



Trabajo Fin de Grado

**PROYECTO BÁSICO  
PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA  
CONECTADA A RED  
“LAS PALOMAS”  
4,12 MWp**

**BASIC PROJECT GRID CONNECTED PHOTOVOLTAIC SOLAR INSTALLATION  
“LAS PALOMAS” 4,12 MWp**

Para acceder al título de:

Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos

**Autor:** Adrián González Sánchez

**Director:** Pablo Castro Alonso

**Convocatoria:** Febrero 2022

## ÍNDICE

DOCUMENTO Nº1. MEMORIA

DOCUMENTO Nº2. PLANOS

DOCUMENTO Nº3. PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO Nº4. PRESUPUESTO

BIBLIOGRAFÍA

## **DOCUMENTO Nº1. MEMORIA**

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCION.....	9
1.1.	ENERGÍAS NO RENOVABLES .....	10
1.1.1.	Combustibles fósiles .....	10
1.2.	PROBLEMÁTICA DE LAS ENERGÍAS NO RENOVABLES.....	13
2.	ESTADO DEL ARTE.....	16
2.1.	ENERGIAS RENOVABLES.....	17
2.1.1.	Energía Hidráulica .....	23
2.1.2.	Energía Eólica .....	26
2.1.3.	Bioenergía .....	30
2.1.4.	Energía Geotérmica .....	35
2.1.5.	Energía Marina.....	37
2.1.6.	Energía Solar .....	41
3.	ALCANCE Y OBJETIVOS.....	53
4.	RESUMEN EJECUTIVO.....	55
4.1.	UBICACIÓN .....	56
4.2.	TIPO DE TERRENO .....	57
4.3.	POTENCIA.....	57
4.4.	INVERSOR FOTOVOLTAICO .....	57
4.5.	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	57
4.6.	ESTRUCTURA FIJA.....	57
4.7.	EVACUACIÓN ELÉCTRICA DE LA ENERGÍA.....	57
4.8.	GENERACIÓN ELÉCTRICA .....	57
5.	ANÁLISIS DEL TERRENO.....	59
5.1.	OBJETO.....	60
5.2.	DATOS DE PARTIDA.....	60
5.3.	METODOLOGÍA .....	61
5.3.1.	Estudio de elevaciones y orientaciones (QGIS) .....	61
5.3.2.	Estudio de condicionantes ambientales y presentes en el terreno .....	63
6.	SOLUCIÓN ADOPTADA.....	66
6.1.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PLANTA .....	67
6.2.	DIMENSIONADO DE LA PLANTA.....	67
6.2.1.	Parámetros eléctricos Módulo FV en función de Temperatura .....	67

6.2.2.	Cálculo número de módulos por cada String .....	69
6.2.3.	Comprobaciones de intensidad y potencia .....	70
6.2.4.	Sobredimensionamiento planta .....	71
6.3.	MÓDULOS FV .....	72
6.3.1.	Descripción de la tecnología .....	72
6.3.2.	Fabricante y modelo de los módulos.....	72
6.3.3.	Parámetros eléctricos. ....	72
6.3.4.	Inclinación de los módulos.....	74
6.3.5.	Curvas Corriente-Potencia-Voltaje .....	74
6.3.6.	Esquema de módulo fotovoltaico.....	75
6.4.	INVERSORES .....	76
6.4.1.	Fabricante y modelo de los módulos.....	76
6.4.2.	Características generales del inversor .....	76
6.5.	ESTRUCTURA FIJA.....	76
6.6.	DISTANCIA MÍNIMA ENTRE FILAS DE MÓDULOS FV.....	78
6.7.	CABLEADO Y SECCIONES .....	80
6.7.1.	Instalación de corriente continua .....	80
6.7.2.	Instalación de corriente alterna.....	83
6.7.3.	Puesta a tierra.....	85
6.8.	PROTECCIONES Y MONITORIZACIÓN.....	85
6.8.1.	Inversor .....	86
6.8.2.	Centro de Transformación .....	87
7.	PRODUCCIÓN .....	88
7.1.	DATOS DE RADIACIÓN .....	89
7.2.	PÉRDIDAS CONSIDERADAS.....	91
7.3.	RESULTADOS.....	94
8.	EVACUACIÓN DE LA ENERGÍA .....	96

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Yacimiento de extracción de Petróleo.....	11
Ilustración 2: Yacimiento de extracción de Carbón.....	12
Ilustración 3: Yacimiento de extracción de Gas Natural (Fracking).....	13
Ilustración 4: Mapa ubicación de centrales nucleares.....	14
Ilustración 5: Esquema “Efecto Invernadero” .....	15
Ilustración 6: Collage de las Energías Renovables que trataremos en detalle.....	18
Ilustración 7: Esquema básico de una central hidráulica.....	24
Ilustración 8: Esquema funcionamiento de una central hidroeléctrica de agua fluyente.....	24
Ilustración 9: Central hidroeléctrica a pie de presa de Iberdrola.....	24
Ilustración 10: Aerogenerador seccionado.....	27
Ilustración 11: Planta Eólica Off-shore y On-shore.....	27
Ilustración 12: Esquema de un ciclo de Bioenergía.....	32
Ilustración 13: Cultivo herbáceo destinado a la Bioenergía.....	32
Ilustración 14: Explotación forestal destinada al uso energético.....	32
Ilustración 15: Explotación ganadera.....	33
Ilustración 16: Imagen de una industria agrícola.....	33
Ilustración 17: Imagen aérea de la planta EDAR Vuelta Ostrera.....	33
Ilustración 18: Esquema instalación geotérmica.....	36
Ilustración 19: Central mareomotriz tipo barrera.....	38
Ilustración 20: Ejemplo funcionamiento con una turbina semisumergible.....	39
Ilustración 21: Esquema conceptual de una central maremotérmica.....	39
Ilustración 22: Sistemas “Balsa de Cockerell” y “columna de agua oscilante” .....	40
Ilustración 23: Ilustración de la zona donde se juntan el río y el mar.....	40
Ilustración 24: Imagen espacial de la radiación del Sol.....	42
Ilustración 25: Esquema de una instalación termoeléctrica.....	46
Ilustración 26: Esquema funcionamiento celular solar fotovoltaica.....	49
Ilustración 27: Instalación solar fotovoltaica aislada en vivienda unifamiliar.....	51
Ilustración 28: Diagrama de un edificio fotovoltaico conectado a la red mostrando los elementos básicos de un SFCR.....	52
Ilustración 29: Ubicación geográfica de la zona del proyecto.....	56
Ilustración 30: Esquema de pendientes.....	62
Ilustración 31: Curvas de elevación de la zona del proyecto.....	63
Ilustración 32: Esquema de distribución de orientaciones.....	63
Ilustración 33: Superficie de proyecto óptima según criterio de elevaciones y orientaciones.....	64
Ilustración 34: Longitudes de servidumbre por líneas eléctricas.....	65
Ilustración 35: Superficie de proyecto óptima según condicionantes sobre el terreno.....	65
Ilustración 36: Superficie de proyecto óptima definitiva según criterios estudiados.....	66
Ilustración 37: Esquema módulo fotovoltaico.....	76
Ilustración 38: Seguidor solar a dos ejes.....	78
Ilustración 39: Seguidor solar a un eje.....	78
Ilustración 40: Estructura fija solar.....	79
Ilustración 41: Esquema cálculo sombreado entre filas.....	80

Ilustración 42: Esquema unifilar parte corriente continua.....	83
Ilustración 43: Esquema unifilar parte corriente alterna.....	85
Ilustración 44: Perspectiva del campo fotovoltaico y la escena de sombreado circundante.....	94
Ilustración 45: Diagrama de pérdidas de producción eléctrica.....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ventajas Energías Renovables respecto a las Energías No Renovables.....	19
Tabla 2: Coordenadas de la ubicación del terreno en estudio.....	57
Tabla 3: Resumen de la producción energética de la planta “PSFV Las Palomas” .....	58
Tabla 4: Criterio de pendientes y elevaciones.....	61
Tabla 5: Superficies más óptimas para la implantación del proyecto.....	66
Tabla 6: Parámetro máximo de tensión permitidos por entrada de inversor.....	70
Tabla 7: Resumen del cálculo de parámetros eléctricos del sistema.....	72
Tabla 8: Datos módulo fotovoltaico.....	73
Tabla 9: Características eléctricas del módulo fotovoltaico.....	74
Tabla 10: Especificaciones del fabricante del módulo fotovoltaico.....	74
Tabla 11: Parámetros eléctricos corregidos por temperatura módulo fotovoltaico.....	74
Tabla 12: Datos inversor fotovoltaico.....	77
Tabla 13: Características inversor fotovoltaico.....	77
Tabla 14: Longitud de sombra media y por cada hora.....	80
Tabla 15: Criterios de corrección por temperatura a la intemperie.....	81
Tabla 16: Criterios de corrección por agrupamiento de circuitos agrupados a el aire.....	82
Tabla 17: Características técnicas cable AFUMEX CLASS 750 V (AS) H07Z1-K TYPE 2 (AS).....	82
Tabla 18: Conductividades de materiales para diferentes temperaturas.....	83
Tabla 19: Características técnicas cable AFUMEX CLASS 750 V (AS) H07Z1-K TYPE 2 (AS).....	85
Tabla 20: Conductividades materiales para diferentes temperaturas.....	85
Tabla 21: Promedio Irradiación Global directa horaria, mensual y anual.....	90
Tabla 22: Promedio Irradiación Difusa Horizontal horaria, mensual y anual.....	92
Tabla 23: Datos de capacidad subestaciones eléctricas de Grupo Iberdrola.....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Reparto de tecnologías renovables a nivel mundial en función de su potencia instalada en 2020.....	21
Figura 2: Reparto de tecnologías renovables a nivel nacional en función de su potencia instalada en 2020.....	21
Figura 3: Ranking por continentes con más potencia instalada de Energías Renovables 2020.....	22
Figura 4: Ranking de países con más potencia instalada de Energías Renovables 2020.....	22
Figura 5: Evolución de España en el ranking de países con mayor potencia renovable instalada (2018 – Actualidad).....	23

