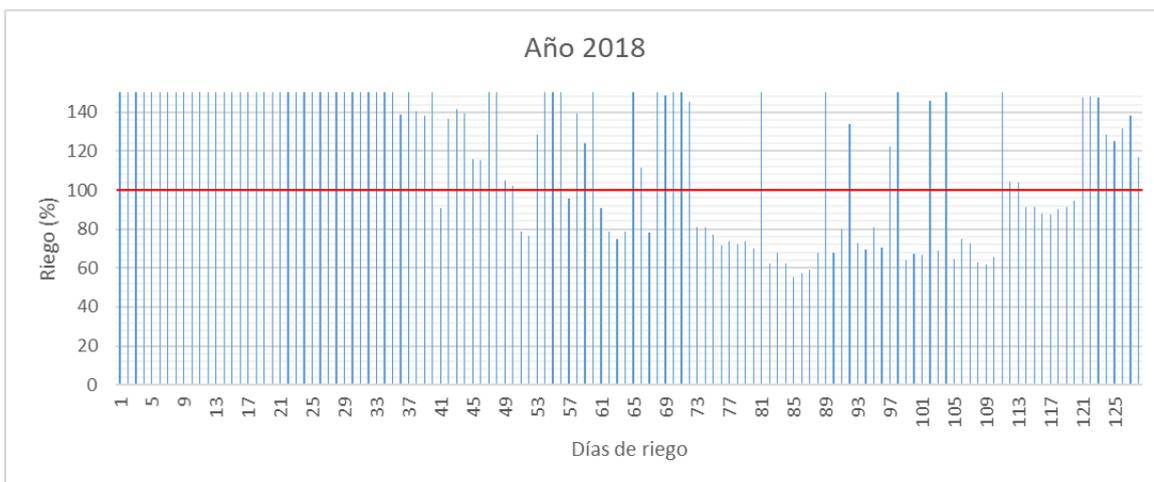


Imagen 27.Satisfacción de riego año 2018 5kWp.

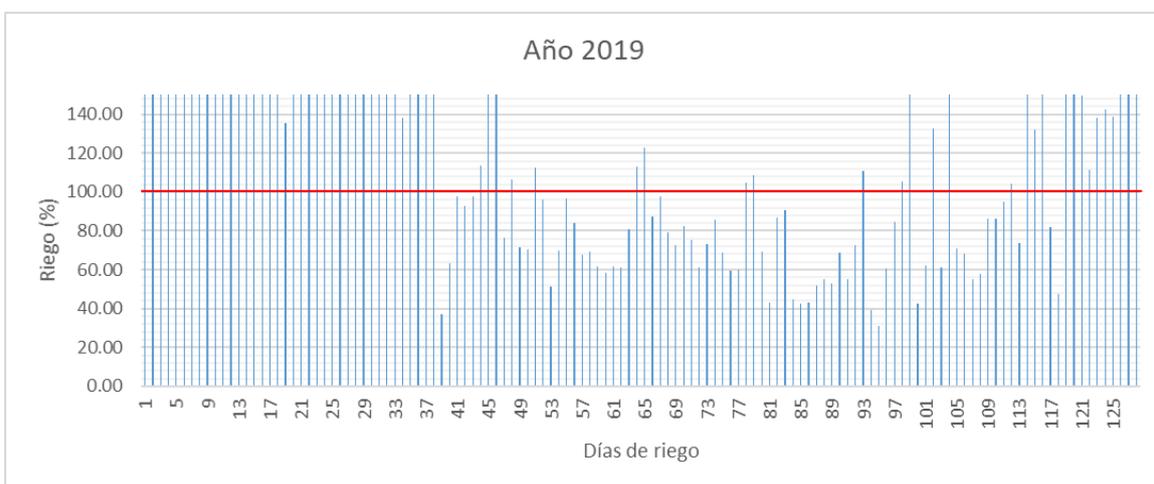


Imagen 28.Satisfacción de riego año 2019 5kWp.



Imagen 29.Satisfacción de riego año 2020 5kWp.

Potencia pico de la instalación = 8kWp.

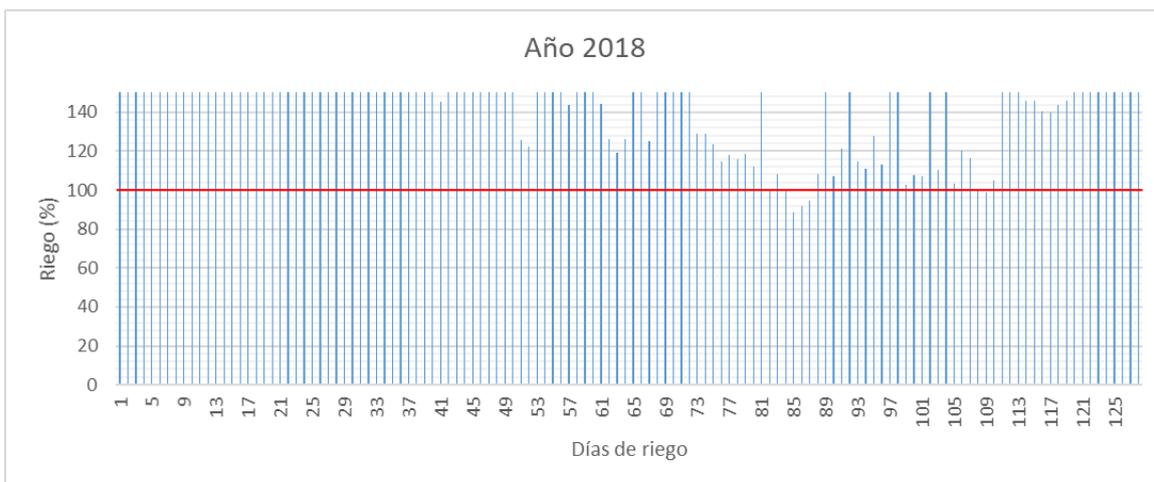


Imagen 30.Satisfacción de riego año 2018 8kWp.

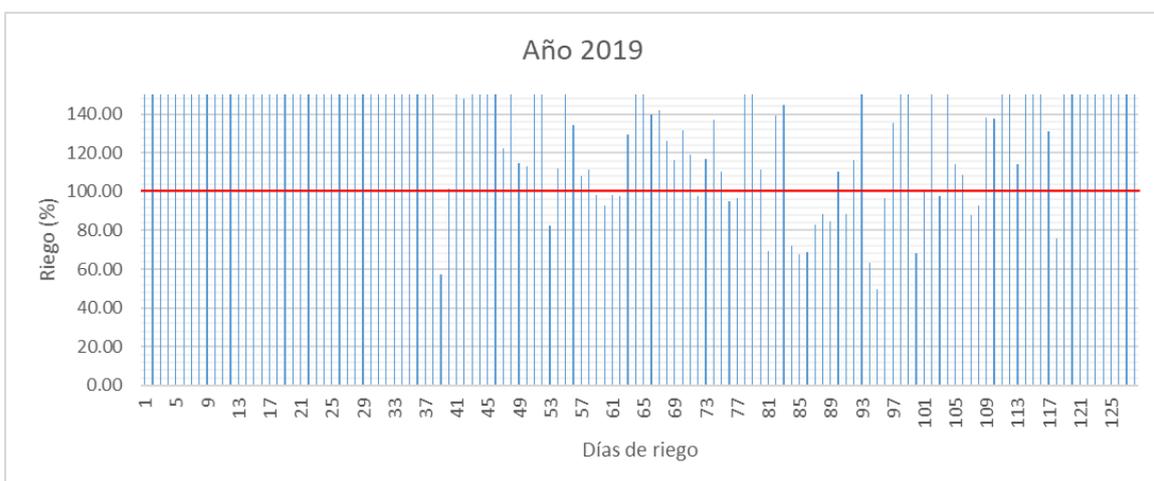


Imagen 31.Satisfacción de riego año 2019 8kWp.

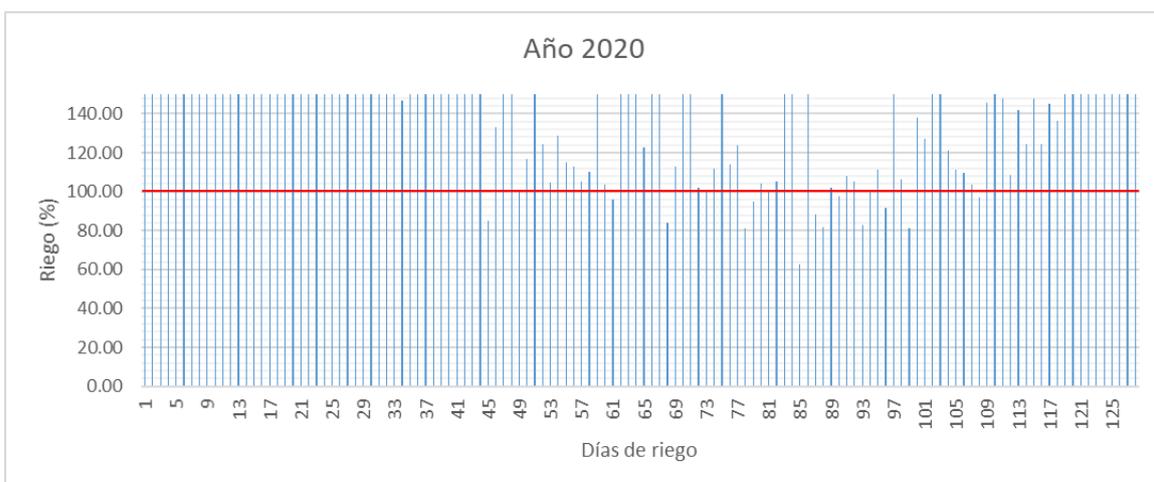


Imagen 32.Satisfacción de riego año 2020 8kWp.

Potencia pico de la instalación = 9kWp.

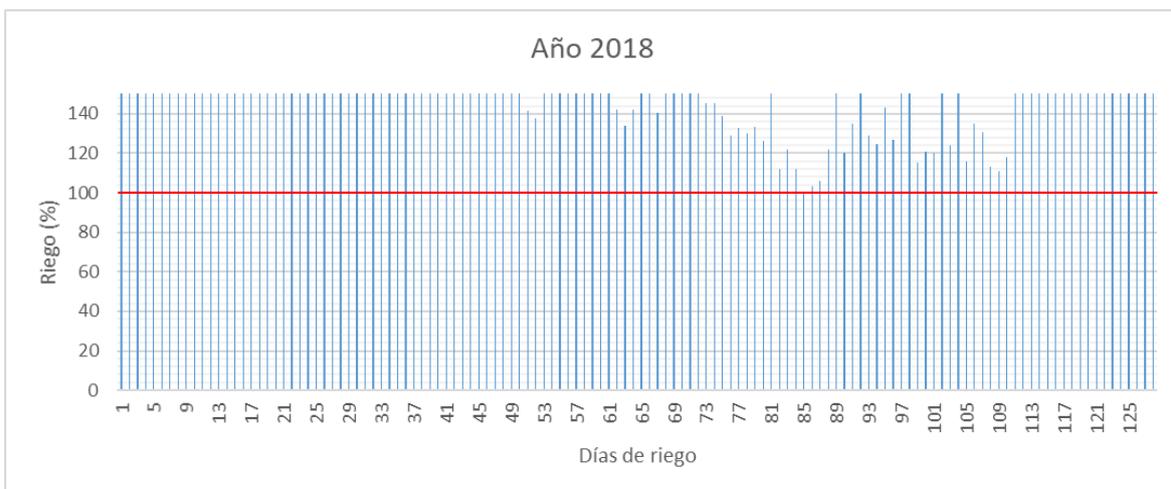


Imagen 33.Satisfacción de riego año 2018 9kWp.

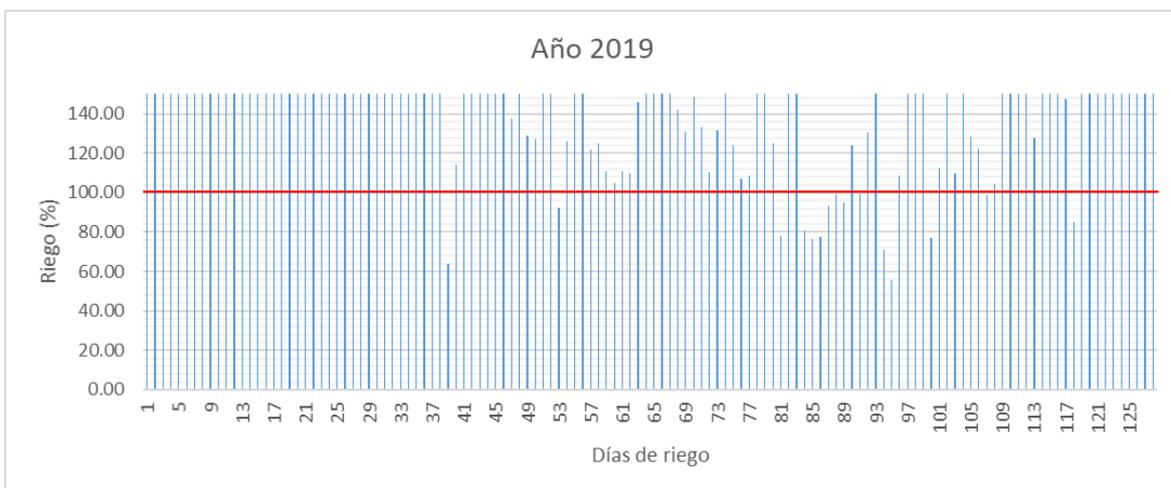


Imagen 34.Satisfacción de riego año 2019 9kWp.

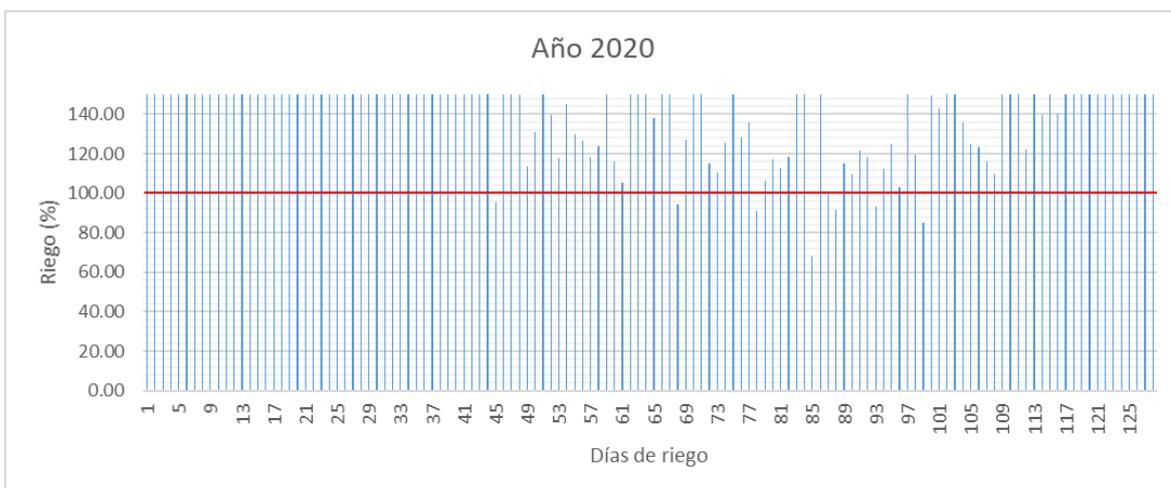


Imagen 35.Satisfacción de riego año 2020 9kWp.

