



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

# **Aplicación de instalaciones fotovoltaicas para autoconsumo en una fábrica de pellets.**

Autor:

Bravo Segarra, Alejandro

Tutor TFG:

Lorenzana Iban, Antolin

Departamento:

CAIT y MMCT Estructuras

Tutor de prácticas:

Hugo Adeva Toral

Empresa: Ingemedio

Valladolid, julio 2022



---

**Universidad de Valladolid**



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a mis padres, que gracias a su esfuerzo y trabajo diario he podido vivir y estudiar lo que he decidido contando siempre con su apoyo. Mi hermana y el resto de mi familia que siempre han estado en todos los momentos fáciles y menos fáciles.

Mencionar a mi abuela Mari Agustina que gracias a su incansable trabajo para que tuviera las cosas cotidianas más fáciles (comidas, limpiezas, planchas...), he podido dedicar más tiempo a la carrera y tener espacio para el ocio de vez en cuando.

A mis compañeros de clase, chavales muy trabajadores, amables y sobre todo muy generosos con los que he compartido innumerables horas en la biblioteca y gracias a la mutual colaboración hemos conseguido llegar a superar lo que en primero parecía imposible.

Profesores, tutores y trabajadores de la universidad por toda la dedicación que han dedicado en enseñar materias, transmitir la pasión por su campo de conocimiento y despertar la curiosidad insaciable de aprender día a día.

Gracias a ellos soy quien soy y no puedo hacer otra cosa más que agradecerles todo el apoyo, cariño y tiempo que me han dado, tanto a lo largo de esta etapa académica como en el resto de los ámbitos en los que se encuentran presentes en mi vida.

Sin ellos, nada de esto hubiera sido posible.

Por esto y mucho más, gracias.



## RESUMEN

El proyecto tiene como función principal la realización de un anteproyecto de una instalación fotovoltaica de 540 kWp para abastecer mediante autoconsumo una fábrica de pellets de paja en Alar del Rey (Palencia).

Primeramente se hace una introducción a la tecnología solar fotovoltaica y su evolución en el marco europeo y español. A continuación se describe la empresa promotora de la instalación, su actividad productiva, consumos eléctricos y se dimensionamiento de la instalación.

Posteriormente, se describen las obras a realizar, describiendo el emplazamiento de, instalación fotovoltaica, los cálculos, los equipos instalados y normativas vigentes. Los detalles gráficos se podrán ver en el apartado de planos al final del documento. Mediante software de simulación se hace el estudio de la producción de energía, estudio económico y rentabilidad del proyecto.

Finalmente se analizará la rentabilidad y aplicabilidad real de los datos, se realizarán comparaciones de los resultados con plantas reales. Una vez garantizada o no su validez, se valorará la instalación del plan inicial o la introducción de alternativas.

## PALABRAS CLAVE

Instalación solar fotovoltaica, autoconsumo, granulación de forraje, consumos eléctricos, simulación, producción, rentabilidad.

## ABSTRACT

The main function of the project is to carry out a preliminary project of a 540 kWp photovoltaic installation to supply a straw pellet factory in Alar del Rey (Palencia) through self-consumption.

First, an introduction to photovoltaic solar technology and its evolution in the European and Spanish framework is made. The following describes the company promoting the installation, its productive activity, electricity consumption and the sizing of the installation.

Subsequently, the works to be carried out are described, describing the location of the photovoltaic installation, the calculations, the installed equipment and current regulations. The graphic details can be seen in the drawings section at the end of the document. Through simulation software, the study of energy production, economic study and profitability of the project is made.

Finally, the profitability and real applicability of the data will be analyzed, comparisons of the results with real plants will be made. Once its validity has been guaranteed or not, the installation of the initial plan or the introduction of alternatives will be assessed.

## KEY WORDS

Photovoltaic solar installation, self-consumption, fodder granulation, electricity consumption, simulation, production, profitability.



## ÍNDICE GENERAL

### 1. MEMORIA

### 2. ANEJOS

#### 2.1. FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

#### 2.2. PLANOS

##### 2.2.1. SITUACIÓN

##### 2.2.2. DISTRIBUCIÓN DE PANELE

##### 2.2.3. INVERSORES

##### 2.2.4. TOMAS A TIERRA

##### 2.2.5. CONEXIONES DC

##### 2.2.6. CONEXIONES AC

##### 2.2.7. UNIFILAR 1

##### 2.2.8. UNIFILAR 2



## ÍNDICE DE LA MEMORIA

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1
1.1.	ANTECEDENTES.....	2
1.2.	OBJETO DEL PROYECTO.....	3
1.3.	OBJETIVOS GENERALES.....	4
1.4.	PROMOTORES.....	5
2.	TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTÁICA .....	6
2.1.	INTRODUCCIÓN.....	6
2.2.	COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN .....	8
2.3.	TIPOS DE INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTÁICAS .....	14
2.3.1.	CONECTADAS A RED.....	14
2.3.2.	AISLADAS DE LA RED.....	15
2.4.	EVOLUCIÓN DEL SECTOR FOTOVOLTAICO .....	16
2.4.1.	ENERGÍA FOTOVOLTÁICA EN EUROPA .....	16
2.4.2.	EVOLUCIÓN DE LA ENERGÍA FV EN ESPAÑA .....	23
2.4.3.	SECTOR ELÉCTRICO ESPAÑOL .....	28
3.	DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PRODUCTIVA.....	30
3.1.	DATOS DE LA EMPRESA.....	30
3.2.	ACTIVIDAD PRODUCTIVA.....	30
3.2.1.	LÍNEA DE GRANULADO .....	31
3.3.	EMPLAZAMIENTO DE LA EMPRESA .....	41
3.4.	CONSUMO ELÉCTRICO ACTUAL .....	42
3.4.1.	CONSUMO ANUAL.....	42
3.4.2.	CONSUMO MENSUAL.....	42
3.4.3.	CONSUMO DIARIO.....	43
3.4.4.	FUTUROS CONSUMOS .....	47



3.5.	DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA.....	48
3.5.1.	IRRADIACIÓN SUPERFICIAL .....	48
3.5.2.	POTENCIA PARA INSTALAR .....	51
3.5.3.	ELECCIÓN DE ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN.....	52
4.	DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS PROYECTADAS .....	55
4.1.	EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACIÓN.....	55
3.2.	REGLAMENTOS Y NORMAS .....	57
3.2.1.	PRODUCCIÓN ELÉCTRICA .....	57
3.2.2.	INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS.....	58
3.2.3.	OBRA CIVIL.....	58
3.2.4.	INSTALACIONES DE BT. GENERADORES DE BT .....	59
3.2.5.	INSTALACIONES DE MT.....	59
3.2.6.	SEGURIDAD INDUSTRIAL.....	59
3.3.	JUSTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD DE INSTALACIÓN .....	61
3.4.	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN .....	62
3.4.1.	CLASIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN .....	62
3.4.2.	OBLIGACIÓN PRODUCTORES DE FUENTES RENOVABLES .....	63
3.4.3.	POTENCIA DE LA PLANTA SOLAR.....	63
3.4.4.	OCUPACIÓN.....	64
3.4.5.	FICHA GENERAL DEL PROYECTO .....	69
3.4.6.	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	70
3.5.	DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS .....	75
3.5.1.	PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO .....	75
3.5.2.	INVERSOR SOLAR FOTOVOLTAICO.....	76
3.5.3.	SEGUIDOR SOLAR.....	77
3.5.4.	DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD .....	78



3.5.5. MONITORIZACIÓN .....	79
3.6. CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS EN LA INSTALACIÓN.....	80
3.6.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS PANELES EN LA FINCA .....	80
3.6.2. CONEXION ENTRE PANELES .....	81
3.6.3. CONEXIONES EN EL INVERSOR.....	83
3.6.4. CONEXIÓN EN EL ARMARIO DE CONEXIÓN GENERAL.....	84
3.6.5. CONEXIÓN CON EL CUADRO EXISTENTE .....	84
3.6.6. CONEXIONES A TIERRA.....	85
4. ESTUDIO DE VIABILIDAD Y RENTABILIDAD .....	86
4.1. RESULTADOS GENERALES .....	86
4.2. RESULTADOS DE SIMUACIÓN.....	87
4.2.1. CONTRIBUCIÓN DE LOS DIFERENTES CAMPOS DE PANELES.....	88
4.2.2. PRONÓSTICO DE RENDIMIENTO DE CONSUMO.....	90
4.2.3. UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA FOTOVOLTÁICA.....	90
4.2.4. COBERTURA DE CONSUMO .....	91
4.2.5. PRONÓSTICO DE RENDIMIENTO DE LA INSTALACIÓN .....	91
4.2.6. IRRADIACION POR SUPERFICIE DE MÓDULO .....	92
4.2.7. TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MÓDULO.....	93
4.3. BALANCE ENERGÉTICO DE LA INSTALACIÓN FV.....	94
4.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA .....	96
4.1.1. FLUJO DE CAJA.....	97
5. CONCLUSIONES.....	99
5.1. CUMPLIMIENTO DE LOS OBTETIVOS .....	99
5.2. LÍNEAS FUTURAS .....	100
5.3. CONSIDERACIONES ADICIONALES .....	100



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**



## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Se comienza el proyecto planteando una situación inicial, en la localidad de Alar del Rey, en Palencia, existe una empresa llama *Forrajes Canal de Castilla.SL.* esta empresa se dedica a la compraventa y almacenamiento de cereal y principalmente a la producción de pellets de paja para alimentación animal.

Al igual que muchas otras empresas en el ámbito nacional se está viendo afectada por el incremento de los costes de la luz. Debido a diferentes factores como la inflación mercados internacionales o la guerra de Ucrania, el precio del KWh ha ido en aumento. El precio de la electricidad repercute a los demás precios ya que las plantas de fabricación tienen que subir los precios de los productos para asumir los costes de fabricación, incrementándose el precio del producto final.

Además, el precio del combustible ha aumentado drásticamente. Tomando como ejemplo el precio del Gasóleo A se puede apreciar claramente. En 2020, el precio medio del Gasóleo A fue de 1.046 €, durante el año 2021 la media del precio de Gasóleo A en España fue de 1.192€, en 2022 el valor medio fue de 1.87€ con un mínimo de 1.78 € a 11-abr-2022 y un máximo de 2.08 € a 20-jun-2022. Esto supone un aumento del precio medio del 178% de 2020 a 2022. Como consecuencia directa del aumento del precio del combustible, el precio del transporte también ha crecido.

En esta situación, muchas empresas que se han quedado sin márgenes han tenido que cerrar o entrar en concurso debido a que su modelo económico no era sostenible.

Una solución que se plantea para mejorar la situación es realizar un estudio energético de la planta productiva, estudiando la actual estructura de la empresa sus consumos energéticos y buscando alternativas al consumo de energía directa de la red eléctrica.

La opción más viable de las que se han estudiado es la instalación de una pequeña planta fotovoltaica de autoconsumo, debido a los siguientes factores:

- ✓ Es una instalación con inversión relativamente reducida para los ahorros obtenidos.
- ✓ Es una tecnología contrastada, y que ha sufrido una reducción de costes y una gran mejora tecnológica en sus equipos en los últimos años.
- ✓ Es una instalación con muy poco mantenimiento.
- ✓ Tiene unos beneficios ambientales importantes asociados a los económicos.

Es por estas y otras razones, que la decisión ha sido la instalación de esta planta solar fotovoltaica como medida de reducción de los costes energéticos y reducción de emisión de gases de efecto invernadero asociados al consumo de energía eléctrica.



## 1.1. ANTECEDENTES

Las energías renovables cada vez están más presentes en la edificación a cualquier escala, desde grandes edificios a pequeñas viviendas unifamiliares. Ya sea planteando el diseño del edificio en base a la implantación de sistemas de ahorro y eficiencia energética o implementándolas posteriormente tras la construcción. Se tiene próximo el edificio IndUVa como ejemplo de edificio sostenible, solamente que es un edificio de nueva construcción. Pero es un ejemplo claro de la búsqueda de independencia energética en la edificación.

Y es por ello por lo que se plantea la elaboración de un ejemplo de aplicación didáctico para que cualquier ciudadano que pueda leerlo, se pueda intrigar a solicitar la ejecución de una instalación de origen renovable en su entorno, ya que este trabajo no es un proyecto de ejecución ya que no se dispone de mediciones.

En este trabajo se va a dimensionar con fines didácticos la aplicación de diferentes instalaciones. Con el fin de que conlleven a un ahorro en las facturas, reducción de emisiones y con ello contribuir a un mundo libre de emisiones. Y todo ello, sin realizar una inversión enorme que no pueda ser abordada por la empresa dispuesta a ser independiente energéticamente.

Se realiza con el objetivo de que cualquier estudiante pueda servirle como ejemplo, así como sepan algo más de la existencia de programas como PV-SOL, PV-SIS, CHEQ4 y CE3X, que son fundamentales en el sector energético. Así como también les puede servir a gestores, asesores de comunidades u otras empresas como fuente para interesarse por acometer estos proyectos.



## 1.2. OBJETO DEL PROYECTO

En este documento se elaborará un estudio de eficiencia energética de la planta de Forrajes Canal de Castilla (Palencia). Se procederá a estudiar los consumos a lo largo del año para dimensionar, diseñar e instalar una planta fotovoltaica de autoconsumo sin vertido a red que cubra parte de la demanda eléctrica.

El presente documento tiene por objeto desarrollar de manera detallada las instalaciones que forma parte de la planta solar fotovoltaica de 540 kWp de potencia instalada.

A grandes rasgos, el contenido del documento se puede dividir en varias partes:

1. Introducción, evolución de la tecnología solar fotovoltaica.
2. El estudio de la planta productiva, de sus necesidades energéticas. Estudio de los consumos horario a lo largo de un año, buscando reducir al máximo el consumo de la red en las horas de máxima demanda eléctrica.
3. El diseño, dimensionamiento y cálculo del sistema de generación de energía solar fotovoltaica. Descripción detallada e las obras proyectadas; emplazamiento de la instalación, tipo de terreno de la finca, distribución y orientación de los paneles, potencia instalada, la conexión con el inversor, acometidas eléctricas y conexión con el centro de transformación.
4. Estudio de la viabilidad y rentabilidad económica de la instalación y de las posibles alternativas que se presentan el proyecto.



### 1.3. OBJETIVOS GENERALES

La redacción de este documento tiene como objetivo principal la realización de un anteproyecto, es decir un estudio detallado lo más realista posible de la rentabilidad de la instalación de un parque fotovoltaico para cubrir de forma óptima las necesidades energéticas de una planta de producción de pellets.

Con la intención de que sea lo más cercano a la realidad se utilizará software de simulación PV-SOL, con datos reales del emplazamiento, consumo cuarto horario anual real de la planta productiva, datos climáticos, precios de los equipos, centros de transformación existentes.

Uno de los objetivos es dimensionar correctamente la instalación, utilizando el mínimo número de recursos para un resultado optimizado. Respetando normativas vigentes, planteando la instalación de los elementos de protección necesarios para garantizar la seguridad.

Cabe destacar, que no se trata de un proyecto realista que certifique la instalación para ejecutar las obras. Pero se asemeja en muchos puntos, plantea rendimientos y rentabilidades de la instalación que sirven para la tomar le decisión de realizar finalmente la instalación planteada.

No deja de ser un ejercicio académico, pero el objetivo principal es la valoración de la rentabilidad de la instalación, garantizando o no su validez pudiéndose plantear diferentes escenarios o modificaciones favorables.

El objetivo final es la correcta simulación de los datos de la forma más precisa posible, rozando la realidad para poder tomar decisiones sobre la implantación real de la planta, ahorrando así mucho dinero y tiempo en la instalación y prueba de alternativas fallidas y proyectos reales necesarios que no conducirían a resultados satisfactorios.

En el apartado de conclusiones se valorará si se han cumplido los objetivos planteados y por ende si se ha desarrollado satisfactoriamente el ejercicio.



#### 1.4. PROMOTORES

Este documento está orientado al desarrollo de los conocimientos obtenidos en los años cursados en la Universidad de Valladolid, véase como una forma de aplicación de parte de estos, siendo formalmente conocido como proyecto de fin de grado. Véase de esta forma a la Universidad como principal petionario del documento.

- Titular: Universidad de Valladolid
- CIF: Q4718001C
- Domicilio: Plaza del Colegio de Santa Cruz 8 · 47002 · Valladolid

A su vez este documento es de gran utilidad para el gerente de la empresa Forrajes Canal de Castilla, Jesús Teodoro Bravo Arroyo. El domicilio a efectos de notificación en Calle tras la Estación 11, 34480, Alar del Rey, Palencia.

- Denominación social: Forrajes Canal de Castilla.S.L.
- CIF.: B67699421
- Dirección social: Calle tras la Estación 11, 34480, Alar del Rey, Palencia
- Persona de contacto: Jesús Teodoro Bravo Arroyo



## 2. TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

### 2.1. INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de la tecnología solar fotovoltaica se basa en la transformación de la radiación solar fotovoltaica en energía eléctrica. Para conseguir este propósito se utilizan generadores solares fotovoltaicos, formados por módulos fotovoltaicos, que a su vez están compuestos por células fotovoltaicas constituidas por un material semiconductor.

El material semiconductor generalmente empleado en la construcción de paneles fotovoltaicos es el silicio. El semiconductor recibe la radiación solar que es absorbida por cada célula, provocando el salto de electrones de una capa atómica a otra, generando así corriente eléctrica. Este efecto es conocido como el efecto fotovoltaico.

Lo que ocurre en profundidad con el efecto fotovoltaico es que los fotones recibidos en la célula, emitidos por el sol, alteran un electrón del material. La energía proporcionada por los fotones hace que los electrones venzan la energía que les atrae a su núcleo (valencia). De esta manera, el electrón se libera del átomo, transportándose por el material conductor (el silicio). Para conseguir este efecto es fundamental que la fuerza con la cual impacta la partícula de radiación sea de 1,2 eV.

Cuando el electrón se desprende y comienza a desplazarse por el material conductor su átomo se queda incompleto. Todo ello genera una carga eléctrica que es la que puede ser extraída de los paneles solares fotovoltaicos, aprovechando de esta forma una energía renovable e inagotable, la energía solar. Ahora bien, para que estas cargas puedan ser extraídas del panel solar es fundamental que las mismas se produzcan de manera ininterrumpida. Es decir, que los electrones circulen en la dirección contraria a los huecos que se generan en los átomos. Algo que se consigue simplemente con la creación de un campo eléctrico con polaridad persistente.

La energía eléctrica producida por los módulos eléctricos es corriente continua. Es necesario elementos intermedios que transformen la corriente continua en corriente alterna. Este equipo intermedio es el inversor. Los inversores reciben la corriente continua de los paneles fotovoltaicos y la transforman la corriente alterna, además también sirve como elemento de control, protección y monitorización.

Según el tipo de instalación que se quiere ejecutar, se acoplarán otros elementos a la instalación, como las baterías, muy habituales en instalaciones de autoconsumo puro en viviendas unifamiliares.

Concretamente en este trabajo no se van a emplear acumuladores ya que la instalación a dimensionar va a ceder toda la energía producida a la planta industrial. La instalación será de autoconsumo sin vertido a red. Para asegurar que no se vierte a la red, se instarán equipos de anti vertido.

En resumen, la fuente de energía es el sol, que emite energía que llega a la tierra en forma de irradiancia, medida en  $W/m^2$ . La irradiación la aprovechan los paneles solares en los que materiales semiconductores convierten en energía eléctrica, concretamente corriente continua. A continuación, el inversor transforma la corriente continua a corriente alterna. La corriente alterna es distribuida a la planta productiva.

Las necesidades energéticas de la planta productiva se cubren mediante el consumo de la red y la planta FV. La corriente de la red es de Alta tensión por lo que es necesario un centro de transformación para pasar de alta tensión (20.000 V) a baja tensión (400V), utilizable por los motores y aparatos de la planta. La instalación solar está diseñada para no verter energía a la red, trasladando la energía producida a la planta.

Lo explicado anteriormente se puede ver representado en el siguiente esquema [1].

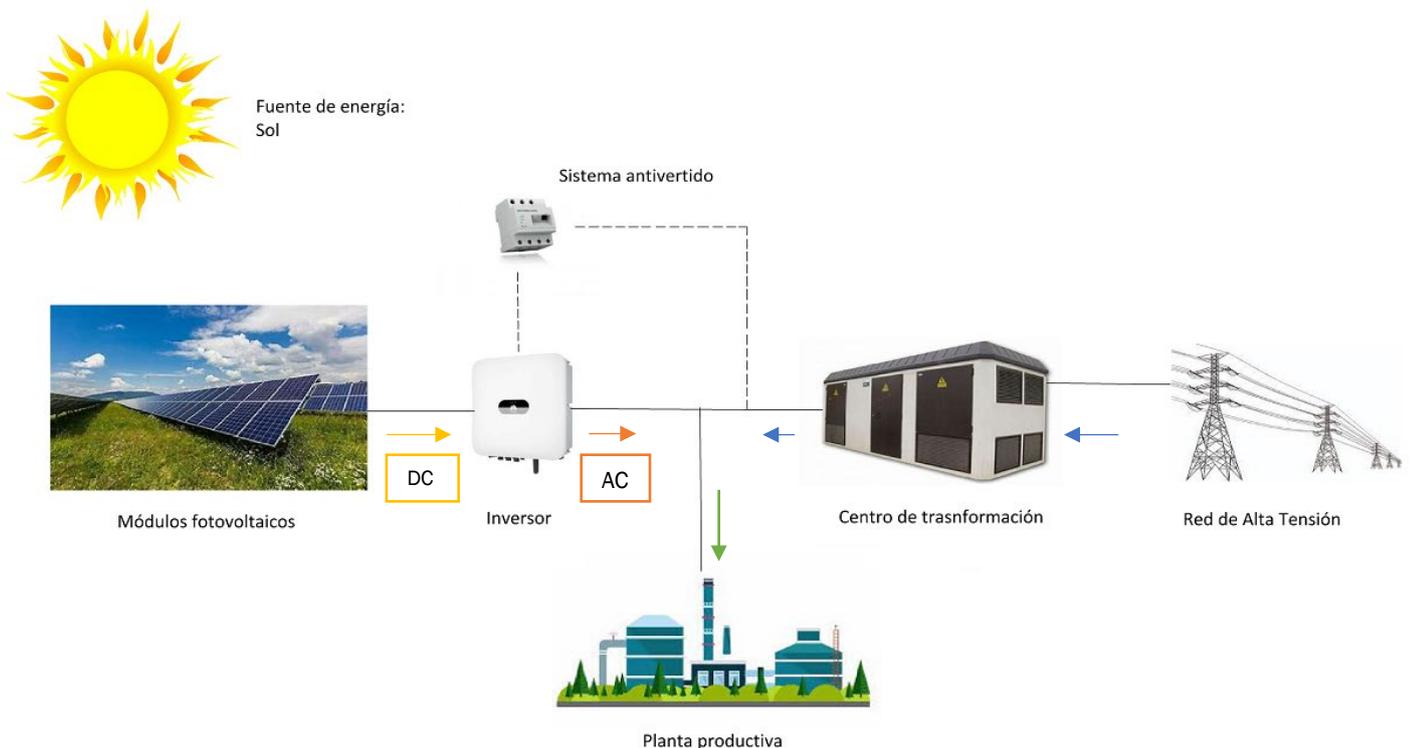


Figura 1. Fuente: Imagen de desarrollo propio

## 2.2. COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN

En una instalación fotovoltaica genérica se pueden distinguir los siguientes componentes:

### 1. Módulos fotovoltaicos

Los módulos o paneles solares son los generadores fotovoltaicos de la instalación. Son los encargados de captar la radiación solar gracias a sus células, y convertirla en energía eléctrica.

Normalmente los paneles tienen entre 36-96 células conectadas en serie, aunque también se pueden dar conexiones en paralelo dentro del mismo módulo. Los que los módulos están formados a su vez por los siguientes elementos:

- Marco de aluminio
- Cubierta de vidrio
- Encapsulantes
- Célula fotovoltaica
- Cubierta posterior
- Conexión
- Cajetín estanco
- Diodo de protección
- Bornas de conexión
- Agujero de fijación

### **ELEMENTOS DE UN PANEL FOTOVOLTAICO**

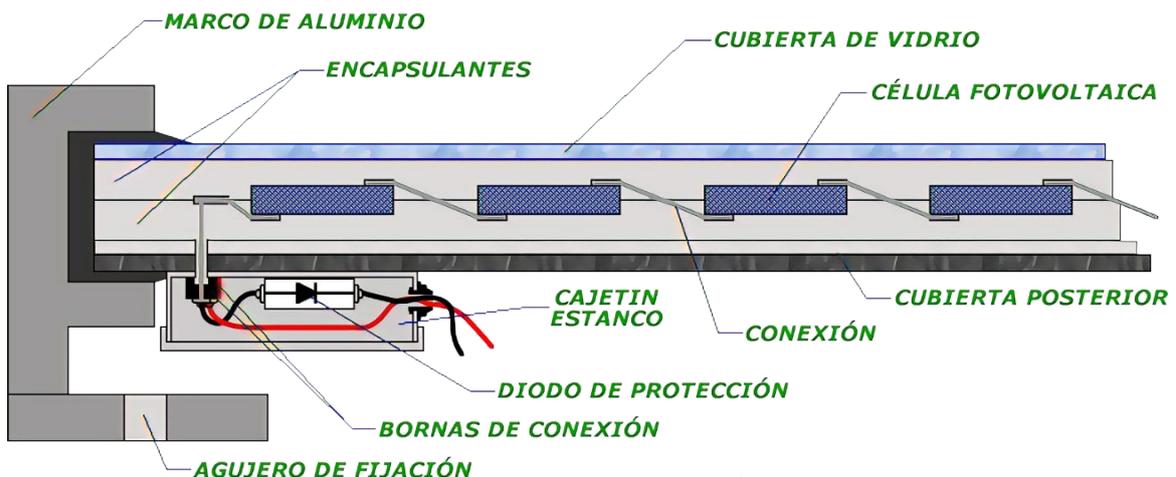


Figura 2.

Existen tres tipos reconocidos de placas solares, figura [3]:

- Monocristalinos: Poseen los índices de eficiencia más altos y funcionan mejor que otros en condiciones de baja radiación. Como su nombre indica, los paneles solares monocristalinos son elaborados a partir de bloques de silicio enteros. Esto hace costosa su fabricación. No obstante, su vida útil es más larga y el ahorro que proporciona acelera el retorno de la inversión. Se distinguen por su color negro.
- Policristalinos: El silicio empleado en este tipo de paneles no es homogéneo. De modo que su estructura cristalina no es uniforme en toda su extensión. En consecuencia, los paneles policristalinos son menos eficientes que los monocristalinos y se requiere una mayor cantidad de ellos para lograr determinada potencia. Puedes identificarlos por su color azul.
- Paneles solares amorfos o de capa fina: Son más económicos, pero menos eficientes que los anteriores y su vida útil es más corta. Son flexibles y se amoldan a cualquier superficie.



Figura 3. Tipos de paneles solares. Fuente tritec-intervento.cl

## 2. Inversor

El inversor se puede definir como es un equipo eléctrico compacto y de forma rectangular que se utiliza para convertir voltaje de corriente continua (CC) a voltaje de corriente alterna (CA).

La corriente continua (CC) se utiliza en muchos equipos eléctricos. Los paneles solares producen CC, las baterías de almacenamiento de energía, pilas de combustible se producen en corriente continua. El inversor, es un elemento fundamental ya que suministra corriente alterna (CA), aprovechable, a los parámetros de tensión y frecuencia correctos.



Figura 4. (Inversor Huawei 100Kw)

Los inversores solares también son llamados convertidores. Esta es su función principal y por la que reciben su nombre. Sin embargo, no es la única. El inversor es, sin duda, un punto clave de nuestra instalación fotovoltaica porque, además de invertir la corriente para hacerla útil, puede desempeñar otras funciones:

- a. Proteger la instalación. En caso de problema o cortocircuito deben poder parar la generación de energía.
- b. Optimizar la producción de electricidad. De manera que puedan adaptar dicha producción a la situación solar que haya, la necesidad de energía que tengamos, etc.
- c. Sincronizarse con la red eléctrica o las baterías. Para que todo funcione perfectamente y tengamos la energía más conveniente de las distintas fuentes que haya en nuestra instalación.
- d. Recoger y ofrecer información útil. Referida a la producción de energía, el rendimiento de la instalación y de cada uno de los paneles para comprobar que todo funciona correctamente. En caso de que haya algún problema, el inversor proporciona información valiosa.



## Tipos de Inversores:

### 1. Los inversores de conexión a la red

Son los de las instalaciones solares que están conectadas a la red eléctrica general. Además de la conversión de corriente, tienen otra función principal muy importante, mantienen la tensión de la energía generada por los paneles solares un poco por encima de la de la red. De esa manera, se prioriza el uso de la energía solar, ahorrando todo lo posible gracias a utilizar primero el autoconsumo.

Además de eso, actúan como aparatos inteligentes, capaces de monitorizar en todo momento el estado de la instalación y la demanda de energía, cogiendo de donde haga falta para cubrirla y almacenando datos sobre todo el proceso.

### 2. Los inversores de instalaciones aisladas con baterías

Hay instalaciones fotovoltaicas 100% independientes de la red eléctrica general. En esos casos, es necesaria la instalación de baterías para almacenar energía, ya que el sol es una fuente intermitente y no está disponible por las noches.