Figura 6: Evolución de la potencia instalada Energía Hidráulica mundial.....	25
Figura 7: Evolución de la potencia instalada Energía Hidráulica España.....	25
Figura 8: Clasificación de los países con mayor potencia hidráulica instalada.....	26
Figura 9: Capacidad eólica de nueva instalación en Europa.....	28
Figura 10: Evolución de la potencia instalada Energía Eólica mundial.....	29
Figura 11: Evolución de la potencia instalada Energía Eólica España.....	29
Figura 12: Distribución de Parques Eólicos Marinos y Terrestres en países europeos.....	30
Figura 13: Clasificación de los países con mayor potencia eólica instalada.....	31
Figura 14: Evolución de la potencia instalada de Bioenergía mundial.....	34
Figura 15: Evolución de la potencia instalada Bioenergía España.....	35
Figura 16: Clasificación de los países con mayor potencia de Bioenergía instalada.....	35
Figura 17: Evolución de la potencia geotérmica instalada mundial.....	37
Figura 18: Clasificación de los países con mayor potencia de Geotermia instalada.....	38
Figura 19: Evolución de la potencia de Energía Marina instalada mundial.....	41
Figura 20: Evolución de la potencia de Energía Marina instalada en España.....	41
Figura 21: Clasificación de los países con mayor potencia Marina instalada.....	42
Figura 22: Evolución de la potencia de Energía Solar instalada mundial.....	43
Figura 23: Evolución de la potencia de Energía Solar instalada en España.....	44
Figura 24: Clasificación de los países con mayor potencia Solar instalada.....	45
Figura 25: Evolución de la Energía Solar Térmica generada en España.....	46
Figura 26: Evolución de la potencia de Energía Solar Térmica instalada mundial.....	47
Figura 27: Evolución de la potencia de Energía Solar Térmica instalada en España.....	48
Figura 28: Clasificación de los países con mayor potencia Solar Térmica instalada.....	48
Figura 29: Evolución de la potencia de Energía Solar Fotovoltaica instalada mundial.....	49
Figura 30: Evolución de la potencia de Energía Solar Fotovoltaica instalada en España.....	50
Figura 31: Clasificación de los países con mayor potencia Solar Fotovoltaica instalada.....	51
Figura 32: Curvas corriente-tensión módulo fotovoltaico en función de la temperatura.....	75
Figura 33: Curvas corriente-tensión módulo fotovoltaico en función de la irradiancia.....	75
Figura 34: Curvas Potencia-Tensión módulo fotovoltaico en función de la irradiancia.....	76
Figura 35: Representación gráfica del promedio horario de cada mes y anual de la irradiación global directa.....	91
Figura 36: Representación gráfica del promedio horario de cada mes y anual de la irradiación difusa horizontal.....	92
Figura 37: Resumen de producción eléctrica planta fotovoltaica.....	97

## **1. INTRODUCCION**

En la naturaleza existen varias fuentes de energía primaria que tienen la posibilidad de ser convertidas o transformadas en fuentes de energías secundarias para que puedan ser utilizadas, siendo la más común y utilizada la electricidad.

### 1.1. ENERGÍAS NO RENOVABLES

Se denominan como Energías No Renovables a aquellas cuyas reservas son limitadas, por lo que van disminuyendo a lo largo de su consumo. Se consideran Energías No Renovables a las derivadas de la quema de combustibles fósiles, el petróleo, el carbón, el gas natural o la energía nuclear.

#### 1.1.1. Combustibles fósiles

##### 1.1.1.1. *Petróleo*

Este es el combustible fósil más importante del planeta, ya que es el que más utilidad tiene y más derivados se pueden conseguir gracias a él, como gasolina, gasoil, gas butano, asfalto, plásticos, etc. Se origina en zonas muy profundas de la tierra o el mar, profundidades que varían entre los 600 y 5000 metros respecto a la superficie terrestre, donde organismos vivos entre animales y vegetación se acumularon durante miles de años formando con sus restos capas muy gruesas de rocas y lodo.

Con el pasar del tiempo se generaron condiciones de presión y de temperatura lo que ayudo a la formación de bacterias, las cuales transformaron la materia orgánica en hidrocarburos.



Ilustración 1: Yacimiento de extracción de Petróleo

Fuente: [www.economista.es](http://www.economista.es)

Se han descubierto yacimientos de petróleo y gas en varios campos en tierra y mar, el primero de ellos de petróleo, en 1964, en Ayoluengo (Burgos) y los posteriores en el mar Mediterráneo, golfo de Valencia, mar Cantábrico, valle del Guadalquivir y golfo de Cádiz.

En 2014 la producción interior de crudo fue de 305.411 toneladas y la de gas natural sumó 268,900 GWh, lo que supuso un grado de autoabastecimiento del 0,49 % y del 0,09 %, respectivamente, sobre el consumo nacional. [1]

##### 1.1.1.2. *Carbón*

El Carbón se le conoce como un combustible sólido que lo constituyen rocas sedimentarias de origen orgánico, de color negro o marrón oscuro, ricas en carbono, lo que hace que su poder calorífico sea muy alto. Aparte del carbono también su calidad dependerá de la humedad y de sus impurezas.

El problema que tiene el Carbón es el combustible fósil que más contribuye al cambio climático y las centrales térmicas de carbón son la mayor fuente de emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por el ser humano. Por desgracia, los gobiernos de todo el mundo están permitiendo que la industria gaste cientos de miles de millones de dólares para construir nuevas térmicas de carbón en todo el mundo en los próximos años. Si los planes actuales siguen adelante, será el responsable del 60% de las emisiones de CO<sub>2</sub> para el año 2030.



Ilustración 2: Yacimiento de extracción de Carbón  
Fuente: [www.mineriaenlinea.com](http://www.mineriaenlinea.com)

La contaminación atmosférica procedente de la combustión del carbón está destruyendo los medios de vida y matando gente. Solo en España mueren prematuramente cada año 30.000 personas por respirar aire contaminado.

Por todos estos motivos en España, hay planes para que se cierren estas centrales térmicas, para ello, han dejado de subvencionar la producción eléctrica mediante este combustible fósil, poniendo muchas más pegas, por lo que cada vez este tipo de producción es menos rentable, para que de ese modo se deje de producir electricidad mediante este método y se apuesten por generaciones eléctricas más limpias con gas natural, y sobre todo las energías renovables. [2]

#### 1.1.1.3. Gas Natural

El Gas Natural es otra fuente de energía fósil que consiste en una mezcla de hidrocarburos gaseosos ligeros que se extrae tanto de yacimientos independientes o junto a yacimientos petrolíferos o de carbón. La combustión del Gas Natural produce menos gases de efecto invernadero que otros combustibles fósiles como los derivados del petróleo, como la gasolina, gasoil, etc., y especialmente que el carbón. Dentro de los combustibles fósiles es el más ecológico ya que se quema de forma limpia, eficiente y segura, no produce dióxido de azufre ni partículas sólidas.

El Gas Natural parece a simple vista el combustible fósil más respetuoso con nuestro medio ambiente, pero no es así, ya que su uso es más respetuoso con el medio ambiente que los otros combustibles fósiles pero su extracción es todo lo contrario, como es el caso del denominado "Fracking".

El “Fracking” es una técnica de explotación de gas natural que consiste en la fracturación del subsuelo, ya que, en ciertos materiales del subsuelo, existe gas en sus poros y grietas, mediante la inyección de millones de litros de agua al subsuelo mezclados con productos químicos y tóxicos para conseguir romper la roca el subsuelo llevándose estos millones de litros el gas que contenían esas rocas, para posteriormente salir a la superficie.

Como hemos ya comentado, el gas es de los combustibles fósiles más respetuosos a la hora de su consumo, pero la extracción del gas natural conlleva muchos problemas, como la contaminación de aguas subterráneas, y todos los problemas que puede conllevar el fracturar el subsuelo sobre el que vivimos. [3]

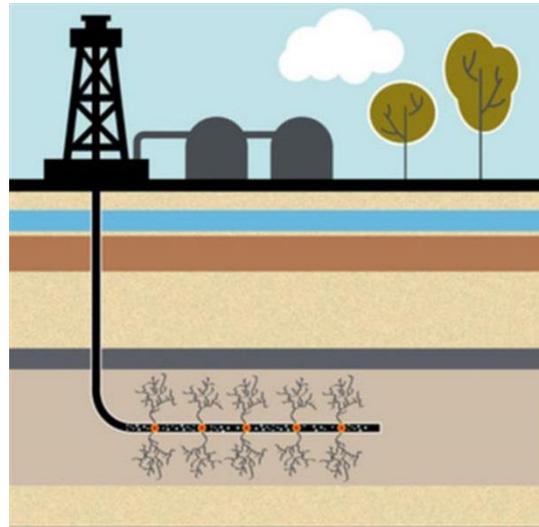


Ilustración 3: Yacimiento de extracción de Gas Natural (Fracking)  
 Fuente: [www.mineriaenlinea.com](http://www.mineriaenlinea.com)

Los datos de demanda anual de gas natural en España para 2016 equivalen a 321 TWh, un 2,1% superior al año anterior. En ese ejercicio el Gas Natural representó un 19,9% del mix energético español, muy por encima del 2% que representaba en 1985 y que da cuenta del crecimiento de esta fuente de energía limpia en España.

#### 1.1.1.4. *Energía Nuclear*

La Energía Nuclear es la energía proveniente de reacciones nucleares, mediante la desintegración de algunos átomos, como consecuencia de la liberación de la energía almacenada en sus núcleos.