Potencia pico de la instalación = 12kWp.



Imagen 36.Satisfacción de riego año 2018 12kWp.



Imagen 37.Satisfacción de riego año 2019 12kWp.



Imagen 38.Satisfacción de riego año 2020 12kWp.

Otro factor a tener en cuenta son las **precipitaciones diarias** ya que estas ayudan en el aporte hídrico del cultivo sin necesidad de emplear energía eléctrica. Con ayuda de un histórico de precipitaciones se ha representado en una gráfica el caudal obtenible y las precipitaciones frente al caudal necesario. [34]

El resultado ha sido el siguiente:

Potencia pico de la instalación = 1kWp.

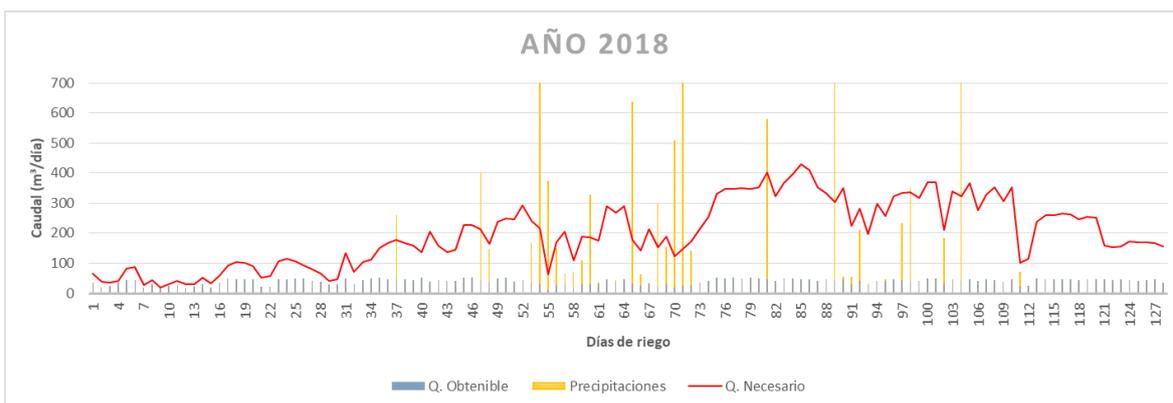


Imagen 39. Representación del aporte hídrico total frente a las necesidades hídricas. Año 2018. 1kWp.

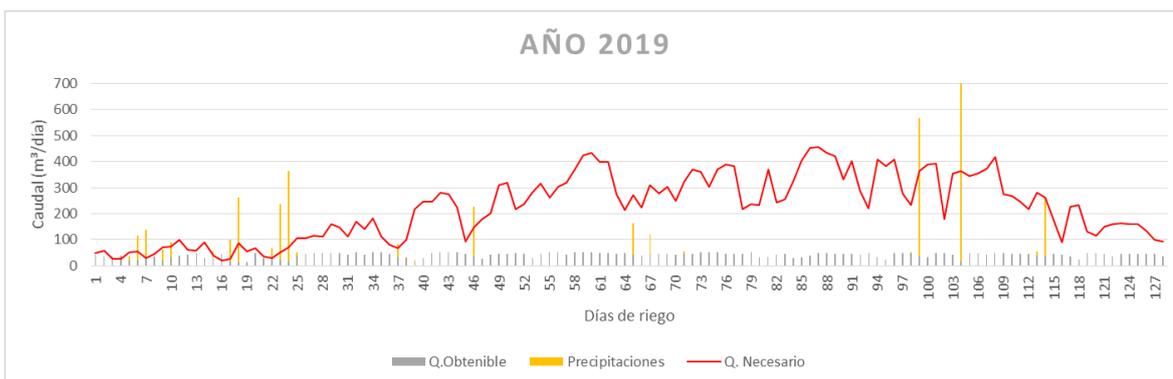


Imagen 40. Representación del aporte hídrico total frente a las necesidades hídricas. Año 2019. 1kWp.



Imagen 41. Representación del aporte hídrico total frente a las necesidades hídricas. Año 2020. 1kWp.

Potencia pico de la instalación = 5kWp.

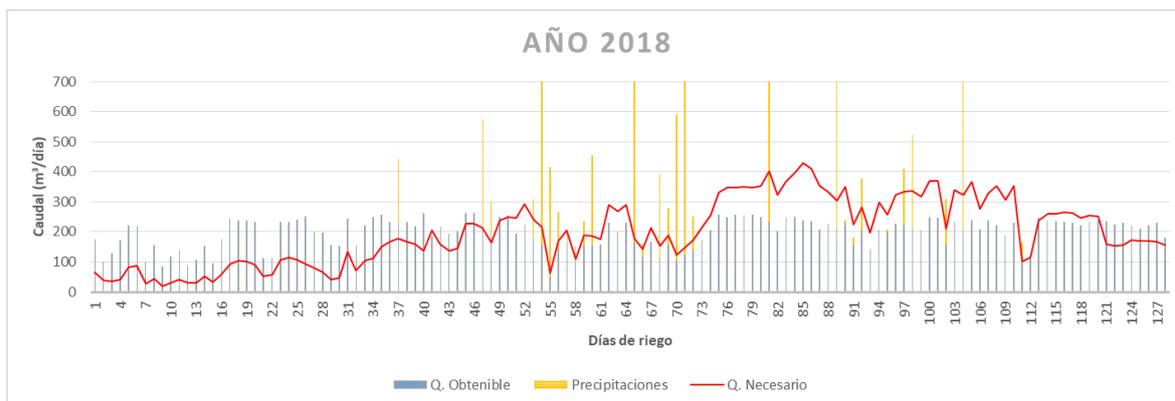


Imagen 42. Representación del aporte hídrico total frente a las necesidades hídricas. Año 2018. 5kWp.

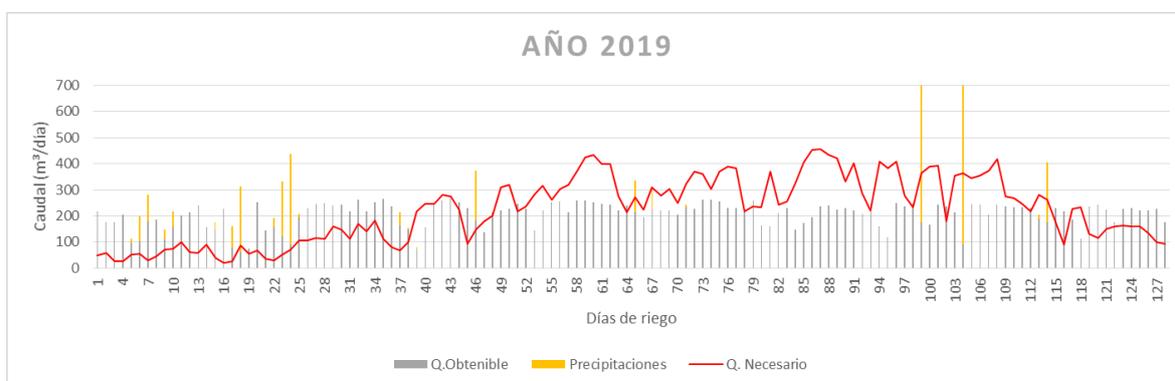


Imagen 43. Representación del aporte hídrico total frente a las necesidades hídricas. Año 2019. 5kWp.



Imagen 44. Representación del aporte hídrico total frente a las necesidades hídricas. Año 2020. 5kWp.

Potencia pico de la instalación = 8kWp.

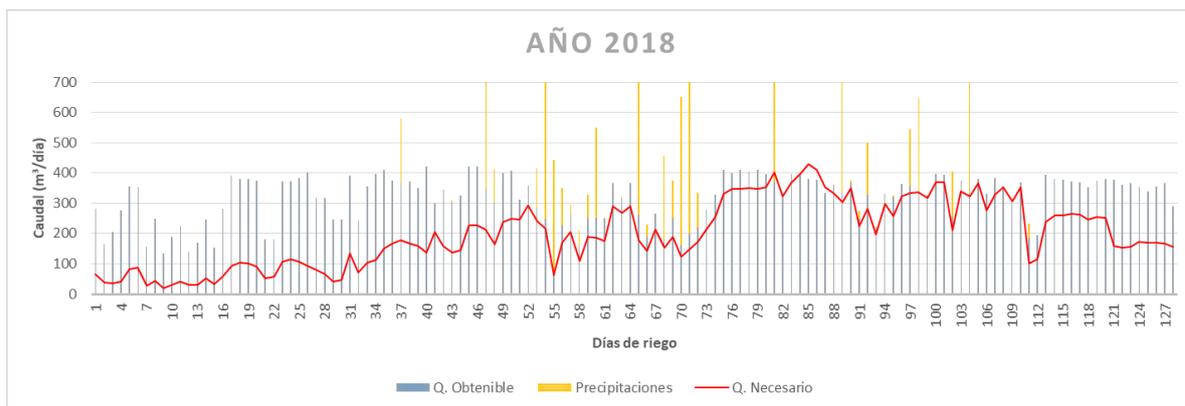


Imagen 45. Representación del aporte hídrico total frente a las necesidades hídricas. Año 2018. 8kWp.

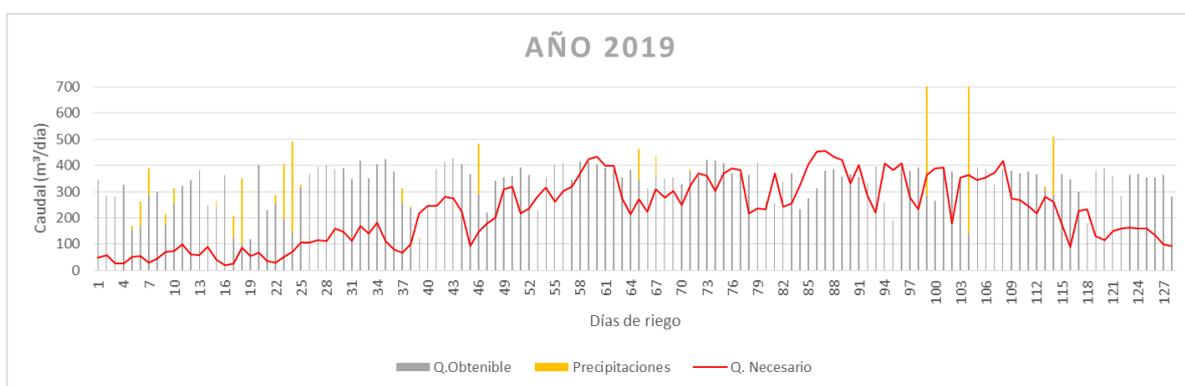


Imagen 46. Representación del aporte hídrico total frente a las necesidades hídricas. Año 2019. 8kWp.



Imagen 47. Representación del aporte hídrico total frente a las necesidades hídricas. Año 2020. 8kWp.

Potencia pico de la instalación = 9kWp.

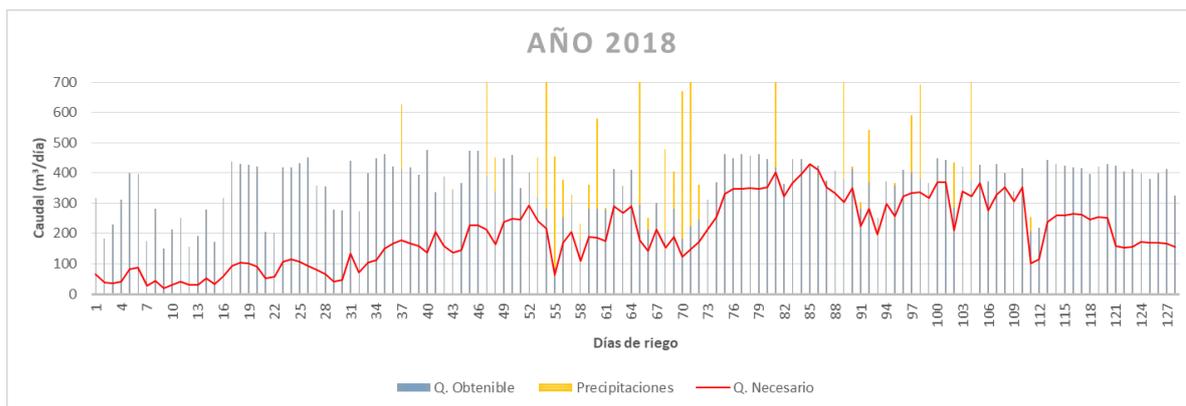


Imagen 48. Representación del aporte hídrico total frente a las necesidades hídricas. Año 2018. 9kWp.

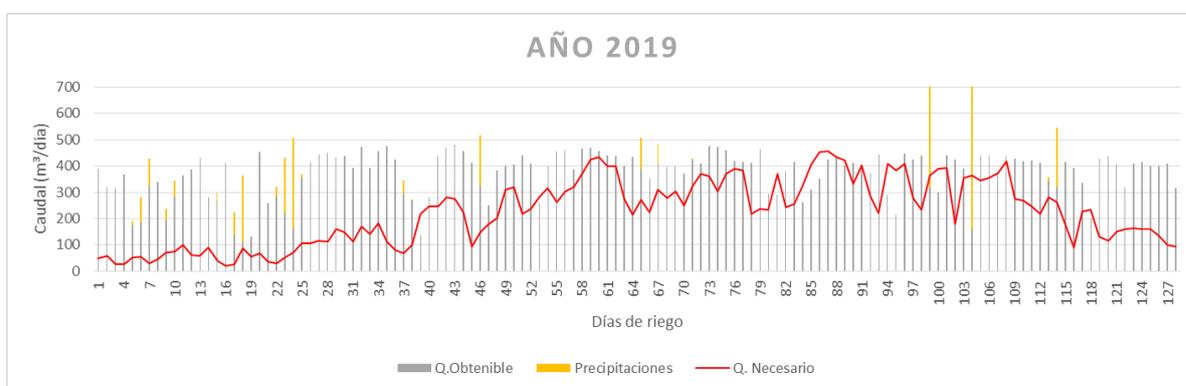


Imagen 49. Representación del aporte hídrico total frente a las necesidades hídricas. Año 2019. 9kWp.