Esta clase de inversores suelen tener incorporadas funciones para cargar las baterías, controlar dicha carga y proporcionar seguridad, además de su función principal de conversión de corriente.

### 3. Inversores mixtos de baterías e instalación de red

Como una instalación puede estar conectada a la red eléctrica, y además tener también baterías para mayor seguridad, existen los inversores híbridos capaces de gestionar correctamente las tres fuentes de energía disponibles. Estos son los tipos fundamentales de inversores solares, pero también se pueden clasificar por otros aspectos técnicos.

Por ejemplo, existen los inversores de onda sinusoidal (los más comunes en instalaciones domésticas) o los de onda senoidal modificada (más aptos para ciertas instalaciones industriales).

Del mismo modo, hay inversores monofásicos y trifásicos, micro inversores (que se ponen individualmente en cada panel y los gestionan de uno en uno) e inversores de cadena (los más comunes, que gestionan a la vez toda la energía que viene de los paneles).

Como vemos, la variedad de inversores solares es amplia, pero en general nos interesará explorar posibilidades partiendo del tipo de instalación fotovoltaica que queramos: conectada a la red, aislada con baterías o conectada a la red y además con baterías.



A partir de ahí, encontraremos gran variedad según las distintas funciones que puedan hacer, además de diferir en características como la potencia, el pico máximo, el consumo que hacen, capacidades Smart, etc.

En definitiva, el inversor solar es una pieza fundamental dentro de la instalación fotovoltaica. Es el cerebro y a la vez el vigilante de que todo marche adecuadamente. Un buen inversor hará que nuestra instalación funcione siempre optimizada y sin problemas.

### **3. Optimizadores**

Los optimizadores de potencia son componentes de una instalación fotovoltaica situados entre los paneles fotovoltaicos y el inversor. Precisamente, su función es mejorar el rendimiento de cada panel para que funcionen a su máxima potencia. Los optimizadores se aplican cuando un conjunto de paneles en serie presenta problemas de rendimiento. Algo que lleva al resto de módulos a funcionar a la misma potencia limitada que los paneles averiados. En estos casos, el optimizador permite la independencia de paneles sin afectar al rendimiento general de la instalación.

### **4. Equipos de seguridad y conexión a tierra**

Consisten en desconectadores de seguridad manuales o automáticos que protegen el cableado y los componentes de una instalación fotovoltaica de las subidas de tensión y otros fallos del sistema. Asimismo, garantizan que la infraestructura pueda desconectarse de forma segura para su mantenimiento y reparación. En el caso de los sistemas conectados a la red, estos dispositivos suspenden la conexión para brindar seguridad a los operadores que trabajan en los sistemas de transmisión y distribución. De forma idéntica, el equipo de puesta a tierra suministra una ruta de baja resistencia desde su sistema a la tierra para proteger el sistema fotovoltaico de las sobrecargas ocasionadas por rayos u otras averías en la instalación.

### **5. Cableado eléctrico**

Integrar los componentes de una instalación fotovoltaica requiere de una red de cableado bien distribuida. En efecto, el cableado eléctrico sirve para conectar la generación de energía desde su inicio hasta el uso final. Ciertamente, el trazado y longitud de este cableado puede variar en función del tipo de instalación. En las aisladas, los cables se limitan a transportar la electricidad hasta las baterías de almacenamiento o hacia el punto de consumo. A diferencia de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, en las que la extensión de este aumenta considerablemente.

## 6. Soportes

Es relevante tener en cuenta que los paneles fotovoltaicos deben instalarse en estructuras de montaje estables que sostengan el conjunto. Es indispensable que dichos soportes mantengan las placas bien orientadas e inclinadas de la forma más adecuada para aprovechar al máximo la radiación. Por igual, deben impedir los desplazamientos de los paneles bajo condiciones meteorológicas como el viento, la lluvia o la nieve.

## 7. Seguidores

Los seguidores solares son más utilizados en plantas fotovoltaicas destinadas a la distribución mediante la red eléctrica convencional y/o las emplazadas en tierra o en grandes terrazas planas. Se trata de mecanismos de orientación que permiten aumentar el rendimiento de los paneles fotovoltaicos según la posición del sol. Se estima que la instalación de seguidores solares mejora el rendimiento en casi un 30% en algunos casos de alta incidencia de la luz solar.

En función del eje y sus ajustes respecto al sol, los seguidores solares se pueden clasificar en seguidores solares en un eje (horizontal, polar o azimutal) y seguidores solares de dos ejes (siempre perpendiculares al sol). Imagen [5].



*Figura 5. Seguidor Solar. Fuente Trina Pro*

## 2.3. TIPOS DE INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS

### 2.3.1. CONECTADAS A RED

- Autoconsumo

Puede ser en viviendas o empresas, este tipo de instalación de energía solar tiene multitud de ventajas y es la más habitual en la actualidad. Siempre deben ser realizadas por profesionales para asegurar un buen rendimiento, una larga vida de la instalación y, sobre todo, una mayor seguridad para las personas que disfrutan de estas aplicaciones, no en vano, son sistemas de generación eléctrica que deben ser tomados a la ligera.

Las instalaciones de autoconsumo con conexión con la red eléctrica se les exige de un certificado de instalación o del fin de la obra que sea firmado y realizado por un instalador autorizado. Es fundamental disponer de este certificado por qué, de no ser así, la empresa comercializadora de energía eléctrica no podrá modificar el contrato y de esta manera no se podrá compensar la energía eléctrica que estamos se vierte en la red eléctrica.

- Autoconsumo con inyección a red

Se trata de Instalaciones fotovoltaicas diseñadas para cubrir las necesidades energéticas de un consumidor, ya sea vivienda o empresa. La producción de energía va destinada a cubrir la de manda eléctrica del consumidor, pero el excedente de energía producido por los paneles se vierte a red, cobrando la venta de esta energía o compensando en la factura de la luz.

- Autoconsumo sin inyección a red

Se trata de Instalaciones fotovoltaicas diseñadas para cubrir las necesidades energéticas de un consumidor, ya sea vivienda o empresa. La producción de energía va destinada a cubrir la de manda eléctrica del consumidor, se dimensionan de forma que se limite al máximo de energía en exceso producida, ya que al no verter a la red no se puede aprovechar. Existe el caso de acumular la energía mediante baterías o mediante el bombeo de agua.

- Instalación fotovoltaica vivienda unifamiliar

Dentro de las instalaciones de autoconsumo, las realizadas para vivienda unifamiliar son las más frecuentes. El coste de un panel solar, si lo comparamos con su ahorro, es insignificante.

Pensemos que, en un hogar medio, lo habitual es tener instalaciones fotovoltaicas de unos 3.000 vatios (o 3kW), que son unas 10 placas fotovoltaicas y con precio final de unos 6.000 euros o menos por que cada año el precio se reduce en torno a un 10% desde el 2018.

- Instalación de autoconsumo compartido

Este tipo de instalación, para autoconsumo compartido, se está comenzando a implantarse cada día más y consiste en una instalación fotovoltaica capaz de suministrar a un complejo de viviendas localizadas en las inmediaciones de la instalación.

- Instalaciones de venta a red

Son, por lo general, grandes huertas solares que vierten toda su producción a la red eléctrica para su venta al mercado. En general se tienen grandes dimensiones, normalmente más de 1 Megavatio de potencia instalada. Este tipo de instalaciones están implantándose cada vez más en la península ya que los factores son favorables. El precio de luz está subiendo por lo que la venta de energía repercute más ingresos. El precio del material fotovoltaico está disminuyendo ya que la tecnología avanza y aumenta la competencia entre empresas. Además, la instalación de huertos solares está incentivada por subvenciones públicas.

### 2.3.2. AISLADAS DE LA RED

Son aquellas que se encuentran alejadas de núcleos urbanos y sin acceso a la red de distribución eléctrica. Generalmente son instalaciones de pequeña potencia (10-100 kW), alimentadas por baterías. También podemos encontrar en esta categoría los bombes solares que suelen estar desconectados de la red eléctrica.

Una alternativa al uso de baterías para almacenar la energía son las Instalaciones fotovoltaicas de bombeo, imagen [6]. La energía eléctrica se usa para bombear agua a un depósito así, posteriormente se puede utilizar en las horas que no haya sol. Para utilizar la energía potencial del agua se puede instalar unas turbinas que convierten la energía cinética de la caída del chorro del agua por la tubería en energía potencial.

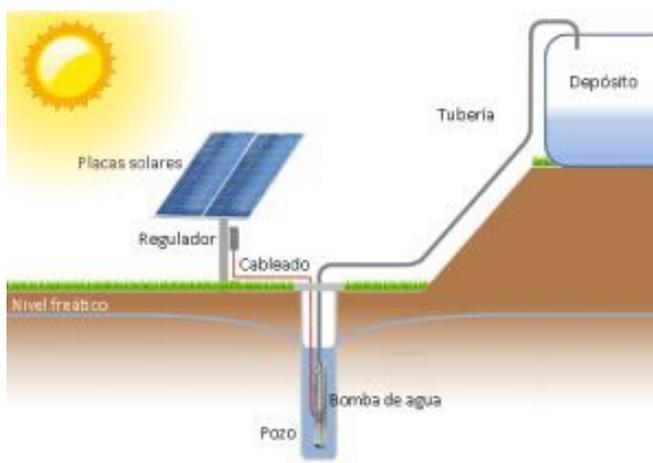


Figura 6. Instalación Solar de Bombeo.

Fuente helioesfera.com

## 2.4. EVOLUCIÓN DEL SECTOR FOTOVOLTAICO

### 2.4.1. ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN EUROPA

Debido a la ausencia de ciertas estrategias de inversión, Europa ha visto una desaceleración evidente en la capacidad de la instalación fotovoltaica. Por ejemplo, en 2012 las instalaciones alcanzaron los 17,7 GW. En 2013, fueron 10,5 GW y a julio de 2014, las instalaciones de conexión a red no llegaron a cruzar los niveles de los años anteriores. Una situación que está alejando el mercado continental de las futuras decisiones de inversión. A pesar de esta difícil situación, la energía solar ha cubierto más del 7% de la demanda en tres países europeos: Grecia, Italia y Alemania.

Se puede apreciar en la Imagen [7], España, Portugal, Córcega, Cerdeña, Sicilia y la mitad sur de Grecia son las zonas con más horas de luz del viejo continente.

El potencial para la instalación de energía fotovoltaica también se puede medir con un mapa de irradiancia sobre la superficie, imagen [8]. España, Sicilia Córcega y parte de Italia y Grecia son los países de la unión europea con más irradiación global de Europa. Concretamente, en España es donde más Irradiación global se acumula durante un año. Llegando en casi todo el territorio peninsular a los 2.000 KWh/m<sup>2</sup>.

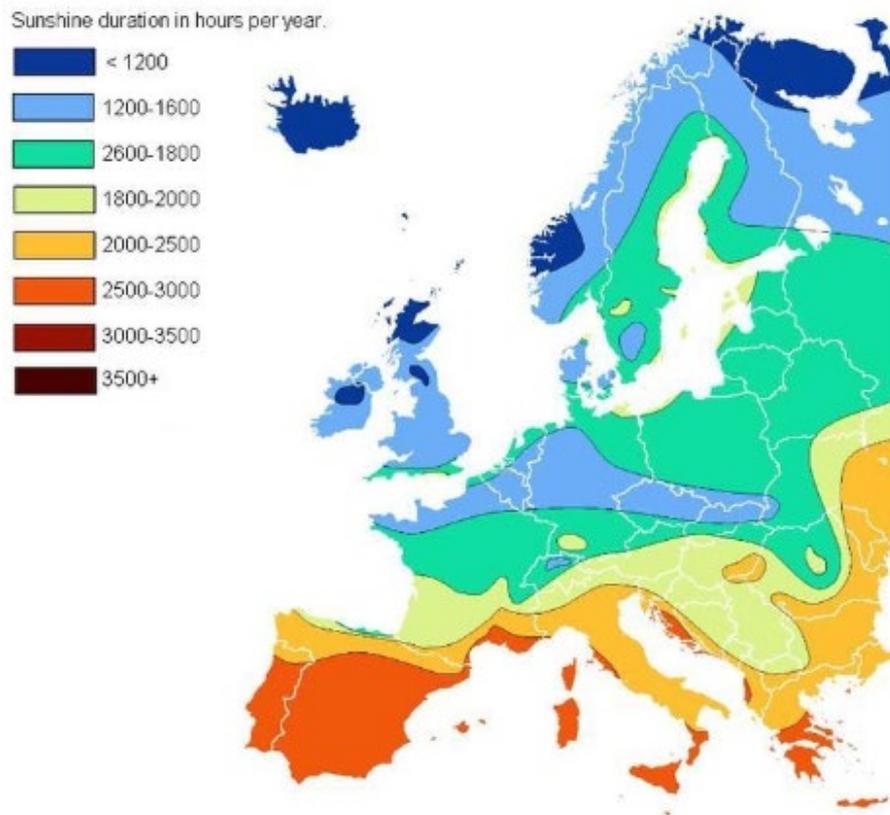


Figura 7. Horas de sol anuales en Europa. Fuente Gustavo Rivero

## Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries

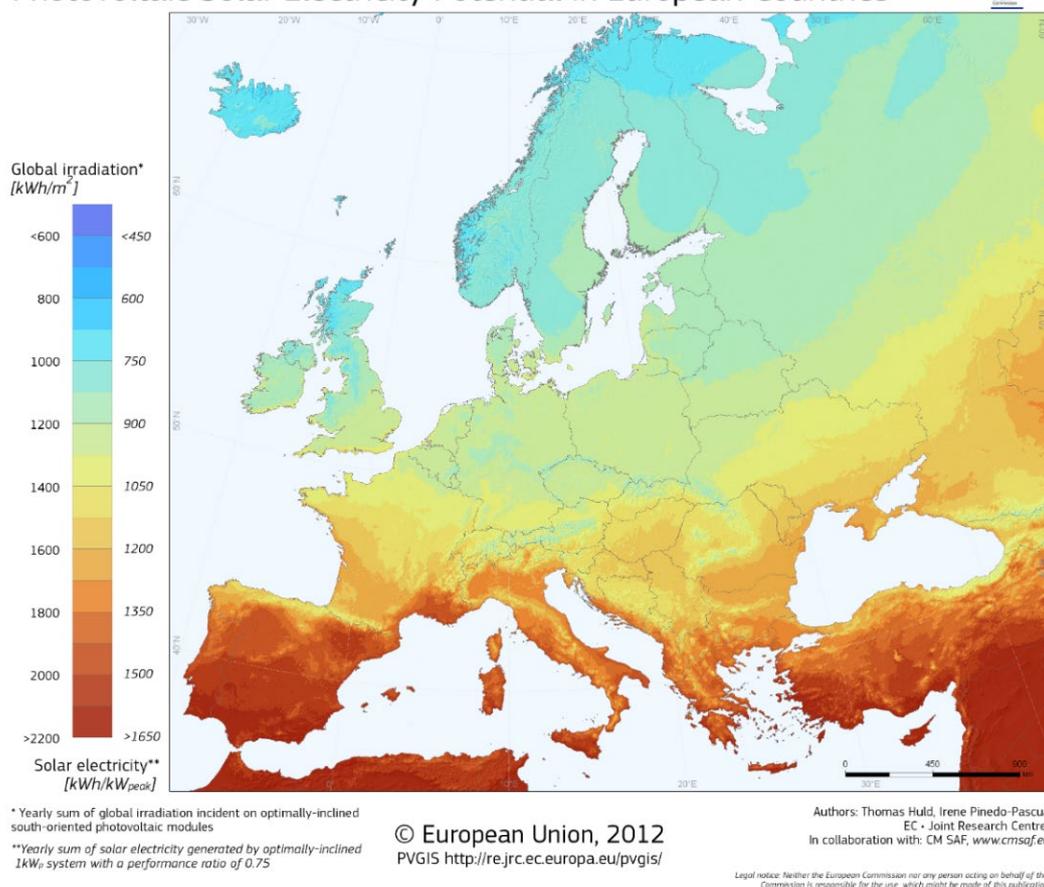


Figura 8. Irradiación Global anual en Europa. Fuente PVGIS

El Reino Unido, por primera vez supera a los otros países europeos con sus instalaciones faraónicas que resultan en una nueva potencia de 2,4 GW en 2014, seguido por Alemania con 1,9 GW y la Francia con 0,9 GW. España representa una instalación testimonial con sólo unos aislados proyectos. En 2014, el Reino Unido ha avanzado a España en términos de capacidad fotovoltaica instalada.

Los 2,4 GW instalados por el Reino Unido en 2014, representan un crecimiento del 82,7%, casi el doble de la capacidad instalada hasta ahora en el país. La causa fundamental de este desarrollo fue el sistema mixto de primas y de los certificados verdes que se han comprobado muy atractivos.

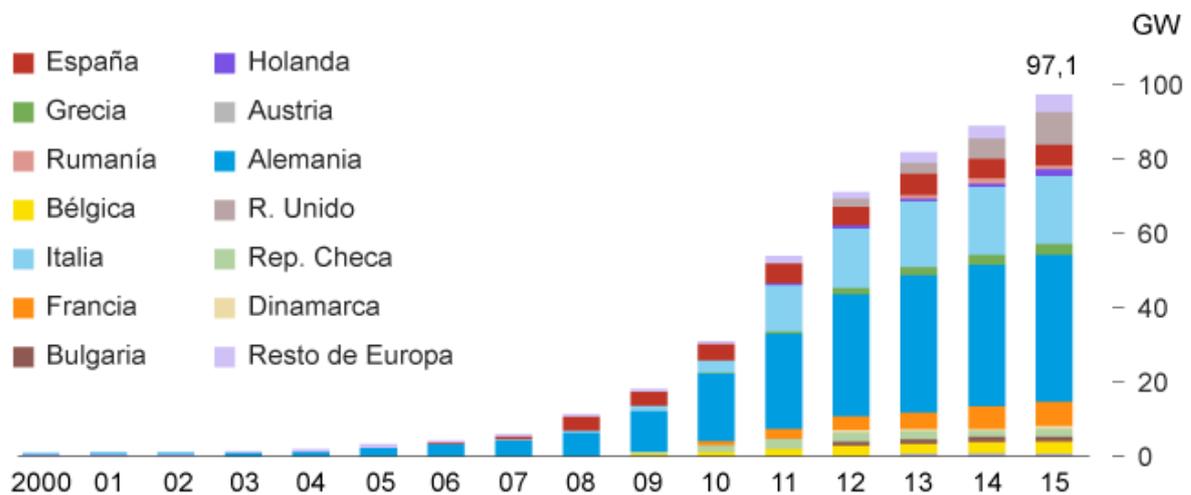
Alemania mantiene un ritmo estable de instalación basado en su estabilidad regulatoria, la confianza de los inversores y la positiva consideración de los propietarios de inmuebles por las instalaciones fotovoltaicas. Sin embargo, hay connotaciones negativas a esto. El objetivo del gobierno alemán era el de alcanzar los 2,4 GW de potencia nueva instalada. Este objetivo no se ha podido llevar a cabo en la forma propuesta, ya que la potencia instalada ha ascendido solamente hasta los 1,9 GW en 2014.

Por el contrario, en Francia, los 0,9 GW han sido suficientes para mostrar un crecimiento del 16%. Buena parte del crecimiento, hasta el 50% de las instalaciones fotovoltaicas, se han centrado en la generación distribuida.

Las sucesivas guías y recomendaciones de la Comisión Europea son para el desarrollo de tecnologías renovables en general y, específicamente, la energía solar fotovoltaica ha adolecido de claridad y ambición. A consecuencia de esta falta de liderazgo, los gobiernos de distintos Estados Miembros escépticos (cómo el español) han erosionado las expectativas legítimas de los inversores. De esta manera no solo se ha dañado a las instalaciones existentes, sino que se han puesto en riesgo las inversiones futuras.

A pesar de todos estos obstáculos, el mercado fotovoltaico ha evolucionado de forma muy impresionante ya que se han superado con creces las previsiones estimadas en 2009, que proyectaban la construcción de 90 GW en todo el territorio europeo para 2020. 6 años antes de su fecha de vencimiento, ya se alcanza la cifra. Además, la energía eólica está por delante de las instalaciones fotovoltaicas en su implantación sobre el territorio europeo, siendo la tecnología más deseada en Europa. Se puede apreciar la evolución de la potencia instalada en Europa de 2000 al 2015. Imagen [9].

## Evolución de la energía solar por países



Fuente: Solar Power Europe

EL MUNDO GRÁFICOS

Figura 9. Fuente Solar el MUNDO

Existen datos más actuales y con ellos se puede predecir la evolución en años posteriores. La siguiente figura, imagen [10], apreciamos la evolución de la energía fotovoltaica instalada desde 2010 a 2024.

### Cumulative solar PV installations, Europe, 2019-24

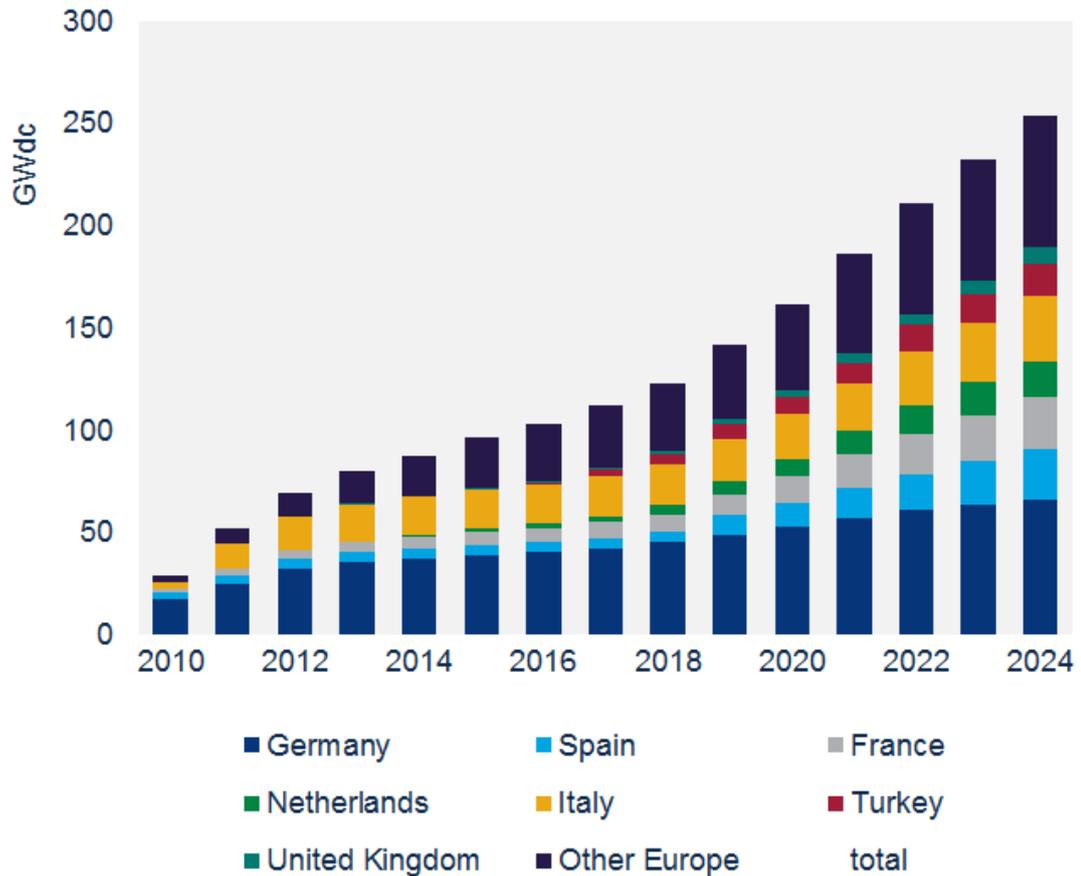


Figura 10. Energía acumulada instalada. Fuente Wood Mackenzie

Se puede ver que en los países que más potencial de instalación tienen debido a las horas de sol y la irradiación media, España y Grecia y Portugal, no es donde más instalaciones fotovoltaicas se han realizado. Esto confirma el amplio margen de desarrollo de este sector en los países del sur de Europa.

En **contexto mundial** la zona de noreste africano es la parte que acumula mayor cantidad de horas de sol. La parte suroeste de Estados Unidos y la zona norte de Chile son zonas estratégicas que acumulan más de 4000 horas de sol al año, imagen [8].

Cabe destacar que existen más factores que las horas de sol y la irradiación para la producción de energía fotovoltaica. Los paneles solares tienen una temperatura de operación por lo general está entre  $-20^{\circ}\text{C}$  y  $60^{\circ}\text{C}$ . La temperatura óptima de diseño de operación ronda los  $20^{\circ}\text{C}$ . En algunas situaciones se pierde mucho rendimiento por el calor excesivo en lugares donde hay muchas horas de sol.

Es necesario hacer un balance del rendimiento global de la producción de los paneles teniendo en cuenta todos los factores; horas de sol, irradiación superficial, temperatura ambiente, condiciones meteorológicas, sombras sobre los paneles y otros factores para encontrar un emplazamiento óptimo.

En un año hay exactamente 8760 horas, por lo que en Europa y en Estados Unidos sale el sol en un rango de entre el 14% y el 40% del tiempo. En el siguiente mapa se puede apreciar las horas anuales de sol en todo el mundo, imagen [11].

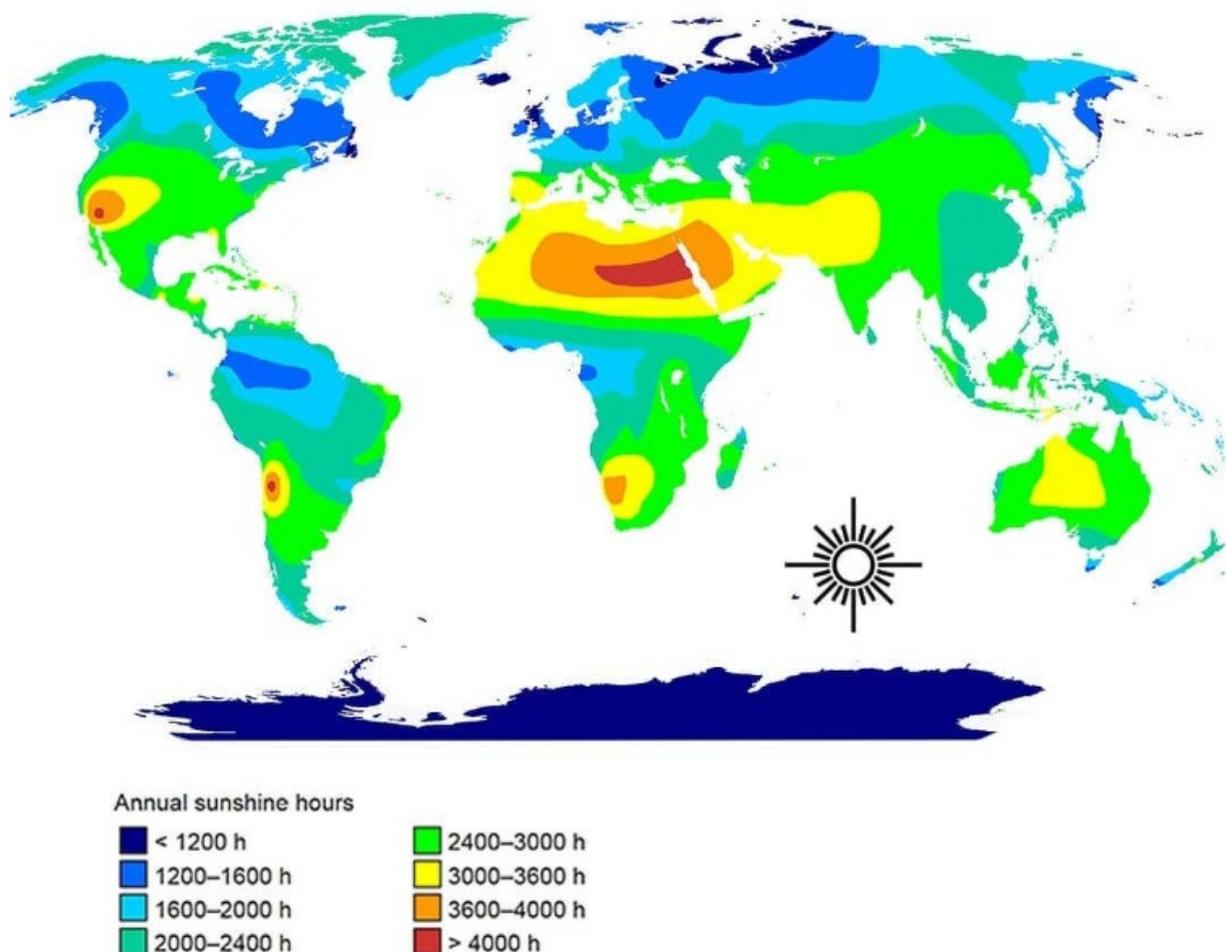


Figura 11. Horas de anuales de sol. Fuente Yearlaren

En ámbito mundial ocurre un fenómeno similar al europeo, los países con mejor rendimiento para la instalación energía fotovoltaica no son los países punteros en potencia instalada, imagen [12]. Este hecho deja un amplio margen de crecimiento del sector.