Una fisión es una reacción en la que los núcleos de los átomos se ven modificados mediante la incisión de un neutrón contra el núcleo fisionable, como puede ser el U-235, dividiéndose en dos fragmentos diferentes. El resultado es la aparición de varios neutrones, y principalmente la liberación de una gran cantidad de energía. Los neutrones sobrantes de la fisión tienen la posibilidad de alcanzar otros átomos de U-235 y provocar a su vez, fisiones que liberan más neutrones y más energía.

En una central nuclear se transforma la energía liberada en forma de calor, para posteriormente, convertirla en energía mecánica y después en energía eléctrica. El calor producido permite evaporar agua que acciona una turbina la cual lleva acoplado un alternador.

El vapor que alimenta esta turbina puede ser producido directamente en el interior de la vasija del reactor (en los reactores de agua en ebullición BWR) o en un cambiador denominado generador de vapor (en los reactores de agua a presión PWR).

España cuenta con instalaciones nucleares que cubren el ciclo de combustible completo: siete reactores nucleares operativos Almaraz I y II (Cáceres), Ascó I y II (Tarragona), Cofrentes (Valencia), Trillo (Guadalajara) y Vandellós II (Tarragona).

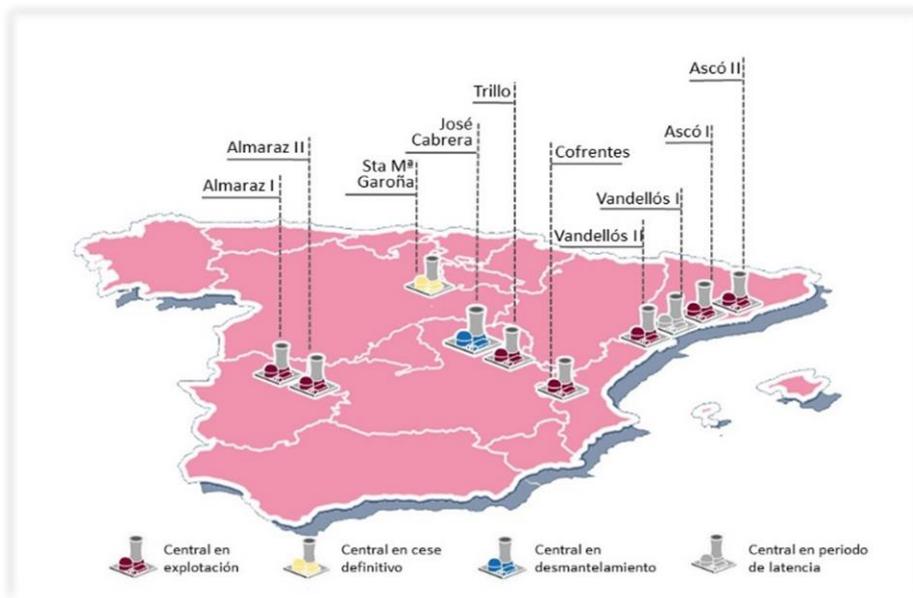


Ilustración 4: Mapa ubicación de centrales nucleares

Fuente: [www.energia.gob.es](http://www.energia.gob.es)

Existen más centrales nucleares como la central nuclear de Santa María de Garoña, que cesó su actividad temporalmente hace aproximadamente 9 años, en diciembre de 2012, aunque en 2017 se cesó su actividad de forma indefinida. Otra central nuclear que ha cesado su actividad en los últimos años es la primera central nuclear que se construyó en España, la Central Nuclear José Cabrera, la que cesó su actividad en 2006, y se encuentra en la actualidad en desmantelamiento. Por último, tenemos otra central nuclear en España, la central nuclear Vendellos I, la que cesó su actividad en 1989 por un incendio en una de las turbinas. A día de hoy esta central se encuentra en periodo de latencia, aunque o hubo exposición a exterior de radioactividad tras el incidente.

Además de los puntos de producción, en España existen más instalaciones nucleares, como son la fábrica de combustible nuclear de Juzbado en Salamanca, y un centro de almacenamiento de residuos radiactivos de muy baja, baja y media actividad en El Cabril, Córdoba.

En el año 2019, la Energía Nuclear volvió a liderar un año más la producción en el sistema eléctrico español, al haber producido el 21,43% de electricidad neta total y el 36,22% de la electricidad neta sin emisiones de CO<sub>2</sub>, con los siete reactores nucleares operativos. Es el 6,55% de la potencia neta instalada en España, siendo la tecnología líder hablando de términos de producción eléctrica, seguido de cerca de las centrales térmicas, siendo la tercera tecnología que más produce en España la Energía Eólica. [5]

## 1.2. PROBLEMÁTICA DE LAS ENERGÍAS NO RENOVABLES

Este tipo de energías tienen unas ventajas inmejorables a la hora de producir energía, aunque presentan grandes contras, por los cuales se deben de intentar sustituir estos combustibles fósiles, ya que no son renovables, es decir, si bien hay una cantidad considerable de estas fuentes, en un momento se gastarán todas las reservas existentes.

Aparte de ese problema está el principal problema que es cuando se queman combustibles fósiles genera una gran cantidad de contaminación en el aire, en forma de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero, residuos nucleares, etc., generando problemas

de salud en los seres vivos, especialmente las que se encuentran cerca de estos centros de quema, aparte de alteraciones en el propio planeta y su ecosistema como el conocido cambio climático.

El cambio climático es un fenómeno que produce una variación global del clima de la tierra, afectando a parámetros climáticos como temperaturas, precipitaciones, fenómenos meteorológicos, etc.

La atmósfera la forman diversos gases, que, en su conjunto y proporción adecuada, permiten el perfecto equilibrio térmico dejando entrar la luz de la radiación solar, pero permite retener el calor dentro del planeta.

El problema radica en las actividades del ser humano donde señalar la Revolución Industrial como el punto de inflexión en el que las emisiones de gases contaminantes arrojadas a la atmósfera empezaron a dispararse, de manera que estos gases de forma prolongada en el tiempo se acumulan con los gases de la atmósfera, por lo que gracias a estos gases de efecto invernadero, retiene más calor del necesario, provocando que la temperatura media del planeta aumente, “Efecto Invernadero”, y se produzca lo que popularmente llamamos calentamiento global el cual es un aumento de la temperatura del planeta provocado por estas emisiones.



Ilustración 5: Esquema “Efecto Invernadero”  
 Fuente: www.lanaturera.com

Ya en el año 2001 el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) señalaba que se están acumulando numerosas evidencias de la existencia del cambio climático.

Estas evidencias se demuestran con la falta de agua potable, los cambios que se pueden producir a la hora de producir alimentos, aumento de las catástrofes naturales, cambios en las condiciones climáticas, y sobre todo, la gran evidencia es el calentamiento global, ya que la temperatura de la tierra en el siglo XX ha aumentado 0,6°C, aunque este calentamiento cada vez se produce de una manera más rápida, ya que solo en la primera quincena del siglo XXI la temperatura ha aumentado 1,5°C, dato muy preocupante.

Otra evidencia del cambio climático es el deshielo, ya que, al calentarse el planeta, también se calienta el mar, y por consecuencia aumenta el nivel del mar, creciendo su nivel en unos 18 a 20 centímetros.

Lo que nos quiere decir esto es que el planeta se está calentado de una manera exponencial, por lo que cuanto más tiempo apostemos por las energías no renovables el planeta se irá calentando de forma exponencial, por lo que cada vez quedará menos tiempo para superar una desconocida temperatura límite que cause daños irreversibles en nuestro planeta. [6]

### ¿Por qué el uso masivo de las Energías no Renovables?

De una forma clara nos urge reducir las emisiones a nuestra atmósfera, pero no significa que debamos excluir los combustibles fósiles, ya que estos pueden seguir participando en nuestro uso energético, pero en una menor medida. Para ello, las soluciones pasan por la eficiencia energética y las Energías Renovables. Hay países de la UE que quieren depender principalmente, en términos de producción y consumo de energía, de las Energías Renovables para el año 2050, como es el ejemplo de Francia. A nivel mundial se espera que para 2050 se haya reducido un 16% la emisión de carbono a la atmósfera.

El motivo por el que se sigue utilizando los combustibles fósiles de manera masiva es que hemos creado una sociedad muy desarrollada en varias zonas de nuestro planeta, donde la sociedad se ha convertido en una sociedad digitalizada, totalmente dependiente energéticamente, por lo que hay que asegurarse que miles y miles de millones de personas tengan acceso a la energía eléctrica de la que dependen, para alimentación, higiene, trabajo, salud, etc., algo que hoy en día solo podemos abastecer utilizando estos combustibles de forma masiva, ya que a las Energías Renovables falta desarrollo y muchas inversiones económicas para poder depender energéticamente de ello. [9]

Además, cada vez hay más población en nuestro planeta, por lo que cada vez se necesitan más comida, más agua, más recursos, por lo que la industria también necesita más energía.

### ¿Por qué se siguen usando los recursos no renovables?

Los motivos son por intereses económicos. Casi la totalidad de la industria en los países desarrollados está diseñada con tecnología que funciona en base al uso de estos combustibles fósiles, teniendo que hacer una inversión económica estratosférica para adaptar a toda la industria mundial a la energía eléctrica.

Otro factor que dificulta el uso de las Energías Renovables son las condiciones climáticas, por ejemplo, en una ubicación donde apenas sale el sol, no vas poder hacer ningún tipo de instalación solar, porque apenas te va a generar energía, como puede ser en Siberia, o norte de Rusia, o en un país desértico no puedes explotar la Energía Hidráulica, porque no hay ríos y presas abundantes, etc.