Imagen 50. Representación del aporte hídrico total frente a las necesidades hídricas. Año 2020. 9kWp.

Potencia pico de la instalación = 12kWp.

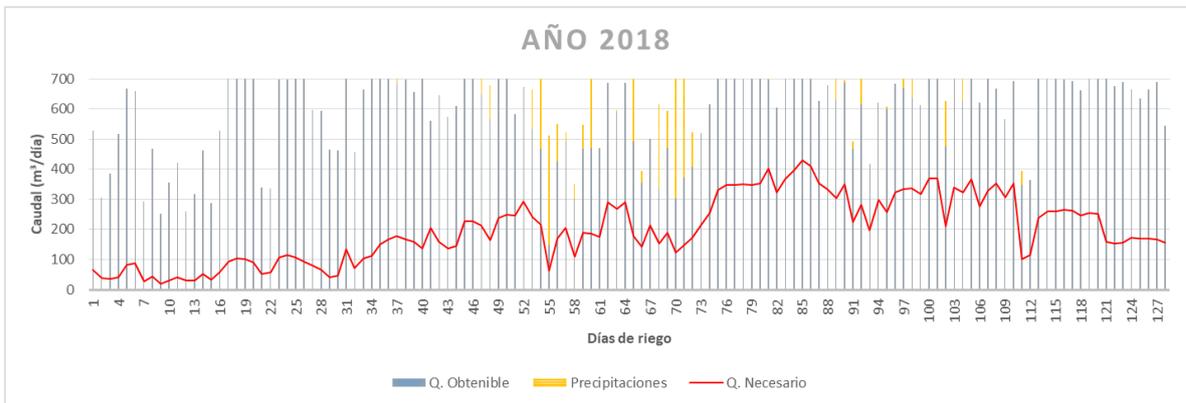


Imagen 51. Representación del aporte hídrico total frente a las necesidades hídricas. Año 2018. 12kWp.

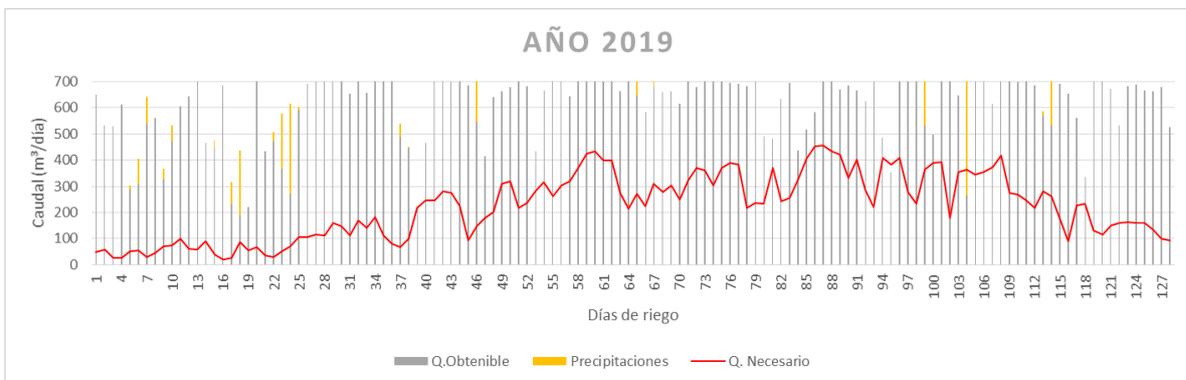


Imagen 52. Representación del aporte hídrico total frente a las necesidades hídricas. Año 2019. 12kWp.



Imagen 53. Representación del aporte hídrico total frente a las necesidades hídricas. Año 2020. 12kWp.

Teniendo en cuenta las precipitaciones diarias gran parte de los días en los que antes se presentaba un déficit de riego ahora los requisitos de agua se suplen con creces.

Analizando los resultados se observa que con potencias pico de 1 y 5kW en gran parte de los días no se suplen las necesidades de riego del cultivo. Automáticamente se descarta este rango de potencias debido al déficit que presenta.

Con 8 y 9kWp la gran mayoría de los días se satisfacen las necesidades hídricas del cultivo convirtiendo a estas potencias en candidatas para ser seleccionadas como potencias pico de la instalación fotovoltaica.

Con 12kWp se logra aportar el caudal de agua necesario casi en la totalidad de los días del año, pero el sobredimensionamiento que se produce es excesivo, lo que no hace viable económicamente a esta opción como la elegida para la instalación.

Como el girasol es un cultivo resistente a la sequía y puede aguantar varios días sin aporte de agua el rango elegido de potencias pico de la instalación será el de 8 y 9kWp.

La diferencia de días en los que el riego no es suficiente entre una instalación de 8kWp y otra de 9kWp es mínima, por lo que ambas serían igual de válidas, pero debido al bajo precio que presentan hoy en día los paneles solares el coste que supone el sobredimensionamiento de una instalación de 9kWp frente a una de 8kWp es totalmente asumible, aumentando la capacidad de riego en posibles épocas de sequía.

Por todos estos motivos anteriormente mencionados se elegirá una potencia pico de la instalación de **9kW**.

4. Diseño de la instalación fotovoltaica.

Para el correcto diseño y dimensionamiento de una instalación fotovoltaica son necesarios los siguientes equipos y elementos.

4.1. Bomba.

La bomba escogida para la instalación es el modelo **NB 50-200/198 AAF2AESBQQEOW1** de la marca **GRUNDFOS**. Este modelo de bomba se ha escogido por ser el que más se adapta a las condiciones necesarias, trabajando a un 81% de su capacidad total, lo que proporciona cierto margen de maniobra sin un excesivo sobredimensionamiento, abaratando en tamaño y precio.

Esta será la encargada de bombear el agua necesaria para el riego siendo capaz de variar su velocidad de giro para aportar más o menos agua en función de la energía que reciba procedente de los paneles.

4.2. Inversor-Variador.

El variador es el elemento que transforma la corriente continua proveniente de los paneles en corriente alterna necesaria para el correcto funcionamiento de la bomba.

En este caso se ha escogido un dispositivo diseñado principalmente para la tarea del riego, pertenece a la marca **GRUNDFOS** y el modelo es el **RSI 3 x 380-440 V de 11 kW**.

Este está diseñado para aportar a la bomba seleccionada la tensión y frecuencia necesarios en función del caudal que esta quiera bombear y no trabajando en un punto fijo.

Las características que presenta son las siguientes:

Tensión			3 × 208-240 V	3 × 380-440 V
Entorno de instalación	Temperatura ambiente mínima	[°C (°F)]	-10 (14)	-10 (14)
	Temperatura ambiente máxima	[°C (°F)]	60 (140)	60 (140)
	Humedad relativa máxima	[%]	100	100
Datos eléctricos	Tensión MPP mínima	[V CC]	230	450
	Tensión MPP recomendada	[V CC]	290-336	530-615
	Tensión máxima de entrada	[V CC]	400	800
	Tensión de entrada	[V CA]	208-240	380-480
	Tensión nominal de salida	[V CA]	208-240	380-440
	Frecuencia mínima	[Hz]	5	5
	Frecuencia máxima	[Hz]	160	160
	Fases		3	3
	Clase de protección		IP66	IP54, IP66

Imagen 54. Tabla de características del variador GRUNDFOS. [35]

Los datos referidos al rango en el que el variador-inversor es capaz de hacer el seguimiento del punto de máxima potencia de la instalación fotovoltaica son importantes a la hora de elegir el número de paneles que se conectarán en serie en la instalación. Los correspondientes al variador-inversor escogido son los siguientes:

- **Tensión MPP mínima = 450 V.** Si la configuración de paneles no alcanza un voltaje superior a los 450 V el variador no comenzará a funcionar.
- **Tensión MPP máxima = 800 V.** Si la configuración de paneles supera un voltaje de 800 V el variador puede verse dañado.
- **Tensión MPP recomendada = 530-615 V.** Es el rango de tensión en el cual el variador funcionará en las mejores condiciones.

4.3. Módulos fotovoltaicos y diseño de los strings.

Sabiendo la potencia necesaria que requiere la instalación y conociendo el rango de tensiones en las cuales ha de trabajar el variador se podrá elegir un modelo de panel fotovoltaico y diseñar la configuración de los *strings*.

El panel escogido es el **TSM-DE21**, del fabricante **TRINASOLAR**. Es un panel de **650Wp** que presenta las siguientes características.

ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)*	650	655	660	665	670
Power Tolerance- P_{MAX} (W)	0 ~ +5				
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	37.4	37.6	37.8	38.0	38.2
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	17.39	17.43	17.47	17.51	17.55
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	45.3	45.5	45.7	45.9	46.1
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	18.44	18.48	18.53	18.57	18.62
Module Efficiency η_m (%)	20.9	21.1	21.2	21.4	21.6

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5. *Measuring tolerance: ±3%.

Imagen 55. Tabla de características básicas del panel TSM-DE21. [36]

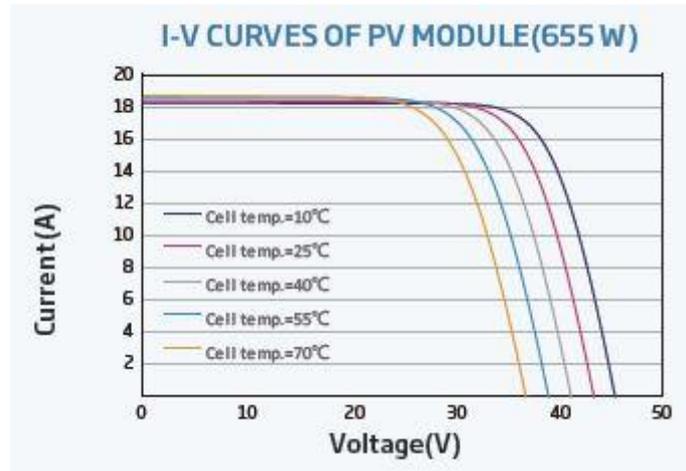


Imagen 56. Curva de potencia del panel fotovoltaico TSM-DE21. [36]

El número de paneles fotovoltaicos necesario viene determinado por la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{\text{Potencia de la instalación}}{\text{Potencia del panel}}$$

Dando como resultado:

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{9000 \text{ w}}{650 \text{ w}} = 13,84 \sim 14 \text{ paneles}$$

Los 14 paneles son los mínimos necesarios para suplir la potencia requerida por la instalación.

Si se tiene un número elevado de paneles colocados en serie la tensión que estos generan, correspondiente a la suma de las tensiones generadas individualmente por cada panel, se puede superar el límite que admite el variador pudiendo llegar a romperlo. Para evitar esta situación los paneles se dividen en series denominadas **strings** con el fin de minimizar la tensión total que llega al variador.

Antes de comenzar a diseñar los **strings** se ha de calcular una **corrección por temperatura** en los paneles. Esto se debe a que un panel fotovoltaico reduce su tensión cuando la temperatura de las células es muy elevada y la aumenta cuando la temperatura es muy baja.

Los datos de corrección de temperatura vienen dados por el fabricante del panel.

TEMPERATURE RATINGS		MAXIMUM RATINGS	
NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43°C (±2°C)	Operational Temperature	-40~+85°C
Temperature Coefficient of P _{MAX}	-0.34%/°C	Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
Temperature Coefficient of V _{OC}	-0.25%/°C		1500V DC (UL)
Temperature Coefficient of I _{SC}	0.04%/°C	Max Series Fuse Rating	30A

Imagen 57. Datos de temperatura del panel fotovoltaico TSM-DE21. [36]

La temperatura ambiente máxima registrada en el periodo de estudio (2018-2020) es de 40°C, y la mínima registrada de -0°C.

La temperatura de la célula del panel es 20°C mayor que la temperatura ambiente, por tanto, la máxima temperatura que alcanza una célula en periodos de calor es de 60°C. En periodos fríos no se seguirá el mismo criterio ya que en invierno la radiación es mucho menor, por lo que se supondrá que la temperatura de la célula es 5°C mayor.

Para calcular la tensión resultante de la corrección por temperatura se emplea la siguiente expresión:

$$\text{Tensión corregida} = (1 + \text{coef. temp.} \times (\text{Temp. max} - \text{NOCT})) \times \text{Tensión}$$

Los resultados obtenidos son:

Temperatura máxima	Tensión (V)	Coeficiente de temp. (%/°C)	Diferencia de temp. (°C)	Tensión Corregida (V)
Máxima Potencia	37,40	-0,25	17	35,81
Circuito abierto	45,30	-0,25	17	43,37

Tabla 1. Corrección por máxima temperatura de las tensiones del panel TSM-DE21.

Temperatura mínima	Tensión (V)	Coeficiente de temp. (%/°C)	Diferencia de temp. (°C)	Tensión Corregida (V)
Máxima Potencia	37,40	-0,25	-38	40,95
Circuito abierto	45,30	-0,25	-38	49,60

Tabla 2. Corrección por mínima temperatura de las tensiones del panel TSM-DE21.

Obtenidas las tensiones tras calcular la corrección por temperatura se estudiarán las diferentes opciones para el diseño de los *strings*.

En verde se indicará toda opción válida y que entre dentro del rango óptimo de trabajo del variador, en naranja toda opción válida pero que no se encuentre dentro del rango óptimo del variador, y en rojo toda opción no válida.

Configuración con 1 string.

	1 string	14 paneles	15 paneles	16 paneles	17 paneles
	Potencia (Wp)	9100	9750	10400	11050
Max. Temp	Tensión MPP (V)	501,35	537,16	572,97	608,78
	Tensión Voc (V)	607,25	650,62	694	737,37
Min. Temp	Tensión MPP (V)	573,34	614,30	655,25	696,20
	Tensión Voc (V)	694,45	744,05	793,66	843,26

Tabla 3. Tensiones con una configuración de 1 string.

Configuración con 2 strings.

	2 strings	7 paneles	8 paneles	9 paneles
	Potencia (Wp)	9100	10400	11700
Max. Temp	Tensión MPP (V)	250,67	286,48	322,29
	Tensión Voc (V)	303,62	347,00	390,37
Min. Temp	Tensión MPP (V)	286,67	327,62	368,58
	Tensión Voc (V)	347,22	396,83	446,43

Tabla 4. Tensiones con una configuración de 2 strings.

Con 2 *strings* o más la tensión que se genera en cada rama en serie no es suficiente para activar el variador que requiere de 450 V para comenzar a funcionar, por lo que la opción de configurar más de un string queda descartada. Esto tiene sentido ya que al emplear paneles de gran potencia el número necesario de estos es menor, y por tanto el voltaje total que producen, aunque sea algo mayor que en un panel de 100Wp por ejemplo, no va a alcanzar el valor mínimo requerido por el variador.

Con 1 *string* hay varias opciones válidas a la hora de diseñar la colocación de los paneles fotovoltaicos.