Figura 12. Potencia fotovoltaica Instalada en 2021. Fuente energías-renovables.com

China es el mayor productor mundial de energía fotovoltaica, estados unidos y la unión europea evolucionan a la par, imagen [13].

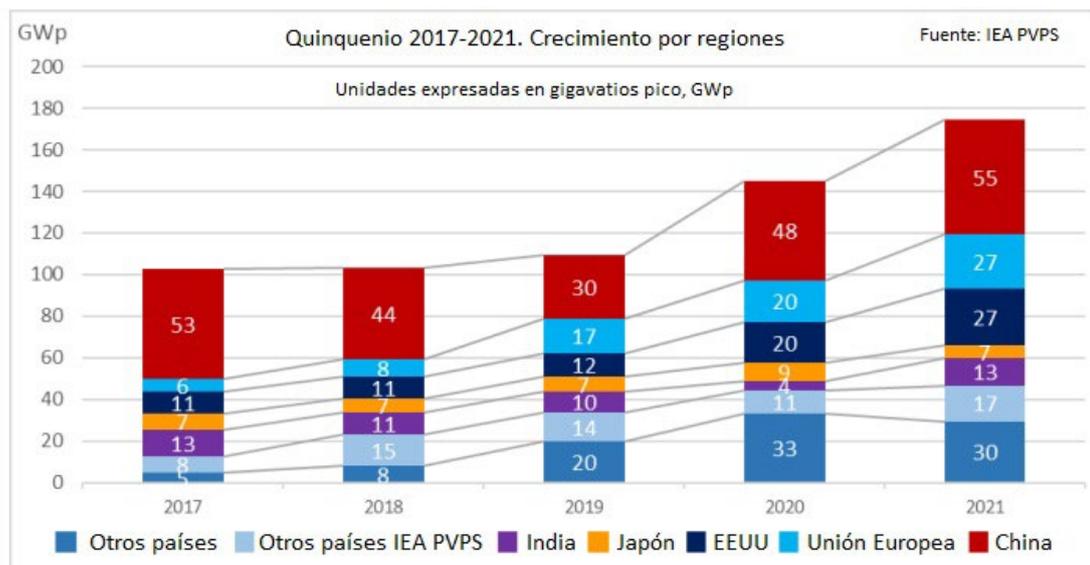
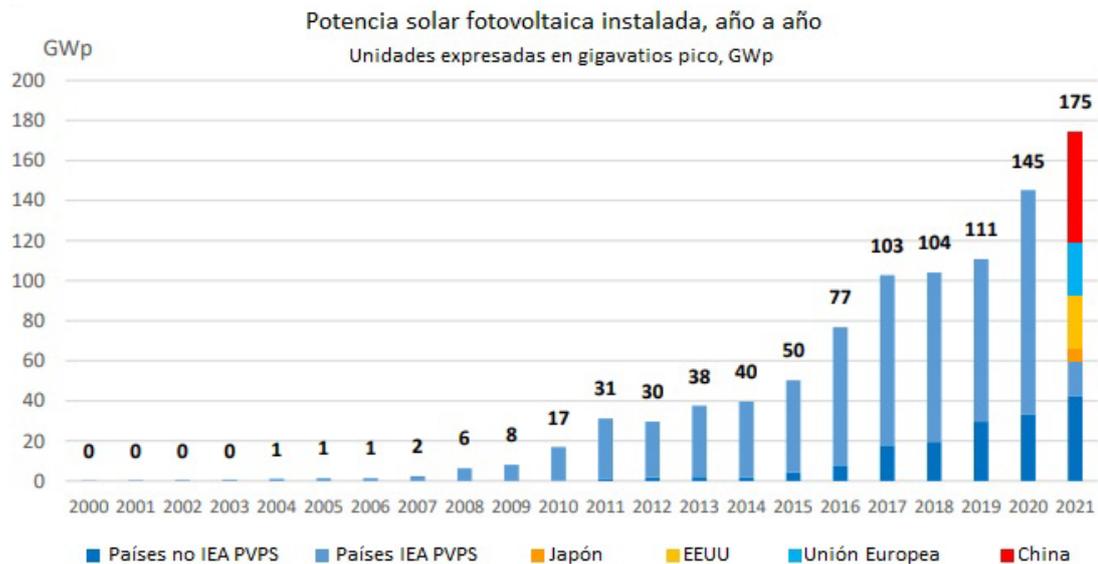


Figura 13. Crecimiento por regiones. Fuente energías-renovables.com

El crecimiento de la energía fotovoltaica sigue un orden exponencial en todo el mundo, imagen [14].



Los países que están vinculados al Programa de Sistemas Energéticos Fotovoltaicos de la Agencia Internacional de la Energía (IEA PVPS) son Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Chile, China, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Israel, Italia, Japón, Corea del Sur, Malasia, Marruecos, México, Noruega, Países Bajos, Portugal, Suecia, Suiza, Suráfrica, Tailandia, Turquía y los Estados Unidos

Fuente: IEA PVPS

Figura 14. Potencia Instalada año a año. Fuente energías-renovables.com

En cuanto al tipo de instalación realizada a nivel mundial, se ha pasado de instalar paneles solares mayoritariamente en cubiertas a instalarse en mayor escala en instalaciones sobre suelo, imagen [15]. Las instalaciones en cubierta han crecido de 18 GWp en 2011, a 78 GWp en 2021. Las instalaciones a gran escala han avanzado de 16 GWp en 2011 a 98 GWp en 2021.

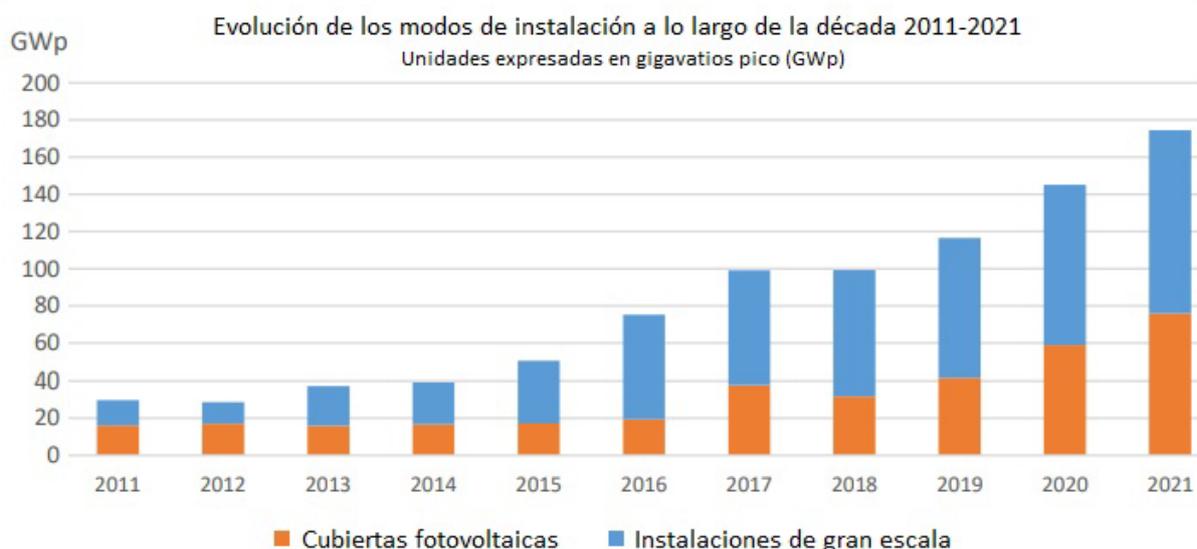


Figura 15. Modos de Instalación FV. 2011-2021. Fuente energías-renovables.com

## 2.4.2. EVOLUCIÓN DE LA ENERGÍA FV EN ESPAÑA

La tecnología solar fotovoltaica ha pasado etapas de crecimiento y otras menos favorables en España, pero, sin duda, la actualidad es su mejor momento. A continuación, se analizará la introducción y desarrollo de esta tecnología en España, desde sus inicios hasta la proyección a 2030.

España es uno de los países de Europa con mayor cantidad de horas de sol, imagen [4]. Este factor, unido a los compromisos europeos de instalación de energías renovables (pacto de emisiones 0 para 2050), así como la conveniencia estratégica de disminuir la gran dependencia energética exterior y aumentar la autonomía energética ha hecho que la producción de energía solar sea particularmente atractiva en España.

El nacimiento de la energía fotovoltaica en el sistema eléctrico español se remonta a 1984. Fue en ese año que Iberdrola instaló en San Agustín de Guadalix la primera central fotovoltaica conectada a la red. Esta conexión, de 100 kWp, fue la única con la que contó la península durante casi 10 años. En 1993 se unieron cuatro sistemas, cada uno de 2,7 kWp, instalados por ATERSA en unas viviendas particulares de Pozuelo de Alarcón. Estas instalaciones dieron paso a una serie de proyectos que cumplían más bien un papel demostrativo: 42 kWp en una escuela en Menorca, 13,5 kWp en el Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid, 53 kWp en la Biblioteca de Mataró, incluso una central de 1 MW en Toledo, que, a fecha de su inauguración, el 7 de junio de 1994, era la mayor central solar fotovoltaica de Europa. A finales de 1995, la potencia total sumaba unos 1,6 MW, sin embargo, esta tecnología permanecía en el ámbito de la investigación, sin que se regulase en el contexto general del sistema eléctrico.

Con la publicación del RD 2818/1998 se establecieron primas de 60 y 30 pesetas por kWh inyectado a la red para sistemas con potencia nominal inferior y superior a 5 kWp respectivamente. De esta manera España se sumaba a las iniciativas del resto de Europa y reconocía la necesidad de potenciar esta tecnología. Dos años más tarde, con el RD 1663/2000, se establecieron condiciones técnicas y administrativas que representaron la verdadera apertura para la tecnología fotovoltaica en el sistema eléctrico español.

A pesar de estos incentivos, en 2004 la fotovoltaica representaba una parte muy pequeña del conjunto de las renovables, que en total suponían aproximadamente el 6,5% del consumo de energía primaria. El objetivo trazado para 2010 era cubrir al menos el 12% del consumo de energía primaria mediante renovables, con una potencia fotovoltaica de 400 MW.

Ante el insuficiente desarrollo de las renovables, la legislación cambió varias veces en poco tiempo. En 2004 se pasó del sistema de primas al abono de un porcentaje sobre la Tarifa Media de Referencia (TMR), y en 2007, se cambió de nuevo para fijar unas primas y tarifas reguladas fijas. Con este último cambio, las grandes instalaciones

fotovoltaicas resultaron muy beneficiadas. Su alta rentabilidad favoreció gran cantidad de inversiones, sobre todo en suelo, y en dos años se multiplicó por 27 la potencia instalada a finales de 2006. Un crecimiento espectacular.

De esta manera, la energía fotovoltaica pasó en solo dos años de ser una fuente testimonial en España a superar a la producción hidroeléctrica por bombeo puro. El freno al auge de esta tecnología lo vino a poner la crisis económica. Aunque incluso durante ese período complicado, la energía solar, incluyendo también la termo solar, se posicionó segunda en crecimiento de potencia instalada.

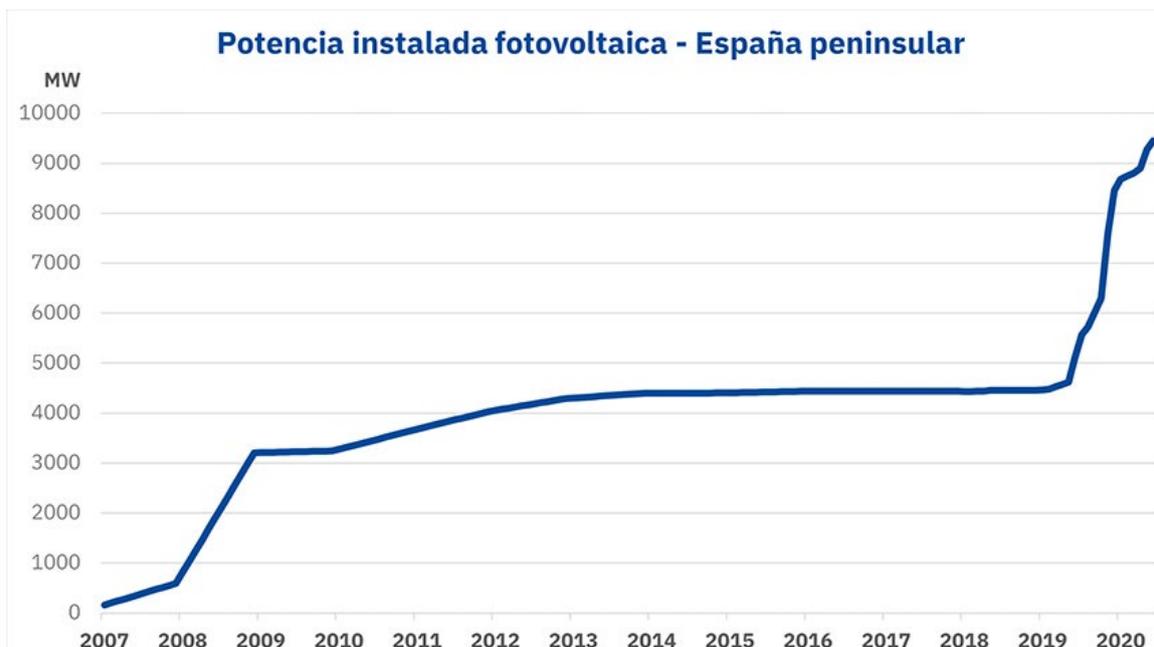


Figura 16. Potencia Instalada en España 2007-2020. Fuente [energías-renovables.com](http://energias-renovables.com)

Tras la salida de la crisis, la implantación de la fotovoltaica continuó creciendo. Sin embargo, sufrió varios golpes legislativos. En 2013, el impuesto del 7% sobre la generación, impuesto que grava la producción de electricidad, que fue suspendido en octubre de 2018 y luego reintroducido nuevamente en marzo de 2019. En 2015, el popularmente conocido “impuesto al sol” que fue eliminado en octubre de 2018 como parte de un plan de medidas urgentes para abaratar la factura eléctrica.

Pese a la pandemia del CoVid-19, el crecimiento no tubo recesión, sino que en 2020 experimento un impulso sin precedentes. Este impulso se logró por las subastas de renovables y por los ambiciosos objetivos del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC). Este boom ha sido la clave de esta explosión de la fotovoltaica después de una década de total estancamiento.

El PNIEC español ha designado la fotovoltaica como la tecnología que liderará la transición energética y la descarbonización del sector eléctrico en España. El objetivo

del Plan es llegar a casi 40 GW de fotovoltaica en 2030 y situarse como la segunda tecnología en capacidad instalada, solo por detrás de la eólica.

En cuanto al emplazamiento de la instalación, se puede apreciar el mapa solar del nuestro país, imagen [17]. El número superior representa la energía que incide en la superficie en KWh /m<sup>2</sup> y el número inferior el número de horas de sol al año.

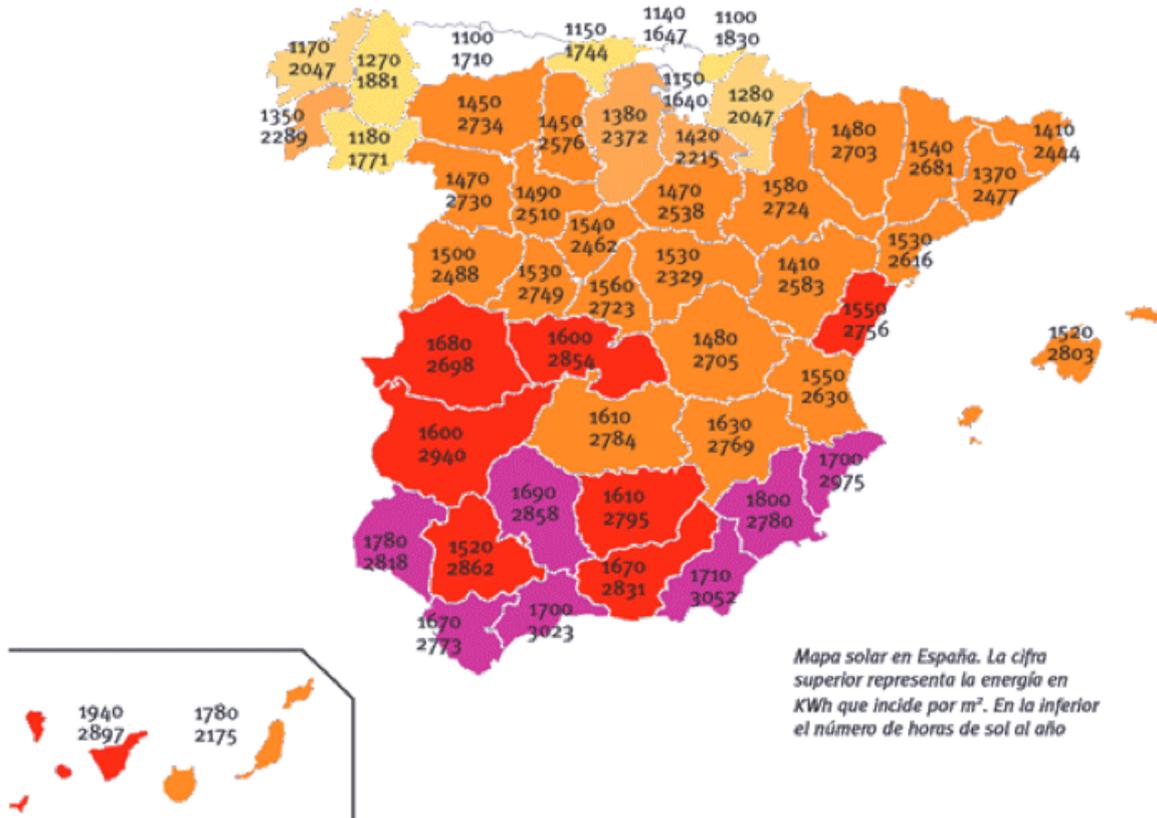


Figura 17. Mapa solar de España. Fuente Eficienciaecologica.com

Como es lógico en el sur de España hay más horas de sol al año, siendo Almería la provincia con más horas de sol al año, 3052 horas de sol. En un año hay 8760 horas, por lo que en Almería hay sol el 34,8% del año. La provincia con menos horas de sol es Asturias con 1710 horas de sol, que representa el 19,52% del año.

Sin embargo, la irradiación en la superficie es bastante pareja en casi todas las provincias de España, siendo la provincia que recibe mayor energía por metro cuadrado, Murcia con 1800 KWh /m<sup>2</sup>. En el entorno nacional hay una media de 1500 KWh/m<sup>2</sup>. Cualquier provincia es propicia para la instalación de fotovoltaica, los rendimientos serán muy similares. En el norte, a pesar de que hay menos horas de sol, y por lo tanto menos irradiación en la superficie, la temperatura media es menor. Las placas solares funcionan mejor en temperaturas de 10°C a 25°C. En sur al ser la temperatura mayor, existirán pérdidas y el rendimiento disminuirá.

En España al igual que en Europa la energía solar es una apuesta por la energía renovable y limpia, además de ser una opción viable se encuentra respaldada por

incentivos fiscales. Subvenciones, ayudas, créditos, cupones y otras facilidades que apoyan la instalación de energía fotovoltaica. En España los incentivos son diferentes en cada provincia, imagen [18].

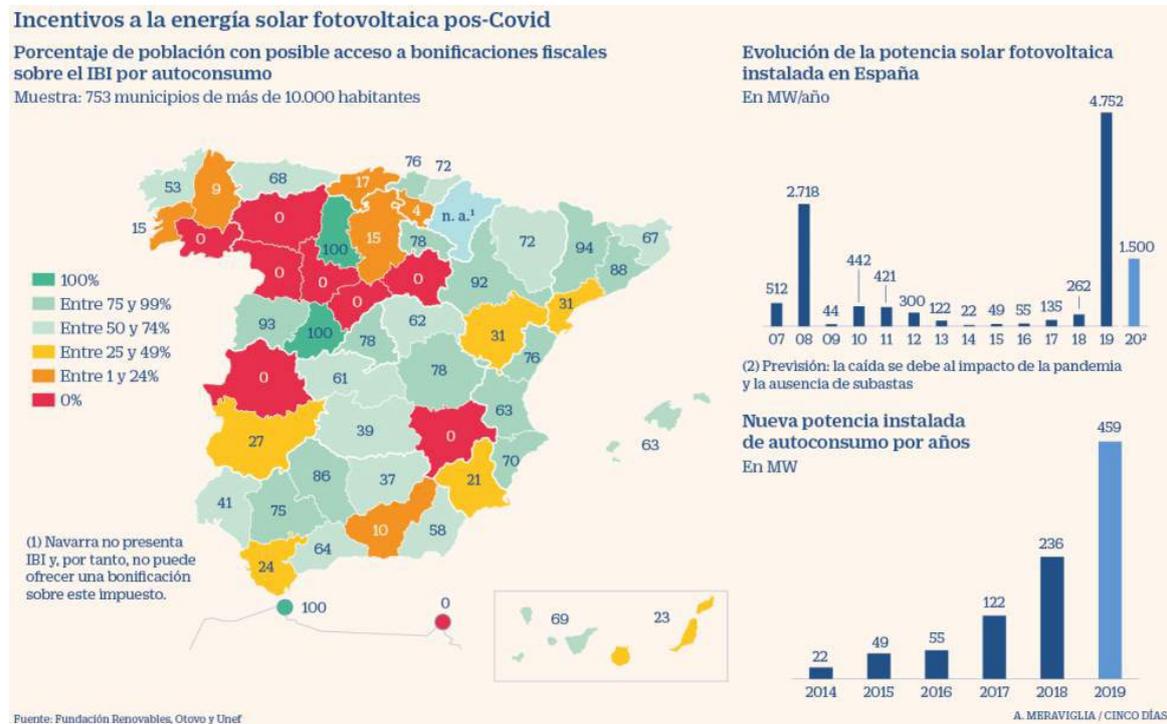


Figura 18. Incentivos a la energía solar post COVID. Fuente

La instalación a desarrollar en este proyecto será en la provincia de Palencia, concretamente en Alar del Rey. En este caso disponemos de una de las tasas más altas de incentivos, el 100%.

El 29 de junio de 2021 fue aprobado por el Consejo de Ministros, a propuesta del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, el **Real Decreto 477/2021** por el que se aprueba la concesión directa a las comunidades autónomas y a las ciudades de Ceuta y Melilla de ayudas para la ejecución de diversos programas de incentivos ligados al autoconsumo y al almacenamiento, con fuentes de energía renovable, así como a la implantación de sistemas térmicos renovables en el sector residencial, en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

Con fecha 18 de mayo de 2022 se ha publicado en el BOE el **Real Decreto 377/2022**, de 17 de mayo, por el que se amplía la tipología de beneficiarios del Real Decreto 477/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba la concesión directa a las comunidades autónomas y a las ciudades de Ceuta y Melilla de ayudas para la ejecución de diversos programas de incentivos ligados al autoconsumo y al almacenamiento, con fuentes de energía renovable, así como a la implantación de sistemas térmicos renovables en el sector residencial, en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, y del Real Decreto 1124/2021, de 21 de diciembre, por el que se aprueba la concesión directa a las comunidades autónomas



y a las ciudades de Ceuta y Melilla de ayudas para la ejecución de los programas de incentivos para la implantación de instalaciones de energías renovables térmicas en diferentes sectores de la economía, en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

Las principales modificaciones introducidas por el Real Decreto 377/2022, de 17 de mayo, son:

- Incluir a las personas físicas que realicen alguna actividad económica (autónomos) en los programas de incentivos 1, 2 y 3.
- Permitir que las ampliaciones de presupuesto que puedan llevarse a cabo puedan prever una reserva para determinados destinatarios últimos en determinados programas.
- Facilitar el modelo de empresa ESE y clarificar la definición de los programas en lo relativo a actuaciones realizadas para un tercero y el autoconsumo colectivo.
- Permitir que en los programas de incentivos 1, 2 y 3 pueda ser una empresa la que realice instalaciones para particulares u otras empresas en cualquier ubicación.
- Flexibilizar la capacidad de almacenamiento que se permite instalar. Se aumenta la ratio de capacidad instalada de almacenamiento frente a potencia de generación, pasando de 2 kWh/kW a 5 kWh/kW.
- Inclusión de la leña como combustible susceptible de ser usado en instalaciones de biomasa. Estaba limitado solo a pellets, dejando fuera una parte importante de la España rural. Se mantienen los requisitos de Ecodiseño y de DNSH.
- Simplificación en requerimientos de monitorización, especialmente para actuaciones del programa 6 de implantación de sistemas térmicos renovables en el sector residencial.
- Mejoras técnicas de redacción en algunos apartados, entre ellos el Anexo III. Costes subvencionables máximos, costes de referencia y cuantía de las ayudas.

A fin de promover el despliegue de las energías renovables, tanto térmicas como eléctricas, en los distintos sectores consumidores, fomentar un mayor control del consumo mediante el desarrollo de los sistemas de almacenamiento detrás del contador y el impulso a la industria y al sector empresarial asociado, se promueve el Real Decreto 477/2021, de 29 de junio, que tiene por objeto establecer las bases reguladoras para la concesión directa de ayudas a las comunidades autónomas y ciudades de Ceuta y Melilla, así como la aprobación de los seis programas de incentivos de autoconsumo, almacenamiento y usos térmicos de energías renovables que se indican a continuación:

- Programa de incentivos 1: Realización de instalaciones de autoconsumo, con fuentes de energía renovable, en el sector servicios, con o sin almacenamiento.



- Programa de incentivos 2: Realización de instalaciones de autoconsumo, con fuentes de energía renovable, en otros sectores productivos de la economía, con o sin almacenamiento.
- Programa de incentivos 3: Incorporación de almacenamiento en instalaciones de autoconsumo, con fuentes de energía renovable, ya existentes en el sector servicios y otros sectores productivos.
- Programa de incentivos 4: Realización de instalaciones de autoconsumo, con fuentes de energía renovable, en el sector residencial, las administraciones públicas y el tercer sector, con o sin almacenamiento.
- Programa de incentivos 5: Incorporación de almacenamiento en instalaciones de autoconsumo, con fuentes de energía renovable, ya existentes en el sector residencial, las administraciones públicas y el tercer sector.
- Programa de incentivos 6: Realización de instalaciones de energías renovables térmicas en el sector residencial.

Los programas de ayudas aprobados por el RD 477/2021 estarán vigentes hasta el 31 de diciembre de 2023, y están dotados con una cuantía inicial conjunta de 660 millones de euros distribuidos entre las distintas Comunidades y Ciudades Autónomas y las distintas líneas de ayuda, que serán financiados con los fondos procedentes del Mecanismo de Recuperación y Resiliencia.

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del IDAE, coordinará y hará el seguimiento de las ayudas, gestionadas por las Comunidades y Ciudades Autónomas, beneficiarias directas de las mismas.

### 2.4.3. SECTOR ELÉCTRICO ESPAÑOL

El sector eléctrico español ha sufrido una profunda transformación desde el año 1998. Hasta entonces, la actividad del sector estaba concentrada en empresas caracterizadas por una importante estructura vertical, y que ejercían monopolio en las distintas regiones españolas.

La aprobación de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, supuso el inicio del proceso de liberalización progresiva del sector mediante la apertura de las redes a terceros, el establecimiento de un mercado organizado de negociación de la energía y la reducción de la intervención pública en la gestión del sistema.

La norma básica que en la actualidad regula la estructura y el funcionamiento del sector es la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. En esta norma se mantiene la distinción entre las actividades reguladas y las no reguladas, ya recogida en la norma anterior, al tiempo que se impulsa la competencia efectiva en el sector, introduciendo, entre otras medidas, un aumento de la competencia de las comercializadoras de referencia, mejorando la posición del consumidor en cuanto a la información disponible y facilitando los procesos de cambio de suministrador.

El suministro de energía eléctrica se define como la entrega de energía a través de las redes de transporte y distribución mediante contraprestación económica en las

condiciones de regularidad y calidad que resulten exigibles. Las actividades destinadas al suministro de energía eléctrica son: generación, transporte, distribución, servicios de recarga energética, comercialización e intercambios intracomunitarios e internacionales, así como la gestión económica y técnica del sistema eléctrico. Las principales son las siguientes:

- **Generación:**  
Consiste en la producción de energía eléctrica.
- **Transporte:**  
Tiene por objeto la transmisión de energía eléctrica por la red de transporte, utilizada con el fin de suministrarla a los distintos sujetos y para la realización de intercambios internacionales.  
La red de transporte de energía eléctrica está constituida por la red de transporte primario (instalaciones de tensión mayor o igual a 380 kV) y la red de transporte secundario (hasta 220 kV).
- **Distribución:**  
Tiene por objeto la transmisión de energía eléctrica desde las redes de transporte, o en su caso desde otras redes de distribución o desde la generación conectada a la propia red de distribución, hasta los puntos de consumo u otras redes de distribución en las adecuadas condiciones de calidad con el fin último de suministrarla a los consumidores.

En cuanto a la estructura de la potencia instalada en España en 2020 ya hay más de un 50% de energía renovable. Concretamente un 54%, figura [19].



Figura 19. Estructura de la potencia instalada en España. Fuente energías-renovables.com



### 3. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PRODUCTIVA

#### 3.1. DATOS DE LA EMPRESA

El nombre de la empresa promotora del proyecto es Forrajes Canal de Castilla.S.L., se trata de una empresa situada en la localidad de Alar del Rey en Palencia. Su principal actividad de la empresa es la producción de pellets además de almacenamiento, compra y venta de cereales y abonos, la selección de paja y otras actividades ligadas al sector primario.