En resumen, los motivos principales por los que se sigue utilizando de forma masiva el uso de estos combustibles fósiles son:

- ❖ Su extracción y su transporte son más fáciles.
  - ❖ Su costo económico es más bajo respecto a la Energías Renovables.
  - ❖ La mayor parte de la tecnología mundial, se basa en el uso de los combustibles fósiles.
  - ❖ Tienen varias aplicaciones, prácticamente en todos los sectores profesionales.
- [10]

## **2. ESTADO DEL ARTE**

## 2.1. ENERGÍAS RENOVABLES

A medida que la sociedad se desarrolla el consumo de energía aumenta, necesitando una mayor producción de energía para satisfacer la calidad de vida de la sociedad.

Por esta razón, se necesitan otras alternativas a las Energías No Renovables, ya que el aumento del consumo de estas energías incrementaría el problema que conllevan, por lo que las Energías Renovables es la gran alternativa a estas Energías No Renovables, ya que suponen una forma de obtener energía de forma limpia.

Las Energías Renovables son aquellas que se obtienen de manera continua, además de ser inagotables y fuentes de obtención respetuosas con el medioambiente. Estas proceden del sol, el viento, el agua de los ríos y mar, del calor interno de la tierra y de los residuos, siendo todos ellos, recursos que están a nuestro lado y renovables, año a año.

Existen diversas tecnologías destinadas a la obtención de energía de forma limpia y sostenible: Energía Hidráulica, Energía Eólica, Biomasa, Energía Geotérmica, Energía Marina, Energía de Biocarburantes y Energía Solar.



Ilustración 6. Collage de las Energías Renovables que trataremos en detalle  
Fuente: [www.renovablesverdes.com](http://www.renovablesverdes.com)

Presentan una serie de ventajas respecto a las Energías No Renovables, donde destacan:

	<b>Energías Renovables</b>	<b>Energías No Renovables</b>
<b>Ventajas Medioambientales</b>	No producen emisiones de CO <sub>2</sub> y otros gases contaminantes a la atmósfera.	Si producen emisiones de CO <sub>2</sub> y otros gases contaminantes a la atmósfera.
	No generan residuos de difícil tratamiento.	Generan residuos que suponen durante generaciones una amenaza para el medioambiente.
	Dependen de recursos naturales inagotables.	Dependen de recursos naturales limitados.
<b>Ventajas Estratégicas</b>	Estas energías son autóctonas, lo que supone una mayor independencia energética.	Estos recursos existen en un número limitado de países, por lo que crea dependencia al exterior.
<b>Ventajas Socioeconómicas</b>	Crean más puestos de trabajo respecto al volumen de negocio.	Crean menos puestos de trabajo en función del volumen de negocio.
	Favorecen al equilibrio interterritorial ya que suelen instalarse en zonas rurales, o poco desarrolladas, favoreciendo así a su desarrollo.	Tradicionalmente, de forma general, se sitúan cerca de zonas muy desarrolladas.
	Permiten desarrollar tecnologías propias de cada país.	Utilizan tecnología importada en su gran mayoría.

Tabla 1. Ventajas Energías Renovables respecto a las Energías No Renovables  
 Fuente: [www.agora.ulpgc.es](http://www.agora.ulpgc.es)

A pesar de la pandemia de COVID-19, la capacidad energética renovable mundial aumentó en 260 GW en 2020, batiendo el récord anterior en casi un 50 %.

Las nuevas instalaciones de producción de Energías Renovables aumentó de forma considerable, concretamente un 80% de la nueva capacidad eléctrica que se agregó en el año 2020 fue renovable, representando el 91% las Energías Solar y Eólica.

El crecimiento de la producción de energía mediante Energías Renovables es culpa al plan de desmantelación de producción de energía mediante combustibles fósiles, donde el crecimiento de producción de energía mediante este método ha disminuido de 64GW de 2019 a 60GW en el 2020, por lo que es evidente la continua tendencia a la baja del uso de los combustibles fósiles.

El incremento del 10,3 % de la capacidad instalada representa una expansión que supera las tendencias a largo plazo que apuntaban a un crecimiento interanual más modesto.

Al final de 2020, la capacidad mundial de generación renovable era de 2.799 GW, con la Energía Hidroeléctrica conservando la mayor cuota (1.211 GW). Sin embargo, la Energía Solar y la Energía Eólica van ganando terreno rápidamente, ya que fueron las predominantes en la expansión de capacidad registrada en 2020, con 127 GW y 111 GW de nuevas instalaciones solares y eólicas respectivamente.

A continuación, vamos a detallar la expansión mundial en 2020 por cada tecnología renovable:

- ❖ Energía Hidráulica. Se recuperó en 2020 gracias a la puesta en marcha de varios grandes proyectos que se demoraron en 2019. China fue el país que más Energía Hidráulica agregó, 12 GW de capacidad, seguida de Turquía con 2,5 GW.
- ❖ Energía Eólica: Duplicó su expansión en 2020 en comparación con 2019 (111 GW frente a los 58 GW del año anterior). China agregó 72 GW de nueva capacidad, seguida de Estados Unidos de América (14 GW). En 2020 otros diez países incrementaron su capacidad eólica en más de 1 GW. Ese mismo año la Energía Eólica Off-shore creció hasta alcanzar alrededor de un 5 % de la capacidad eólica total.
- ❖ Energía Solar: La capacidad solar total se ha puesto ya casi al mismo nivel que la capacidad eólica, gracias fundamentalmente a la expansión de Asia (78 GW) en 2020. Se registraron importantes incrementos de capacidad en China (49 GW) y Vietnam (11 GW). Japón también sumó más de 5 GW y la India y la República de Corea ampliaron su capacidad solar en más de 4 GW. Estados Unidos de América agregó 15 GW.
- ❖ Bioenergía: La expansión de capacidad neta se redujo a la mitad en 2020 (2,5 GW frente a los 6,4 GW de 2019). China amplió su capacidad bioenergética en más de 2 GW. Aparte de esto, solo Europa registró una expansión significativa en 2020, con un incremento de 1,2 GW de su capacidad bioenergética, similar al de 2019.
- ❖ Energía Geotérmica: En 2020, muy poca capacidad fue adicionada. Turquía agregó 99 MW y Nueva Zelanda, Estados Unidos de América e Italia registraron pequeños incrementos.

A continuación, podemos observar el reparto de las tecnologías renovables en la potencia instalada a nivel mundial y nacional, además de la evolución mundial, continental y nacional en potencia renovable instalada. [11]

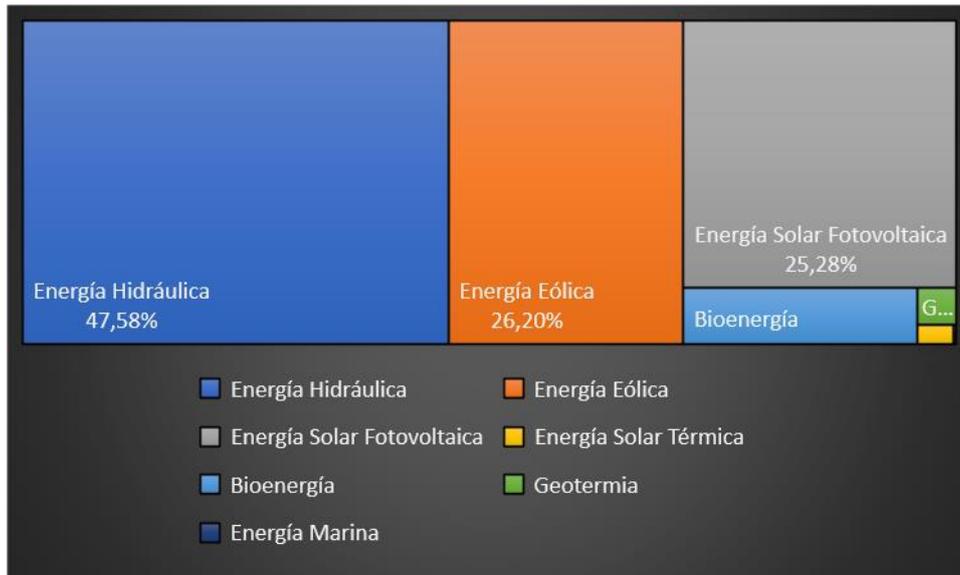


Figura 1. Reparto de tecnologías renovables a nivel mundial en función de su potencia instalada en 2020  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

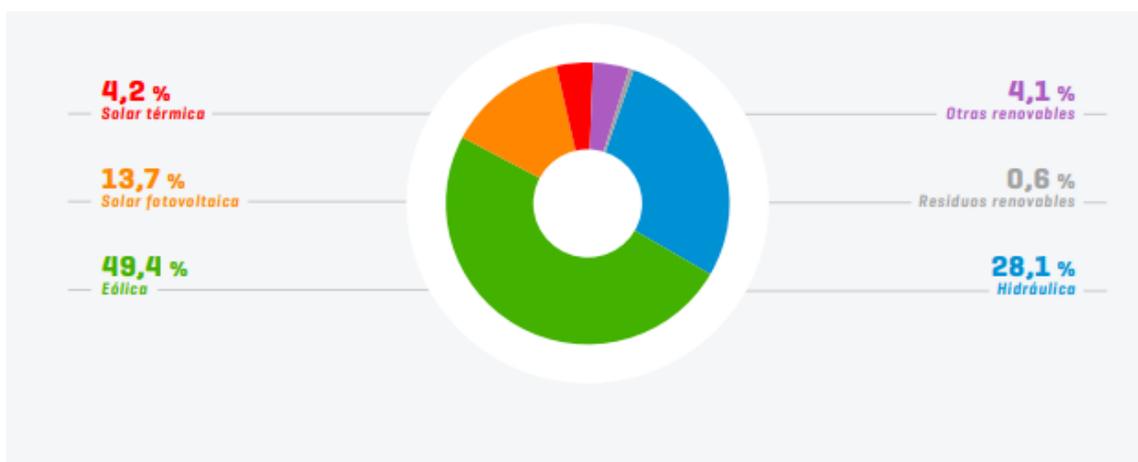


Figura 2. Reparto de tecnologías renovables a nivel nacional en función de su potencia instalada en 2020  
 Fuente: www.ree.es

A nivel mundial podemos observar que la Energía Hidráulica sigue siendo la gran referencia con un 39,5% de la potencia renovable mundialmente instalada, frente a un 28,1% que tenemos en España.