- Con 14 paneles la instalación podría funcionar sin problema, pero la tensión producida en el punto de máxima potencia durante un día caluroso no entra dentro del rango de funcionamiento ideal del variador. Además la potencia en paneles instalada quedaría muy justa con la necesaria.

- Con 15 y 16 paneles la instalación funcionaría sin ningún tipo de problema a mayores de trabajar siempre dentro de los parámetros ideales fijados por el variador, el único inconveniente que se puede presentar es que con 16 paneles la tensión de trabajo en el punto de máxima potencia durante un día frío supera en no más de 5 V el rango ideal de trabajo del variador, pero esto lo compensa con un mayor sobredimensionamiento de la potencia en paneles instalada.
- Con 17 paneles la tensión generada en circuito abierto durante un día frío supera la máxima admitida por el variador lo que automáticamente descarta esta opción por el riesgo que supone trabajar en estas condiciones.

Tanto la opción de 15 paneles, como la de 16, son válidas, y en este caso se escogerá la opción de **16 paneles** por los siguientes motivos:

- Aunque la tensión en circuito abierto durante un día de invierno supere el rango de trabajo óptimo del variador, esto ocurre durante un periodo en el que no se plantea cultivar, por lo que apenas supone un problema.
- La potencia instalada en paneles es mayor con 16 que con 15 paneles, siendo esto beneficioso ya que suplementa la pérdida de eficiencia de los módulos con el paso del tiempo, las posibles pérdidas por suciedad y los posibles sombreados que puedan aparecer.
- El encarecimiento que supone añadir un panel más es mínimo respecto a los beneficios que puede proporcionar. En la actualidad el precio de los paneles ha disminuido enormemente con respecto hace unos años.

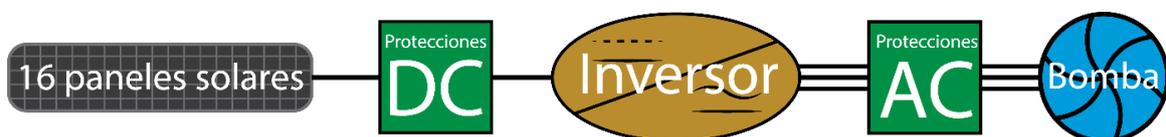


Imagen 58. Esquema simplificado de la configuración de la planta fotovoltaica.

4.4. Estructura de soporte de paneles.

Para la instalación de los paneles se empleará una estructura metálica prefabricada con una inclinación de 15° , orientada directamente hacia el sur con un azimut de 0° .

Al ir hincados al suelo no será necesario cimentar la base lo que reduce el coste total de la instalación.



Imagen 59. Estructura para colocación de paneles fotovoltaicos. [37]

4.5. Cálculo y diseño de protecciones.

4.5.1. Protecciones de corriente continua.

La corriente continua de una instalación fotovoltaica corresponde a la parte perteneciente a los módulos fotovoltaicos y el cableado que los conecta con el variador. Esta parte debe protegerse contra las **sobretensiones** y **sobreintensidades**.

En una planta fotovoltaica cuando se produce un fallo la intensidad de cortocircuito que se produce es la **intensidad de cortocircuito del panel**. Cuando se cuenta con más de dos *strings* la opción más lógica es instalar fusibles en cada uno de ellos, pero contando con uno solo como en este caso no es viable.

La corriente de máxima potencia que generan los paneles es de **17,39 A** y la corriente de cortocircuito de **18,44 A**, siendo la diferencia de corriente entre estas dos situaciones mínima, de poco más de 1 A. **No existe fusible comercial** que actúe dentro de ese rango por tanto esta opción no es válida.

Para la protección frente a las sobretensiones se instalará un **varistor** que descargará a tierra los posibles defectos. En este caso se instalará el modelo **DG YPV SCI 1000 FM (950 535)** del fabricante **DEHN**, el cual es capaz de proteger hasta **1000 V** en corriente continua. [38]

También se instalará un **seccionador manual** con el fin de tener la flexibilidad de abrir y cerrar el circuito cuando se desee.

4.5.2. Protecciones de corriente alterna.

La parte correspondiente a la corriente alterna en una instalación fotovoltaica discurre desde el variador hasta la bomba, tratándose en este caso de una **red trifásica** de **380 V**.

Para la protección frente a **sobreintensidades** se empleará un **diferencial**. Este abre el circuito en el caso de que la corriente que entra en el inversor sea distinta a la que sale de él. Esto es producto de una derivación a tierra debida a un fallo en el aislamiento o un contacto humano.

En este diseño se ha seleccionado el modelo **Acti9 380 → 415V ac** del fabricante **SCHNEIDER** que permite una conexión trifásica. Posee una sensibilidad de **30 mA** y una corriente nominal de **25 A**, lo cual es suficiente ya que la bomba va a consumir una potencia de 7,7 kW a una tensión de 380 V, lo que se traduce en **20,29 A**. [39]

Para proteger frente a las **sobrecargas** y **cortocircuitos** se implementará un dispositivo **magnetotérmico** que abrirá el circuito bajo condiciones anómalas de funcionamiento. Se implementará un modelo **Acti9 iC40N** de 3 polos del fabricante **SCHNEIDER** con una corriente nominal de **25 A**. [40]

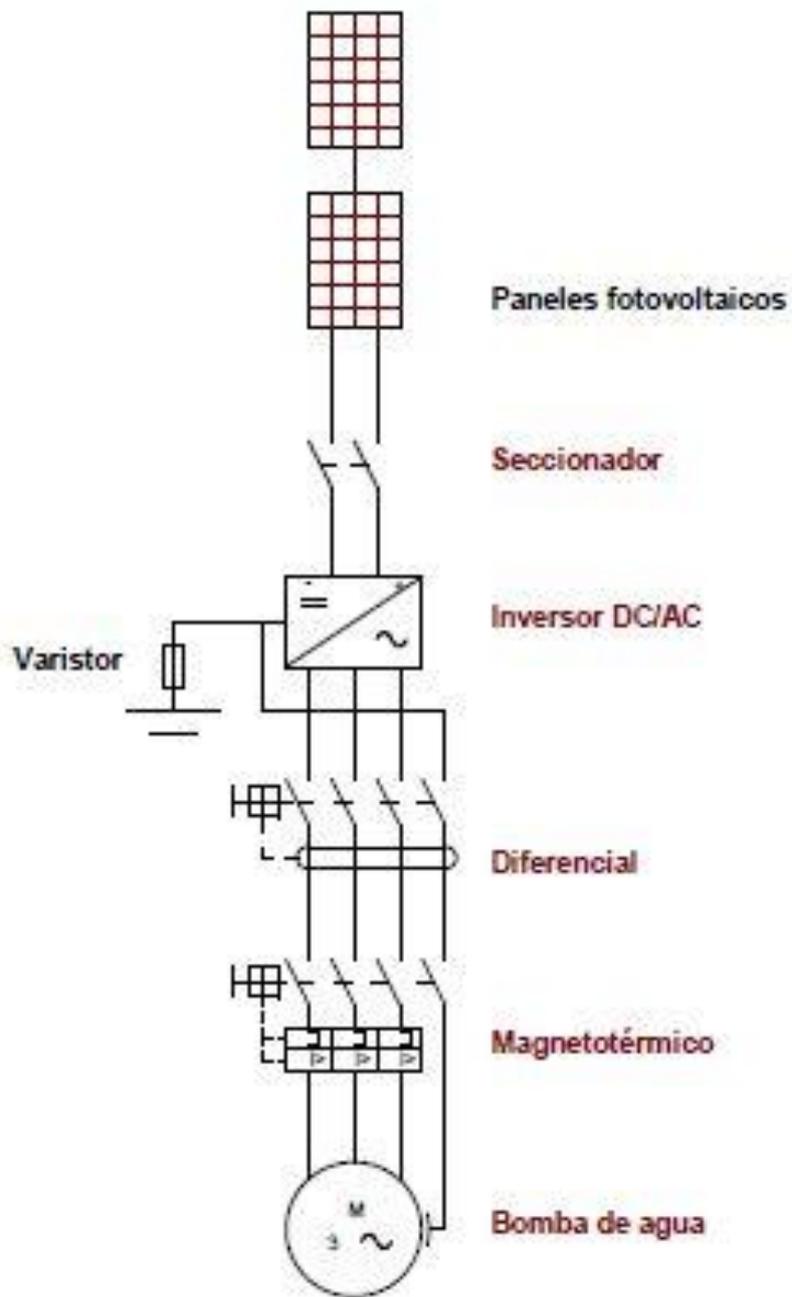


Imagen 60. Esquema de potencia de la instalación fotovoltaica.

4.5.3. Cálculo de puesta a tierra.

La **puesta a tierra** es un elemento fundamental de protección en una instalación eléctrica, protegiendo a las personas y elementos en caso de una derivación. La norma **ITC-BT-18** [41] determina las características mínimas que ha de poseer una puesta a tierra conforme a la instalación de la que se dispone.

Para calcular la resistencia de puesta a tierra máxima es necesario conocer la máxima tensión de contacto admisible y la intensidad de defecto. Como se trata de una zona en la que se va a practicar el riego se supondrá que se trata de un **local húmedo** por lo que la tensión de contacto admisible será como máximo de **24 V**, y la intensidad de defecto no superará la admitida por el diferencial que es de **30 mA**.

$$R_t = \frac{V_{\text{contacto}}}{I_{\text{defecto}}} = \frac{24V}{0,03A} = 800 \Omega$$

Al tratarse de una instalación de reducidas dimensiones bastará con instalar una sola pica de puesta a tierra. Según la norma **ITC-BT-18** la longitud de la pica viene definida por la siguiente expresión:

$$L = \frac{\rho}{R}$$

Siendo L la longitud de la pica, ρ la resistividad del terreno y R la resistencia del terreno calculada anteriormente. A pesar de tratarse de un terreno en el cual se va a regar, este tiene un carácter poco fértil. Según la norma la resistividad de este terreno se puede considerar de **500 $\Omega \cdot m$** , por tanto la longitud de la pica será:

$$L = \frac{500}{800} = 0,625 \text{ m}$$

Al no ser este un tamaño estandarizado se optará por la colocación de una pica de **1 m de longitud**.

A la malla de tierra se conectarán todos los elementos de la instalación. [42]

5. Mantenimiento de la instalación.

Para verificar el correcto funcionamiento de la instalación y la resolución de las posibles averías que puedan aparecer será necesario realizar las distintas tareas de mantenimiento correspondientes a una planta fotovoltaica.

Los mantenimientos idóneos a realizar en una instalación con estas características son el **mantenimiento preventivo**, que se realiza de forma anual con el fin de evitar averías y corregir deterioros, y el **mantenimiento correctivo**, que surge de forma aleatoria y consiste en la reparación y sustitución de los equipos dañados.

Las tareas correspondientes al mantenimiento preventivo que se han de realizar anualmente son la siguientes:

- Inspección visual y limpieza de los paneles fotovoltaicos.
- Reapriete de tornillería perteneciente a las estructuras de los módulos, así como la inspección visual de las posibles deformaciones y aplique de galvanizado en frío a los posibles puntos de oxidación.
- Inspección visual de la conexión del cableado de los paneles fotovoltaicos.
- Comprobación del correcto funcionamiento de los sistemas de protección de corriente continua.
- Limpieza, reapriete de tornillería y engrase de las partes móviles del seccionador.
- Inspección visual y limpieza del variador, así como el reseteo de las posibles alarmas que hayan podido producirse.
- Inspección visual del cableado trifásico de la parte de corriente alterna.
- Testeo del diferencial y el magnetotérmico así como el reapriete de sus bornas.
- Inspección visual, limpieza y reapriete de la bomba.

6. Análisis económico.

A continuación se muestra un análisis económico simple de los costes de la instalación, estudiando principalmente los de construcción y mantenimiento.

Los precios del mercado son muy volátiles, viéndose afectados por multitud de variables llegando a cambiar en cuestión de días. Para este análisis se han tomado los precios de mercado y se ha hecho una estimación de la mano de obra tanto de construcción como de mantenimiento.

	Cantidad	Precio/ud	Importe (€)
Módulo fotovoltaico Trinasolar Vertex TSM-DE21	16	299,00	4784,00
Estructura de acero a 15º de inclinación 2 paneles	8	194,47	1555,76
Inversor variador Grundfos RSI 3x380-440V IP66 11kW 23A	1	3586,00	3586,00
Protector contra sobretensiones Dehn hasta 1000 V DC	1	332,86	332,86
Diferencial trefrapolar Schneider Acti9 25A, 30mA, 380-415V AC	1	404,52	404,52
Magnetotérmico Schneider Acti9 IC40N	1	154,14	154,14
Bomba Grundfos NB 50-200/198 AAF2AESBQQEOW1	1	6751,00	6751,00
Cableado	500	2,00	1000,00
Cable Cu 95mm ²	150	14,75	2212,50
Obra civil	1	4000,00	4000,00
Mano de obra	200	10,00	2000,00
Diseño de proyecto	400	10,00	4000,00
Mantenimiento	25	500,00	12500,00
Total:			43280,78

Imagen 61. Costes de la instalación fotovoltaica.

En obra civil se contempla el hincado de las estructuras, alquiler de maquinaria, transporte y amortización de herramienta. Ese precio puede variar ligeramente en función de la empresa que realice la tarea.

Para la construcción se ha supuesto un total de **5 personas** trabajando durante una semana laboral, lo que hace un total de **200 horas**, que se cobrarán a **10€** cada una de ellas.

El proyectista encargado de calcular tanto las necesidades de riego como las de potencia, y diseñar toda la instalación fotovoltaica acorde a las necesidades, tiene un coste de **10€/hora**, habiendo trabajado un total de **400 horas** para realizar dicho proyecto.

En cuanto al mantenimiento se ha hecho una estimación de **2 trabajadores** que realizaran un mantenimiento preventivo anual, con un precio de **250€/mantenimiento** por operario. Este coste puede variar a lo largo del tiempo, ya que los contratos de mantenimiento por lo general se suelen renovar cada cierto periodo de tiempo, y por norma general el coste suele subir. Para ello se supondrá que cada 5 años se renovará el contrato, con una subida del **10%** en cada periodo.

	1º periodo	2º periodo	3º periodo	4º periodo	5º periodo
Coste total	500 €	550 €	605 €	665,5 €	732,05 €
Incremento	-	50 €	55 €	60,5 €	66,55 €

Tabla 5. Evolución del coste de mantenimiento.

Los costes de las posibles averías que la planta fotovoltaica pueda presentar y su posterior mantenimiento no se tienen en cuenta en el presupuesto ya que son de carácter aleatorio, siempre y cuando se realice un correcto mantenimiento preventivo, y difíciles de estimar.