Se dispone de los datos reales de consumo de la empresa ya que este documento es un anteproyecto para el estudio de la viabilidad de la instalación de una planta fotovoltaica para cubrir la demanda eléctrica de la misma. Los cálculos y conclusiones del proyecto serán de gran utilidad a la citada empresa para poder valorar la instalación de la planta fotovoltaica.

Los datos de la empresa son:

- Denominación social: Forrajes Canal de Castilla.S.L.
- CIF.: B67699421
- Dirección social: Calle tras la Estación 11, 34480, Alar del Rey, Palencia
- Persona de contacto: Jesús Teodoro Bravo Arroyo

#### 3.2. ACTIVIDAD PRODUCTIVA

En cuanto a las actividades que se realizan en la empresa, cabe destacar que esta se dedica a una amplia gama de trabajos relacionados con el sector agroalimentario.

Dentro de la actividad de la empresa se distinguen diferentes líneas de trabajo:

- Cereales: 2 líneas de trabajo: Compraventa de cereal tal cual y Calibrado y envasado de cereal.
- Fertilizantes: Compraventa de fertilizantes.
- Líneas de granulado y deshidratado de forrajes con 2 productos finales: forraje en pellets y paquetes de forraje.
- Semillas certificadas: 2 líneas de trabajo: Multiplicación de semillas de cereal y leguminosas y Comercialización de semillas certificadas de otras empresas obtentoras.

- Veza grano para pajarería.
- Maíz para alimentación humana variedad Waxy
- Oleaginosas y proteaginosas: Girasol, cártamo, linaza, colza y guisante verde.
- Fitosanitarios
- Otros servicios: Asesoramiento técnico, Acondicionamiento de grano para la siembra y alquiler de sembradoras y abonadoras.
- Departamento de I+D.

### 3.2.1. LINEA DE GRANULADO

La línea de trabajo objeto de estudio es la línea de **granulado de forraje**. También conocido como producción de pellets. Esta línea es la que más recursos materiales demanda de la empresa, la que más trabajadores concurren y la que más energía eléctrica demanda.

Esta línea tiene especial relevancia en el proyecto ya que las variaciones en el consumo de energía son debidas principalmente a modificaciones, o paradas de esta línea. Es necesario tener una noción del funcionamiento de la línea del trabajo para el correcto entendimiento del conjunto del documento.

- **Descripción de la línea de granulado**

Este proceso se inicia con la llegada de la paja y forrajes en pacas de campo a las instalaciones de la empresa, estas pacas tendrán diferentes medidas, la más común es 1200 mm ancho x 700 mm alto x 2500 mm largo.



*Figura 20. Pacas de paja almacenadas*

Las pacas se transportan en camiones con plataforma o plataformas arrastradas por tractores si la distancia es menor de 50 kilómetros.

El volumen de esta materia prima ronda las 30.000 toneladas, el 50% se recepciona en la campaña de verano (julio, agosto y septiembre) y el resto a lo largo del año.

La materia que indicamos se transformará en pellets o gránulo en la línea de granulado que funciona como se describe a continuación.

Este proceso productivo se encuentra dentro de la nave 8 donde se encuentra la línea, esta nave es de 2.000 metros cuadrados, 500 de pasillo central, 750 zona de acopio de paja y forraje de pacas, 350 metros cuadrados para silos de almacenamiento, 400 metros cuadrados para la línea de granulado de pellets que consta de tres zonas a su vez.

Las pacas de campo están colocadas en las campas del exterior de la nave y mediante manipuladoras telescópicas se transportan a el interior de la nave, y aquí se manipulan mediante de una carretilla eléctrica, que está equipada con una pantalla con pinchos en su parte inferior y va cogiendo de una en una para alimentar la línea.



Figura 21. Telescópica elevadora.



Figura 22. Carretilla eléctrica con pantalla de pinchos.

Para lograr la transformación del forraje entrante en el producto final, el proceso global se puede dividir en tres procesos:

- 1. Alimentación y molienda.
- 2. Transporte neumático, acondicionamiento y almacenamiento de harina.
- 3. Granulado, enfriado y limpieza para su almacenamiento.

## 1. Alimentación y molienda

La alimentación se realizará mediante un novedoso equipo diseñado por la empresa que quita la cuerda de forma automática sin que tenga que intervenir ningún operario, reduciendo de este modo dos operarios por turno uno que retire las cuerdas y otro operario que conduciría la maquina cargadora que alimente constantemente la olla picadora. Evitando además riesgo de atrapamiento del operario entre las pacas así como la reducción del consumo de combustible y deterioro de máquinas.

### 1.1. Equipo quita-cuerdas

Tiene 3 mesas una inclinada y dos planas a 1200mm del suelo, tiene 3 metros de ancho por 12 metros de largo. La carretilla coloca las pacas de una en la primera mesa que está inclinada y es de rodillos locos, tiene una inclinación de un 15% y caben 5 o 6 pacas permitiendo al responsable de línea que vaya cargando éstas y vayan cayendo por gravedad a demanda de la segunda mesa.

En la segunda mesa que es de 4 metros de larga, sobre su superficie plana lleva tres cadenas de arrastre unidas por ángulos en forma de UES, sobre las que viajan las pacas hacia el dispositivo quita-cuerdas, en este trayecto por la parte superior de la paca y hacia el centro de la mesa hay un brazo que apoya sobre la paca con un disco afilado en su parte final, que gira cuando avanzan las cadenas, cortando así las cuerdas aprovechando el avance de la paca.

El equipo quita-cuerdas consta de una mesa de 2 metros de largo y 3 metros de ancho y posee la parte inferior de su superficie plana 2 pletinas en ángulo recto de 10 mm de espesor que cuando la paca avanza suben 15 cm sobre la superficie plana, con el fin de trabar las cuerdas aprovechando el avance y cuando ésta llega a la cinta de tablillas metálicas que se encuentra situada de forma transversal a esta mesa, la paca cae a ella mientras las 2 pletinas con la cuerdas trabadas, bajan 40 cm, de la

superficie plana en este momento un disco con 5 dedos dispuestos en su perímetro se coloca entre las 2 pletinas perpendicular a éstas y comienza a girar durante 60 segundos para que las cuerdas se enrollen sobre los dedos, para finalmente volver el disco con los dedos a su posición inicial pasando en su retroceso por unos ojales dejando caer las cuerdas al suelo donde serán retiradas cada cierto tiempo por un operario.



*Figura 23. Alimentación de forraje y sistema quita cuerdas*

La paca ya sin cuerdas avanza por la cinta transversal ascendiendo a una altura de 5 m para caer a la olla picadora.



Figura 24. Cinta elevadora y olla picadora.

- 1.2. Proceso de la molienda, consta de 1 olla picadora a la que caen las pacas sin cuerda y ésta consta de 1 gran cilindro de 3500mm con unos ángulos hacia dentro que va girando con el fin de ir arrimando la paja sobre los 2 rotores de martillos situados en la parte inferior con una criba de 30mm colocados en línea recta uno opuesto al otro sobre una base circular que tiene un diámetro de 3,5 m de diámetro.

Este equipo pica la paja entre 30 /50 mm aproximadamente y tiene 2 motores que accionan los rotores de 150 CV cada uno. Bajo los rotores existe una rosca de 6 m de longitud y 600 mm de anchura por la que la paja picada avanza hasta el final de ésta, en el que hay un tubo de 400 mm de diámetro perpendicular a la rosca por el que asciende la paja picada de forma neumática permitiendo así decantar cuerpos pesados como piedras, metales etc., evitando así que éstos lleguen al molino y puedan provocar roturas de criba o incendios.



*Figura 25. Molino de martillos*

Molino de martillos dotado con 2 motores de 220 CV cada uno, a éste equipo llega la paja picada libre de cuerpos pesados y donde pasará a través de una criba o tamiz de 200mm x 100mm de ancho y de 5 mm de diámetro de los orificios perforados y después de ser golpeada por 160 martillos, se produce en este equipo la harina de paja que por aspiración desde su parte inferior y mediante el transporte neumático, como en el equipo anterior, a través de otra tubería circular de otros 400 mm asciende hasta el ciclón decantador principal.



## 2. Transporte neumático, acondicionamiento y almacenamiento de harina.

- 2.1. En este proceso interviene una turbina de 40 CV que aspira la paja desde la olla picadora a través del molino y hasta el ciclón decantador principal, donde se separa el polvo de la harina de paja y ésta mediante una gran exclusiva sobre la rosca principal, situada en su parte inferior y a unos 2 m de altura del suelo, con una longitud de 10 m y una anchura de 60 mm. Por la parte superior del ciclón es aspirado el polvo envuelto entre el aire utilizado para el transporte neumático pasando por el ventilador de la turbina y enviándolo al fijo de mangas de tela, para que pueda separarse en este equipo el aire limpio que saldrán a través de las mangas de nuevo a la atmósfera, del polvo, que caerá a la parte inferior del filtro de mangas donde una rosca lo conducirá a una exclusiva giratoria que lo dejará caer a la rosca principal para que se incorpore a la harina proveniente del ciclón principal.
- 2.2. Integrado en la rosca principal hay un equipo llamado wáter-mix en el que se incorpora agua u otro líquido para que la harina tome la humedad necesaria y pueda ser posteriormente granulada. La harina avanza hasta el final de la rosca principal para caer al elevador de cangilones que ascenderá la harina hasta 16m hasta un bypass situado en la cabeza de éste que discriminará el destino de la harina para que la mezcladora siempre esté llena y cuando esto suceda la hará caer mediante este bypass al silo pulmón permitiendo la entrada continua de harina desde la fase de molienda.
- 2.3. En este equipo silo-pulmón, como su propio nombre indica hace de pulmón y va almacenando la harina que en el proceso de molienda se produce y la línea no es capaz de granular de forma continua y permite que haya un flujo continuo para que la mezcladora mantenga siempre su nivel óptimo.

En la parte inferior de este silo-pulmón se alojan 2 roscas que hacen caer la harina a la rosca principal para que vuelva a subir hasta que se llene la mezcladora y así repetidamente.



*Figura 26. Silo pulmón y ciclón*

### **3. Granulado, enfriado y limpieza para su almacenamiento**

Esta fase de la granulación está construida en torre para aprovechar la gravedad y evitar equipos innecesarios y con ello optimizar el consumo de energía. En la parte superior de esta torre se encuentra la mezcladora que mantiene siempre un nivel suficiente para que mediante un pantalón de pata de elefante permita que caiga la harina a los 2 equipos de granulación.

- 3.1. Las dos granuladoras, poseen sobre ellas 2 equipos, primero un alimentador que toma la comida del pantalón superior que cae de la mezcladora y es el que marca el ritmo del volumen de harina que va a llegar a las granuladoras, bajo éste existe un elemento llamado acondicionador que bateará la harina y conducirá a través de él, para finalmente caiga a las granuladoras.

Las granuladoras están dotadas de un motor de 480 CV cada una y en ellas entra la harina por su parte superior y en su parte central poseen 2 rodillos que van a apretar la harina contra la matriz, que es un anillo agujereado con el diámetro del granulo o pellet que queramos fabricar y gira a 1500 r.p.m. Esta matriz por su parte exterior saca los pellets que caen a más de 70 grados a una rosca que los conducirá al enfriador.



*Figura 27. Matriz granuladora y rodillos, Pellets de paja saliendo por agujeros de la matriz*

- 3.2. Enfriador de gránulo contracorriente, que es una cámara estanca con un sistema de extracción en la parte inferior a través del cual entra aire de enfriamiento que pasa por el gránulo y es aspirado por un ventilador exterior con sistema de decantación mediante ciclón.
- 3.3. El gránulo después de ser enfriado cae a una zaranda que posee en su interior un tamiz de 5 mm que gira a 800 r.p.m. y sobre el que caerá el gránulo y separará el gránulo de los finos reintegrando éstos mediante una rosca al elevador principal, el granulo entero caerá a una cinta que lo conducirá a un elevador de 17 m que tras dejarlo caer en una cinta viajará por ella hasta el carro que determinará en que silo o troje de producto terminado a la espera de su expedición.

- 3.4. Una vez enfriados los pellets, mediante un elevador se trasladan a los diferentes cubículos de almacenamiento. Dichos cubículos tienen capacidad para almacenar 300 toneladas de pellets. Tienen un volumen de 10 metros de fondo, 5 metro de ancho y 14 metros de alto. Existe un total de 7 cubículos por lo que se puede almacenar simultáneamente 2100 toneladas utilizando todo el espacio.



Figura 28. Cubículos de Almacenamiento



Figura 29. Pellets de paja.

### 3.3. EMPLAZAMIENTO DE LA EMPRESA

La empresa está situada en el siguiente término municipal de Alar del Rey. Concretamente la dirección es:

- Calle Estación S/N. 34480. Alar del Rey. Palencia

En la siguiente tabla se ofrece la referencia del catastro del terreno donde se encuentra la empresa.

Referencia Catastral	Localización	Polígono	Parcela	Superficie Total (m <sup>2</sup> )
34005A61905044	DS DISEMINADOS 88	619	5044	36.219

Tabla 1. Emplazamiento de la empresa Forrajes canal de Castilla



Figura 30. Vista en planta de la superficie de la empresa. Fuente: catastro

### 3.4. CONSUMO ELÉCTRICO ACTUAL

Actualmente el total de la demanda eléctrica de la empresa se cubre mediante la compra de energía a la red eléctrica. En los siguientes apartados el consumo eléctrico de un periodo será sinónimo de la demanda eléctrica en ese mismo periodo.

#### 3.4.1. CONSUMO ANUAL

Se han tomado los valores reales de consumo en el último año de la empresa Forrajes Canal de Castilla.S.L. Se han obtenido a través de la Distribuidora eléctrica, en el caso de la zona norte de Palencia es Viesgo. Se tienen contratados 600 kW de potencia instantánea, el consumo en las horas de máxima producción está en torno a los 500 kW por lo que nunca sobrepasan los 600 kW contratados. En la siguiente gráfica en la se aprecia el consumo a lo largo del año en vatios.

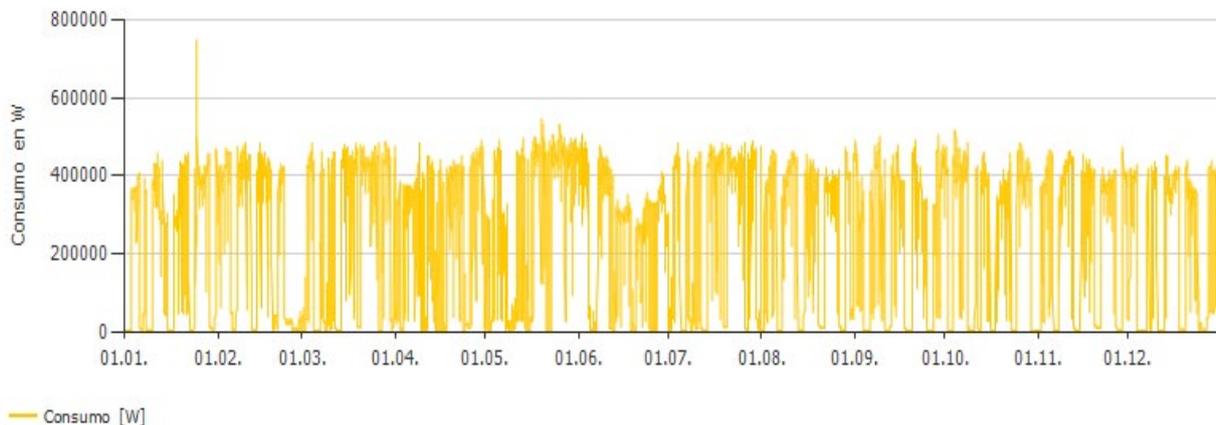


Figura 31. Consumo anual

La media de consumo anual en horas activas está entorno a los 450 kW, sin tener en cuenta los periodos de mantenimiento, averías y paradas voluntarias de la línea donde el consumo es casi nulo. Se alcanzan picos de consumo instantáneo entre los 500 kW y 550 kW.

#### 3.4.2. CONSUMO MENSUAL

Para que los datos de consumo recogidos resulten lo más ajustados a la realidad posibles, en lugar de tomar el 2021 como año de referencia se ha tomado el consumo desde 1 de Julio de 2021 hasta el 1 de Julio de 2022. Estos son los datos más recientes que se pueden obtener por lo que son los que mejor representan el comportamiento de la demanda energética en los años venideros.

Para la simulación y el cálculo de la instalación se dispone de los valores de los consumos cuarto-horarios de todo el año, al ser 35040 datos, no se ha considerado oportuno presentarlos en el documento. Para la mejor comprensión de los consumos

se verán los consumos mensuales globales tabulados y posteriormente los consumos diarios en una gráfica que permite su mejor análisis.

En la siguiente tabla se recoge los valores de consumos del último año, desde 01-06-2021, hasta el 01-06-2022. Se representa el consumo mensual acumulado en kWh, el pico de carga de cada mes en kW y el porcentaje que supone el consumo de cada mes en el total anual.

Mes	Consumo (kWh)	Pico de carga (kW)	%
ENERO (2022)	160.266	506,0	7,5634
FEBRERO (2022)	157.795	504,0	7,4467
MARZO (2022)	189.524	514,0	8,9440
ABRIL (2022)	178.613	504,0	8,4291
MAYO (2022)	214.644	556,0	10,1295
JUNIO (2022)	181.830	524,0	8,5809
JULIO (2021)	189.996	536,0	8,9663
AGOSTO (2021)	180.596	542,0	8,5227
SEPTIEMBRE (2021)	167.953	530,0	7,9261
OCTUBRE (2021)	168.690	504,0	7,9608
NOVIEMBRE (2021)	178.853	508,0	8,4405
DICIEMBRE (2021)	150.224	502,0	7,0894
<b>TOTAL</b>	<b>2.118.984</b>		<b>100</b>

Tabla 2. Consumo eléctrico mensual.

### 3.4.3. CONSUMO DIARIO

El consumo a diario varía en función de varios factores: el número de líneas en funcionamiento, número de granuladoras operativas en la línea de granulación (una o dos) el número de turnos de trabajo, (lo normal es que en granulación existan 3 turnos de 8 horas de lunes a domingo).

Tomaremos como referencia en consumo estándar de un día en que no hayan existido averías, todas las líneas estén funcionando, y el consumo sea lo más continuo posible. Este consumo es el más representativo ya que se pretende trabajar de forma continua sin interrupción a tres turnos durante los 7 días de la semana. No obstante se estudiarán los diferentes consumos que se pueden producir en diferentes días.

Diferentes consumos de electricidad diarios:

- **Consumo estándar**

Es el caso del 16 de febrero de 2022. En ese día el consumo fue casi constante:

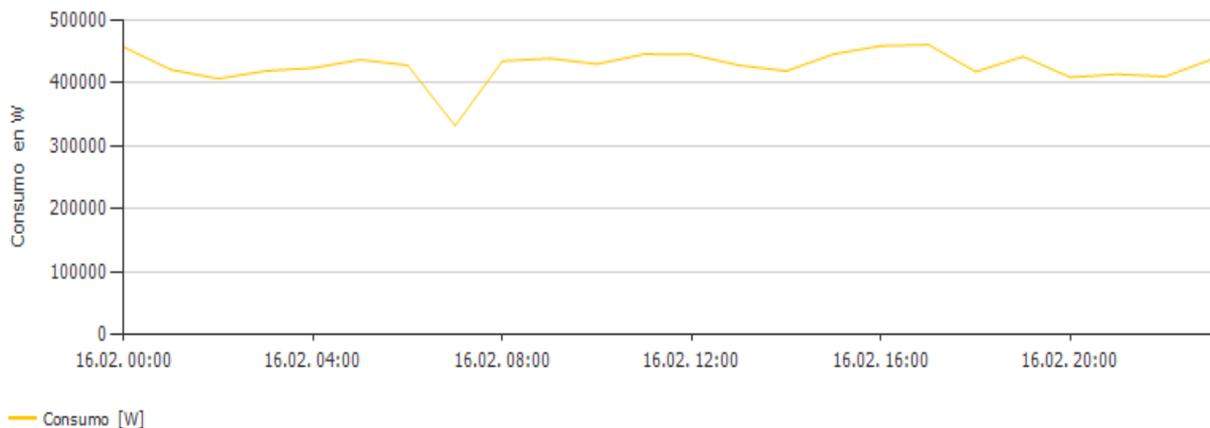


Figura 32. Consumo 16-02-2022

Se puede apreciar que el consumo no sufre grandes alteraciones manteniéndose entorno a los 430 kW. Es el caso de la producción estándar con dos granuladoras operativas en la línea de granulado. Este tipo de consumo es el que se produce en la mayor parte de los días del mes, siendo el consumo más común.

- **Consumo con paradas**

Otro tipo de consumo se produciría en el caso de que se apagara la línea de producción en caso de reparación o mantenimiento.

Es el caso del 12 de mayo de 2022, que se realizaron dos paradas de la línea de producción a las seis de la mañana y a las cinco de la tarde.

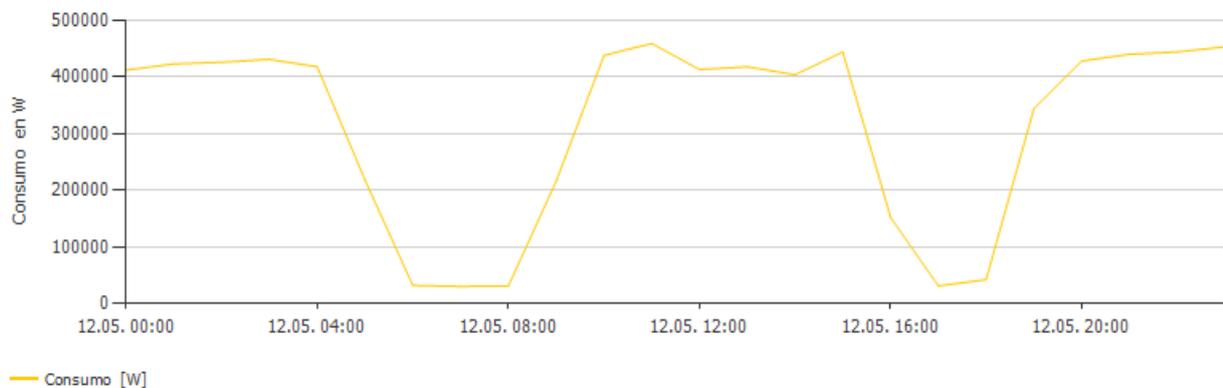


Figura 33. Consumo 12-05-2022

- Consumo trabajando exclusivamente en horas de sol

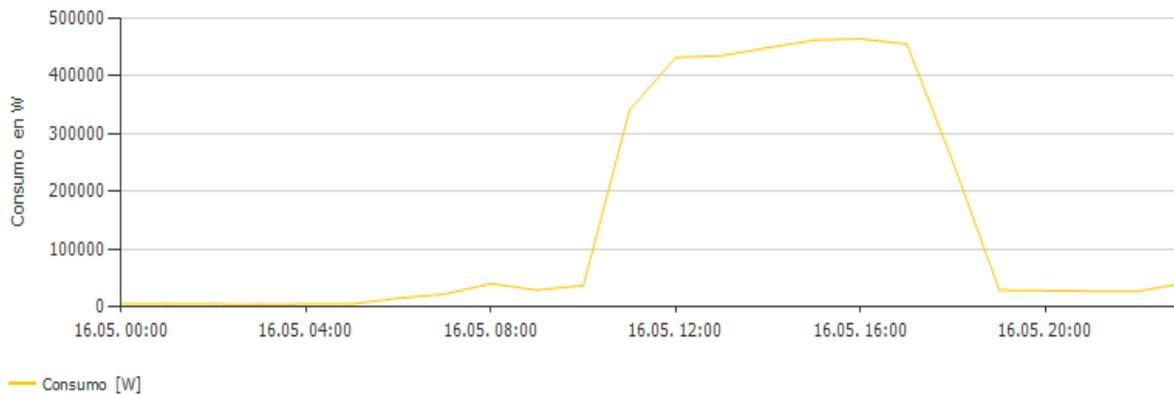


Figura 34. Consumo 16-05-2022

Es el caso de un día en el que se trabajó de diez de la mañana a siete de la tarde. Se puede observar que la curva de consumo tiene un perfil muy similar a la irradiación solar que se tendría en ese día. En este caso se puede llegar a cubrir casi en su totalidad la demanda con energía fotovoltaica. No se trata de un caso común pero en este caso se puede llegar a consumir 0 kW de la red y aprovechar toda la energía producida desde la planta.

- Consumo trabajando sin horas de sol

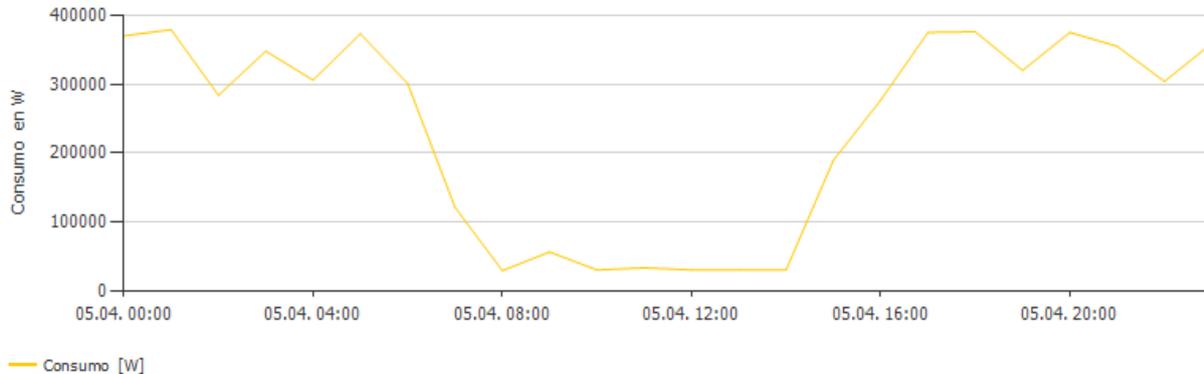


Figura 35. Consumo 05-04-2022

Es el caso opuesto al anterior de un día en el que se trabajó en horario nocturno, parando la línea de producción desde las ocho de la mañana hasta las dos de la tarde. Se puede observar que la curva de consumo tiene un perfil inverso a la curva solar, las horas de sol, no hay consumo. Esta sería la situación más desfavorable en para el aprovechamiento de la energía fotovoltaica.

La instalación no dispondrá de acumuladores de forma que la energía producida por los generadores fotovoltaicos en el instante será destinada directamente a cubrir la demanda de la empresa.

Este tipo de consumo es un caso aislado que no sucede con regularidad así que no se puede tomar como ejemplo de consumo.

- Consumo con alto nivel de producción

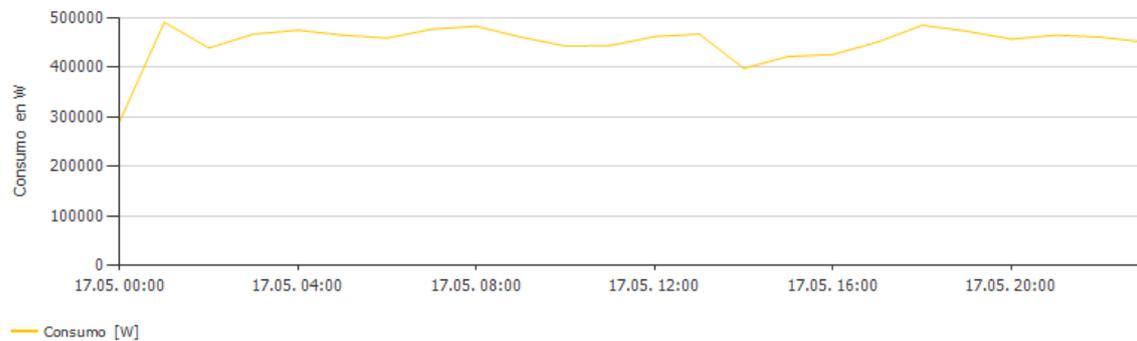


Figura 36. Consumo 17-05-2022

En este caso, había un alto nivel de producción coincidiendo en el mismo periodo distintos equipos eléctricos operando al mismo tiempo, como resultado se tiene un elevado nivel de consumo eléctrico. La media de demanda diaria es de 480 kW. Se puede producir al haber más de dos líneas en funcionamiento, baterías de las carretillas eléctricas cargando, compresores funcionando más de lo habitual u otros factores.