Hay dos tecnologías renovables que están evolucionando muy rápido en los últimos años, que son la tecnología eólica y solar fotovoltaica, siendo la Energía Eólica la referente de las renovables en España con un 49,4% de potencia renovable eólica instalada en nuestro país, frente al 23,9% que se tiene a nivel mundial. La solar fotovoltaica que también está creciendo mucho en España, actualmente un 13,7% de la potencia renovable instalada, frente al 24,3% de potencia fotovoltaica instalada mundialmente.

La lucha por la independencia energética es muy grande en todo el mundo, elevando la cifra de la potencia renovable instalada mundial hasta los 2.800.000 MW.

En la siguiente imagen podemos comprobar, según la *Agencia Internacional de Energías Renovables*, que Asia es el continente que más está apostando por la independencia energética, contando con una potencia renovable instalada de algo menos de 1.350.000 MW, seguida de Europa con aproximadamente 720.000 MW renovables instalados, América continúa la lista con 670.000 MW renovables instalados, donde África posee alrededor de unos 53.000 MW instalados y por último Oceanía con 44.000 MW instalados.

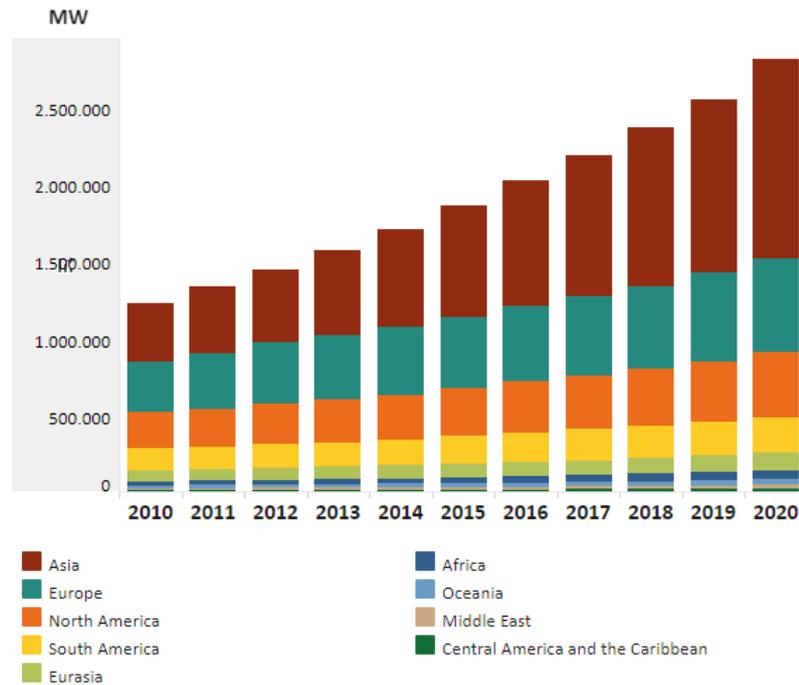


Figura 3. Ranking por continentes con más potencia instalada de Energías Renovables 2020  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

Nos llama la atención, el boom que se ha producido en España en los últimos dos años, ya que ha crecido un 10% en 2020 y un 22% si contamos desde 2018 a la actualidad.

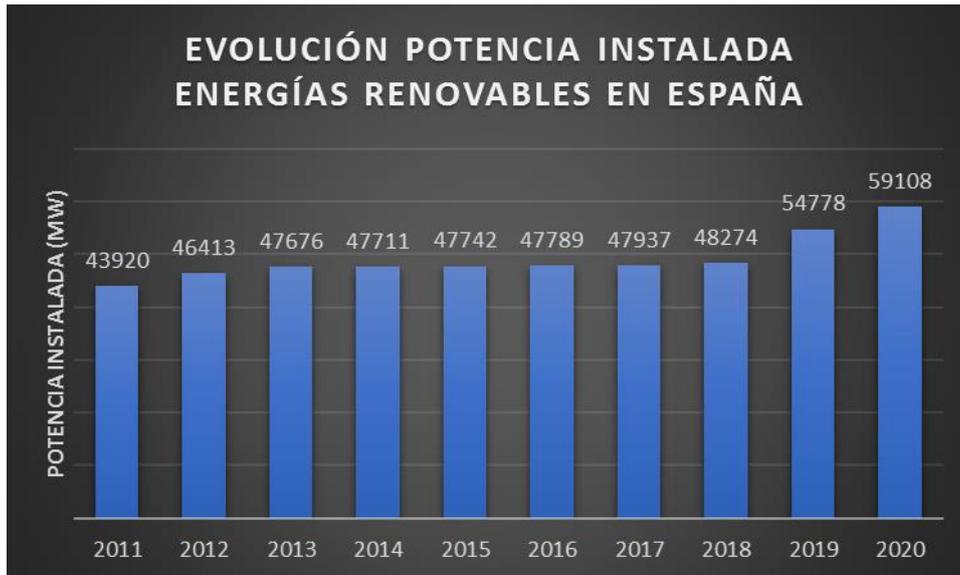


Figura 4. Ranking de países con más potencia instalada de Energías Renovables 2020  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

En la siguiente imagen podemos observar la capacidad instalada en Energías Renovables en los 10 primeros países que más potencia instalada tienen en estas tecnologías en 2020. El país totalmente destacado y referente en Energías Renovables es China con una potencia instalada de 894.879 MW, un 31,97% de la potencia renovable mundial, seguida desde lejos por Estados Unidos con 292.065 MW, un 10,43%, donde la primera potencia europea es Alemania en el puesto 5, con 131.739 MW, un 4,71% de la potencia renovable mundial.

El boom renovable en España se está haciendo notar, por lo que podemos observar en la anterior figura que España, se encuentra en el puesto 8 del mundo, con un 2,11% de la potencia de Energía Renovable instalada en el mundo, cuando en 2018 nos encontrábamos en el puesto número 11 del mundo con un 2,04% de la potencia renovable instalada en el mundo.



Figura 5. Evolución de España en el ranking de países con mayor potencia renovable instalada (2018 – Actualidad)

Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

A continuación, vamos a describir cada tecnología renovable y estudiar su situación tanto de manera internacional, como de forma nacional, donde vamos a poder ver

donde se encuentra España en el desarrollo de cada tecnología renovable y su evolución por la independencia energética.

### 2.1.1. Energía Hidráulica

Es una fuente de energía utilizada desde hace mucho tiempo, en concreto para mover los molinos que molían el trigo.

Es aquella que aprovecha el movimiento del agua para generar energía. Su obtención se debe al aprovechamiento de la energía cinética y potencial de los saltos de agua o corrientes. El propio movimiento del agua hace girar una turbina, que está conectada a un transformador, produce la energía eléctrica.

La Energía Hidráulica consiste en la conversión de la energía cinética y potencial de una masa de agua, que, al pasar por un salto, esta agua mueve una turbina, cuyo movimiento es transferido a un eje que rota y que genera energía.

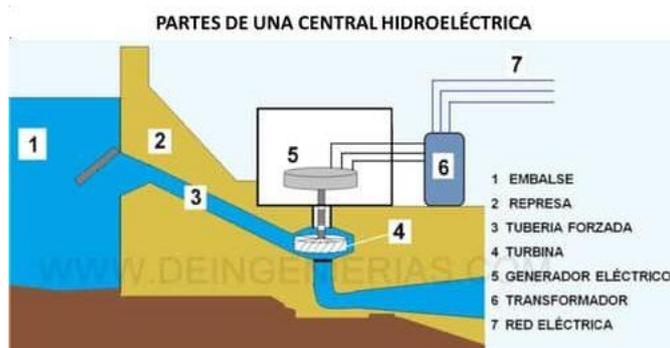


Ilustración 7. Esquema básico de una central hidráulica  
 Fuente: [www.deingenierias.com](http://www.deingenierias.com)

Existen dos tipos de centrales hidroeléctricas:

- ❖ Centrales hidroeléctricas de agua fluyente. Son aquellas que, mediante una obra, se desvía parte del caudal del agua fluyente hacia la central, devolviendo posteriormente ese caudal desviado a su curso original. Este es el método más antiguo que se conoce, ya que nuestros antepasados utilizaban este método para moler el trigo, gracias a los movimientos de un molino gracias al agua que fluye por ese tramo.



Ilustración 8. Esquema funcionamiento de una central hidroeléctrica de agua fluyente  
 Fuente: [www.zaguan.unizar.es](http://www.zaguan.unizar.es)

- ❖ Centrales hidroeléctricas a pie de presa. Se sitúan en la parte de debajo de los embalses. Pueden almacenar el agua, que posteriormente, en los momentos donde se necesite producir esa energía, se deja caer hacia las turbinas generando de esta manera la energía eléctrica. [16]



Ilustración 9. Central hidroeléctrica a pie de presa de Iberdrola  
 Fuente: www.iberdrola.com

Es la tecnología de Energías Renovables más desarrollada y que más potencia instalada tiene en la actualidad a nivel mundial. Aunque es una tecnología que tuvo su auge hace ya tiempo, en la última década ha seguido en un claro y continuo crecimiento, como podemos observar en las siguientes gráficas.