El coste de la instalación asciende a un total de 43280,78€, y teniendo en cuenta la posible subida de los costes de mantenimiento el coste anual en cada periodo sería el siguiente:

	1º periodo	2º periodo	3º periodo	4º periodo	5º periodo
Coste anual	1731,23 €	1734,23 €	1737,68€	1741,65€	1746,21 €

Tabla 6. Costes de mantenimiento anual en distintos periodos.

7. Conclusiones.

Se ha diseñado una planta solar fotovoltaica destinada al riego de una parcela de cultivo utilizando bombeo directo sin ningún tipo de acumulación.

El proceso de dimensionado empleado utiliza datos climáticos históricos de varios años atrás, ajustándose al lugar y utilizando una resolución temporal horaria, logrando así un mejor ajuste de la potencia de la instalación fotovoltaica a las necesidades reales de riego del cultivo.

Este aumento de precisión a la hora de calcular la potencia de la planta fotovoltaica ayuda a una mejor selección de los elementos que componen a esta, permitiendo ajustar al máximo posible las características de estos, evitando así un sobredimensionamiento excesivo y proporcionando un mayor ahorro económico.

También es interesante comentar las posibles mejoras de futuro que se pueden plantear en instalaciones de riego fotovoltaico como la diseñada.

En el momento en el que los seguidores fotovoltaicos, que orientan los paneles hacia el sol, sean más económicos se podría plantear diseñar una instalación de riego que implemente esta tecnología, aumentando la eficiencia total de instalación gracias a un mayor aprovechamiento de la radiación. Hoy en día no es rentable instalar este tipo de elementos en instalaciones pequeñas como la estudiada, ya que su precio de venta es muy elevado y el coste de mantenimiento aumentaría debido a las averías que estos puedan generar.

A nivel personal este trabajo me ha ayudado a entender mucho mejor la tecnología solar fotovoltaica, ampliando mis conocimientos de análisis y cálculo. Este estudio al no limitarse únicamente a la electricidad, sino que también plantea temas referidos a los cultivos, me ha aportado conocimientos de carácter agrícola bastante útiles, como calcular las necesidades hídricas de un cultivo a partir de la evapotranspiración o empleando softwares como el Cropwat.

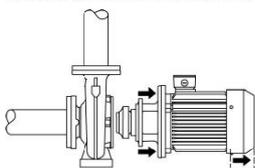
8. Bibliografía.

1. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture#1> Consultado 07/11/23
2. <https://www.eleconomista.es/industria/noticias/12033976/11/22/El-sector-agricola-acapara-el-821-del-agua-consumida-en-Espana.html> Consultado 07/11/23
3. https://educativo.ign.es/atlas-didactico/agua-bach/uso_y_gestin_del_agua.html Consultado 07/11/23
4. <https://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?path=/t26/p067/p03/serie/I0/&file=02001.px#!tabs-grafico> Consultado 07/11/23
5. https://www.ign.es/espmap/mapas_clima_bach/Mapa_clima_05.htm
6. <https://www.omie.es/> Consultado 08/11/23
7. <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-precio-hogares/espana> Consultado 08/11/23
8. <https://www.ree.es/es/datos/generacion/potencia-instalada> Consultado 08/11/23
9. https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar Consultado 08/11/23
10. <https://www.mapaeolicoiberico.com/map;latitude=46.26712;longitude=-11.35892;altura=100;dato=micro> Consultado 08/11/23
11. <https://www.iberdrola.com/conocenos/descarbonizacion-economia-principios-acciones-regulacion> Consultado 08/11/23
12. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html> Consultado 14/02/23
13. <https://ingtelecto.com/semiconductores/> Consultado 14/02/23
14. <https://www.mpptsolar.com/es/esquema-funcionamiento-inversor.html> Consultado 17/02/23
15. <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador> Consultado 17/02/23
16. <https://www.santafe.gob.ar/ms/academia/wp-content/uploads/sites/27/2019/12/M%C3%B3dulo-4-Inversores-reguladores-bater%C3%ADas.pdf> Consultado 17/02/23
17. <https://eltejadosolar.com/producto/regulador-12v-24v-48v-80a-mppt-must-solar/> Consultado 17/02/23
18. <https://www.solucioneshidraulicas.es/tipos-de-bombas-de-riego-para-su-instalacion/> Consultado 13/03/23
19. <https://citi-sa.com/los-sistemas-de-riego-mas-recomendados-para-cada-tipo-de-cultivo/> Consultado 13/03/23
20. <https://cropaia.com/es/blog/riego-por-pivote-central/> Consultado 13/03/23
21. [PVGIS user manual \(europa.eu\)](https://www.pvgis.com/user-manual/) Consultado 09/02/23
22. [CMSAF - Our Products](https://www.cmsaf.com/our-products/) Consultado 09/02/23
23. <https://www.tiempo.com/ram/139802/meteosat-10-reparado-en-la-estacion-espacial-internacional/>

24. [PVGIS data sources & calculation methods \(europa.eu\)](#) Consultado 09/02/23
25. [Remote Sensing | Free Full-Text | A New Database of Global and Direct Solar Radiation Using the Eastern Meteosat Satellite, Models and Validation \(mdpi.com\)](#) Consultado 09/02/23
26. <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf> Consultado 20/11/22
27. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1971_10.pdf Consultado 15/11/22
28. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/ Consultado 20/11/22
29. <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/es/> Consultado 20/11/22
30. https://digital.csic.es/bitstream/10261/72951/1/Martinez-CobA_Tierras_2012.pdf Consultado 07/12/22
31. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2022/12/30/formula-de-hazen-williams-para-calculas-las-perdidas-por-friccion-en-tuberias/> Consultado 08/01/23
32. https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersixn.pdf Consultado 26/03/23
33. <https://product-selection.grundfos.com/es/products/nb-nbe-nbe-series-2000/nb/nb-50-200198-98150647?pumpsystemid=2223808613&tab=variant-sizing-results> Consultado 26/09/23
34. <https://datosclima.es/Aemethistorico/Lluviasol.php> Consultado 26/09/23
35. <https://product-selection.grundfos.com/es/products/rsi/rsi-3x380-440v-ip66-11kw-23a-99044363?pumpsystemid=2208565733&tab=documentation> Consultado 26/09/23
36. https://tienda.fiterra.es/autoconsumo-solar/143-comprar-panel-solar-panel-solar-Trina-Tsm-De21-650-wp-ventajas-desventajas-conclusion.html?gclid=CjwKCAiAjfyqBhAsEiwAUdzJNoUyvfUn3mbZ_qnX3fbZ2yUilI3_Rh1moDoEJkfUmQy7qOD086moxoCG_UQAvD_BwE Consultado 21/10/23
37. <https://autosolar.es/estructuras-suelo/estructura-inclinada-30o-2-paneles-72c-11v> Consultado 21/10/23
38. <https://docs.rs-online.com/5243/0900766b813014a4.pdf> Consultado 30/11/23
39. <https://es.rs-online.com/web/p/interruptores-diferenciales/2183907> Consultado 30/10/23
40. <https://www.se.com/es/es/product/A9P54325/magnetot%C3%A9mico-acti9-ic40n-3p-25-a-c-curva-6000-a-iec-608981-10-ka-iec-609472/?%3Frange=65251-acti-9-ic40&parent-subcategory-id=1605&selected-node-id=12367181006> Consultado 30/10/23
41. https://www.f2i2.net/documentos/lSiF2I2/rbt/guias/guia_bt_18_oct05R1.pdf Consultado 30/10/23

42. <https://www.voltimum.es/l-catalogue/resistencia-tomas-tierra> Consultado
30/10/23

9. Anexo. Fichas técnicas.

Contar	Descripción
1	<p data-bbox="391 459 686 481">NB 50-200/198 AAF2AESBQQEOW1</p> <div data-bbox="399 526 662 694">  </div> <p data-bbox="670 705 989 728" style="text-align: center;">Advertia! la foto puede diferir del actual producto</p> <p data-bbox="391 728 542 750">Código: 98150647</p> <p data-bbox="391 772 1244 840">Bomba centrífuga de voluta, no autocebante y de una etapa, diseñada de acuerdo con la norma ISO 5199, con dimensiones y rendimiento nominal de acuerdo con la norma EN 733 (10 bar). Las bridas son de PN 16 y sus dimensiones satisfacen los requisitos establecidos por la norma EN 1092-2.</p> <p data-bbox="391 840 1220 896">La bomba posee un puerto de aspiración axial, un puerto de descarga radial, eje horizontal y un diseño que facilita la extracción del motor, el soporte del motor, la cubierta y el impulsor sin necesidad de desmontar la carcasa de la bomba ni las tuberías.</p> <p data-bbox="391 896 1228 918">El cierre de fuelle de caucho no equilibrado satisface los requisitos establecidos por la norma DIN EN 12756.</p> <p data-bbox="391 918 1061 940">La bomba está acoplada directamente a un motor asincrónico refrigerado por ventilador.</p> <p data-bbox="391 940 1268 996">El índice de eficiencia mínima del producto (MEI) es mayor o igual a 0,70. De acuerdo con el Reglamento (UE) de la Comisión vigente desde el 1 de enero de 2013, este es el valor de referencia indicativo para las bombas hidráulicas más eficientes disponibles en el mercado.</p> <p data-bbox="391 996 1228 1041">Gracias a su diseño, el mantenimiento y la revisión de la bomba puede llevarlos a cabo una sola persona sin necesidad de desmontar la carcasa ni las tuberías.</p> <div data-bbox="391 1041 646 1209">  </div> <p data-bbox="391 1220 1260 1265">Las piezas de fundición incluyen un revestimiento epoxídico, aplicado mediante un proceso de electrodeposición catódica.</p> <p data-bbox="391 1265 1268 1321">La electrodeposición catódica es un proceso de pintado por inmersión de alta calidad, consistente en la aplicación de un campo eléctrico alrededor de los productos que garantiza la deposición controlada de las partículas de pintura formando una capa delgada sobre la superficie.</p> <p data-bbox="391 1344 470 1366">Bomba</p> <p data-bbox="391 1366 1093 1388">El soporte del motor y la cubierta de la bomba están fabricados en fundición (EN-GJL-250).</p> <p data-bbox="391 1388 933 1411">Las protecciones del acoplamiento se instalan en el soporte del motor.</p> <p data-bbox="391 1411 1252 1456">La cubierta de la bomba está equipada con un tornillo de purga de aire manual para purgar el aire de la carcasa de la bomba y la cámara del cierre.</p> <p data-bbox="391 1456 1236 1500">La bomba está equipada con un cierre de fuelle de caucho no equilibrado con transmisión de par a través del muelle y alrededor del fuelle.</p> <p data-bbox="391 1500 1268 1534">El fuelle evita que el cierre desgaste el eje e impide que el movimiento axial se vea obstaculizado por la presencia de depósitos en el eje.</p> <p data-bbox="391 1534 566 1556">Superficies del cierre:</p> <ul data-bbox="414 1556 917 1601" style="list-style-type: none"> • Material del anillo del cierre giratorio: carburo de silicio (SiC). • Material del asiento estacionario: carburo de silicio (SiC). <p data-bbox="391 1601 1268 1657">Esta combinación de materiales se usa en casos en los que es preciso conferir al equipo una mayor resistencia a la corrosión. La elevada dureza de esta combinación de materiales proporciona una magnífica resistencia contra las partículas abrasivas.</p> <p data-bbox="391 1657 909 1680">Material del cierre secundario: EPDM (caucho de etileno-propileno)</p> <p data-bbox="391 1680 1189 1724">El EPDM posee una excelente resistencia al agua caliente. El EPDM no es apto para el uso con aceites minerales.</p>

Contar	Descripción
1	<p>La carcasa de la bomba no tiene patas. La información de la placa de características de la bomba está redactada en inglés.</p> <p>Motor</p> <p>El motor es de tipo totalmente cerrado, cuenta con refrigeración por ventilador y sus principales dimensiones se ajustan a las normas IEC y DIN. Las tolerancias eléctricas satisfacen los requisitos establecidos por la norma IEC 60034.</p> <p>El nivel de eficiencia del motor de acuerdo con la norma IEC 60034-30-1 es IE3.</p> <p>El motor posee termistores (sensores PTC) en los bobinados, de acuerdo con las normas DIN 44081/DIN 44082. El sistema de protección reacciona a los aumentos de temperatura lentos y rápidos (como aquellos que tienen lugar en condiciones de sobrecarga constante y atasco).</p> <p>Los térmicos deben conectarse a un circuito de control externo para garantizar que la función de restablecimiento automático no pueda dar lugar a accidentes. Los motores deben conectarse a un disyuntor protector para motor de acuerdo con lo establecido por la normativa local en vigor.</p> <p>El motor se puede conectar a un variador de frecuencia para hacer posible el ajuste del punto de trabajo de la bomba a cualquier valor.</p> <p>La gama CUE de Grundfos pone a su disposición un amplio abanico de variadores de frecuencia. Encontrará más información en el centro de productos de Grundfos.</p> <p>Más información acerca del producto</p> <p>Las piezas de fundición incluyen un revestimiento epoxídico, aplicado mediante un proceso de electrodeposición catódica.</p> <p>La electrodeposición catódica es un proceso de pintado por inmersión de alta calidad, consistente en la aplicación de un campo eléctrico alrededor de los productos que garantiza la deposición controlada de las partículas de pintura formando una capa delgada sobre la superficie.</p> <p>Datos técnicos</p> <p>Paneles control: Frequency converter: NONE Sensor de presión: N</p> <p>Líquido: Rango de temperatura del líquido: -25 .. 120 °C</p> <p>Técnico: Velocidad predeterminada: 2940 rpm Caudal nominal: 81.31 m³/h Altura nominal: 46.35 m Diámetro real del impulsor: 198 mm Diámetro nominal del impulsor: 200 Disp. de cierre: Single Código del cierre: BQQE Tolerancia de curva: ISO9906:2012 3B Diseño rodamiento: Standard MaxPowerP2AlongTheCurve: 14.69 kW</p> <p>Materiales: Cuerpo hidráulico: Fundición Carcasa de la bomba: EN-GJL-250 ASTM class 35 Mat. de anillo de desgaste: Latón Impulsor: Fundición EN-GJL-200 ASTM class 30 Internal pump house coating: CED</p>