- Consumo con bajo nivel de producción

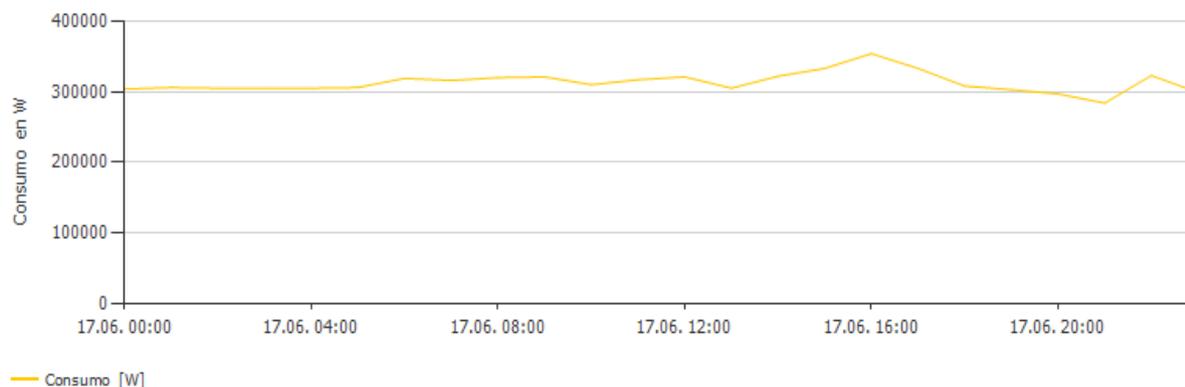


Figura 37. Consumo 17-06-2022

Es el caso de la producción utilizando una única granuladora, en lugar de utilizar las dos granuladoras, para la producción de pellets de forraje. En este caso la demanda eléctrica se mantiene estable en torno a los 300 kW.

### 3.4.4. FUTUROS CONSUMOS

Como se ha comprobado anteriormente, el consumo de la empresa no es una magnitud lineal que se mantenga constante en el tiempo.

Aplicando nuevas medidas de mejora en la empresa se pretende estabilizar los consumos en la medida de lo posible. Algunas medidas de mejora propuestas son: el perfeccionamiento de la tecnología de las líneas de producción, la previsión de futuras averías, disposición de stock para recambios de piezas, contratos fijos de venta de producción, planificación de la producción, división de tareas de los trabajadores, programación de la entrada en funcionamiento de las líneas, entre otras.

Se puede tomar como referencia el mes de mayo de 2022, el cual tuvo una demanda energética regular.



Figura 38. Consumo el mes de Mayo de 2022

Se puede ver que a excepción de el principio y el final del mes, donde se produjeron paradas de mantenimiento, en consumo general se mantiene en torno a los 450 kW de media.

En los años venideros se prevé que a demanda eléctrica aumente, ya que se producirá un aumento de la producción.

Se prevé que la media de la producción se encontrará en torno a los 500 kW de media. Se puede asumir que será una demanda más estable debido a las mejoras introducidas. En el posterior apartado de dimensionamiento tendremos en cuenta estos datos futuros como factor decisivo en la elección de la instalación.

### 3.5. DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA

En este apartado determinaremos la potencia fotovoltaica a instalar de forma que no se desperdicie gran cantidad de energía y que se cubran los requerimientos energéticos de la empresa de forma óptima.

Una vez elegida la potencia a instalar se procederá a justificar la elección de cada equipo, paneles, inversores y estructuras.

#### 3.5.1. IRRADIACIÓN SUPERFICIAL

La energía producida por los paneles depende directamente de radiación sobre la horizontal. En el caso de nuestra ubicación, los meses de máxima radiación son los meses estivales. En función de el ángulo de incidencia que tenga la radiación sobre los paneles, existirán pérdidas. El ángulo de incidencia óptimo es el perpendicular. Con la instalación de un sistema de seguimiento se podrán reducir las pérdidas debidas a el ángulo de incidencia.

En función de las condiciones climatológicas de cada día incidirá mayor o menor radiación. Siendo máxima cuando el cielo está despejado.

A continuación se presentarán una serie de gráficas que representan la radiación sobre la horizontal en Alar del Rey en a lo largo de un día en diferentes meses, cabe destacar que se han elegido días mayormente soleados para ver en su plenitud las horas de incidencia de radiación.

Los datos representados son los datos de radiación del último año (2021-2022).

- **Enero (2022)**

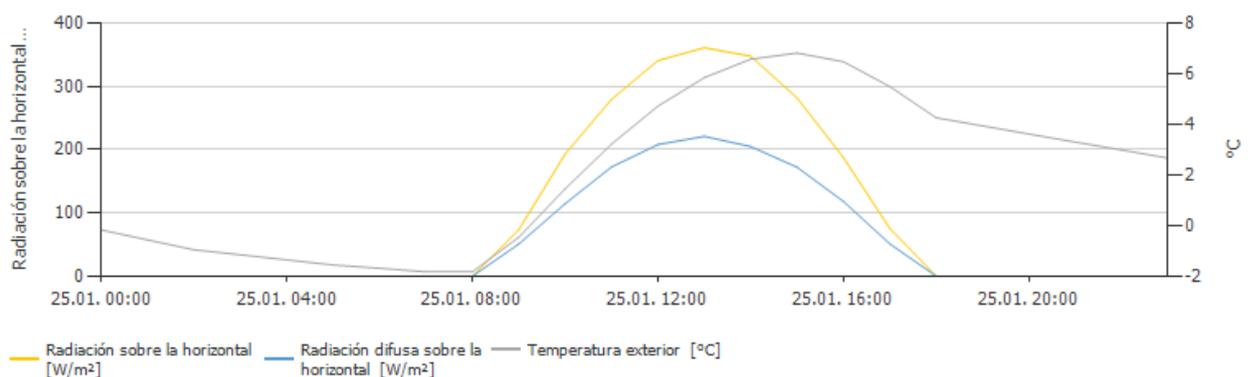


Figura 39. Radiación sobre la horizontal 25.01.2022

Se puede observar que la radiación tiene aparece de 8.00 a 18:00 y tiene un pico de 250 W/m<sup>2</sup>.

- **Marzo (2022)**

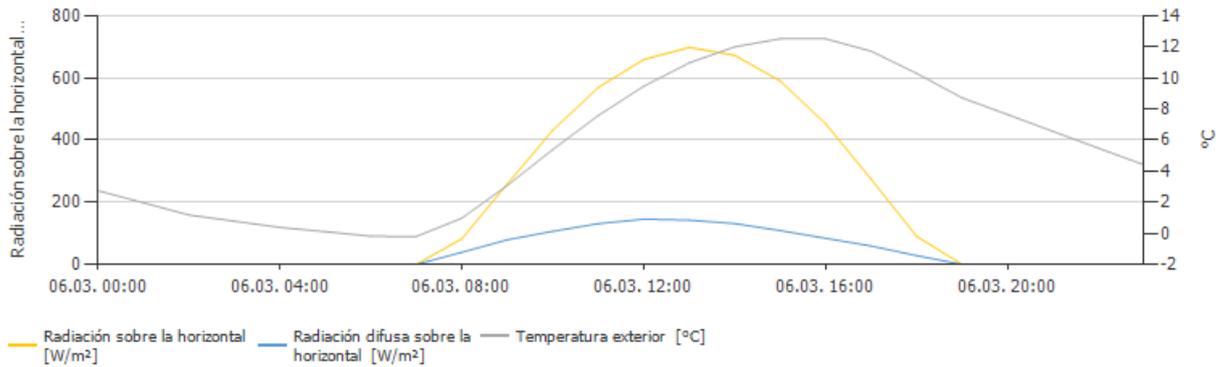


Figura 40. Radiación sobre la horizontal 06.03.2022

Se puede observar que la radiación aparece de 7.30 a 19:00 y tiene un pico de 700 W/m<sup>2</sup>.

El periodo invernal es de menor horas de sol y menor irradiación por lo que será el periodo de menor producción eléctrica de los generadores fotovoltaicos. La temperatura ambiente beneficia el trabajo de los paneles ya que presentan pérdidas reducidas por efecto Joule.

- **Mayo (2022)**

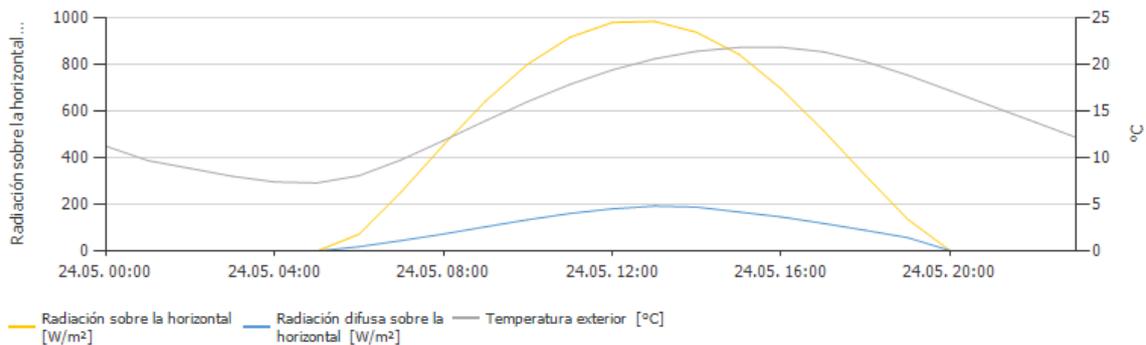


Figura 41. Radiación sobre la horizontal 24.05.2022

Se puede observar que la radiación aparece de 5.00 a 20:00 y tiene un pico de 990 W/m<sup>2</sup>.

El periodo primaveral es el segundo periodo de mayor producción fotovoltaica detrás del estival.

- Julio (2021)

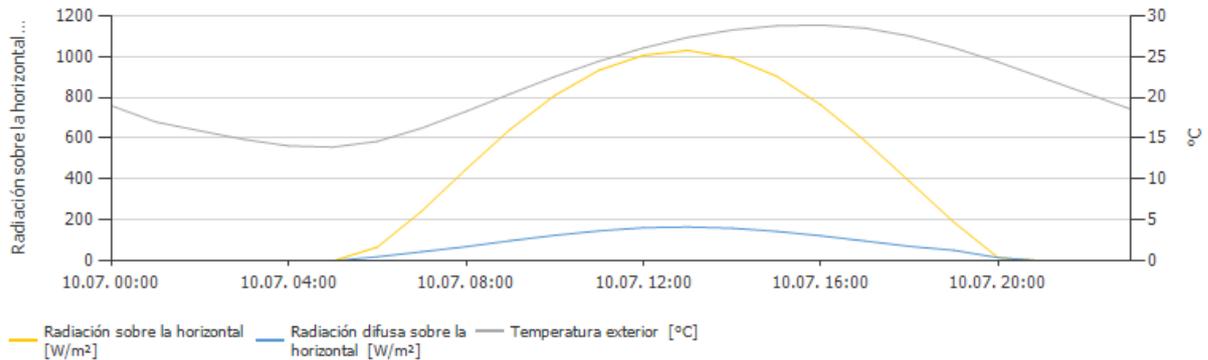


Figura 42. Radiación sobre la horizontal 10 .07.2022

Se puede observar que la radiación aparece de 5.00 a 20:00 y tiene un pico de 1010 W/m<sup>2</sup>.

Mayo, junio y julio, son los meses con mayor número de horas de sol, y mayor potencia de radiación sobre la horizontal. En estos meses serán los de mayor producción de la instalación fotovoltaica.

- Septiembre (2021)

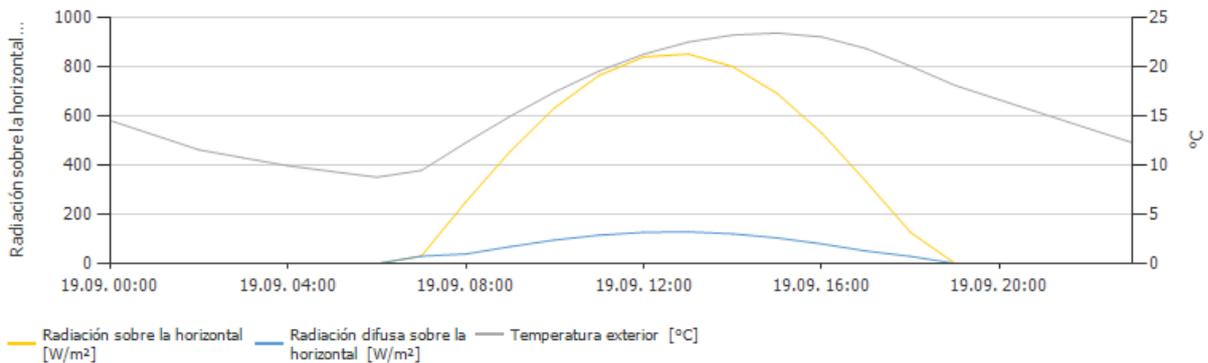


Figura 43. Radiación sobre la horizontal 19.09.2021

Se puede observar que la radiación aparece de 7.00 a 19:00 y tiene un pico de 830 W/m<sup>2</sup>.

En el periodo otoñal, se reduce el número de horas de sol y la radiación horizontal, pero sigue siendo de los periodos de máxima producción debido a que la temperatura ambiente es más baja que en verano, la temperatura otoñal se acerca a la óptima de trabajo de los paneles fotovoltaicos por lo que proporcionarán un mayor rendimiento.

### 3.5.2. POTENCIA PARA INSTALAR

Una vez se ha profundizado en los consumos eléctricos y en la radiación en la ubicación de instalación, se considera que la potencia a instalar tiene que estar por debajo del pico de demanda eléctrica, ya que al no poder verse energía a la red, no se pretende generar mucho excedente de energía.

Se desea maximizar la potencia instalada para abastecer a la planta ofreciendo el máximo rendimiento posible. Teniendo en consideración que el consumo en el próximo año será estable en torno a los 500 kW.

Se procederá a instalar **500 KVA**s de potencia nominal **en inversores** y **540 kW** de potencia en **paneles fotovoltaicos**.

La potencia instalada será generada por **5 inversores de 100 KVA**s conectados a **1200 paneles de 450 W**.

Los inversores fotovoltaicos seleccionados tienen un factor admisible de sobredimensionamiento de 115%. Es decir, un inversor de 100 KVA de potencia nominal admite 115 kW de potencia proveniente de paneles.

A cada inversor de 100 KVA se conectarán 240 paneles de 450 W cada uno. Haciendo un total de 108 kW en paneles.

La potencia conectada a cada inversor se encuentra dentro de lo admisible (menor de 115 kW). Este razonamiento en un inversor se puede extrapolar al conjunto de ellos. 500 KVA de inversores podrían soportar 575 kW en paneles. Se instalarán 540 por lo que entra dentro del margen.

Los equipos para instalar se sostendrán sobre una estructura que realizará la función de soporte y de seguidor solar ya que dispone de un eje giratorio.

La información se puede resumir en una tabla:

	Potencia por unidad	Número de unidades	Potencia Total Para Instalar
Inversores	100 KVA	5 uds	500 KVA
Paneles	450 KW	1200 uds	540 kW

*Tabla 3. Potencia para instalar.*

### 3.5.3. ELECCIÓN DE ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

Actualmente en el mercado, existe una gran variedad de marcas y distribuidores de material fotovoltaico. Después de realizar un proceso de búsqueda de catálogos, comparación de precios y comparación de características se han elegido los siguientes modelos:

- **Panel fotovoltaico**

El modelo de paneles es el JaSolar-M72S20-MR450 W. Se trata de un panel fotovoltaico monocristalino de 450 W de potencia pico, con tecnología mono.

La marca JA-SOLAR, es una marca de producción de paneles con muchos años de experiencia en fabricación de paneles y de buena reputación. En concreto, este panel está certificado por numerosas empresas instaladoras que le ofrecen en su catálogo. Tiene bajo precio en comparación con los paneles con mismas características de otras marcas.

Posee una garantía de producto de 12 años. Garantía de producción lineal en 25 años que asegura un mínimo de un 83% del poder inicial después del año 25.

En cuanto a la potencia, existen paneles de 500 W y de 600 W en el mercado, hace unos años solo existía hasta 330 W y cada vez más rápido se está aumentando la potencia en la misma superficie de panel. Se ha elegido 450 W de potencia debido a que es una de las potencias más comercializadas y contrastadas, además era ideal para el tipo de estructura y la potencia era posible de cuadrar en el inversor sin la aparición de cifras decimales.

En cuanto a las características técnicas específicas, se explicarán más adelante en el apartado 4.4.6.5 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS INSTALADOS.



Figura 44. Panel JaSolar-M72S20-MR450 W

- Inversor fotovoltaico

El modelo elegido ha sido el Huawei-SUN2000-100KTL-M1. Se trata de un inversor fotovoltaico de 100 KVA de potencia nominal.

La marca del inversor es Huawei, se trata de una empresa de electrónica que fabrica todo tipo de productos, actualmente en España es la marca más demandada debido a que son los inversores de mayor relación calidad-precio. En la ciudad de Valladolid no hay stock de inversores Huawei ya que en la mayor parte de las instalaciones realizadas, ya sean pequeñas de autoconsumo de 8 kW, hasta grandes instalaciones de más de un MW, se están empleando inversores Huawei.

En cuanto al precio, el factor de comparación en los inversores es el de €/kW. Por ejemplo, Inversor Huawei de 30kW tiene una relación de 104,051€/kW. Cuanto más kW tenga el inversor, mejor es la relación ya que el precio es más alto pero sale mejor precio cada kilovatio. Siguiendo este razonamiento, lo más económico en nuestra instalación habría sido la compra de un inversor de 500 kW. Sin embargo, es difícil encontrar inversores de más de 200 kW, los de siguiente potencia suelen ser plantas de inversión de más de 1MW de potencia. Además los inversores de más de 120 kW de potencia suelen tener una salida de corriente alterna a 800 V.

Otra opción es elegir el inversor Huawei de 215 KVA. Agrupando 3 de ellos cubriríamos la planta y tiene mejor relación€/kW que el de 100 kW. Sin embargo tiene el problema que se ha comentado antes, el voltaje de salida es a 800 V. Sería necesario un nuevo centro de transformación de 800 V a 400 V para poder verter la electricidad a la red de la planta.

La opción más viable por lo tanto es instalar 5 inversores de 100KVA. Sacan la corriente en 400 V en alterna, por lo que no es necesario transformaciones intermedias. Cada inversor dispone de 10 seguidores MPPTs y 20 entradas. Así se podrá monitorizar distintas partes de la planta independientemente, pudiendo detectar paneles defectuosos o problemas en algún circuito aislado.

Se conectarán 12 paneles en serie, entre dos series de 12 se empalmarán en la caja de conexiones de cada String en paralelo, y la corriente de los 24 paneles entrará a una entrada del inversor. Pudiendo conectar de esta forma 240 paneles a cada inversor.

Las características técnicas y modos de conexión se describirán posteriormente.



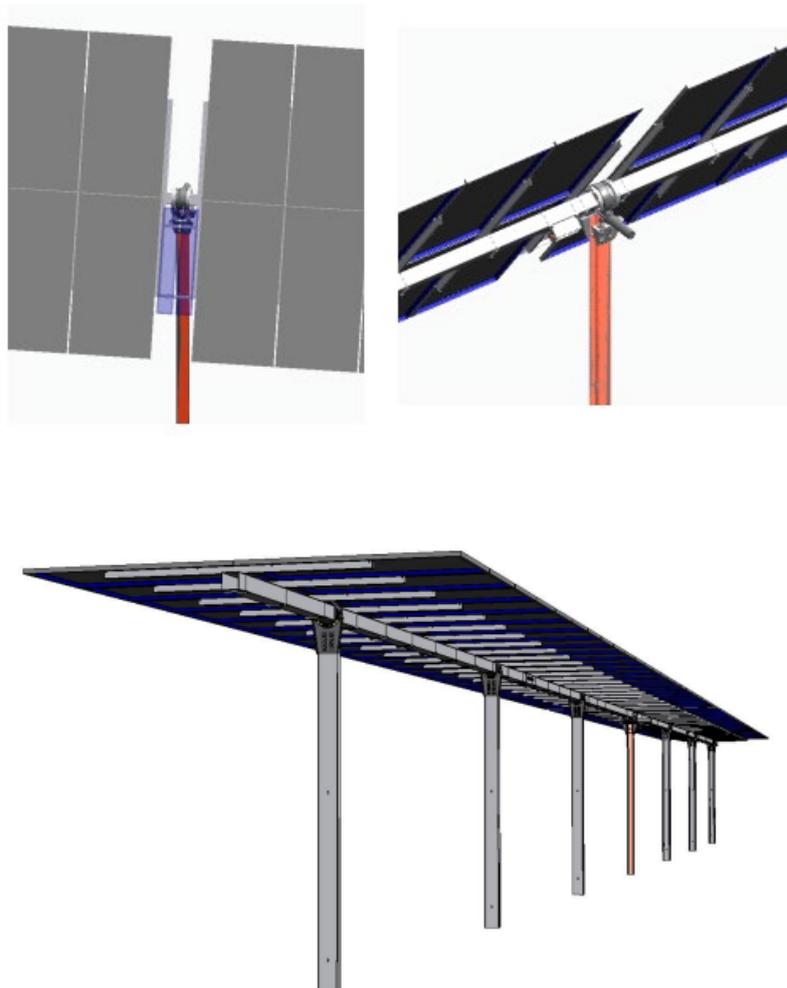
Figura 45. Inversor Huawei-SUN2000-100KTL-M1

- Estructura de soporte de paneles

La estructura elegida se trata de una estructura certificada de la marca Trina Pro, concretamente el modelo SP160, que cuenta con un seguidor solar capaz de orientar los paneles en ángulo perpendicular al de incidencia de la radiación en todo momento, aprovechando de esta forma al máximo la potencia solar.

Se instalarán series de 24 paneles por estructura, 12 verticales en la parte de superior y 12 verticales en la parte inferior. Cada estructura dispondrá de una caja de conexión que recoge la conexión en paralelo de las dos series de 12 paneles.

Se instalará un total de 10 estructuras por inversor, haciendo un total de 50 estructuras en la planta fotovoltaica que soportarán los 1200 paneles fotovoltaicos.



*Figuras 46 y 47. Seguidor solar trina pro SP 160*

## 4. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS PROYECTADAS

### 4.1. EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

La planta fotovoltaica estará situada en el siguiente término municipal:

Término Municipal.
Alar del Rey

Tabla 4. Término Municipal de la planta solar

Las coordenadas del contorno de la planta serán las siguientes, formato UTM, Huso 30 ETR S89:

Punto	Coordenada X	Coordenada Y
01	392267,96	4723220,42
02	392261,45	4723282,75
03	392437,40	4723312,88
04	392451,85	4723252,40

Tabla 5. Coordenadas de la instalación

Concretamente se situará sobre los siguientes polígonos y parcelas:

Referencia Catastral	Polígono	Parcela	Superficie Total (m <sup>2</sup> )	Superficie total FV (m <sup>2</sup> )
34005A61905013	619	5013	6.409	1333,1
34005A61905014	619	5014	6.441	1333,1
	<b>Superficie Total</b>		<b>12.850</b>	<b>2.666,2</b>

Tabla 6. Terrenos pertenecientes a Alar del Rey

La planta solar estará ubicada en la parcela contigua a da de la empresa Forrajes canal de Castilla. En la calle tras estación, en Alar del Rey, en la provincia de Palencia, España. Las parcelas sobre las que se van a realizar las obras tienen acceso desde la calle tras estación y desde el recinto de la empresa Forrajes Canal de Castilla.

Las coordenadas del punto de acceso son las siguientes:

FV Forrajes Canal de Castilla			
COORDENADAS	Latitud	Longitud	Altitud
Latitud-Longitud	42,654506	-4,312147	853 msnm
COORDENADAS	X	Y	Huso
UTM	392451,85	4723252,40	30 ETR S89

Tabla 7. Coordenadas del punto de acceso a la Planta fotovoltaica



Figura 48. Parcelas 5013 y 5014 Alar del Rey, Palencia. Fuente: Catastro



## 3.2. REGLAMENTOS Y NORMAS

Para el estudio del presente Proyecto, nos hemos acogido a los siguientes:

### 3.2.1. PRODUCCIÓN ELÉCTRICA

- Real Decreto 2019/1997, de 26 de diciembre, por el que se organiza y regula el mercado de producción de energía eléctrica.
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Real Decreto 2351/2004, de 23 de diciembre, por el que se modifica el procedimiento de resolución de restricciones técnicas y otras normas reglamentarias del mercado eléctrico.
- Real Decreto 1454/2005, de 2 de diciembre, por el que se modifican determinadas disposiciones relativas al sector eléctrico.
- REAL DECRETO-LEY 7/2006, de 23 de junio, por el que se adoptan medidas urgentes en el sector energético.
- Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
- Real Decreto -Ley 15/2108, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.
- Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.



### 3.2.2. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

- Real Decreto 2313/1985, de 8 de noviembre, por el cual se establece la sujeción a especificaciones técnicas de las células y módulos fotovoltaicos (BOE 13-12-85).
- Real decreto 2224/1998, de 16 de octubre, por el que se establece el certificado de profesionalidad de la ocupación de instalador de sistemas fotovoltaicos y eólicos de pequeña potencia.
- Instrucción de 21 de enero de 2004, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, sobre el procedimiento de puesta en servicio de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red.
- Pliego de Condiciones Técnicas de instalaciones de Energía solar fotovoltaica Conectadas a red del I.D.A.E.
- ORDEN ITC/3860/2007, de 28 de diciembre, por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir del 1 de enero de 2008.
- Reglamento Unificado de Puntos de Medida de Sistema Eléctrico. R.D.2110/2007

### 3.2.3. OBRA CIVIL

- R.D.314/2006 por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Documentos Básicos del CTE aplicables.
- R.D. 1247/2008 por el que se aprueba la instrucción técnica de hormigón estructural EHE-08.
- ORDEN de 14 de mayo de 1990 por la que se aprueba la instrucción de carreteras 5.2-IC "DRENAJE SUPERFICIAL"
- EUROCODIGOS EN-1990 a 1999.
- Ley de Ordenación del Plan del Exmo. Ayuntamiento de Montijo (PGOU)



### 3.2.4. INSTALACIONES DE BT. GENERADORES DE BT

- R.D. 842/2002 por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y sus instrucciones técnicas complementarias. REBT.
- Normas e Instrucciones del M.I.
- Normas UNE y UNE-EN. Incluida UNE-EN-211435:5 que sustituye a UNEEN-21435:5 en la que se basa el RD 482/2002.

### 3.2.5. INSTALACIONES DE MT

- Normas e Instrucciones del M.I., incluidas las instrucciones técnicas
- Complementarias MIE-RAT
- R.D. 223/2008 por el que se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas. RLAT
- Normas UNE y UNE-EN. Incluida UNE-EN-211435:5 para corrientes máximas para conductores de hasta 30kV.
- Recomendaciones UNESA.
- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.

### 3.2.6. SEGURIDAD INDUSTRIAL

- ORDEN de 9 de marzo de 1971 por la que se aprueba la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Partes no derogadas.
- REAL DECRETO 1407/1992, de 20 de noviembre, por el que se regula las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre,



por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción Anexo IV.

- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los servicios de prevención.
- REAL DECRETO 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- REAL DECRETO 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- REAL DECRETO 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorso lumbar, para los trabajadores.
- REAL DECRETO 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- REAL DECRETO 780/1998, de 30 de abril, por el que se modifica el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los servicios de prevención.
- REAL DECRETO 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- LEY 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.
- Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.
- REAL DECRETO 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- REAL DECRETO 604/2006, de 19 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.



- Real Decreto 330/2009, de 13 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.

### 3.3. JUSTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD DE INSTALACIÓN

El estado español debe cumplir con los compromisos del estado español con el Protocolo de Kioto, y tras la ratificación de los cotados compromisos en la cumbre de Doha de 2012, la Unión Europea debe reducir las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> en un 20 % con respecto a la base de 1990. Esto contrarresta con la creciente demanda energética anual tanto de España como de la Comunidad Autónoma de Castilla y León.

Para lograr estos compromisos, es necesaria la actuación en varios campos, como son la producción de energía, el transporte, la eficiencia energética, etc.

Dentro del campo de la producción de energía eléctrica, se encuentra la producción de esta con energías renovables, que pueden contribuir a la reducción de estas emisiones, ya que su balance con respecto al CO<sub>2</sub> es prácticamente nulo.

Además, la generación eléctrica con energías renovables tiene otros beneficios asociados, como son la reducción de la dependencia energética exterior, su aporte a la mitigación del cambio climático, y el desarrollo de tecnología propia, e incluso a nivel local.

Dentro de las energías renovables, la solar fotovoltaica, se presenta como una de las alternativas más interesantes, debido a varios factores, entre otros:

- El precio de los paneles ha descendido muy rápidamente en los últimos años, y ha aumentado su eficiencia, pudiendo así competir en precio con otras tecnologías basadas en combustibles fósiles.
- El recurso solar es abundante en España. Concretamente en Castilla y León todavía tiene gran margen de desarrollo. Imagen [20].
- Sus materiales son duraderos, fáciles de instalar y mantener

Es por eso por lo que se decide la realización de este proyecto, que además de todos los beneficios anteriores, es rentable económicamente para los promotores, por factores como los que se han comentado anteriormente de costes bajos y competitividad con otras tecnologías.