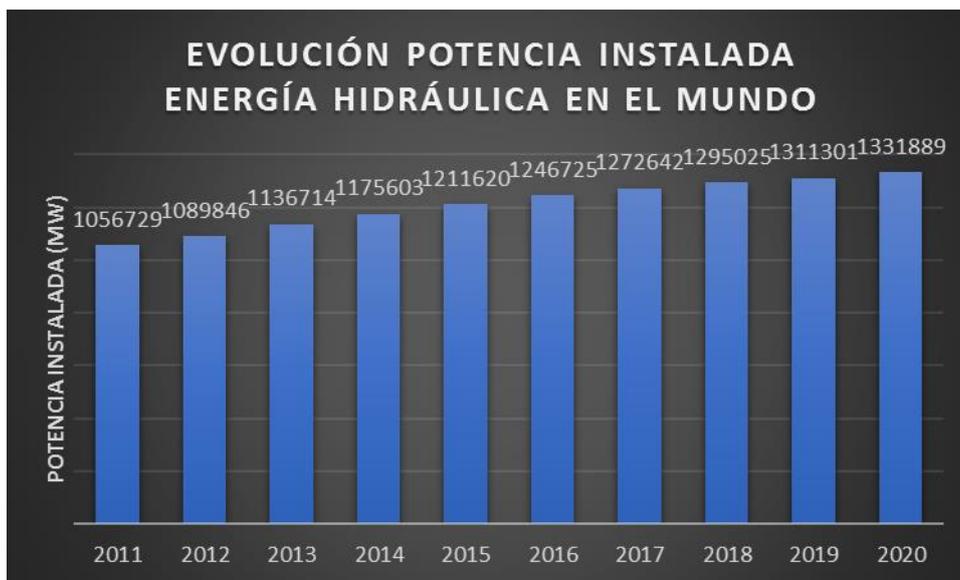


Figura 6. Evolución de la potencia instalada Energía Hidráulica mundial  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

En nuestro país es la segunda tecnología con más potencia renovable instalada, aunque podemos observar que es a primera tecnología renovable por la que se apostó de manera seria, y que desde 2015 la Energía Hidráulica apenas se han instalado 60 MW nuevos de potencia, por lo que este estancamiento ha provocado que esta tecnología no sea la principal apuesta por las Energías Renovables en España, ya que ha pasado de ser claramente la principal fuente de energía renovable a verse adelantada por la Energía Eólica.

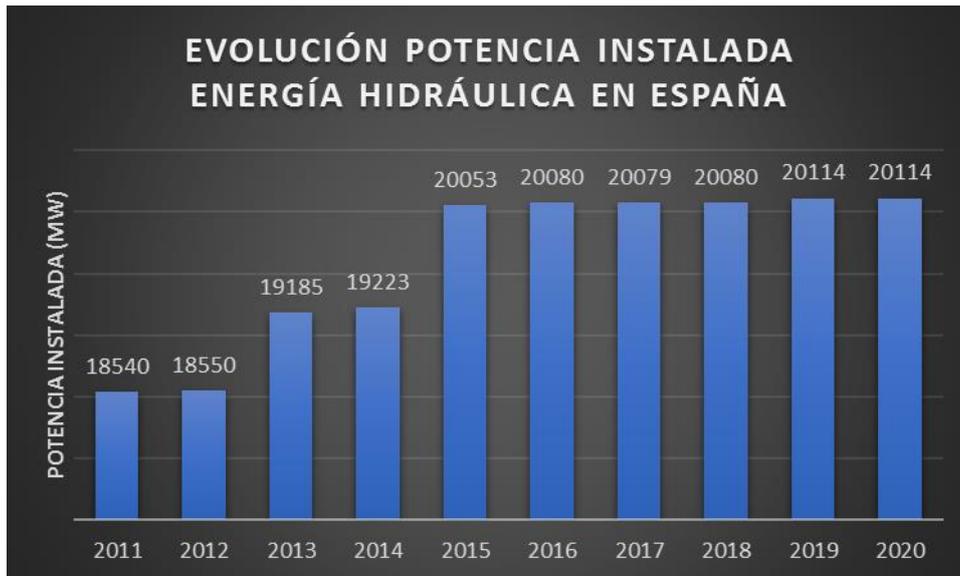


Figura 7. Evolución de la potencia instalada Energía Hidráulica España  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

Para finalizar la situación de España en esta tecnología hemos realizado una clasificación con los países que más potencia renovable instalada tienen. Recordamos que España se encuentra en la octava posición mundial en términos de potencia renovable instalada.

Sin embargo, en la tecnología hidroeléctrica estamos por detrás exactamente en el puesto número 11 con 20.144 MW instalados, un 1,51% de la potencia hidráulica instalada en el mundo, muy lejos del líder en este sector, China con 370.160 MW, un 27,79%. Si nos comparamos con Europa, España está en el puesto número 5, liderando en Europa Noruega con 30.984 MW, un 2,48% de la potencia hidráulica mundial.



Figura 8. Clasificación de los países con mayor potencia hidráulica instalada  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

### 2.1.2. Energía Eólica

El sol emite la radiación solar, quien, al calentar el aire, la tierra y el mar, provoca que haya viento, debido a la diferencia de presiones entre las capas más bajas y más altas de nuestra atmósfera.

La Energía Eólica es aquella que se obtiene gracias a la fuerza del viento, que es aprovechada a través de los aerogeneradores, los cuales transforman, esta energía cinética obtenida de la fuerza del viento en energía eléctrica.

Los aerogeneradores se componen de los siguientes componentes.

- ❖ El rotor (1). Lo componen las palas y el buje que las une. Es la parte encargada de absorber la energía cinética producida por el viento, transformándola en energía de movimiento rotatorio.
- ❖ El Multiplicador (2). Unido al rotor mediante un eje, es un mecanismo de transmisión que multiplica la velocidad de giro, transmitida por el rotor, del eje motriz del generador.
- ❖ El generador (3). Se encarga de convertir la energía mecánica de rotación del sistema en energía eléctrica. El eje motriz esta hace girar al rotor del generador de manera que este pueda producir energía eléctrica.
- ❖ Los conductores (4): Encargados de transportar la energía eléctrica producida por el generador hasta la estación.

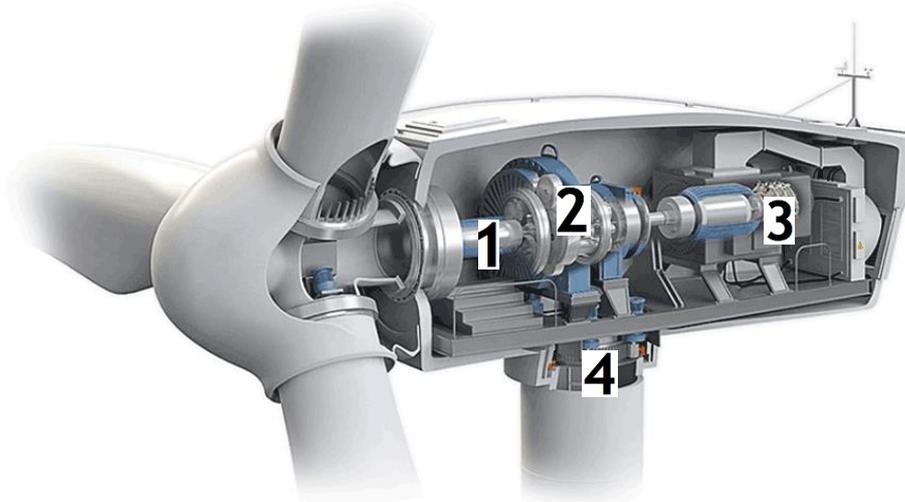


Ilustración 10. Aerogenerador seccionado  
Fuente: Iberdrola

Los parques eólicos contienen varios aerogeneradores unidos entre sí por conductores que llevan toda la energía eléctrica a la subestación. Hay dos tipos de parques eólicos, On-shore y Off-shore.

Los parques eólicos On-shore son los que están situados en tierra, mientras que los Off-shore son los que se sitúan en el mar, o en un lago. [14]



Ilustración 11. Planta Eólica Off-shore y On-shore  
Fuente: Iberdrola

Los Parques Eólicos On-shore presentan una serie de ventajas y desventajas respecto a los Off-shore:

- ❖ Los parques terrestres conllevan un coste de instalación mucho menor que los parques eólicos marinos.
- ❖ Los parques terrestres tienen una mejor accesibilidad frente a los parques marinos.
- ❖ Conllevan un mantenimiento mucho menor, ya que en los Off-shore el agua del mar requiere un mayor mantenimiento.
- ❖ Su tecnología está mucho más desarrollada.
- ❖ Provocan un mayor impacto visual y acústico.
- ❖ Tienen una menor potencia unitaria, y por lo tanto una menor capacidad instalada.

En la siguiente imagen podemos ver la comparación de la capacidad instalada cada año de parques eólicos terrestres y marinos, desde 2011 a 2020 en Europa, donde podemos comprobar que el año donde más potencia eólica se instaló fue en 2017 con aproximadamente 17.100 MW nuevos de potencia. Europa tiene una tendencia media de crecimiento anual de unos 13.600 MW de potencia nueva instalada.