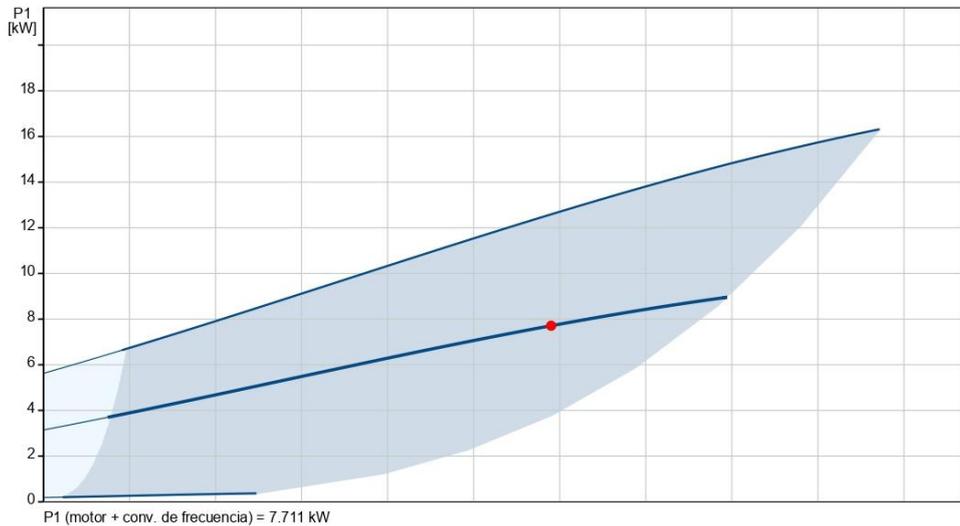
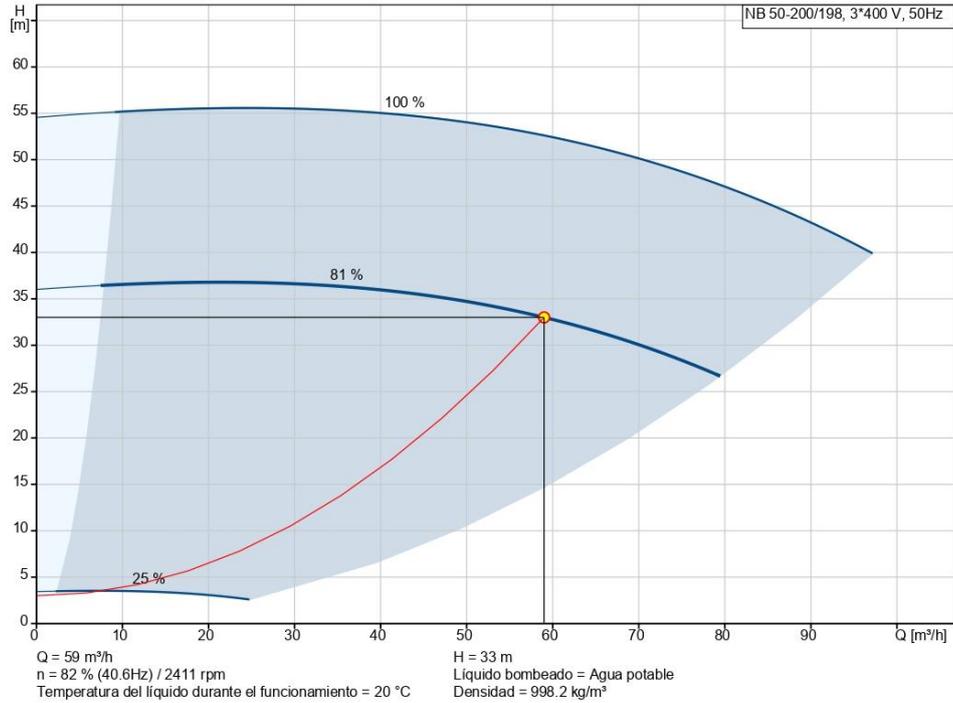


Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

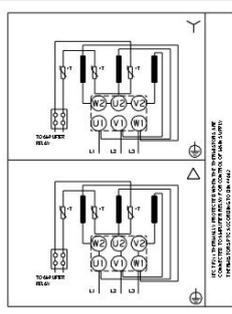
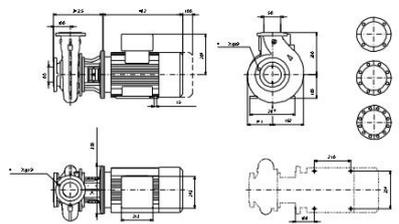
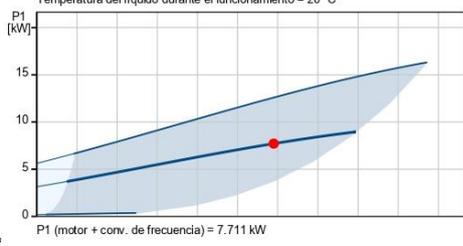
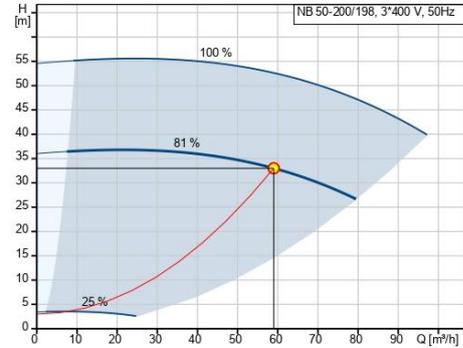
Datos: 28/11/2023

Contar	Descripción
1	<p>Eje: Stainless steel EN 1.4301 AISI 304</p> <p>Instalación: Temperatura ambiente máxima: 60 °C Presión de trabajo máxima: 16 bar Normativa de conexión de tubería: EN 1092-2 Tamaño de la conexión de entrada: DN 65 Tamaño de la conexión de salida: DN 50 Presión nominal para la conexión: PN 16 Lubricación de rodamiento: Grease Carcasa de bomba con pie: No Sí = Con bloque de soporte, No = Sin bloque de soporte: N</p> <p>Datos eléctricos: Tipo de motor: 160MD Potencia nominal - P2: 15 kW Frecuencia de red: 50 Hz Tensión nominal: 3 x 380-415D/660-690Y V Intensidad nominal: 28,0-26,0/16,2-15,6 A Intensidad de arranque: 660-780 % Cos phi - factor de potencia: 0.89-0.87 Velocidad nominal: 2930-2950 rpm Clase eficiencia IE: IE3 Eficiencia del motor a carga total: 91.9-91.9 % Eficiencia del motor a una carga de 3/4: 92.4-92.7 % Eficiencia del motor a una carga de 1/2: 92.4-92.3 % Número de polos: 2 Grado de protección (IEC 34-5): 55 Dust/Jetting Clase de aislamiento (IEC 85): F Motor N.º: 87420029 Bearing insulation type N-end: STEEL BEARING</p> <p>Otros: Índice de eficiencia mínima, IE min: 0.70 Peso neto: 149 kg Peso bruto: 171 kg Volumen de transporte: 0.509 m³ País de origen.: HU Tarifa personalizada n.º: 84137051 Idioma de la placa del motor: GB</p>

98150647 NB 50-200/198 AAF2AESBQQEOW1 50 Hz



Descripción	Valor
Información general:	
Producto::	NB 50-200/198 AAF2AESBQQEOW1
Código::	98150647
Número EAN::	5711490530131
Técnico:	
Velocidad predeterminada:	2940 rpm
Caudal nominal:	81.31 m³/h
Altura nominal:	46.35 m
Diámetro real del impulsor:	198 mm
Diámetro nominal del impulsor:	200
Disp. de cierre:	Single
Diámetro del eje:	24 mm
Código del cierre:	BQQE
Tolerancia de curva:	ISO9906:2012 3B
Versión de la bomba:	A
Diseño rodamiento:	Standard
Potencia máxima P2 a lo largo de la curva:	14.69 kW
Materiales:	
Cuerpo hidráulico:	Fundición
Carcasa de la bomba:	EN-GJL-250
Carcasa de la bomba:	ASTM class 35
Mat. de anillo de desgaste:	Latón
Impulsor:	Fundición
Impulsor:	EN-GJL-200
Impulsor:	ASTM class 30
Internal pump house coating:	CED
Código de material:	A
Código para caucho:	E
Eje:	Stainless steel
Eje:	EN 1.4301
Eje:	AISI 304
Instalación:	
Temperatura ambiente máxima:	60 °C
Presión de trabajo máxima:	16 bar
Normativa de conexión de tubería:	EN 1092-2
Tamaño de la conexión de entrada:	DN 65
Tamaño de la conexión de salida:	DN 50
Presión nominal para la conexión:	PN 16
Lubricación de rodamiento:	Grease
Carcasa de bomba con pie:	No
Si = Con bloque de soporte, No = Sin bloque de soporte:	N
Código de conexión:	F2
Líquido:	
Rango de temperatura del líquido:	-25 .. 120 °C
Datos eléctricos:	
Tipo de motor:	160MD
Potencia nominal - P2:	15 kW
Frecuencia de red:	50 Hz
Tensión nominal:	3 x 380-415D/660-690Y V
Intensidad nominal:	28,0-26,0/16,2-15,6 A
Intensidad de arranque:	660-780 %
Cos phi - factor de potencia:	0.89-0.87
Velocidad nominal:	2930-2950 rpm
Clase eficiencia IE:	IE3
Eficiencia del motor a carga total:	91.9-91.9 %



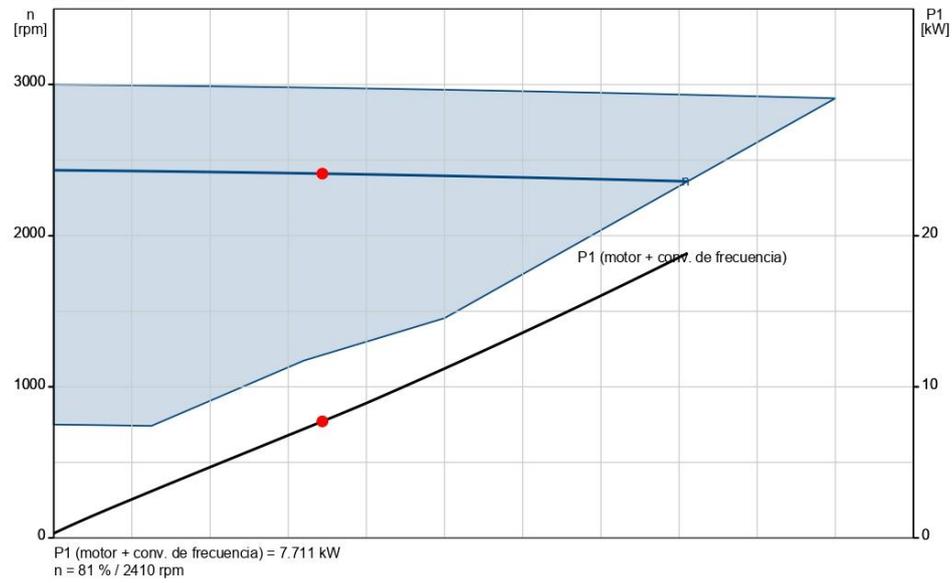
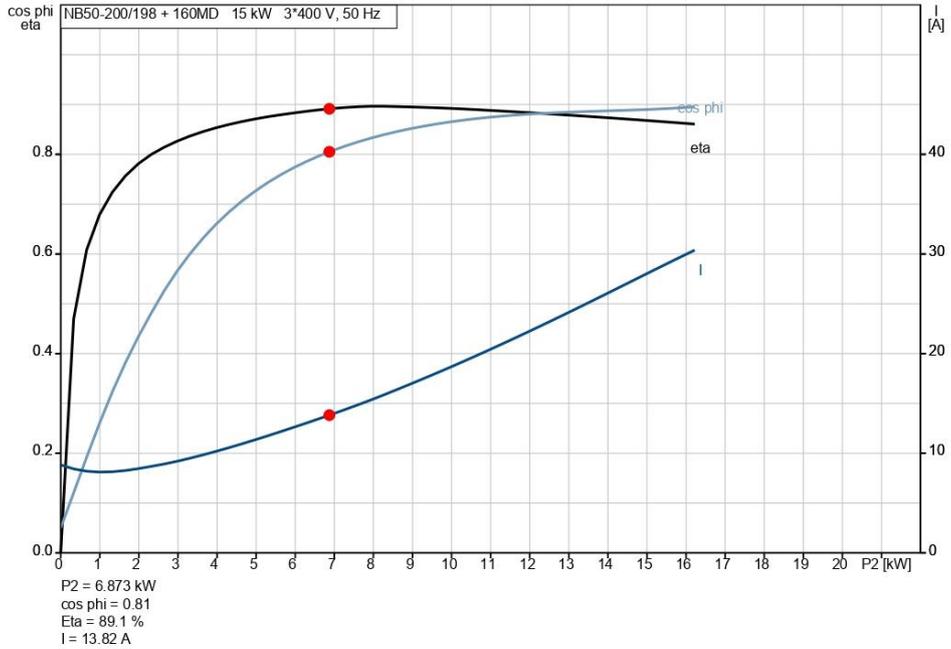


Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

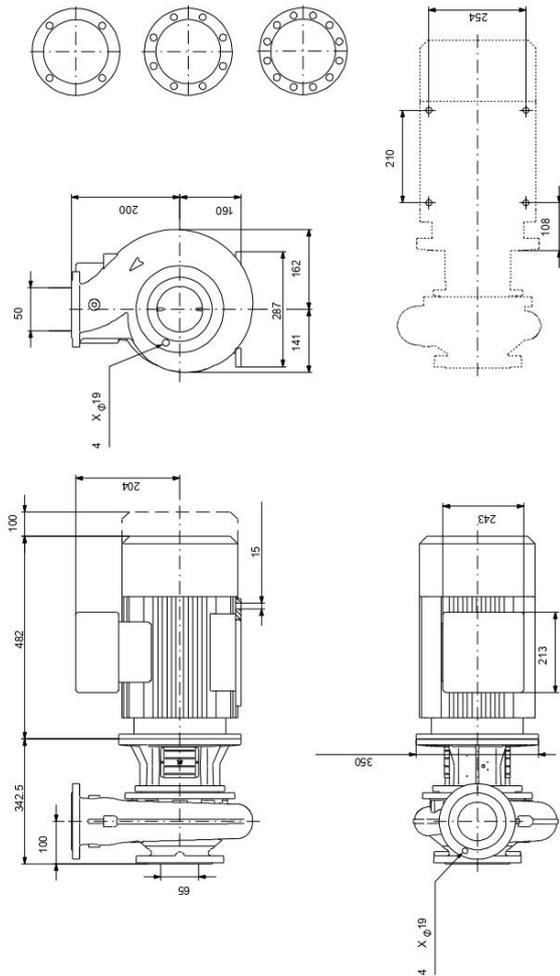
Datos: 28/11/2023

Descripción	Valor
Eficiencia del motor a una carga de 3/4:	92.4-92.7 %
Eficiencia del motor a una carga de 1/2:	92.4-92.3 %
Número de polos:	2
Grado de protección (IEC 34-5):	55 Dust/Jetting
Clase de aislamiento (IEC 85):	F
Protección de motor integrada:	PTC
Motor N.º:	87420029
Diseño del montaje según norma CEI 34-7:	IM B35
Bearing insulation type N-end:	STEEL BEARING
Paneles control:	
Convertidor de frecuencia:	NONE
Sensor de presión:	N
Otros:	
Índice de eficiencia mínima, IE min:	0.70
Peso neto:	149 kg
Peso bruto:	171 kg
Volumen de transporte:	0.509 m³
País de origen.:	HU
Tarifa personalizada n.º:	84137051
Idioma de la placa del motor:	GB