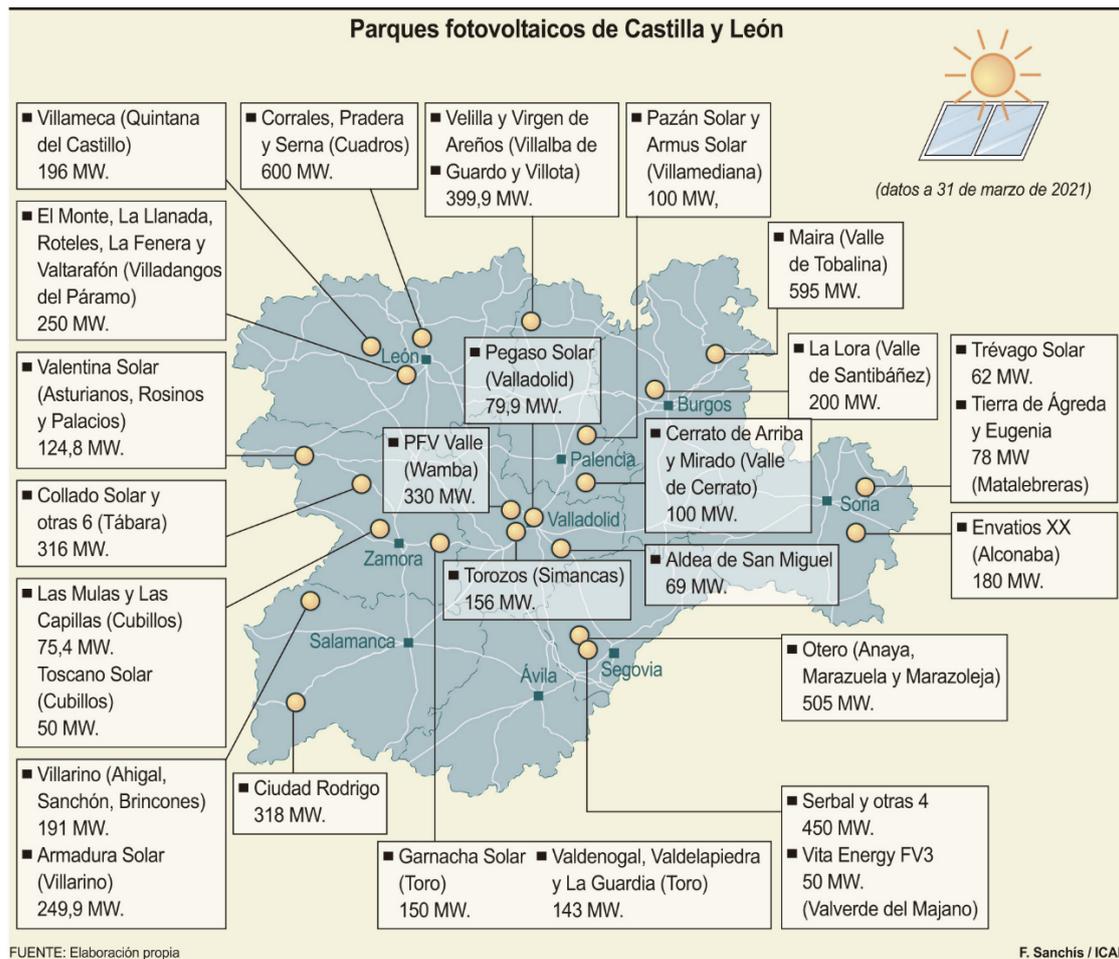


Figura 49. Parques fotovoltaicos en Castilla y León. Fuente: F. Sanchis ICAL

### 3.4. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

#### 3.4.1. CLASIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN

Según lo establecido en el RD 413/2014 y más concretamente en su artículo 2, ámbito de aplicación nuestra instalación pertenece a la siguiente categoría grupo y subgrupo:

- 1) **Categoría b.** Instalaciones que utilicen como energía primaria alguna de las energías renovables no fósiles.
- 2) **Grupo b1.** Instalaciones que utilicen como energía primaria la energía solar.
- 3) **Subgrupo b1.1.** Instalaciones que únicamente utilicen la radiación solar como energía primaria mediante la tecnología fotovoltaica.

### 3.4.2. OBLIGACIÓN PRODUCTORES DE FUENTES RENOVABLES

La planta se ha diseñado para cumplir con lo establecido en el RD413.2014 de 6 de junio por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, cogeneración y residuos.

La planta actuará en la modalidad de autoconsumo, vendiendo sus excedentes, según lo marcado en el Real Decreto 244/2019, de 5 de abril.

Este decreto en su artículo 16, establece que las instalaciones de autoconsumo con excedentes no acogidas a compensación, los titulares de las instalaciones de producción deberán satisfacer los peajes de acceso, establecidos en el Real Decreto 1544/2011, de 31 de octubre, por la energía horaria excedentaria vertida.

Para la determinación del término de facturación de potencia de los peajes de acceso a las redes, el control de la potencia se realizará utilizando el equipo de medida ubicado en el punto frontera.

La planta Solar fotovoltaica, cumplirá con todas estas especificaciones técnicas.

### 3.4.3. POTENCIA DE LA PLANTA SOLAR

La planta solar Fotovoltaica tiene una potencia instalada de 540,00 kW, el RD 413/2015 establece en su artículo 4, que la potencia instalada en una instalación solar fotovoltaica es la suma de la potencia de sus paneles FV. Se instalarán 1200 paneles fotovoltaicos de 450 W cada uno.

La potencia nominal es la suma de potencia nominal de los inversores de la instalación. Se instalarán 5 inversores de 100Kw nominales cada uno, haciendo un total de 500kWh.

La configuración de la planta será de la siguiente forma:

Potencia Instalada kW	Potencia nominal kWh
540	500

Tabla 8. Potencias de la planta fotovoltaica

### 3.4.4. OCUPACIÓN

Se diferencian los siguientes valores de superficies:

- Superficie Catastral: Valor total de la parcela catastral que donde se ejecuta el parque.
- Superficie Construida: Perímetro de las estructuras.
- Superficie de Captación (Neta): Superficie de módulos. El valor de la superficie neta de captación se calcula para identificar, de toda la superficie disponible y ocupada, el porcentaje que realmente está generando energía.

Con este valor se obtiene el Ratio de ocupación, en ha/MW, con el que se pueden comparar terrenos. Por ejemplo, si existen accidentes geográficos, la ratio de ocupación crecerá, es decir, será necesario más terreno para la instalación fotovoltaica.

#### 3.4.4.1. SUPERFICIE CATASTRAL

La superficie catastral se corresponde con la superficie de la ubicación de la planta siendo esta la que se indica en la siguiente tabla:

Referencia Catastral	Polígono	Parcela	Superficie Total (m <sup>2</sup> )	Superficie total FV (m <sup>2</sup> )
34005A61905013	619	5013	6.409	1333,1
34005A61905014	619	5014	6.441	1333,1
	<b>Superficie Total</b>		<b>12.850</b>	<b>2.666,2</b>

Tabla 9. Superficie catastral de proyecto



### 3.4.4.2. SUPERFICIE CONSTRUIDA.

Para la superficie construida se tienen en cuenta los siguientes valores:

- Seguidores: Estructuras fijas, de 80 módulos por String.
  - Modelo: SP160 2V Módulo de Giro
  - Dimensiones: 25 mm<sup>2</sup> de superficie de captación.
  - Número módulos en cada seguidor: 80 módulos, colocados verticalmente, dos filas, 40 en la fija superior arriba y 40 en la inferior.
  - Número de seguidores total: 15 seguidores.
- Módulos fotovoltaicos:
  - Modelo de panel: JaSolar-M72S20-MR450 W.
  - Marca: Ja Solar.
  - Dimensiones de módulos: 1,03 m (ancho) x 2,193 m (alto) = 2,2583m<sup>2</sup>.
  - Número total de módulos de la instalación: 1200 Uds.
  - Superficie de Captación: 1200 x 2,2583 m<sup>2</sup>: 2.710 m<sup>2</sup>.
- Inversores solares:
  - Modelo de inversor: Huawei-SUN2000-100KTL-M1.
  - Marca de inversor: Huawei.
  - Dimensiones de Inversor: 1035mm x 700mm x 365mm.
  - Número total de Inversores: 5.
  - Superficie total: 5 x 0,2644 m<sup>2</sup> = 1,32 m<sup>2</sup>.

- Caseta eléctrica
  - Función albergar los inversores, y protecciones. Centro intermedio antes de conectar con el centro de transformación.
  - Modelo: Preforma.pfu-4.
  - Dimensiones: Longitud 4460 mm, anchura 2380mm, altura 3240mm. Superficie sobre el terreno: 4,460 m x 2,380 m = 10,6148 m<sup>2</sup>.

La superficie total Construida se corresponde con la suma parcial de todas y cada una de estas superficies y asciende a la cifra de: 2.684,21 m<sup>2</sup>.

### 3.4.4.3. TABLA DE SUPERFICIES

Tipo de superficie	Superficie de captación (Incluye seguidores con los módulos instalados)	Superficie casetas (Incluyen los inversores y protecciones en su interior)	Superficie total construida (Sup. captación + Sup. Casetas)	Superficie Catastral (Suma de parcelas 5013 y 5014)	Superficie Ocupada (Vallado)	Superficie edificable (Sup. Catastral con margen de 5 metros)
Superficie (m <sup>2</sup> )	2.710	20	2730	12.850	12.850	10.421,78

Tabla 10. Tabla de Superficies

### 3.4.4.4. AFECCIONES DENTRO DE LOS TERRENOS DE LA PLANTA.

- Carreteras y Caminos públicos.

En los terrenos donde se pretende construir la planta solar, no existen caminos públicos. Limitando con las parcelas en su lado este, transcurre una calle pública, la Calle tras Estación. Esta calle, se utilizará como acceso a la planta, es paralela a la vía del tren y su uso principal es el acceso a la empresa promotora y a las fincas colindantes.

En la frontera sur de la parcela 5014, se encuentra el terreno perteneciente a la empresa promotora, Forrajes Canal de Castilla. En este frente se situará la zona principal acceso a la planta.

Colindando en el norte de la parcela, se encuentra la parcela 5012, ocupada por una vivienda. La referencia catastral de esta finca es: 34005A619050120000YQ.

- Tipo de terreno

Actualmente las parcelas 5013 y 5014, son de terreno orientado para uso agrario. La parcela contigua en la parte sur, en la que se ubica la planta industrial es terreno industrial.

Para que sea posible la instalación y explotación el sistema fotovoltaico, es necesario que el terreno sea apto para el uso industrial. Será necesario pedir una licencia al ayuntamiento de Alar del Rey para el cambio de terreno de rústico a industrial de las fincas 5013 y 5014 del polígono 619 ubicadas en territorio de Alar del Rey.

Este cambio de consideración del suelo no debería de ser un impedimento ya que, al ser la parcela contigua a la de la empresa, que es de uso industrial, se podrán realizar los trámites correspondientes. Una vez obtenida la denominación industrial del suelo, se pueden realizar las obras y posteriormente la entrada en funcionamiento de la planta fotovoltaica.

- Márgenes de seguridad en el perímetro de la parcela

Según el Código Técnico de Edificación (CTE), publicado en el BOE según el Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, recoge que entre el borde limitante de la parcela y el comienzo de la edificación es necesario dejar 5 metros de distancia perpendicularmente medida al borde de la parcela.



Figura 50. Visión de la zona edificable de las parcelas. Fuente: Desarrollo propio

Lo anterior mente explicado se puede apreciar en la imagen [21]. El recuadro negro exterior abarca las parcelas 5013 y 5014. La zona edificable dentro de estas parcelas se encuentra sombreada con líneas grises a cuadros, dicha zona guarda un margen de 5 metros con el perímetro exterior de las parcelas.

#### 3.4.4.5. AFECCIONES CERCANAS

Los terrenos de la planta Fotovoltaica lindan con otras parcelas. Existen edificaciones en la finca colindante con el norte de la parcela (N.º 5012). Se dispone de la distancia reglamentaria a la finca citada anteriormente para no ocasionar perjuicio alguno.

Denominación	Referencia catastral	Superficie (m <sup>2</sup> )
Parcela colindante norte	34005A61905012	5.507

Tabla 11. Parcela colindante

#### 3.4.4.6. ACCESOS A LA PLANTA FV

Se realiza a continuación una descripción del acceso a la planta FV, el cual, se realizarán desde el terreno de la empresa promotora beneficiaria de la instalación, a través de una entrada con una puerta giratoria en la valla de cercado exterior.

Además de la entrada principal desde la empresa existirá una entrada desde la parte este mas amplia para poder introducir maquinaria y material de construcción y posterior mantenimiento. Esta entrada se realizará desde la Calle Tras Estación (Alar del Rey).

Descripción de la calle pública existente utilizada como acceso:

Denominación	Superficie (m <sup>2</sup> )
Calle tras Estación	1340

Tabla 12. Calle de acceso a la Planta

### 3.4.5. FICHA GENERAL DEL PROYECTO

PLANTA SOLAR FV DE AUTOCONSUMO PARA FÁBRICA DE PELLETS			
CONFIGURACIÓN GENERAL			
Total Potencia Nominal (kWn)	500	Total Módulos Ud.	1200
Total Potencia Pico (kWp)	540,00	Total Inversores Ud.	5
Ratio Wp/Wn	1,08	Módulos por String	24 (Dos series de 12 paneles conectadas en paralelo)
Total Strings	50		
CACTERIZACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN			
Localización	Alar del Rey (Palencia)	Superficie Parcela Catastral (m <sup>2</sup> )	12.850
País	España	Superficie bruta disponible (m <sup>2</sup> )	10.421,78
Coord. UTM HUSO 30 ETR S89	392451,85; 4723252,40	Superficie ocupación neta (m <sup>2</sup> )	2.730
Altitud (msnm)	853	Ratio m <sup>2</sup> /kW	19,3
CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS			
Módulo FV		Estructura	
Fabricante	JA SOLAR	Fabricante	Trina Pro
Modelo	JAM72S20-450MR	Modelo	Tracker SP160
Tecnología	Monocristalino	Inclinación	120° (+-60°)
Potencia pico	450 W	Tipo	Seguidor motorizado
Voltaje Max (Circuito abierto)	49,70 V	Superficie Máxima de instalación	180 m <sup>2</sup>
Intensidad Max (Cortocircuito)	11,36 A	N.º Paneles/Estructura	24 (12 arriba y 12 abajo)
Caja de String		Inversores	
Entradas	10	Fabricante	Huawei
Voltaje Max	600(12paneles*20V) Vdc	Modelos	SUN2000-100KTL-M1
Fusibles	15 A (> 11,36 A)	Potencia Nominal	100 KVA
Intensidad Max	400 A	Rango de tensión de operación MPPT	200 ~ 1000 V
Aislamiento	IP65	Voltaje Max	1100 V
Centro de Transformación		Cableado Eléctrico	
Potencia AC	1000 KVA	Cable de String	6 mm <sup>2</sup> , Cu
Número de inversores	5	Cable DC	XLPE, Al
Número de transformadores	2	Secciones	150 mm <sup>2</sup>



### 3.4.6. DESCRIPCIÓN GENERAL

El proyecto fotovoltaico, consistirá en la construcción, instalación, operación y mantenimiento de una Planta Solar Fotovoltaica con módulos fotovoltaicos de tecnología monocristalina en estructuras con seguidores con 120 grados de giro. La planta contará con una potencia instalada total de 540,00 kWp, resultando una potencia nominal de 500,00 kWn. La planta, se realiza con paneles fotovoltaicos sobre carriles giratorios, y sus principales características son:

- Potencia instalada: 540,00 kWp.
- Potencia conectada a red: 500,00 kWn
- N.º de módulos fotovoltaicos: 1200 Ud.
  - Potencia modulo fotovoltaico: 450 Wp
- N.º de Inversores: 5.
  - Potencia de cada inversor: 100 kW A 25°C
- N.º de Centros de transformación: 1.
  - Potencia del transformador: 2\*1000 KVA
- Cableado y elementos de protección

El punto de conexión final de la instalación generadora Fotovoltaica se realizará en el centro de distribución propiedad de la empresa Canal de Castilla, situado al noroeste de la superficie de la empresa. Se conectará a la línea particular de baja tensión de la empresa citada, a tensión de 400 V.

La instalación se dividirá en islas de 100 kW, correspondiendo a 1 inversor cada una, haciendo un total de 5 islas. La instalación FV tiene capacidad de generar electricidad a nivel de 400 V en sistema alterno trifásico.

Las islas de potencias se conectarán en paralelo por unos circuitos colectores de Baja Tensión hasta la entrada del Centro de distribución, situado contiguamente al centro de transformación en dentro del recinto de la empresa.

En el proyecto, se ha diseñado cada isla de potencia constituida por:

- Estructuras de seguidores, con la inclinación óptima para maximizar producción en cada época del año, orientadas al sur, que contendrá dos filas de módulos orientados verticalmente y un total de 24 paneles fotovoltaicos.



- 1200 módulos fotovoltaicos de 450 Wp
- 5 inversores fotovoltaicos de 100 KVAs
- 1 Centro de transformación, formado por dos transformadores:
  - Un transformador de 1000KVAs operativo que conecta la red de la empresa en baja tensión (400V) con la red de distribución en alta tensión (20 kV).
  - Un transformador de 1000 KVAs que funciona de reserva.

El proyecto fotovoltaico de autoconsumo tiene la misión de cubrir parcialmente las necesidades eléctricas de la planta de producción de pellets de paja de la empresa Forrajes Canal de Castilla.

En cuanto a la conexión de los módulos fotovoltaicos, se asocian en serie, formando “strings” o series de 12 paneles PV hasta alcanzar la tensión de generación deseada y en paralelo de 2 en dos para conseguir las corrientes de operación de fácil manejo.

Los string se asocian en paralelo en agrupaciones de 10 string, mediante un cable de corriente continua (DC Bus) a unas “Cajas de agrupación de primer nivel” llamados también “string-box”. Se disponen en estas cajas las protecciones necesarias que se consideren óptimas de diseño y que justifiquen el empleo del marco legal actual. Desde dichas cajas, se llevará la energía generada, mediante otro cable de corriente continua, al lado de continua del inversor de 100 KVAs de ese campo.

Mediante el empleo de un inversor fotovoltaico, podemos acondicionar la potencia eléctrica obtenida del campo de módulos fotovoltaicos y disponer de esta energía en un sistema trifásico alterno. Las características del sistema trifásico empleado son:

- Sistema trifásico equilibrado
- Frecuencia de trabajo de 50 Hz % marcado por normativa.
- Un disminuido factor de distorsión armónica THD%, <3%
- Tensión de salida VAC: 400 V  $\pm$  5 %

Las líneas colectoras de evacuación en Baja Tensión de la planta de generación recogerán la energía generada. Estas líneas colectoras tendrán su punto de evacuación en el lado de 400 V del Centro de Transformación de 20/0,40 kV. Desde el Centro de Transformación, se evacuará la energía a la línea aérea de Alta Tensión de 20 kV, que pertenece a la red de distribución de Viesgo Distribución Eléctrica.

### 3.4.6.1. POTENCIA DE LA PLANTA SOLAR

La planta solar Fotovoltaica tiene una potencia instalada de 540,00 kW. El RD 413/2015 establece en su artículo 4, que la potencia instalada en una instalación solar fotovoltaica es la suma de la potencia de sus paneles FV.

Los paneles solares que se utilizarán tienen una potencia pico de 540 Wp. Sus características técnicas serán definidas posteriormente.

En función de los elementos elegidos para la construcción de la instalación de generación, esta estará constituida por los siguientes tipos de campos, siendo un campo solar la instalación compuesta por un inversor solar, con todos los paneles solares que se conectan a él, su estructura de soporte y seguimiento y las infraestructuras de baja tensión, cableado cuadros de protección y zanjas, para transportar la energía desde los paneles hasta el inversor.

En la planta existen los siguientes campos solares:

Campos	Potencia (kWp)	Unidades	Potencia total (kWp)
Campo tipo 1	108	5	540

Tabla 13. Tipo de Campo en la instalación

### 3.4.6.2. CAMPOS TIPO

Estos campos solares tipo están formados por los módulos, estructura soporte e inversor solar. La instalación fotovoltaica está compuesta por 5 campos tipo, los cuales se distribuyen de la siguiente manera:

Campos	Número de inversores	Total potencia en inversor (KVA)	Total potencia en paneles (kWp)	Unidades	Total Potencia (KVA)
Campo tipo 1	1 Ud.	100	108	5	500

Tabla 14. Campos que componen la instalación

Pasaremos a continuación a definir con exactitud la composición de la planta tipo.

### 3.4.6.3. EQUIPOS DE CADA CAMPO TIPO

La instalación de 540 kWp, como se ha indicado anteriormente, estará constituida por 5 instalaciones. Cada una de estas instalaciones estará formada por los siguientes elementos:

#### Campo tipo 1

Existirán 5 instalaciones de este tipo con las siguientes características:

Descripción	Unidades/Potencia
Panel solar fotovoltaico de 450 Wp	240 uds
Número de módulos por String	24 uds (2 filas de 12)
Potencia por String	10800 Wp
Número de Strings por instalación	10 uds
Tensión de funcionamiento a máxima potencia	624V (24*52V vacío+ factor de Tª)
Intensidad de punto de máxima potencia	227.2 A
Potencia del Campo	104 kWp
Inversor Solar Huawei SUN2000-100KTL-M1	1 ud
Estructuras de seguidores de 24 paneles	10 uds
Superficie de Paneles	542 m <sup>2</sup>

Tabla 15. Equipos Planta Tipo 1: 104 kWp.

### 3.4.6.4. PLANTA GLOBAL.

Por lo tanto, nuestra planta global estará compuesta el siguiente número de plantas tipo 1:

Descripción	Unidades	Unidades/Potencia
Plantas Tipo 1	5	540 kWp

Tabla 16. Plantas que componen la instalación.

El número total de elementos que compondrán la instalación de generación es:

Descripción	Unidades/Potencia
Panel solar fotovoltaico de 450 Wp	1200 uds
Número de Strings	50 uds
Potencia por String	10800 Wp
Total potencia Instalada	540.000 Wp uds
Potencia del Campo	104 kWp
Inversor Solar Huawei SUN2000-100KTL-M1	5 ud
Estructuras de seguidores de 24 paneles	50 uds
Superficie de Paneles	2710 m <sup>2</sup>

Tabla 17. Equipos de la Instalación total: 540 kWp.



### 3.5.2. INVERSOR SOLAR FOTOVOLTAICO

- Huawei-SUN2000-100KTL

SUN2000-100KTL-M1

## Especificaciones técnicas

Eficiencia	
Máx. Eficiencia	98.8% @480 V; 98.6% @380 V/400 V
Eficiencia europea	98.6% @480 V; 98.4% @380 V/400 V
Entrada	
Máx. tensión de entrada	1,100 V
Máx. intensidad por MPPT	26 A
Máx. intensidad de cortocircuito por MPPT	40 A
Tensión de entrada inicial	200 V
Rango de tensión de operación de MPPT	200 V ~ 1,000 V
Tensión nominal de entrada	570 V @380 V; 600 V @400 V; 720 V @480 V
Número de entradas	20
Número de MPPTs	10
Salida	
Potencia nominal activa de CA	100,000 W (380 V / 400 V / 480 V @40°C)
Máx. potencia aparente de CA	110,000 VA
Máx. potencia activa de CA (cosφ=1)	110,000 W
Tensión nominal de salida	220 V / 230 V, default 3W + N + PE; 380 V / 400 V / 480 V, 3W + PE
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz
Intensidad de salida nominal	152.0 A @380 V; 144.4 A @400 V; 120.3 A @480 V
Máx. intensidad de salida	168.8 A @380 V; 160.4 A @400 V; 133.7 A @480 V
Factor de potencia ajustable	0.8 LG ... 0.8 LD
Máx. distorsión armónica total	<3%
Protecciones	
Dispositivo de desconexión del lado CC	Sí
Protección contra funcionamiento en isla	Sí
Protección contra sobreintensidad de CA	Sí
Protección contra polaridad inversa de CC	Sí
Monitorización de fallas en strings de sistemas fotovoltaicos	Sí
Protector contra sobretensiones de CC	Tipo II
Protector contra sobretensiones de CA	Tipo II
Detección de aislamiento de CC	Sí
Unidad de monitorización de la intensidad Residual	Sí
Comunicaciones	
Monitor	Indicadores LED, Bluetooth/WLAN + APP
USB	Sí
RS485	Sí
MBUS	Sí (Transformador de aislamiento requerido)
General	
Dimensiones (ancho x alto x profundidad)	1,035 x 700 x 365mm (40.7 x 27.6x 14.4 pulgadas )
Peso (con soporte de montaje)	90 kg (198.4 lb.)
Rango de temperatura de operación	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Enfriamiento	Ventilación inteligente
Altitud de operación	4,000 m (13,123 ft.)
Humedad relativa	0 ~ 100%
Conector de CC	Staubli MC4
Conector de CA	Conector resistente al agua + OT/DT Terminal
Clase de protección	IP66
Topología	Sin transformador
Cumplimiento estándar (Más información disponible a pedido)	
Certificados	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683

### 3.5.3. SEGUIDOR SOLAR

- Trina PRO SP 160

## TECHNICAL SPECIFICATIONS

### GENERAL CHARACTERISTICS

Solar tracker	Horizontal, single-axis, single-row
Tracking range	120° (±60°)
Module surface per tracker	Up to 1937 ft <sup>2</sup> /180 m <sup>2</sup>
Foundation options	Direct ramming /Pre-drilling /Concrete micro-piling
Terrain adaptation	Up to 20% grade N-S; E-W terrain adaptability is unlimited
Ground Coverage Ratio (GCR)	Configurable: standard range (28-50%)
Structure	HDG high strength steel S275 and S355 and Magnelis®
Hardware	8.8 grade / ZnNi + seal
Drive unit	Slew drive/Linear actuator
Allowable Wind and Snow Loads	Tailored to site requirements
Standards & regulations	Structural calculations according to IBC and USA standards
Module configurations	1000 V version 1500 V version
Compatible solar panels	Framed Standard, Dual Glass, Bifacial

### ELECTRONIC CONTROLLER SPECIFICATIONS

Controller	Electronic board with microprocessor
IP Marking	IP65
Tracking algorithm	Astronomical calculations (error < 0.015°) with backtracking
Advanced Wind Control	High wind, medium wind, and low wind
Night-time parking position	Configurable
Communication options	Wire option - RS - 485 / RS -422/ Ethernet/ Optical-Fiber Wireless option - Zigbee
Operating temperature	Altitude < 3280 ft.: 23 °F to 122 °F
Sensors	Analogic inclinometer
Motor type	AC motor 0.18 kW; DC Motor 0.15 kW
Parasitic power consumption	Control 0.06 kWh/day; Motor 0.06 kWh/day; Total 0.12 kWh/day
Required power supply	Single phase 230 Vac - 50/60 Hz or Self-powered

### MAINTENANCE

Maintenance-free bearings	Yes
Structural maintenance	Minimum (grease gear drive once every 2 years); Optional maintenance every 10 years

### WARRANTY (Expandable)

Structure	10 years
Corrosion protection	20 years according to ISO 14713 C3



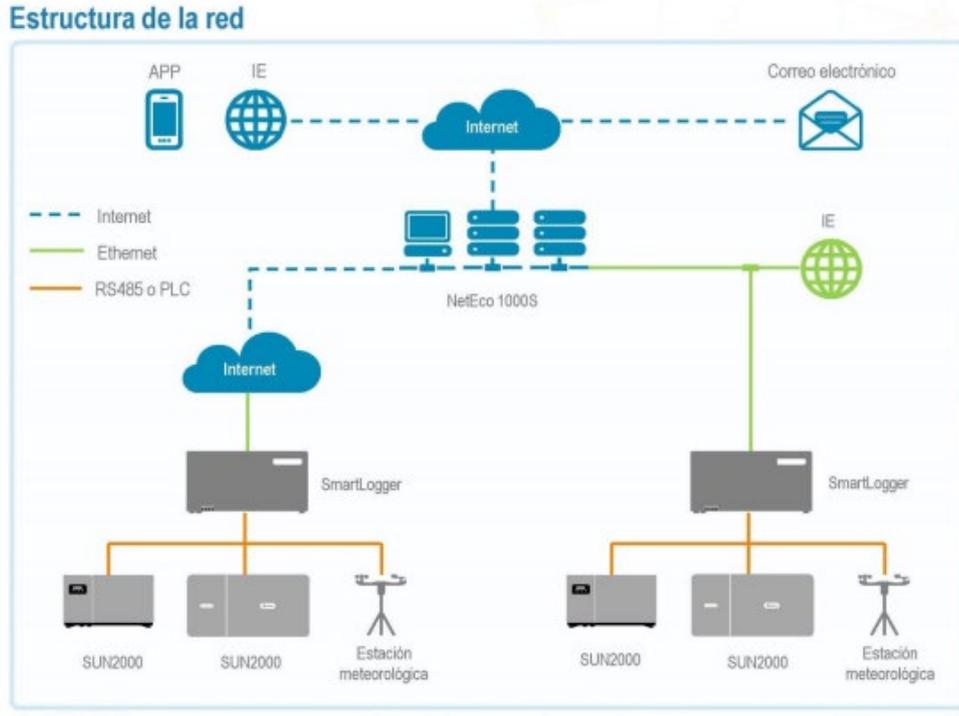
### 3.5.4. DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD

Las protecciones de la instalación serán las siguientes:

- Interruptor magnetotérmico en el punto de conexión, accesible a la E.D.
- Interruptor diferencial.
- Interruptor automático de la interconexión con relé de enclavamiento accionado por variación de tensión (0.85-1.1Um o frecuencia (49-51 Hz).
- El rearme de la conexión instalación fotovoltaica-red debe ser automático. - El inversor debe cumplir los niveles de emisión e inmunidad frente a armónicos y compatibilidad electromagnética.
- Las tierras de la instalación fotovoltaica serán independientes de la del neutro de la E.D. y de la de las masas de la edificación. - Debe existir separación galvánica entre la red de distribución y la instalación fotovoltaica.