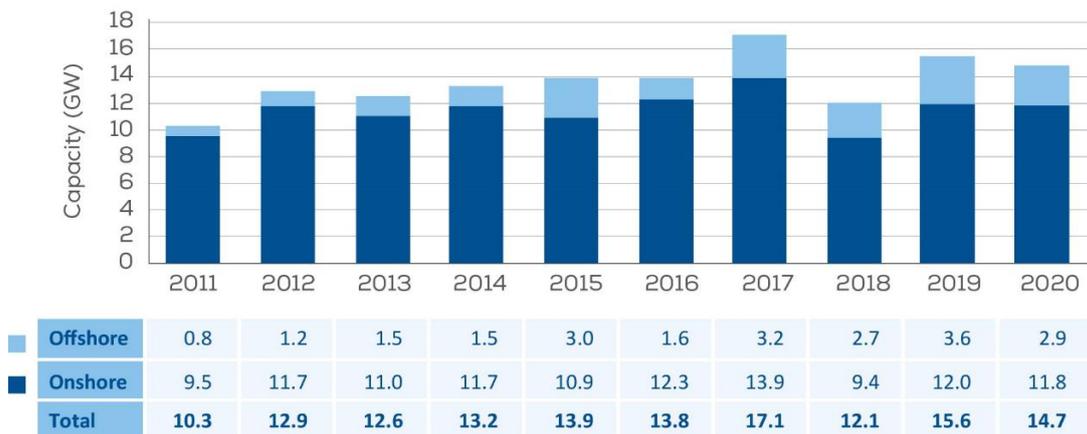


Figura 9. Capacidad eólica de nueva instalación en Europa  
Fuente: Windeurope

La Energía Eólica está luchando de manera mundial junto a la Energía Solar por ser la segunda mayor fuente de energía renovable. En la última década ha sido el sector renovable que más ha crecido, junto a la Energía Solar Fotovoltaica. Concretamente ha crecido un 18% solo el último año, y un 330% en la última década, en la que ha habido ese boom eólico.



Figura 10. Evolución de la potencia instalada Energía Eólica mundial  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

En España, la Energía Eólica es la tecnología renovable más desarrollada en nuestro país, alcanzando solamente con esta tecnología casi un 50% de la potencia renovable instalada en nuestro país.

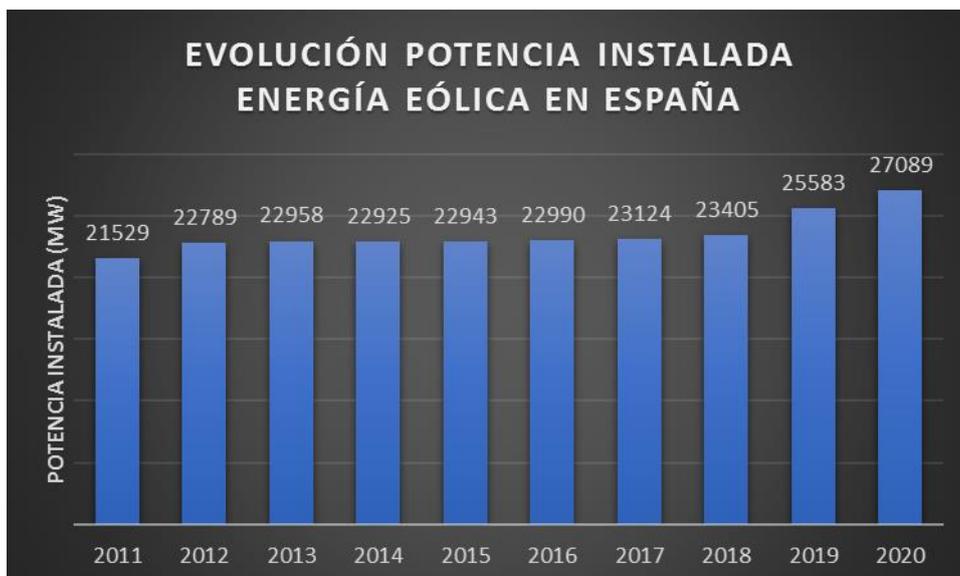


Figura 11. Evolución de la potencia instalada Energía Eólica España  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

A contrario del crecimiento anual, la Energía Eólica en España ha estado estancada en la última década, aunque los dos últimos años, ha habido un buen repunte donde ha crecido desde 2018 hasta hoy en día un 15%, y en la última década un 25%, lejos del 330% que ha tenido de crecimiento mundial.

Sin embargo, en España, que aun no existen parques eólicos marinos en funcionamiento, todos los parques eólicos son terrestres, aunque si es cierto que hay proyectos en marcha para instalar el primero en nuestro país.

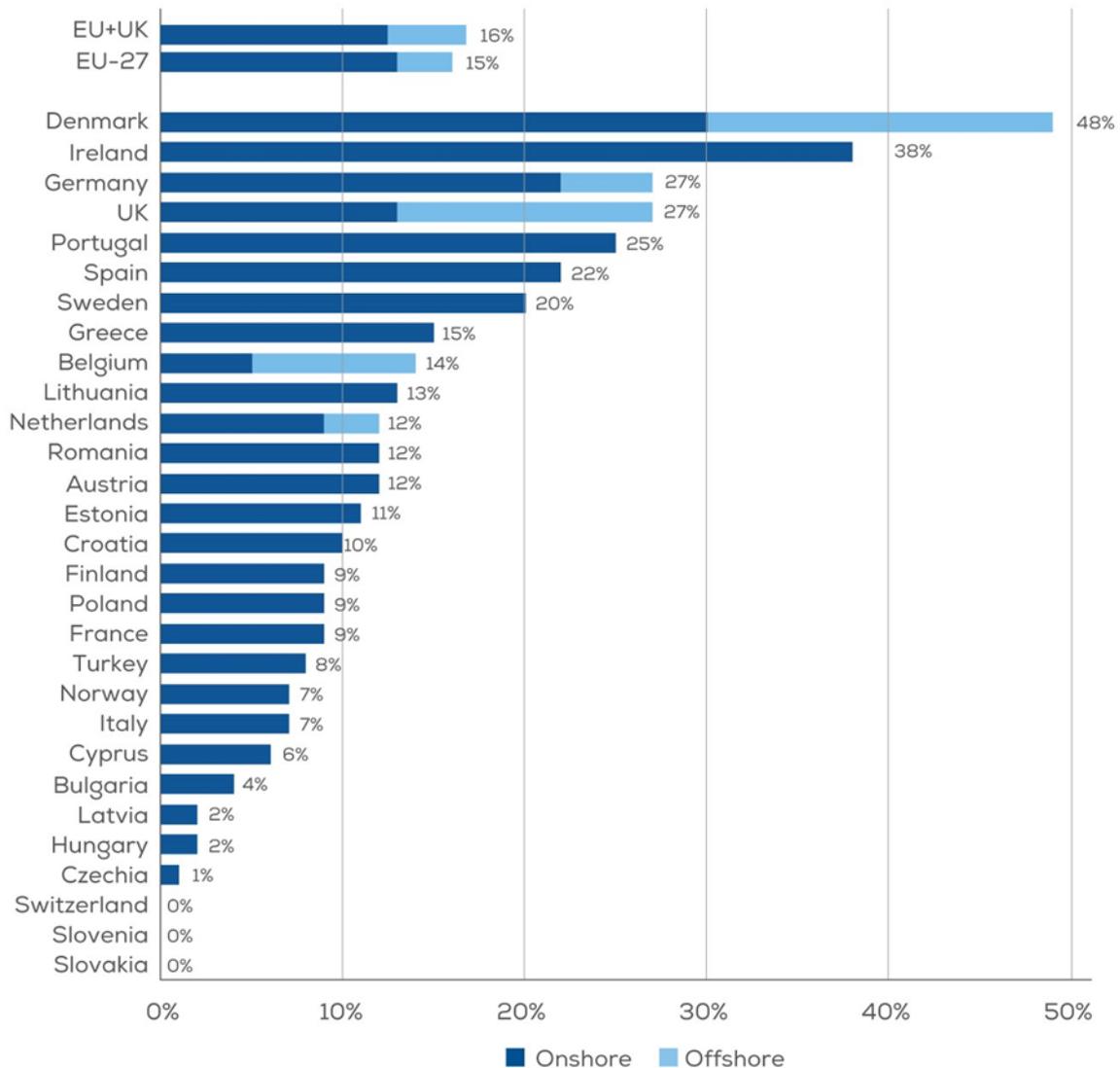


Figura 12. Distribución de Parques Eólicos Marinos y Terrestres en países europeos  
 Fuente: Windeurope

Es interesante observar como España es uno de los países que más energía genera con esta tecnología en Europa, llamando mucho la atención que solo tiene instalaciones On-shore, mientras que no tiene instalaciones de parques eólicos marinos, por lo que esto significa que somos el cuarto país que más Energía Eólica terrestre produce, por lo que es imposible no pensar que con instalaciones marinas, sabiendo la gran capacidad de producción que tienen, España aumentaría mucho la energía producida por esta tecnología, convirtiéndose en uno de los países referentes en Energía Eólica.

El problema radica en la geografía de nuestro terreno marino. Si nos fijamos en la figura anterior, Portugal tampoco tiene parques eólicos marinos, ya que nuestra península tiene muy poca plataforma continental, y rápidamente la profundidad del mar supera los 50 metros, haciendo inviable este tipo de proyectos. En las zonas de poca profundidad están muy cercanas a las costas creando un gran impacto medioambiental.

La solución pasa por aerogeneradores flotantes, que es una tecnología que está en proceso de desarrollo y podría radicar la solución en esta tecnología.

Aun así, España es el segundo país de la UE, que más capacidad instalada tienen en lo que hablamos de Energía Eólica, exactamente 27.089 MW, un 3,69% de la potencia eólica mundial, aún lejos del líder europeo que es Alemania con 62.184 MW, con un 8,48%.

A nivel mundial China también es la líder en generación de Energía Eólica con 281.993 MW, un 38,45% de la potencia eólica mundial, seguido por Estados Unidos con 117.744 MW, con un 16,05%, donde España se encuentra en el puesto 5 del Mundo, lo que es una buena noticia, ya que estamos en los puestos de cabeza en términos de generación de Energía Eólica.