98150647 NB 50-200/198 AAF2AESBQQEOW1 50 Hz

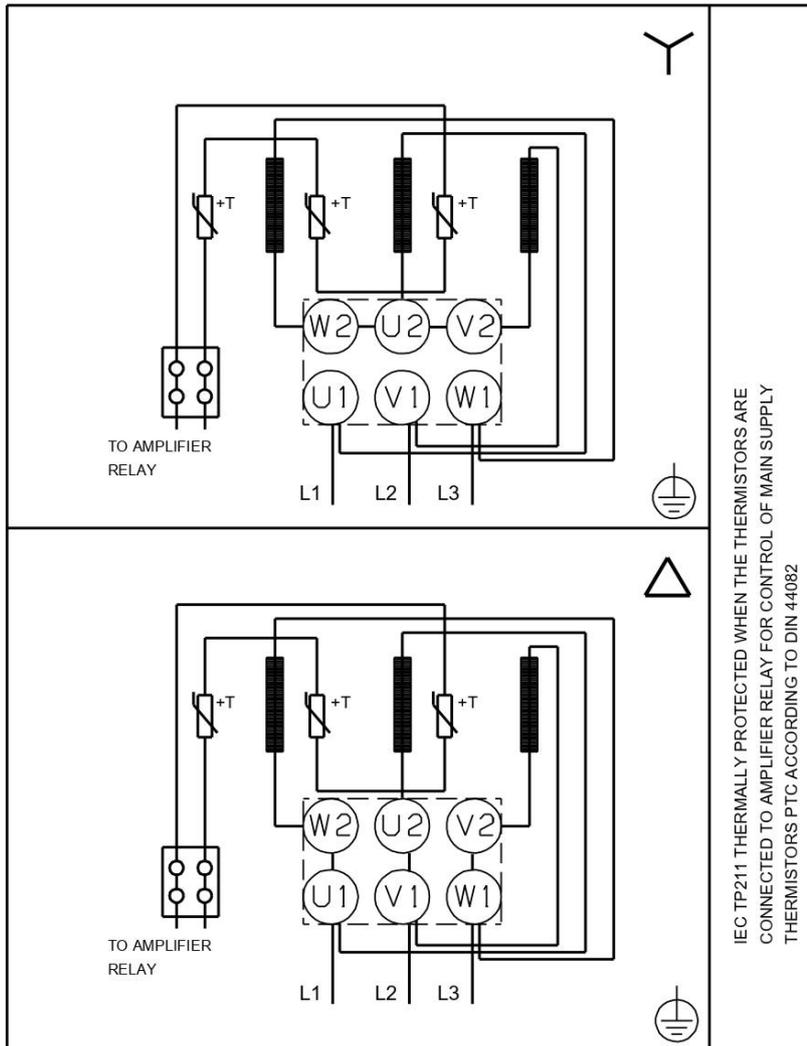


98150647 NB 50-200/198 AAF2AESBQQEOW1 50 Hz



Nota: todas las unidades están en [mm] a menos que se indiquen otras. Exención de responsabilidad: este esquema dimensional simplificado no muestra todos los detalles.

98150647 NB 50-200/198 AAF2AESBQQEOW1 50 Hz



IEC TP211 THERMALLY PROTECTED WHEN THE THERMISTORS ARE
CONNECTED TO AMPLIFIER RELAY FOR CONTROL OF MAIN SUPPLY
THERMISTORS PTC ACCORDING TO DIN 44082

¡Nota! Uds en [mm] a menos que otras estén expresadas

98150647 NB 50-200/198 AAF2AESBQQEOW1 50 Hz

Entrada

Líquido bombeado	Agua
Cálculo del coste de ciclo de vida	
Perfil de carga	Perfil estándar
Funcionamiento reducido nocturno	No
Modo de control	Presión Proporcional
Disminución a bajo caudal	50 %
Precio de la energía	0.28 EUR/kWh
Incremento del precio de la energía	6 %
CO2 emission intensity	0.26 kg/kWh
Periodo de cálculo	15 años
¿Con qué nivel de detalle desea realizar el análisis del coste de ciclo de vida?	Análisis simple del LCC

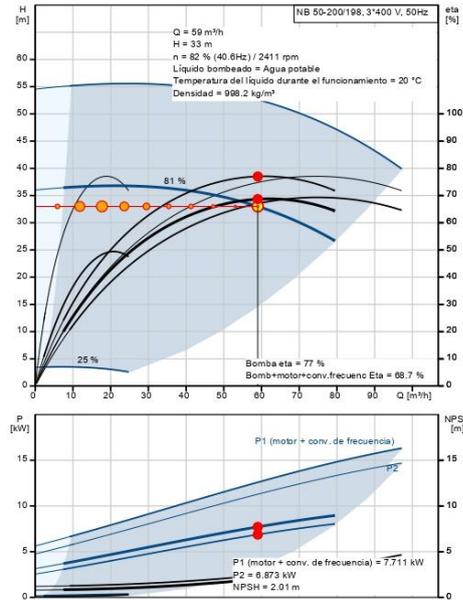
Perfil func.

	1	2	3	4	5
Caudal (%)	10	20	30	40	50
Caudal (m³/h)	5.9	11.8	17.7	23.6	29.5
Alt. (%)	100	100	100	100	100
Alt. (m)	33	33	33	33	33
P1 (kW)	3.145	3.524	3.927	4.354	4.811
Total Eta (%)	16.8	30.0	40.5	48.6	55.0
Time (h/a)	318	1113	1378	1007	636
Consumo energía (kWh/Año)	1000	3924	5411	4384	3059
Cantidad	1	1	1	1	1
Caudal (%)	60	70	80	90	100
Caudal (m³/h)	35.4	41.3	47.2	53.1	59
Alt. (%)	100	100	100	100	100
Alt. (m)	33	33	33	33	33
P1 (kW)	5.301	5.829	6.405	7.029	7.711
Total Eta (%)	59.9	63.6	66.1	67.8	68.7
Time (h/a)	318	213	158	107	53
Consumo energía (kWh/Año)	1685	1242	1013	749	411
Cantidad	1	1	1	1	1

Resultado del dimensionamiento

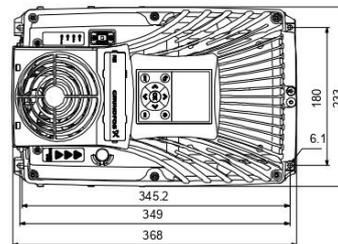
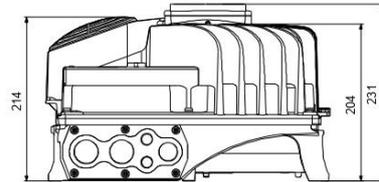
Tipo	NB 50-200/198
Cantidad * Motor	1 * 15 kW
Caudal	59 m³/h
H total	33 m
Pot. P1	7.711 kW
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo	6.873 kW
BombaEta	77.0 %
MotorEta	89.1 %
Bomb+motor Eta	68.7 % =Bomba Eta *motor Eta
Total Eta	68.7 %
Caudal tot	118237 m³/año
Consumo energía	22877 kWh/Año
Emisión CO2:	6060 kg/Año
Cte ciclo vital	/10Años

Voltage input is necessary to assign electrical accessories (VFD, controller, etc.)
A VFD is needed for the intended pump operation
Falta el accesorio.

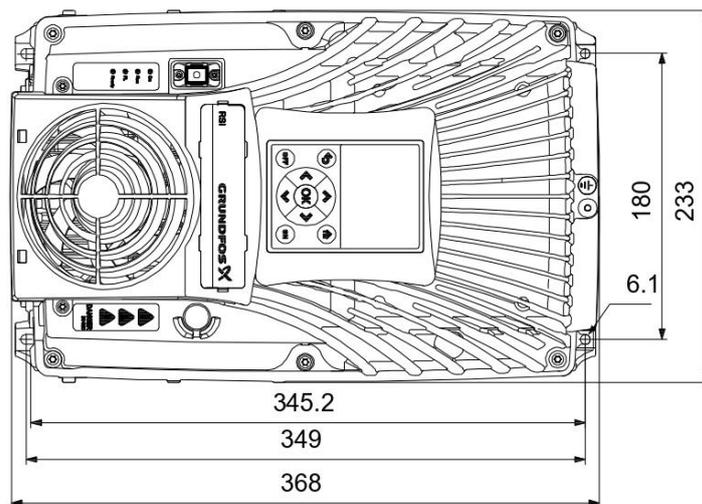
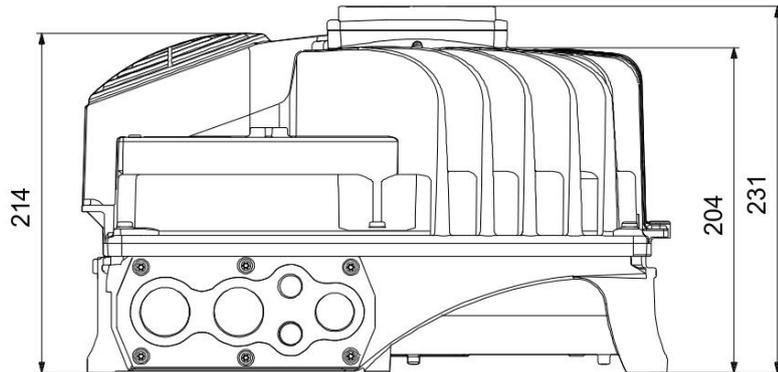


Contar	Descripción																								
1	<p>RSI 3x380-440V IP66 11kW 23A</p>  <p style="text-align: center;">Advertia! la foto puede diferir del actual producto</p> <p>Código: 99044363</p> <p>El inversor solar renovable RSI es un inversor solar desconectado de la red que permite al usuario final utilizar la energía solar para una amplia gama de aplicaciones de agua. RSI está adaptado específicamente para su compatibilidad con las bombas Grundfos. Con el MPPT integrado y diverso software de protección, proporciona una solución de sistema solar eficiente y fiable.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trifásico de 208V, 380V o 440V • Asistente de instalación rápida • Entradas preconfiguradas • MPPT (seguimiento del punto de máxima potencia) integrado • Compatible con fuente de alimentación de CA o CC • Solución solar para hasta 250 kW <p>RSI ofrece las siguientes entradas y salidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • RS-485 Modbus RTU/TCP • Seis entradas digitales preconfiguradas para la aplicación solar • Dos relés de señal, FUNCIONAMIENTO/FALLO <p>Técnico: Homologaciones y marcado: CE</p> <p>Instalación: Rango de temperaturas ambientes: -10 .. 60 °C Humedad relativa: 100 %</p> <p>Datos eléctricos:</p> <table> <tr> <td>Potencia nominal - P2:</td> <td>11 kW</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia de red:</td> <td>50 / 60 Hz</td> </tr> <tr> <td>Tensión nominal:</td> <td>3 x 380 - 440 V</td> </tr> <tr> <td>Grado de protección (IEC 34-5):</td> <td>IP66</td> </tr> <tr> <td>Tensión nominal salida AC:</td> <td>380 V</td> </tr> <tr> <td>Tensión entrada CC:</td> <td>800 V</td> </tr> <tr> <td>Corriente nominal salida AC:</td> <td>23 A</td> </tr> <tr> <td>Udc:</td> <td>400 V</td> </tr> </table> <p>Otros:</p> <table> <tr> <td>Peso neto:</td> <td>14.9 kg</td> </tr> <tr> <td>Peso bruto:</td> <td>16.3 kg</td> </tr> <tr> <td>País de origen.:</td> <td>IT</td> </tr> <tr> <td>Tarifa personalizada n.º:</td> <td>85049090</td> </tr> </table>	Potencia nominal - P2:	11 kW	Frecuencia de red:	50 / 60 Hz	Tensión nominal:	3 x 380 - 440 V	Grado de protección (IEC 34-5):	IP66	Tensión nominal salida AC:	380 V	Tensión entrada CC:	800 V	Corriente nominal salida AC:	23 A	Udc:	400 V	Peso neto:	14.9 kg	Peso bruto:	16.3 kg	País de origen.:	IT	Tarifa personalizada n.º:	85049090
Potencia nominal - P2:	11 kW																								
Frecuencia de red:	50 / 60 Hz																								
Tensión nominal:	3 x 380 - 440 V																								
Grado de protección (IEC 34-5):	IP66																								
Tensión nominal salida AC:	380 V																								
Tensión entrada CC:	800 V																								
Corriente nominal salida AC:	23 A																								
Udc:	400 V																								
Peso neto:	14.9 kg																								
Peso bruto:	16.3 kg																								
País de origen.:	IT																								
Tarifa personalizada n.º:	85049090																								

Descripción	Valor
Información general:	
Producto::	RSI 3x380-440V IP66 11kW 23A
Código::	99044363
Número EAN::	5712605678687
Precio:	EUR 3586
Técnico:	
Homologaciones y marcado:	CE
Instalación:	
Rango de temperaturas ambientes:	-10 .. 60 °C
Humedad relativa:	100 %
Datos eléctricos:	
Potencia nominal - P2:	11 kW
Frecuencia de red:	50 / 60 Hz
Tensión nominal:	3 x 380 - 440 V
Grado de protección (IEC 34-5):	IP66
Tensión nominal salida AC:	380 V
Tensión entrada CC:	800 V
Corriente nominal salida AC:	23 A
Udc:	400 V
Otros:	
Peso neto:	14.9 kg
Peso bruto:	16.3 kg
País de origen.:	IT
Tarifa personalizada n.º:	85049090



99044363 RSI 3x380-440V IP66 11kW 23A



Nota: todas las unidades están en [mm] a menos que se indiquen otras. Exención de responsabilidad: este esquema dimensional simplificado no muestra todos los detalles.