### 3.5.5. MONITORIZACIÓN

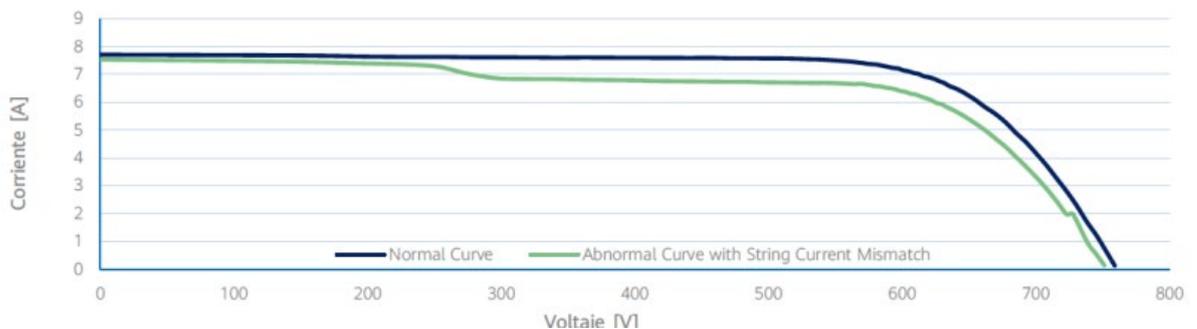
La arquitectura está basada en el siguiente esquema:



El sistema es capaz de monitorizar a nivel de String para rápida solución e problemas. Realiza un diagnóstico I-V detectando fallas ocultas. La información se exporta a la nube o al sistema que se desee. El sistema es multi MPPT para reducir error de mis match.

Mediante este sistema sería posible monitorizar los consumos instantáneos de la instalación y ver un histórico mediante una herramienta de software (aplicación, web, e-mail...)

Si la instalación produce algún fallo, es posible enviar alarmas. Las alarmas pueden ser vía mail, SMS o a través de aplicación. Los resultados de curvas enviadas serán del siguiente tipo:



De esta forma podemos ver en todo momento la producción de la instalación y ser avisados cuando se produce algún fallo.

### 3.6. CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS EN LA INSTALACIÓN

Una vez descritos los equipos a instalar en la finca, ahora se procederá a explicar en que disposición y de que forma se van a instalar. Los siguientes apartados sirven como información complementaria a los planos, donde se observa con mayor detalle la configuración de la instalación.

#### 3.6.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS PANELES EN LA FINCA

Los paneles se agruparán en estructuras, cada estructura tiene una fila superior con 12 paneles verticalmente orientados y otra inferior con otros 12 paneles orientados verticalmente.

Las estructuras se agruparán en grupos de 10, lo que se conoce como Campo (recuadrado en verde en la imagen). Cada campo tiene un inversor, existen cinco campos, el campo 1 correspondiente al del Inversor 1, el Campo 2 del Inversor 2, el Campo 3 del Inversor 3, el Campo 4 del Inversor 4 y el Campo 5 del Inversor 5.

Las estructuras de cada campo están lo más cerca posible entre sí ya que todas ellas van conectadas a un inversor. Optimizando el Espacio de cada campo se reduce el espacio ocupado y el cableado utilizado reduciendo la utilización de materiales y reduciendo pérdidas en la parte DC reduciendo la longitud de los conductores.

Los campos a su vez se agruparán en la finca respetando el margen de 5 metros con los terrenos colindantes.



Figura 51. Distribución de las estructuras en los campos 1 y 2.



Figura 52. Distribución de los Campos 1-5 en la Finca.

### 3.6.1.1. DISTANCIA ENTRE ESTRUCTURAS DE PANELES

Existen varias fórmulas matemáticas que describen la distancia que deben de guardar los paneles entre sí para no tener sombras indeseadas. En nuestro caso al ser una estructura con una altura de 70 cm sobre el suelo y con seguidores móviles, con ángulo variable, con una distancia superior a los 3 metros no se producen apenas sombras.

En nuestro caso se ha optimizado el espacio de la finca espaciando al máximo las filas de seguidores. En todos los campos se mantiene una distancia entre seguidores de **cinco metros**. No se producirán pérdidas algunas por sombras de otros paneles contiguos.

### 3.6.2. CONEXION ENTRE PANELES

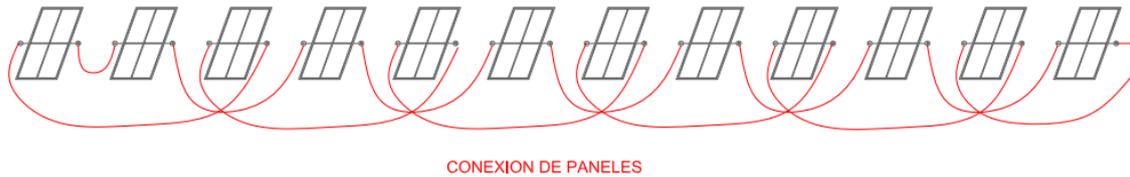
Los paneles se conectarán en serie en filas de 12. Dos filas de paneles de 12 se conectarán en una caja de conexión para formar un String, cada String irá en una estructura de seguimiento independiente, y se conectará a una entrada del inversor pudiendo medir las variaciones del String en su conjunto.

En el caso de un panel, vacío tiene un voltaje de vacío de 49,70 V. Teniendo en cuenta la situación más desfavorable, en una temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$ , el coeficiente de disminución de voltaje con la temperatura es de  $-0,272\%/^{\circ}\text{C}$ . En el caso de  $-10^{\circ}$ . La temperatura habrá reducido  $30^{\circ}$  respecto con la de referencia ( $20^{\circ}\text{C}$ ).

$30^{\circ}\text{C} \times -0,272\%/^{\circ}\text{C} = 8.16\%$ . Es decir el voltaje aumentará un 8,16 por ciento más de lo habitual. El aumento será en este caso de 4 V. El voltaje máximo alcanzable por el panel será entonces de 53,7 V.

Al conectar 12 paneles en serie se tiene 644 V por fila. La intensidad máxima ya que están conectados en serie, 12 A (incluyendo el factor de temperatura).

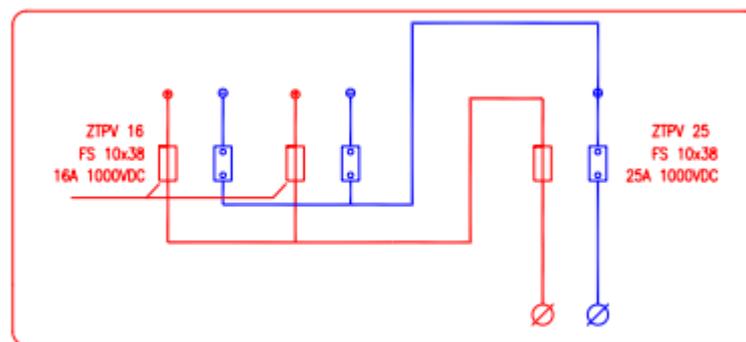
Cada String posee una CAJA DE PROTECCIÓN Y CONEXION, en ella se conectan en paralelo dos filas de 12 paneles en serie, midiéndose un voltaje máximo de 644 V y una intensidad máxima de 24 A (12 A+12 A).



CONEXION DE PANELES

Figura 53. Conexión de los paneles de cada String.

Se puede apreciar en la figura 38, la conexión de en paralelo de dos filas de 12 paneles en serie y la convergen en dos terminales positivo y negativo que entran en la CAJA DE PROTECCIÓN Y CONEXIÓN.



CAJA PROTECCIÓN Y CONEXIÓN PANELES POR STRING

Figura 54. Caja de Protección y Conexión por String

Como se ha explicado antes, la intensidad que circula es de 24 A, por lo que es necesario instalar fusibles de 25 A. El voltaje máximo será cercano a los 644V por lo que con el fusible de 1000 V evitas problemas de seguridad. Estos fusibles se pueden apreciar en la imagen dentro de la CAJA DE PROTECCIÓN Y CONEXIÓN DE PANELES POR STRING.

### 3.6.3. CONEXIONES EN EL INVERSOR

El siguiente paso es el paso de la CAJA DE CONEXIÓN Y PROTECCIÓN POR STRING (CAJA CCPS) a la conexión de los diferentes cables provenientes de diferentes String al Inversor. Los String se agrupan en grupos de 10, formando un Campo.

El cable proveniente de cada CAJA CCPS se dirige a una entrada en Inversor. Este cable es de tipo RV 0,6/1 kV 1\*3\*95 mm<sup>2</sup> de Aluminio (Cable de corriente continúa) + 1\*50 mm<sup>2</sup> Al (cable de tierra).

Cada uno de los cables entre en una entrada del inversor ocupando sus 10 entradas disponibles.

En total el voltaje entrante al inversor por MPPT será de 644 V, se encuentra en el centro de su margen de funcionamiento (200V - 1000V), la intensidad máxima de llegada será de 24 A, menor de la máxima admitida (26 A).

Además es necesario un circuito interruptor diferencial 160A/4P/300mA, para la protección de la instalación. Se dispone de un contador que está conectado a un cable de datos MODBUS, pudiéndose monitorear los datos de entrada de energía DC. Esto será útil para ver el rendimiento del inversor y poder ver la producción de electricidad mediante una aplicación.

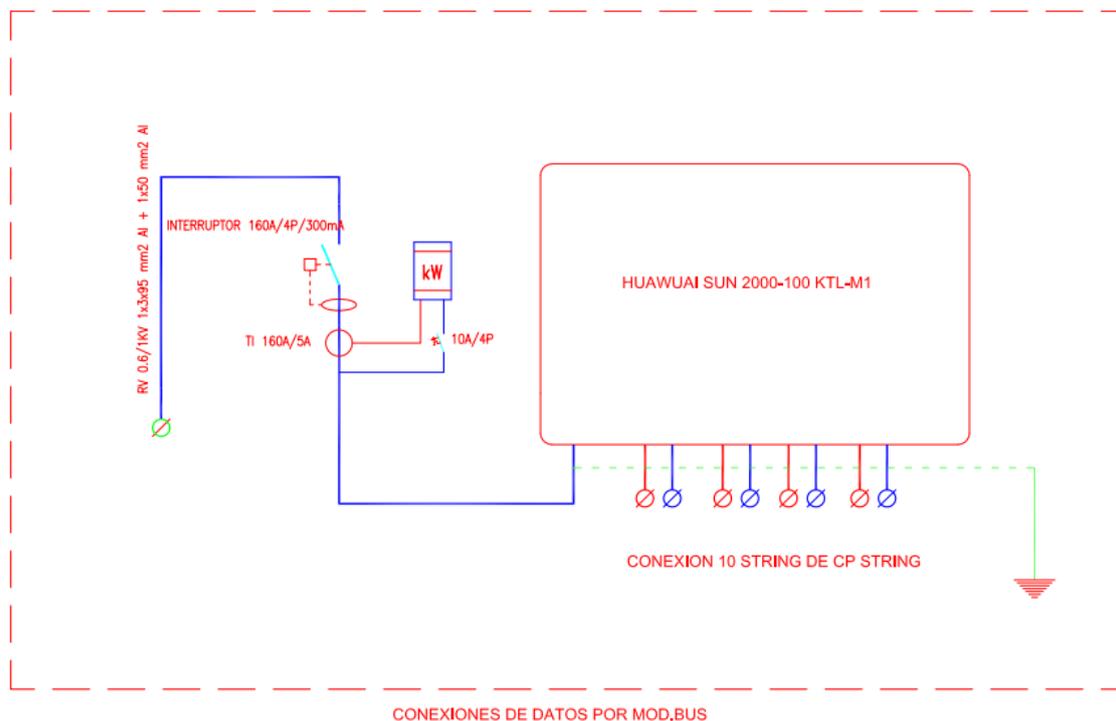


Figura 55. Conexiones de entrada al inversor

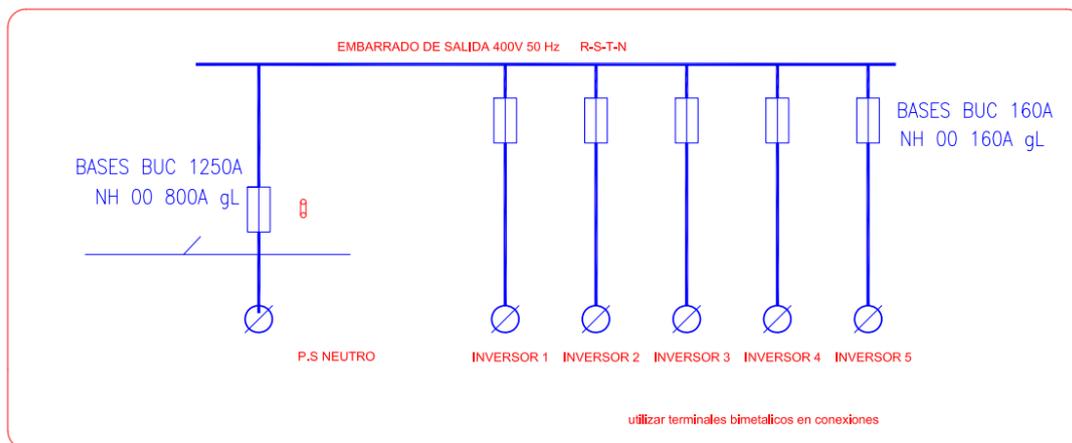
Por estos motivos se puede prever un correcto funcionamiento del inversor.

### 3.6.4. CONEXIÓN EN EL ARMARIO DE CONEXIÓN GENERAL

Una vez la corriente ha atravesado el inversor, es corriente trifásica alterna y está a 400 V. Existen cinco inversores, por lo que existen 5 circuitos de salida.

Los circuitos de salida del inversor dispondrán de BASES BUC 160A NH 00 160A gL. Estos 5 circuitos convergerán en un embarrado de salida a 400 V 50 de sistema R-S-T-N que contará con una protección de BASES BUC 1250A NH 00 800A gL.

Lo anteriormente explicado se puede apreciar en el siguiente esquema:



### ARMARIO PROTECCIÓN GENERAL

Figura 56. Armario de Protección General

### 3.6.5. CONEXIÓN CON EL CUADRO EXISTENTE

Finalmente para poder conectarse a la red de la empresa no es necesario el paso por el centro de transformación ya que el voltaje ya está 400 V. Con el paso del circuito por un elemento de protección diferencial será suficiente para poder llevar la corriente directamente hacia el cuadro general existente.

En cable utilizado en esta sección será de tipo 1 RV 0,6/1 kV 3\*1\*3\*240 mm<sup>2</sup> Al+ 2\*1\*240 mm<sup>2</sup> Al.



Figura 57. Conexión entre el Armario general y el cuadro existente

### 3.6.6. CONEXIONES A TIERRA

Se han realizado conexiones a tierra en diferentes puntos de la instalación siguiendo el Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre.

Se ha empleado cable de cobre de 35 mm de sección. Concretamente se ha realizado una toma a tierra en cada CAJA CCPS.

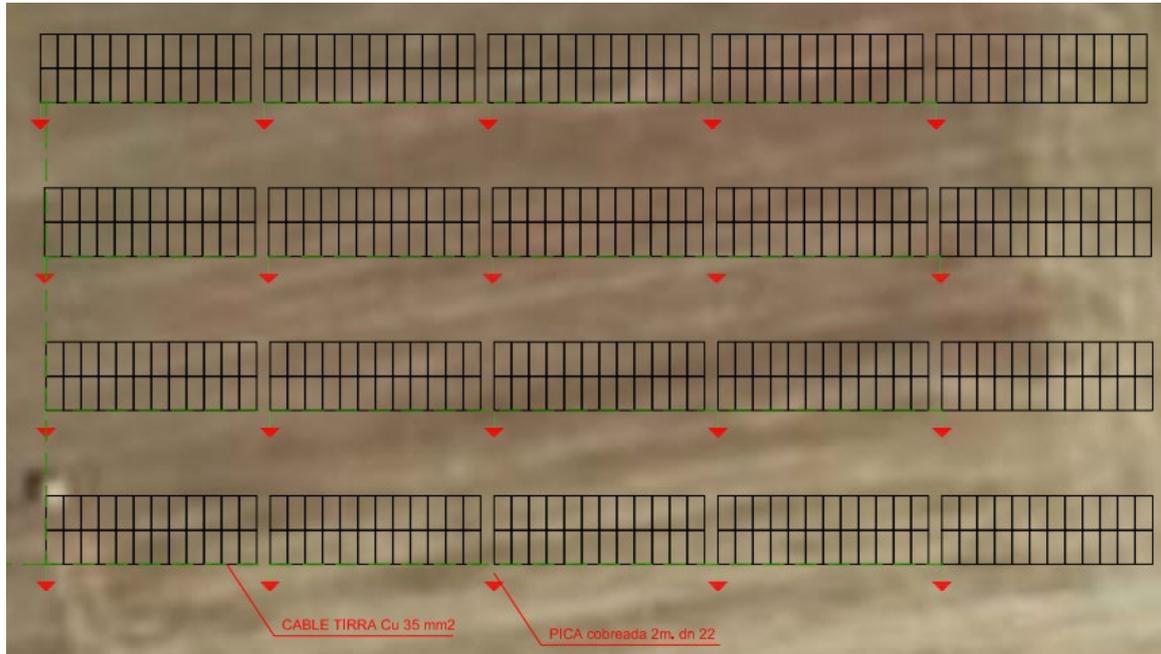


Figura 58. Conexiones a tierra

## 4. ESTUDIO DE VIABILIDAD Y RENTABILIDAD

Hasta el momento se ha descrito con detalle la instalación fotovoltaica planteada, en este apartado estudiaremos los posibles resultados de producción mediante la simulación de la planta utilizando el programa PV SOL.

Todos los parámetros descritos en apartados anteriores han sido introducidos en el programa que tiene en cuenta el consumo anual cuarto horario, la radiación horizontal sobre la ubicación de la planta, la distribución real de los equipos en la finca, tarifas de compra y venta de energía a la red. Conexión de los equipos, tipo y precio de los equipos.

La realización de la simulación tiene como objetivo completar el anteproyecto, dotando al documento de datos validables que se pueden asemejar a los de una futura instalación real. El periodo de simulación es de un año.

### 4.1. RESULTADOS GENERALES

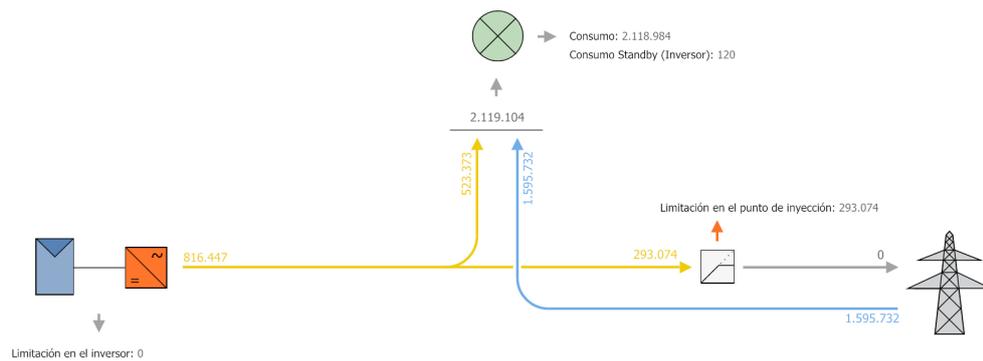
Una vez realizada la simulación se obtienen los siguientes resultados que se recogen en la siguiente tabla:

<b>Instalación FV</b>	
Potencia Total FV	540 kWp
Rendimiento anual específico	1.511,72 kWh/ kWp
Coefficiente de rendimiento de la instalación	88,51 %
Reducción por sombreado	0,6 % Año
Energía del generador FV (Red CA)	816.447 kWh /Año
Consumo propio	523.373 kWh /Año
Limitación en el punto de inyección	293.074 kWh /Año
Inyección a la red	0 kWh /Año
Proporción de consumo propio	64,1%
Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas	245.929 kg/año
<b>Consumidores</b>	
Consumo	2118984 kWh /Año
Consumo Standby (Inversor)	120 kWh /Año
Consumo total	2119104 kWh /Año
Cubierto mediante energía fotovoltaica	523.373 kWh /Año
Cubierto mediante red	1.595.732 kWh /Año
Fracción de cobertura solar	24,7 kWh /Año

## 4.2. RESULTADOS DE SIMUACIÓN

El esquema de la instalación completo con las potencias generadas nos permite ver de forma simple el funcionamiento en de la instalación en el año próximo:

Gráfico de flujo de energía  
Proyecto: Instalación fotovoltaica en Alar die Rey



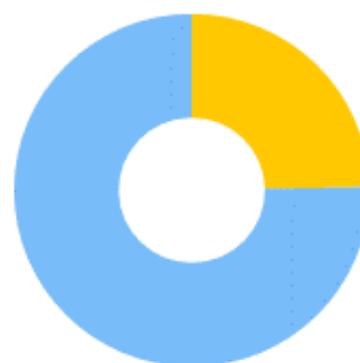
En el siguiente grafico se puede ver la fracción de energía del consumo total cubierta por la energía FV. En concreto la fracción de del consumo cubierto con energía FV el 24,7%.

Energía de generador FV (Red CA)



- Consumo propio
- Limitación en el punto de inyección
- Inyección en la red

Consumo total



- cubierto mediante energía fotovoltaica
- cubierto mediante red



#### 4.2.1. CONTRIBUCIÓN DE LOS DIFERENTES CAMPOS DE PANELES

Como se ha explicado en apartaos anteriores la instalación está compuesta por 5 campos cada uno de ellos correspondiente a un inversor. A continuación veremos la contribución de energía de cada campo.

- **Campo sureste**

Potencia generador FV	108,00	kWp	
Superficie generador FV	533,24	m <sup>2</sup>	
Irradiación global sobre módulo	1672,56	kWh/m <sup>2</sup>	
Radiación global en el módulo sin reflexión	1707,70	kWh/m <sup>2</sup>	
Coeficiente de rendimiento de la instalación (PR)	88,55	%	
Energía de generador FV (Red CA)	163343,89	kWh/Año	
Rendimiento anual específico	1512,44	kWh/kWp	

- **Campo noreste**

Potencia generador FV	108,00	kWp	
Superficie generador FV	533,24	m <sup>2</sup>	
Irradiación global sobre módulo	1672,56	kWh/m <sup>2</sup>	
Radiación global en el módulo sin reflexión	1707,70	kWh/m <sup>2</sup>	
Coeficiente de rendimiento de la instalación (PR)	88,47	%	
Energía de generador FV (Red CA)	163190,15	kWh/Año	
Rendimiento anual espec.	1511,02	kWh/kWp	

- **Campo sur**

Potencia generador FV	108,00	kWp	
Superficie generador FV	533,24	m <sup>2</sup>	
Irradiación global sobre módulo	1672,56	kWh/m <sup>2</sup>	
Radiación global en el módulo sin reflexión	1707,70	kWh/m <sup>2</sup>	
Coeficiente de rendimiento de la instalación (PR)	88,45	%	
Energía de generador FV (Red CA)	163149,13	kWh/Año	
Rendimiento anual espec.	1510,64	kWh/kWp	



- **Campo norte**

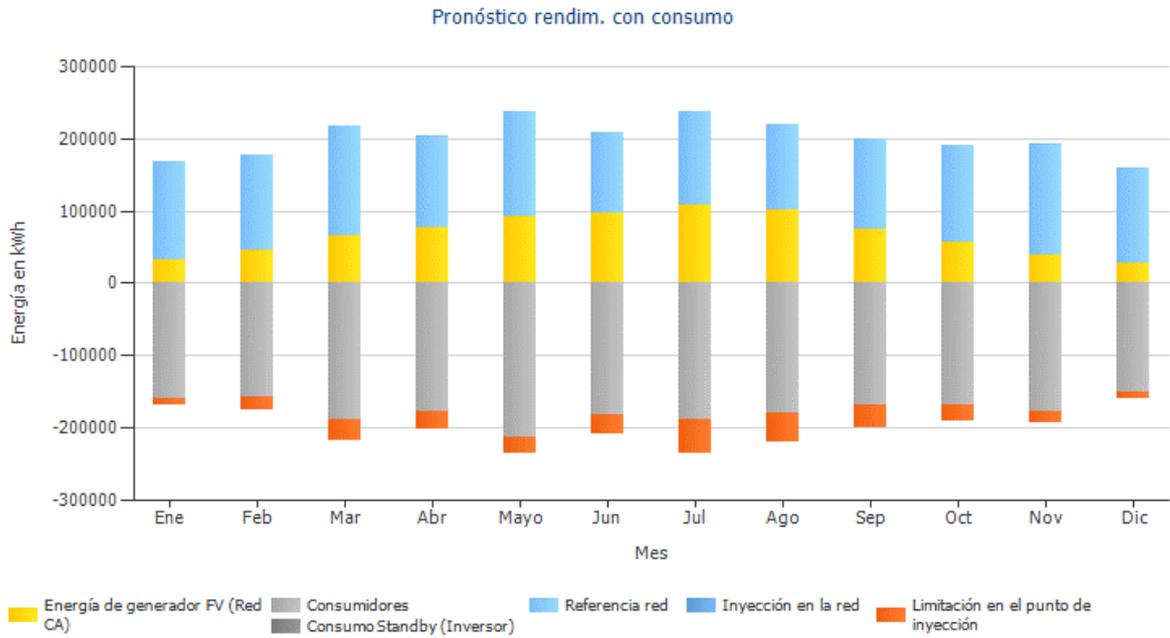
Potencia generador FV	108,00	kWp
Superficie generador FV	533,24	m <sup>2</sup>
Irradiación global sobre módulo	1672,56	kWh/m <sup>2</sup>
Radiación global en el módulo sin reflexión	1707,70	kWh/m <sup>2</sup>
Coeficiente de rendimiento de la instalación (PR)	88,56 %	
Energía de generador FV (Red CA)	163355,44	kWh/Año
Rendimiento anual espec.	1512,55	kWh/kWp

- **Campo oeste**

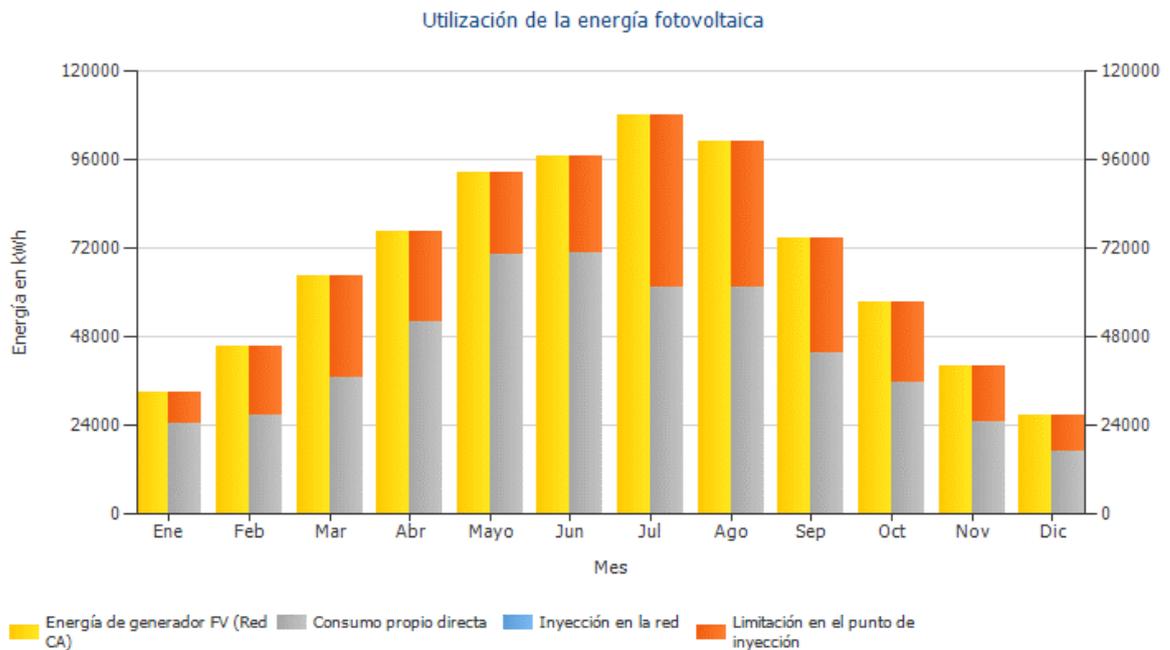
Superficie libre (Fragmento del mapa)-Superficie sur

Potencia generador FV	108,00	kWp
Superficie generador FV	533,24	m <sup>2</sup>
Irradiación global sobre módulo	1672,56	kWh/m <sup>2</sup>
Radiación global en el módulo sin reflexión	1707,70	kWh/m <sup>2</sup>
Coeficiente de rendimiento de la instalación (PR)	88,59 %	
Energía de generador FV (Red CA)	163408,01	kWh/Año
Rendimiento anual espec.	1513,04	kWh/kWp

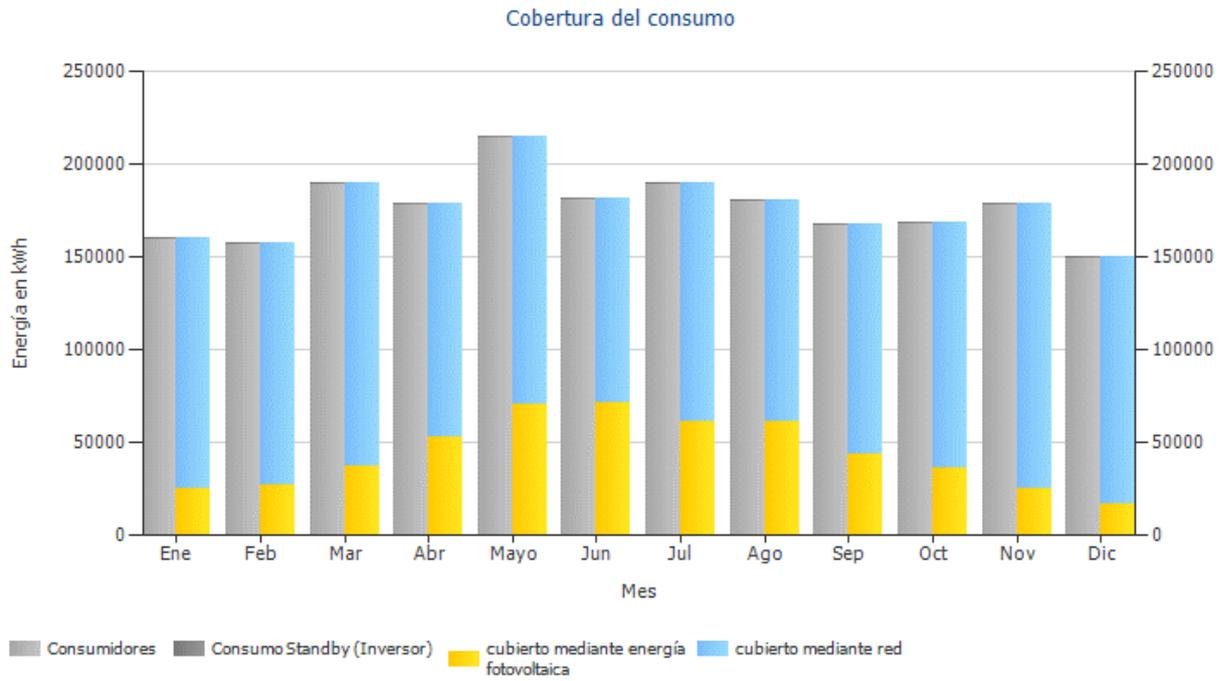
### 4.2.2. PRONÓSTICO DE RENDIMIENTO DE CONSUMO



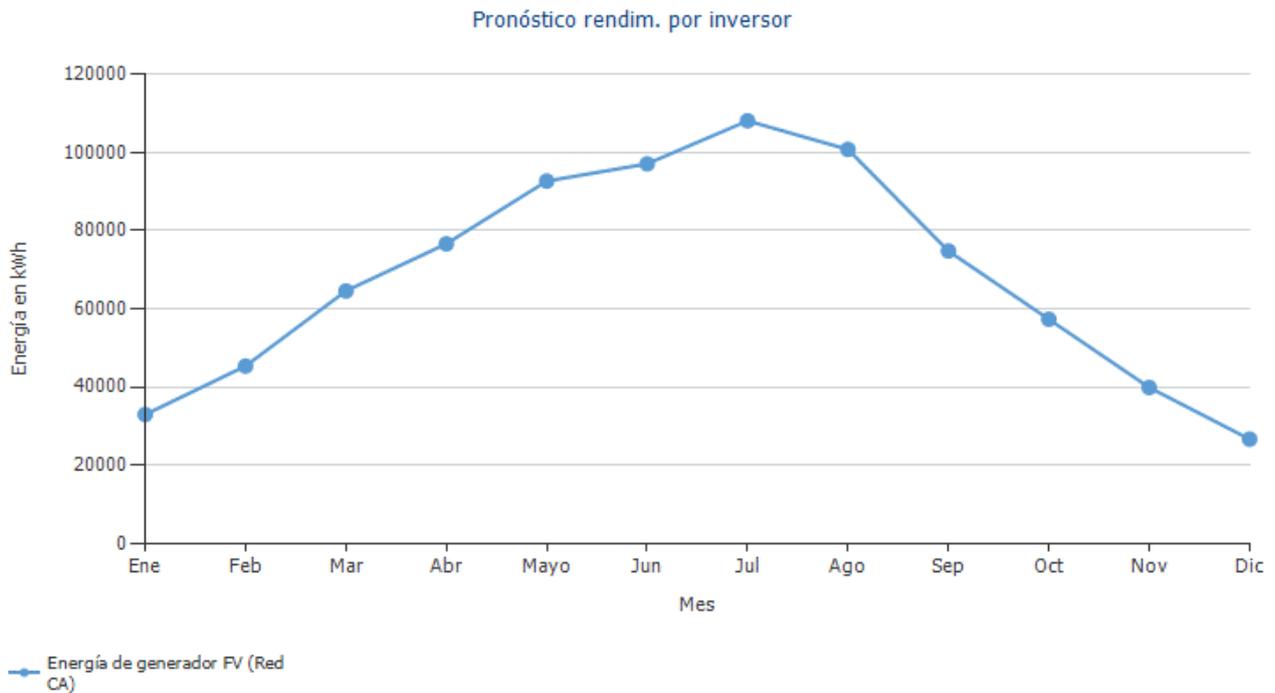
### 4.2.3. UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA



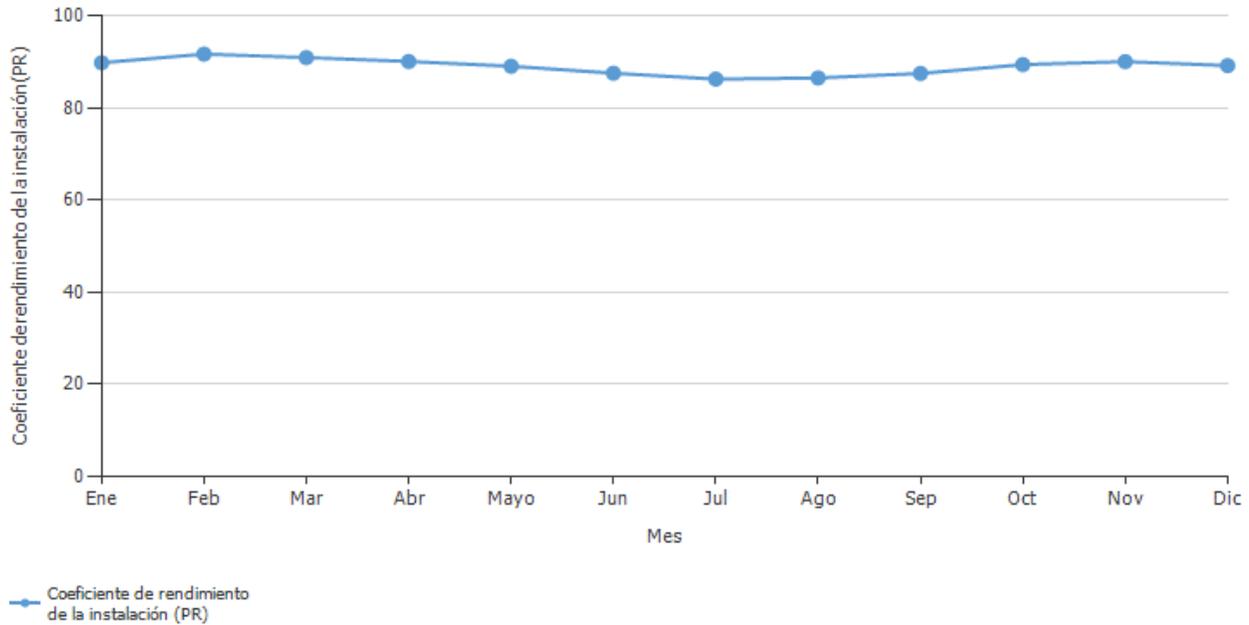
#### 4.2.4. COBERTURA DE CONSUMO



#### 4.2.5. PRONÓSTICO DE RENDIMIENTO DE LA INSTALACIÓN

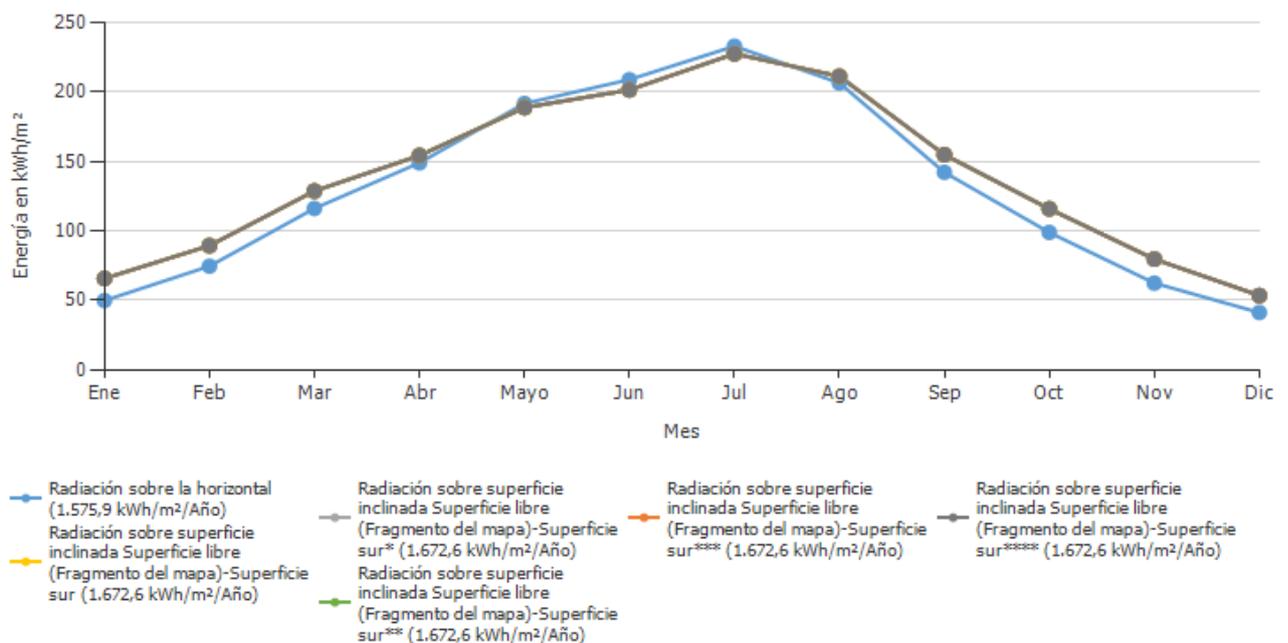


Coefficiente de rendimiento de la instalación (PR) por inversor

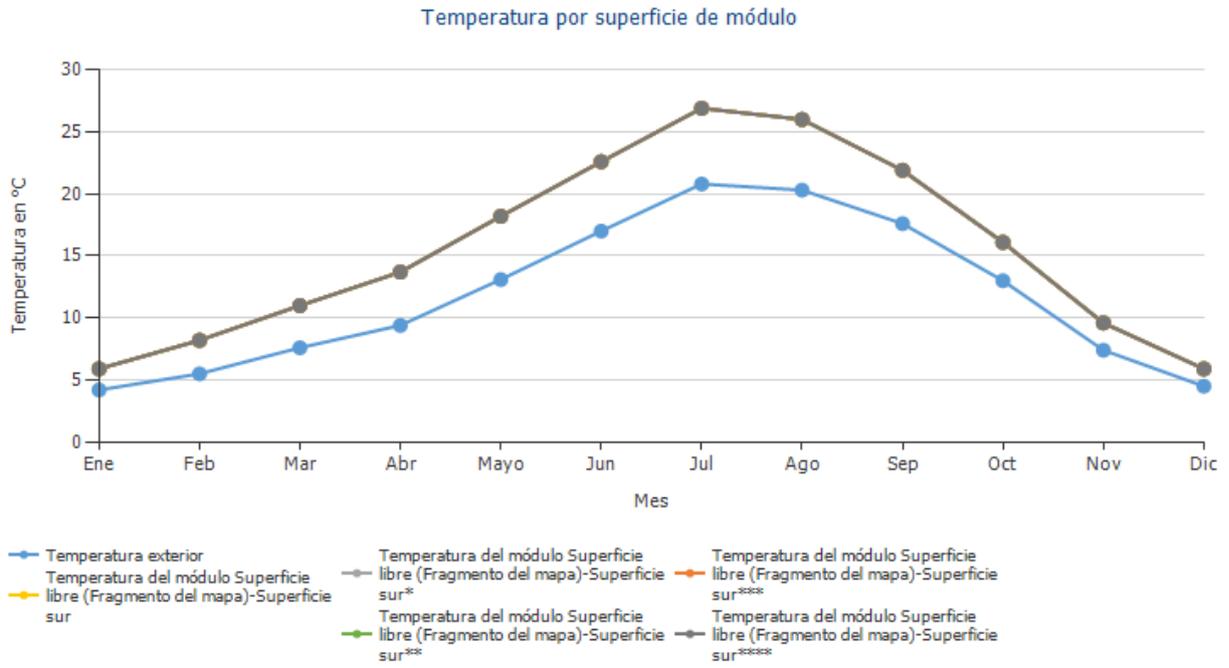


#### 4.2.6. IRRADIACION POR SUPERFICIE DE MÓDULO

Irradiación por superficie de módulo



### 4.2.7. TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MÓDULO



### 4.3. BALANCE ENERGÉTICO DE LA INSTALACIÓN FV

<b>Radiación global horizontal</b>	<b>1.575,89 kWh/m<sup>2</sup></b>	
Desviación del espectro estándar	-15,76 kWh/m <sup>2</sup>	-1,00 %
Reflexión del suelo (albedo)	5,32 kWh/m <sup>2</sup>	0,34 %
Orientación y inclinación de la superficie de módulos	142,26 kWh/m <sup>2</sup>	9,09 %
Sombreado independiente del módulo	0,00 kWh/m <sup>2</sup>	0,00 %
Reflexión en la superficie del módulo	-35,15 kWh/m <sup>2</sup>	-2,06 %
<b>Irradiación global sobre módulo</b>	<b>1.672,56 kWh/m<sup>2</sup></b>	
	1.672,56 kWh/m <sup>2</sup>	
	x 2666,189 m <sup>2</sup>	
	= 4.459.350,78 kWh	
<b>Irradiación global fotovoltaica</b>	<b>4.459.350,78 kWh</b>	
Ensuciamiento	0,00 kWh	0,00 %
Conversión STC	-3.556.016,25 kWh	-79,74 %
<b>Energía fotovoltaica nominal</b>	<b>903.334,53 kWh</b>	
Ensombrecimiento parcial específico del módulo	-4.881,90 kWh	-0,54 %
Rendimiento con luz débil	-3.060,72 kWh	-0,34 %
Desviación de la temperatura nominal del módulo	-15.685,73 kWh	-1,75 %
Diodos	-87,19 kWh	-0,01 %
Inadecuación (datos del fabricante)	-17.592,38 kWh	-2,00 %
Inadecuación (Conexión/sombreado)	-358,55 kWh	-0,04 %
<b>Energía fotovoltaica (CC) sin limitación de corriente por inversor</b>	<b>861.668,05 kWh</b>	
Potencia de arranque DC no alcanzada	-16,37 kWh	0,00 %
Regulación por rango de tensión MPP	-0,74 kWh	0,00 %
Regulación por corriente CC máx.	0,00 kWh	0,00 %
Regulación por potencia CC máx.	0,00 kWh	0,00 %
Regulación por potencia CA máx. / cos phi	-24,29 kWh	0,00 %



Adaptación MPP	-1.269,14 kWh	-0,15 %
<b>Energía FV (DC)</b>	<b>860.357,52 kWh</b>	
<b>Energía en la entrada del inversor</b>	<b>860.357,52 kWh</b>	
Desviación de la tensión de entrada de la tensión nominal	-1.336,80 kWh	-0,16 %
Conversión DC/AC	-17.366,56 kWh	-2,02 %
Consumo Standby (Inversor)	-120,44 kWh	-0,01 %
Pérdida total de cables	-25.207,54 kWh	-3,00 %
<b>Energía fotovoltaica (CA) menos consumo en modo de espera</b>	<b>816.326,18 kWh</b>	
<b>Energía de generador FV (Red CA)</b>	<b>816.446,62 kWh</b>	



#### 4.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

##### Datos del sistema

Inyección en la red en el primer año (incl. degradación del módulo)	0 kWh/Año
Potencia generador FV	540 kWp
Puesta en marcha de la instalación	01/08/2022
Periodo de consideración	20 Años
Interés del capital	1 %

##### Parámetros económicos

Tasa interna de retorno (TIR)	6,75 %
Cash-flow acumulado (caja)	583.214,63 €
Duración amortización	11,7 Años
Costes de producción de energía	0,0821 €/kWh

##### Resumen de pagos

costes específicos de inversión	1.500,00 €/kWp
Coste de la inversión	810.000,00 €
Pagos únicos	0,00 €
Subvenciones	0,00 €
Costes anuales	0,00 €/Año
Otros beneficios y ahorros.	0,00 €/Año

##### Remuneración y ahorros

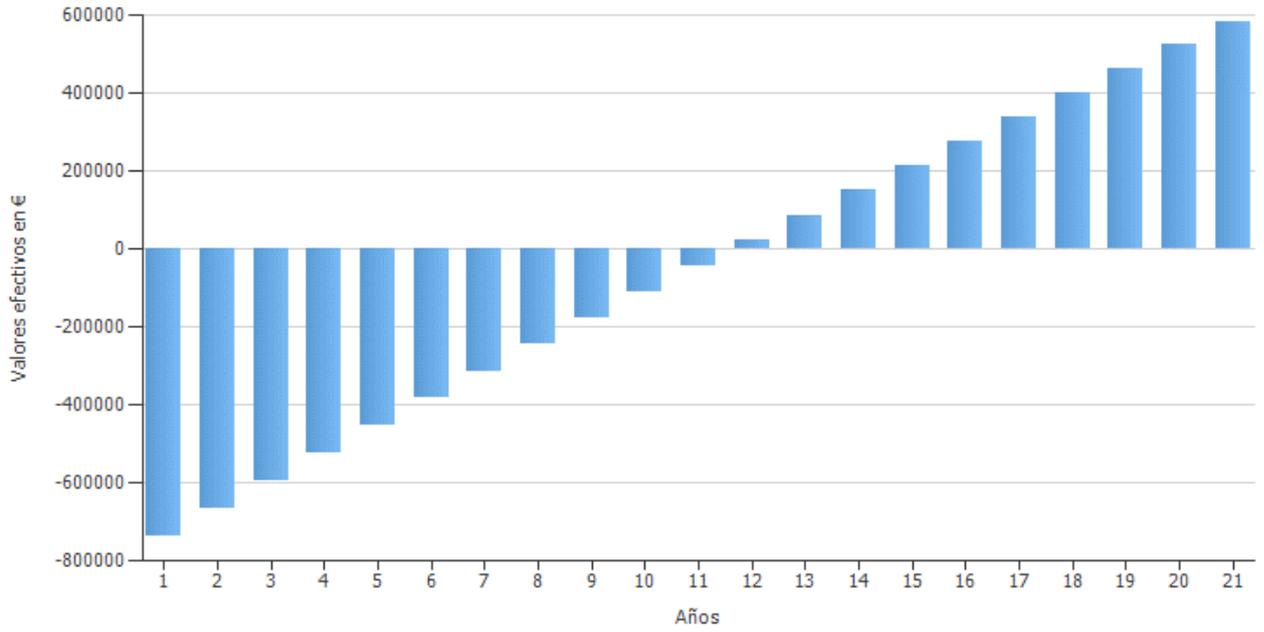
Remuneración total en el primer año	0,00 €/Año
Ahorros durante el primer año	73.883,22 €/Año



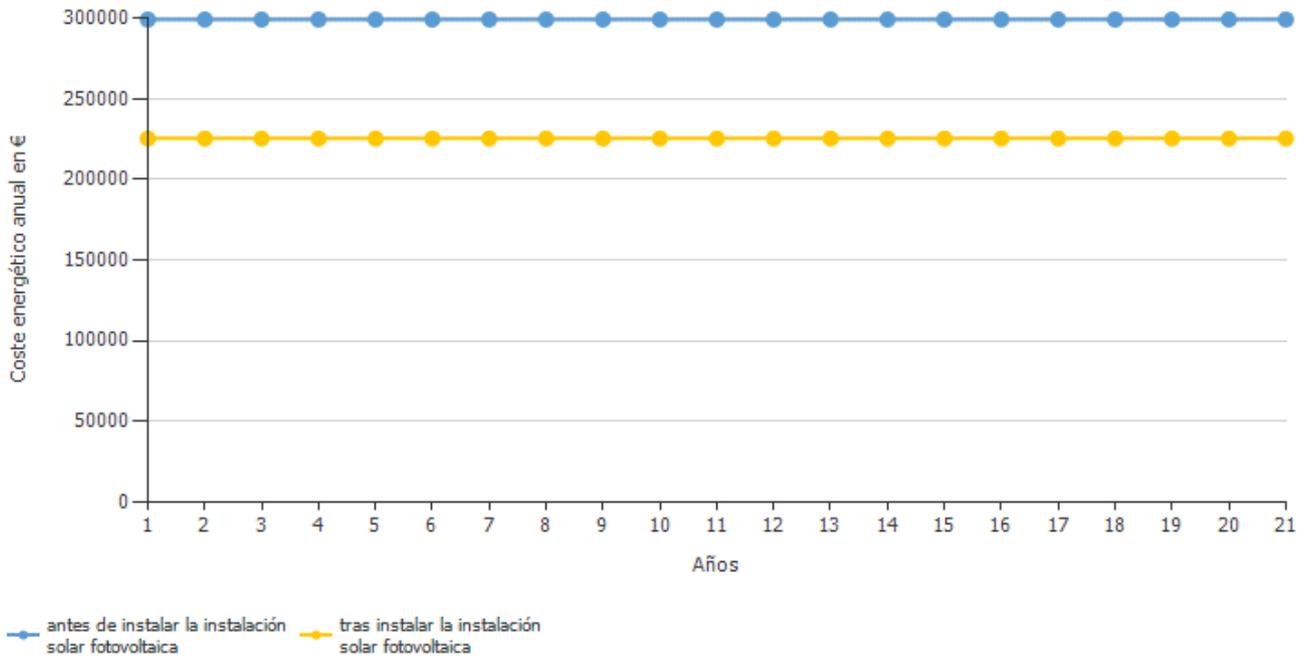
#### 4.1.1. FLUJO DE CAJA

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversiones	-810.000,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Ahorro consumo electricidad	73.151,70 €	72.427,43 €	71.710,33 €	71.000,32 €	70.297,35 €
Flujo de caja anual	-736.848,30 €	72.427,43 €	71.710,33 €	71.000,32 €	70.297,35 €
Cashflow acumulado (caja)	-736.848,30 €	-664.420,87 €	-592.710,54 €	-521.710,22 €	-451.412,87 €
	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversiones	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Ahorro consumo electricidad	69.601,33 €	68.912,21 €	68.229,91 €	67.554,37 €	66.885,51 €
Flujo de caja anual	69.601,33 €	68.912,21 €	68.229,91 €	67.554,37 €	66.885,51 €
Cashflow acumulado (caja)	-381.811,54 €	-312.899,33 €	-244.669,41 €	-177.115,04 €	-110.229,53 €
	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Inversiones	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Ahorro consumo electricidad	66.223,28 €	65.567,61 €	64.918,42 €	64.275,67 €	63.639,27 €
Flujo de caja anual	66.223,28 €	65.567,61 €	64.918,42 €	64.275,67 €	63.639,27 €
Cashflow acumulado (caja)	-44.006,25 €	21.561,36 €	86.479,78 €	150.755,45 €	214.394,72 €
	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Inversiones	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Ahorro consumo electricidad	63.009,18 €	62.385,33 €	61.767,65 €	61.156,09 €	60.550,58 €
Flujo de caja anual	63.009,18 €	62.385,33 €	61.767,65 €	61.156,09 €	60.550,58 €
Cashflow acumulado (caja)	277.403,90 €	339.789,23 €	401.556,88 €	462.712,97 €	523.263,55 €
	Año 21				
Inversiones	0,00 €				
Ahorro consumo electricidad	59.951,07 €				
Flujo de caja anual	59.951,07 €				
Cashflow acumulado (caja)	583.214,63 €				

Cashflow acumulado (caja)



Evolución de los costes energéticos





## 5. CONCLUSIONES

Para finalizar el documento realizaremos un apartado evaluando los resultados y la satisfacción general con la realización del proyecto.

### 5.1. CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

El documento es un estudio académico que sirve como anteproyecto de una instalación fotovoltaica de autoconsumo sin vertido a red, con una potencia de 540 kWp.

Uno de los objetos era dimensionar correctamente la instalación respetando normativas vigentes y optimizando calidad y costes. Se realizó satisfactoriamente ya que se han tenido en cuenta toda la legislación vigente en el campo de estudio.

Además fruto de la búsqueda, la comparación de la tecnología solar disponible actualmente se ha podido elegir material de calidad que cumplirá su función en la instalación con amplias garantías y que tiene un precio ajustado en comparación con otros productos con características similares.

Para el dimensionamiento se ha tenido en cuenta los consumos eléctricos a los largo de años pasado, consumos eléctricos de años venideros, la radiación prevista en años venideros, y otros factores clave en la previsión de el escenario futuro de la instalación.

En cuanto a los resultados, la instalación tiene un rendimiento del 88,51 %, lo que puede considerar muy alto considerando los rendimientos de las instalaciones reales ya implantadas están entre el 60% y el 90%.

La inversión se amortizaría en 11 años, y en el año 21 de la instalación habría recaudado 583.214,63 €. Se dejarían de emitir 245.929 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Debido a esta argumentación se puede concluir que la instalación esta correctamente dimensionada, tiene gran aplicabilidad, gran correlación con la realidad. Además se trata de un proyecto en la línea de las energías renovables respetuoso con el medio ambiente que promueve la transformación hacia emisiones netas de carbono.

Se puede concluir que se han cubierto satisfactoriamente el objetivo principal de realizar un anteproyecto realista y aplicable.



## 5.2. LÍNEAS FUTURAS

En cuanto a posibles futuribles que puedan ocurrir, habría que tener en cuenta que si el precio de la luz sigue en alza, el periodo de amortización será menor y flujo de caja mayor.

En el caso de que aumentan de forma disparatada los consumos de la empresa, se puede tomar la decisión de ampliar la planta fotovoltaica, ya que existen parcelas contiguas que son propiedad de la empresa. Se puede llegar e a ampliar en un en un plazo de 15 años a una potencia cercana a 1 MW.

En el caso de que realmente se decida realizar el proyecto, sería necesario un certificar proyecto realizado por un ingeniero industrial (ya que un proyecto de fin de carrera no puede servir como proyecto certificado). Añadir pliegos de condiciones y planes de gestión de residuos, y definir las afecciones de la obra civil a realizar.

## 5.3. CONSIDERACIONES ADICIONALES

En este documento se ha realizado el estudio con la planta FV conectada a la red con un sistema anti vertido.

Se puede llegar a dar el caso de que la distribuidora nos permitiera verter el excedente de energía a red y compensar esa energía económicamente ya sea en la factura o mediante el pago del kilovatio emitido.

En ese escenario se podría verter el excedente de energía producida a la red, aumentando la rentabilidad de la planta y mejorando el periodo de amortización de la instalación y el cash-flow.

Este escenario lo he planteado mediante simulación y los resultados se pueden ver en comparación con los actuales en el apartado de 4.4 BALANCE ENERGÉTICO DE LA INSTALACIÓN. Los porcentajes que aparecen en el borde derecho representan la perdida respecto de una instalación con vertido a red.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Granados, O. (2019). El sol brilla más desde este año. Periódico El País. Recuperado el 22 de Junio de 2019 [https://elpais.com/elpais/2019/05/20/actualidad/1558365184\\_91865.html](https://elpais.com/elpais/2019/05/20/actualidad/1558365184_91865.html)
- [2] [Página web Braux]. (s.f.). Recuperado de <http://braux.es/es>
- [3] [Página web IDE - Gestión de Expedientes Iberdrola]. (s.f.). Recuperado de <https://www.i-de.es/gestiones-online-soporte/accesos-gestiones-online/instaladores-promotores-ingenierias>
- [4] [Página web iMEDEXSA]. (s.f.). Recuperado de <http://www.imedexsa.es/public/index.asp>
- [5] [Página web Ingeteam]. (s.f.). Recuperado de <https://www.ingeteam.com/es-es/inicio.aspx>
- [6] [Página web MVScada]. (s.f.). Recuperado de <https://mvscada.com/public/>
- [7] [Página web Ormazabal]. (s.f.). Recuperado de <https://www.ormazabal.com/es>
- [8] [Página web Prysmian Group]. (s.f.). Recuperado de <https://es.prysmiangroup.com>
- [9] [Página web Quinto Armónico]. (s.f.). Recuperado de <https://quintoarmonico.es>
- [10] [Página web REE]. (s.f.). Recuperado de <https://www.ree.es/es>
- [11] [Página web Trunsun Solar]. (s.f.). Recuperado de <https://www.trunsunsolar.com>
- [12] Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (2007). Thomson Editores Spain
- [13] Reglamento de Líneas Eléctricas de Alta Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (2008). Ediciones Paraninfo, S.A.
- [14] SOFTWARE PV-SOL.