BACKSHEET MONOCRYSTALLINE MODULE

PRODUCT: TSM-DE21

POWER RANGE: 650 -670W

670W

MAXIMUM POWER OUTPUT

0~+5W

POSITIVE POWER TOLERANCE

21.6%

MAXIMUM EFFICIENCY



High customer value

- Lower LCOE (Levelized Cost Of Energy), reduced BOS (Balance of System) cost, shorter payback time
- Lowest guaranteed first year and annual degradation;
- Designed for compatibility with existing mainstream system components



High power up to 670W

- Up to 21.6% module efficiency with high density interconnect technology
- Multi-busbar technology for better light trapping effect, lower series resistance and improved current collection



High reliability

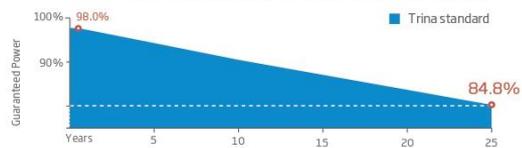
- Minimized micro-cracks with innovative non-destructive cutting technology
- Ensured PID resistance through cell process and module material control
- Resistant to harsh environments such as salt, ammonia, sand, high temperature and high humidity areas
- Mechanical performance up to 5400 Pa positive load and 2400 Pa negative load



High energy yield

- Excellent IAM (Incident Angle Modifier) and low irradiation performance, validated by 3rd party certifications
- The unique design provides optimized energy production under inter-row shading conditions
- Lower temperature coefficient (-0.34%) and operating temperature

Trina Solar's Backsheet Performance Warranty



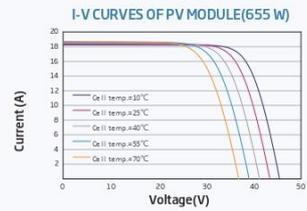
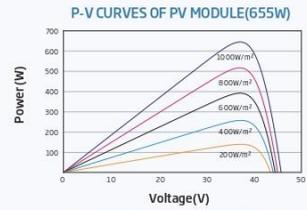
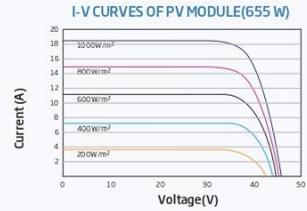
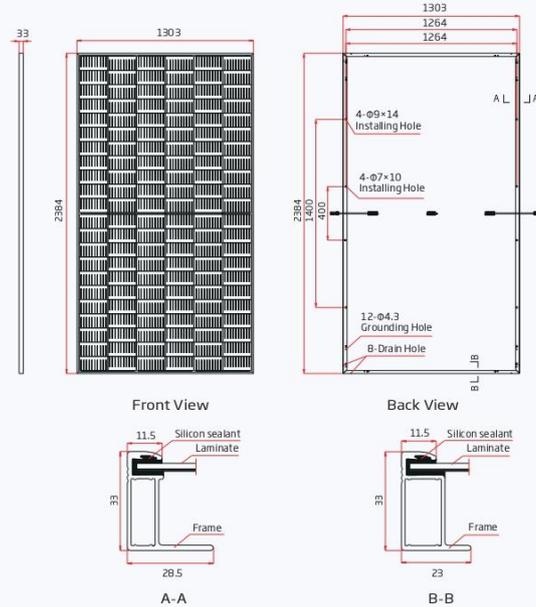
Comprehensive Products and System Certificates



IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62716
 ISO 9001: Quality Management System
 ISO 14001: Environmental Management System
 ISO14064: Greenhouse Gases Emissions Verification
 ISO45001: Occupational Health and Safety Management System



DIMENSIONS OF PV MODULE(mm)



ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)*	650	655	660	665	670
Power Tolerance- P_{MAX} (W)	0 ~ +5				
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	37.4	37.6	37.8	38.0	38.2
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	17.39	17.43	17.47	17.51	17.55
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	45.3	45.5	45.7	45.9	46.1
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	18.44	18.48	18.53	18.57	18.62
Module Efficiency η_m (%)	20.9	21.1	21.2	21.4	21.6

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5. *Measuring tolerance: ±3%.

ELECTRICAL DATA (NOCT)

Maximum Power- P_{MAX} (Wp)	492	496	500	504	508
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	34.9	35.1	35.3	35.4	35.6
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	14.09	14.13	14.17	14.22	14.26
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	42.7	42.9	43.0	43.2	43.4
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	14.86	14.89	14.93	14.96	15.01

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
No. of cells	132 cells
Module Dimensions	2384 × 1303 × 33 mm (93.86 × 51.30 × 1.30 inches)
Weight	33.3 kg (73.4 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	EVA
Backsheet	White
Frame	33mm(1.30 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 inches ²), Portrait: 350/280 mm(13.78/11.02 inches) Length can be customized
Connector	MC4 EV02 / TS4*

*Please refer to regional datasheet for specified connector.

TEMPERATURE RATINGS

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P_{MAX}	-0.34%/°C
Temperature Coefficient of V_{OC}	-0.25%/°C
Temperature Coefficient of I_{SC}	0.04%/°C

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 ~ +85°C
Maximum System Voltage	1500VDC (IEC) 1500VDC (UL)
Max Series Fuse Rating	30A

WARRANTY

12 year Product Workmanship Warranty
25 year Power Warranty
2% first year degradation
0.55% Annual Power Attenuation

(Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box: 33 pieces
Modules per 40' container: 594 pieces

Hoja de características del producto

Especificaciones



ACTI9 iID40 3PN 25A 30mA AC RCCB

A9R63725

Principal

Gama	Acti 9
Nombre Del Producto	Acti 9 iID K
Tipo De Producto O Componente	Interruptor diferencial (RCCB)
Nombre Abreviado Del Equipo	iID40
Número De Polos	3P + N
Posición De Neutro	Izquierda
[In] Corriente Nominal	25 A
Tipo De Red	AC
Sensibilidad De Fuga A Tierra	30 mA
Retardo De La Protección Contra Fugas A Tierra	Instantáneo
Clase De Protección Contra Fugas A Tierra	Tipo AC
Poder De Seccionamiento	Sí acorde a Icu
Etiquetas De Calidad	VDE

Complementario

Ubicación Del Dispositivo En El Sistema	Entrada de grupo
Frecuencia De Red	50/60 Hz
[Ue] Tensión Nominal De Empleo	380...415 V AC 50/60 Hz
Tecnología De Disparo Corriente Residual	Independiente de la tensión
Poder De Conexión Y De Corte	Idm 1500 A
Corriente Condicional De Cortocircuito	10000 A
[Ui] Tensión Nominal De Aislamiento	500 V AC 50/60 Hz
[Uimp] Resistencia A Picos De Tensión	6 kV
Indicador De Posición Del Contacto	Sí
Tipo De Control	Maneta
Tipo De Montaje	Ajustable en clip
Soporte De Montaje	Carril DIN
Pasos De 9 Mm	8
Altura	91 mm

Aviso Legal: Esta documentación no pretende sustituir ni debe utilizarse para determinar la adecuación o la fiabilidad de estos productos para aplicaciones específicas de los usuarios.

Anchura	72 mm
Profundidad	74 mm
Peso Del Producto	345 g
Color	Blanco
Durabilidad Mecánica	20000 ciclos
Durabilidad Eléctrica	15000 ciclos
Descripción De Las Opciones De Bloqueo	Dispositivo de cierre con candado
Conexiones - Terminales	Terminales de tipo túnel Inferior 1...35 mm² rígido Terminales de tipo túnel Inferior 1...25 mm² flexible Terminales de tipo túnel superior 1...16 mm² rígido Terminales de tipo túnel superior 1...10 mm² flexible
Longitud De Cable Pelado Para Conectar Bornas	14 mm for arriba o abajo connection
Par De Apriete	3,5 N.m Inferior 2 N.m superior

Entorno

Normas	EN/IEC 61008-2-1
Certificaciones De Producto	CE
Grado De Protección Ip	IP20 conforming to IEC 60529 IP40 (envolvente modular) conforming to IEC 60529
Grado De Contaminación	3
Compatibilidad Electromagnética	Resistencia a impulsos 8/20 µs, 250 A acorde a EN/IEC 61008-2-1
Humedad Relativa	95 % en 55 °C
Altitud Máxima De Funcionamiento	2000 m
Temperatura Ambiente De Funcionamiento	-5...60 °C
Temperatura Ambiente De Almacenamiento	-40... 85 °C

Unidades de embalaje

Tipo De Unidad De Paquete 1	PCE
Número De Unidades En El Paquete 1	1
Paquete 1 Altura	7,5 cm
Paquete 1 Ancho	8,5 cm
Paquete 1 Longitud	10,0 cm
Paquete 1 Peso	375,0 g
Tipo De Unidad De Paquete 2	S03
Número De Unidades En El Paquete 2	27
Paquete 2 Altura	30,0 cm
Paquete 2 Ancho	30,0 cm
Paquete 2 Longitud	40,0 cm
Paquete 2 Peso	10,838 kg

Hoja de características del producto

Especificaciones



Magnetotérmico, Acti9 iC40N, 3P, 25 A, C curva, 6000 A (IEC 60898-1), 10 kA (IEC 60947-2)

A9P54325

Principal

Gama	Acti9
Nombre Del Producto	Acti9 iC40
Tipo De Producto O Componente	Interruptor automático en miniatura
Nombre Abreviado Del Equipo	iC40N
Función	Para corriente > 0,1 A
Número De Polos	3P
Número De Polos Protegidos	3
[In] Corriente Nominal	25 A
Tipo De Red	AC
Tecnología De Unidad De Disparo	Térmico-magnético
Código De Curva	C
Capacidad De Corte	10 kA Icu en 400 V AC 50/60 Hz acorde a Icu 6000 A Icn en 400 V AC 50/60 Hz acorde a EN/IEC 60898-1
Poder De Seccionamiento	Si acorde a Icu
Etiquetas De Calidad	AENOR OVE

Complementario

Frecuencia De Red	50/60 Hz
[Ue] Tensión Nominal De Empleo	400 V AC 50/60 Hz
Límite De Enlace Magnético	5...10 x In acorde a EN/IEC 60898-1 8 x pol +/- 20 % acorde a Icu
[Ics] Poder De Corte En Servicio	6000 A 100 % Icn en 400 V AC 50/60 Hz acorde a EN/IEC 60898-1 7,5 kA 75 % Icn en 400 V AC 50/60 Hz acorde a Icu
Clase De Limitación	3 acorde a EN/IEC 60898-1
[Uj] Tensión Nominal De Aislamiento	440 V AC 50/60 Hz acorde a Icu
[Uimp] Resistencia A Picos De Tensión	4 kV acorde a Icu
Indicador De Posición Del Contacto	Si
Tipo De Control	Maneta
Señalizaciones En Local	Indicación de encendido/apagado Indicador de disparo
Tipo De Montaje	Ajustable en clip
Soporte De Montaje	Carril DIN

Aviso Legal: Esta documentación no pretende sustituir ni debe utilizarse para determinar la adecuación o la fiabilidad de estos productos para aplicaciones específicas de los usuarios

Pasos De 9 Mm	6
Altura	85 mm
Anchura	54 mm
Profundidad	74 mm
Peso Del Producto	340 g
Color	Blanco
Durabilidad Mecánica	20000 ciclos
Durabilidad Eléctrica	10000 ciclos
Descripción De Las Opciones De Bloqueo	Dispositivo de cierre con candado
Conexiones - Terminales	Terminales de tipo túnel arriba o abajo1...10 mm² flexible Terminales de tipo túnel arriba o abajo1...16 mm² rígido
Longitud De Cable Pelado Para Conectar Bornas	14 mm for arriba o abajo connection
Par De Apriete	2 N.m arriba o abajo
Protección Contra Fugas A Tierra	Bloque independiente

Entorno

Normas	EN/IEC 60898-1 Icu
Certificaciones De Producto	CE BV RINA DNV
Grado De Protección Ip	IP20 conforming to IEC 60529 IP40 (envolvente modular) conforming to IEC 60529
Grado De Contaminación	3 acorde a Icu
Humedad Relativa	95 % en 55 °C
Altitud Máxima De Funcionamiento	2000 m
Temperatura Ambiente De Funcionamiento	-25...70 °C
Temperatura Ambiente De Almacenamiento	-40...85 °C

Unidades de embalaje

Tipo De Unidad De Paquete 1	PCE
Número De Unidades En El Paquete 1	1
Paquete 1 Altura	7,4 cm
Paquete 1 Ancho	5,4 cm
Paquete 1 Longitud	9,4 cm
Paquete 1 Peso	330,0 g
Tipo De Unidad De Paquete 2	BB1
Número De Unidades En El Paquete 2	4
Paquete 2 Altura	8,2 cm
Paquete 2 Ancho	9,4 cm
Paquete 2 Longitud	22,7 cm
Paquete 2 Peso	1,378 kg

Tipo De Unidad De Paquete 3	S03
Número De Unidades En El Paquete 3	44
Paquete 3 Altura	30,0 cm
Paquete 3 Ancho	30,0 cm
Paquete 3 Longitud	40,0 cm
Paquete 3 Peso	16,738 kg

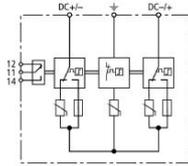


DG YPV SCI 1000 FM (950 535)

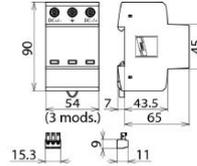
- Prewired complete unit for use in photovoltaic systems
- Combined disconnection and short-circuiting device with safe electrical isolation prevents fire damage resulting from d.c. arcs (patented SCI principle)
- Can be used without backup fuse up to $I_{SCPV} = 200$ A d.c.



Picture without obligation



Basic circuit diagram DG YPV SCI 1000 FM



Dimension drawing DG YPV SCI 1000 FM

Multipole surge arrester with three-step d.c. switching device for use in PV systems, with remote signalling contact for monitoring device (floating changeover contact).

Type	DG YPV SCI 1000 FM
Part No.	950 535
SPD according to EN 50539-11	type 2
Max. PV voltage (U_{CPV})	≤ 1000 V
Short-circuit current rating (I_{SCPV})	200 A
Total discharge current (8/20 μ s) (I_{tot})	40 kA
Nominal discharge current (8/20 μ s) [(DC+/DC-) \rightarrow PE] (I_n)	12.5 kA
Maximum discharge current (8/20 μ s) [(DC+/DC-) \rightarrow PE] (I_{max})	25 kA
Voltage protection level (U_p)	≤ 4 kV
Voltage protection level at 5 kA (U_p)	≤ 3.5 kV
Response time (t_a)	≤ 25 ns
Operating temperature range (T_U)	-40 °C ... +80 °C
Operating state / fault indication	green / red
Number of ports	1
Cross-sectional area (min.)	1.5 mm ² solid / flexible
Cross-sectional area (max.)	35 mm ² stranded / 25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rails acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20
Capacity	3 mod(s), DIN 43880
Approvals	KEMA, UL
Type of remote signalling contact	changeover contact
a.c. switching capacity	250 V / 0.5 A
d.c. switching capacity	250 V / 0.1 A, 125 V / 0.2 A, 75 V / 0.5 A
Cross-sectional area for remote signalling terminals	max. 1.5 mm ² solid / flexible
Weight	310 g
Customs tariff number	85363030
GTIN	4013364154988
PU	1 pc(s)

We reserve the right to introduce changes in performance, configuration and technology, dimensions, weights and materials in the course of technical progress. The figures are shown without obligation.

© DEHN + SÖHNE GmbH + Co. KG · Hans-Dehn-Str. 1 · Postfach 1640 · D-92306 Neumarkt · Tel. +499181 906-0 · www.dehn.de

✓, Tested New Discontinued Model