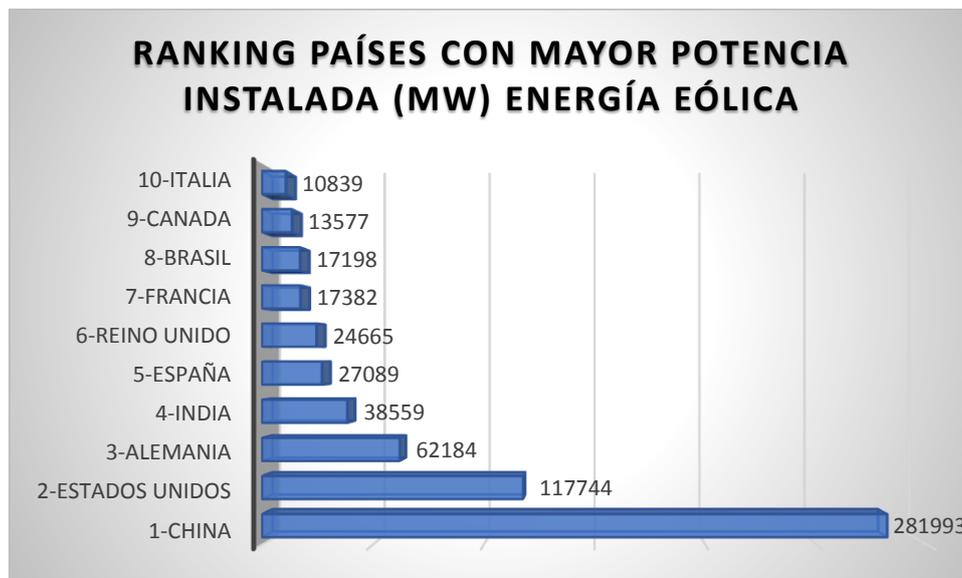


Figura 13. Clasificación de los países con mayor potencia eólica instalada  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

### 2.1.3. Bioenergía

La Bioenergía es la energía renovable que se basa en el aprovechamiento energético de la biomasa.

La Biomasa es el conjunto de la materia orgánica, de origen vegetal o animal, y los materiales que proceden de su transformación natural o artificial. Es decir, es un concepto muy amplio que incluye desde los residuos procedentes de las actividades forestales, agrícolas y ganaderas hasta la fracción orgánica de los residuos domésticos e industriales, pasando por los subproductos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera.

Es un combustible competitivo y neutro en carbono, cuyo aprovechamiento tiene múltiples usos: generación eléctrica, calefacción, agua caliente sanitaria, etc., donde se pueden aplicar principalmente a través de calderas, estufas o chimeneas.

A pesar del gran potencial que esta tecnología tiene en España, únicamente contamos con algo más de un gigavatio de potencia instalada.

La movilización de biomasa no supone únicamente la obtención de un combustible renovable, neutro en cuanto a emisiones de CO<sub>2</sub> y competitivo en precio con los combustibles fósiles que se importan desde fuera de España, sino que también juega un papel fundamental en la mejora de la gestión de los montes y en el desarrollo socio-económico de las áreas rurales españolas. [17]

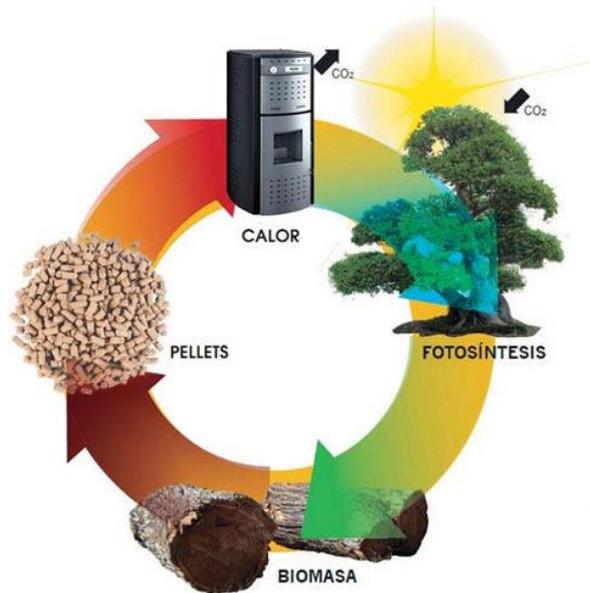


Ilustración 12. Esquema de un ciclo de Bioenergía  
Fuente: [www.grupovisiona.com](http://www.grupovisiona.com)

En España se utilizan varios tipos de biomazas, concretamente biomazas agrícolas, forestales, ganaderas, industriales, y de residuos renovables.

- ❖ Biomazas agrícolas. Pueden ser cultivos agrícolas herbáceos o leñosos producidos con fines energéticos mediante las actividades de cultivo, cosecha y del procesado de las materias primas recolectadas.



Ilustración 13. Cultivo herbáceo destinado a la Bioenergía  
Fuente: [www.eleconomista.es](http://www.eleconomista.es)

- ❖ Biomasa forestales. Pueden ser cultivos forestales producidos con fines energéticos mediante las actividades de cultivo, cosecha y procesado de las materias primas recolectadas, además de biomasa originada durante las operaciones silvícolas en las masas forestales que precisen de permiso de corta o en su defecto plan de ordenación para su extracción. Los residuos generados en la limpieza y en el mantenimiento de las masas forestales y los espacios verdes, también forman parte de este tipo de biomasa.



Ilustración 14. Explotación forestal destinada al uso energético  
Fuente: [www.proinstalaciones.com](http://www.proinstalaciones.com)

- ❖ Biomasa ganaderas. Procedentes de deyecciones animales, en general de naturaleza acuosa, susceptibles de ser digeridas anaeróticamente en digestores diseñados para tal fin con objeto de obtener el biogás producido mediante el proceso de biodigestión de las mismas.



Ilustración 15. Explotación ganadera  
Fuente: [www.energiacastillayleon.com](http://www.energiacastillayleon.com)

- ❖ Biomasa industriales. Son subproductos o residuos procedentes de instalaciones industriales del sector agrícola: producción del aceite de oliva, producción de aceitunas, extracción de aceites de semillas, industria vinícola y alcoholera, conservera, cervecera, producción de frutos secos, producción de arroz, procesado de algas, o bien procedentes de instalaciones industriales del sector forestal: industrias forestales de primera y segunda transformación (mueble, puertas, carpintería, etc.), procedentes de la recuperación de materiales lignocelulósicos (pallets, materiales de construcción, etc.). Estas biomasa pueden tener naturaleza sólida o líquida.

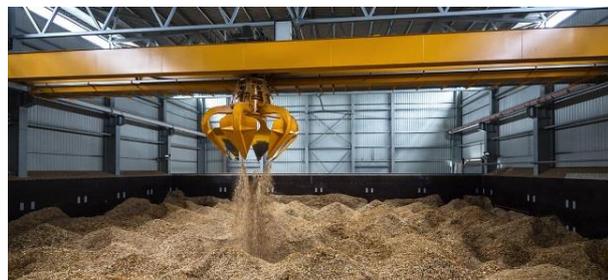


Ilustración 16. Imagen de una industria agrícola  
Fuente: [www.energiacastillayleon.com](http://www.energiacastillayleon.com)

- ❖ Residuos Renovables (FORSU). Se trata de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, también definida como fracción biodegradable de los residuos sólidos urbanos. Se produce en diariamente en los municipios. Se estima que, aproximadamente, la mitad de los residuos municipales generados, son de naturaleza orgánica y, por lo tanto, son considerados biomasa. Estos residuos pasan por las EDAR, (Estación Depuradora de Aguas Residuales), que separan todo este compuesto orgánico del agua.

En Cantabria tenemos el ejemplo de la EDAR Vuelta Ostrera. Situada en Cortiguera, donde utilizan esa fracción de residuos sólidos urbanos, para generar biogás, de manera que alimenta dos generadores, que satisfacen gran parte del consumo energético de la propia EDAR.



Ilustración 17. Imagen aérea de la planta EDAR Vuelta Ostrera  
Fuente: [www.siecsa.com](http://www.siecsa.com)

La energía de los biocarburantes también forma parte de la Bioenergía, ya que son combustibles líquidos o gaseosos para transporte derivados de la biomasa. Son la principal fuente de energía renovable y no agotable, los cuales se aplican en el transporte, principalmente por carretera. Los principales biocarburantes son actualmente el biodiésel, el bioetanol y el hidrobiodiésel.

- ❖ Biodiésel. Es un biocarburante líquido que sustituye al gasóleo fósil, esto es, éster metílico o etílico producido a partir de grasas de origen vegetal o animal. El biodiésel se utiliza en motores diésel mezclado con gasóleo fósil en distintas proporciones o en estado puro. Su aplicación es para los motores diésel.
- ❖ Bioetanol. Es un biocarburante líquido que sustituye a la gasolina fósil. Se obtiene principalmente a partir de materias primas ricas en azúcar, así como a partir de residuos agrícolas, forestales o urbanos. El bioetanol se utiliza en motores de gasolina.
- ❖ Hidrobiodiésel. Hidrocarburo resultante del tratamiento de aceites vegetales o grasas animales con hidrógeno, mediante tecnologías de coprocesado en refinerías. [16]

En la siguiente imagen, podemos ver la potencia instalada en la bioenergía a nivel mundial. Es una tecnología que ha crecido de manera considerable durante la última década, concretamente un 76%. Es la cuarta energía renovable con mayor potencia instalada a nivel mundial.



Figura 14. Evolución de la potencia instalada de Bioenergía mundial  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

Podemos observar que en España estamos muy por debajo de la potencia instalada media de esta tecnología a nivel mundial. Lejos de ese crecimiento del 76%, en España esta tecnología ha sufrido un gran estancamiento durante la última década, donde tan solo ha crecido un 28%, que parece ser un gran crecimiento si no contásemos que desde 2012 la potencia de bioenergía instalada en España ha crecido un 16%, estando estancada desde 2014 a 2018. En 2019 se produjo un buen repunte con un crecimiento del 9%. Es la quinta tecnología de generación de energía renovable en nuestro país, por detrás de la Energía Solar.

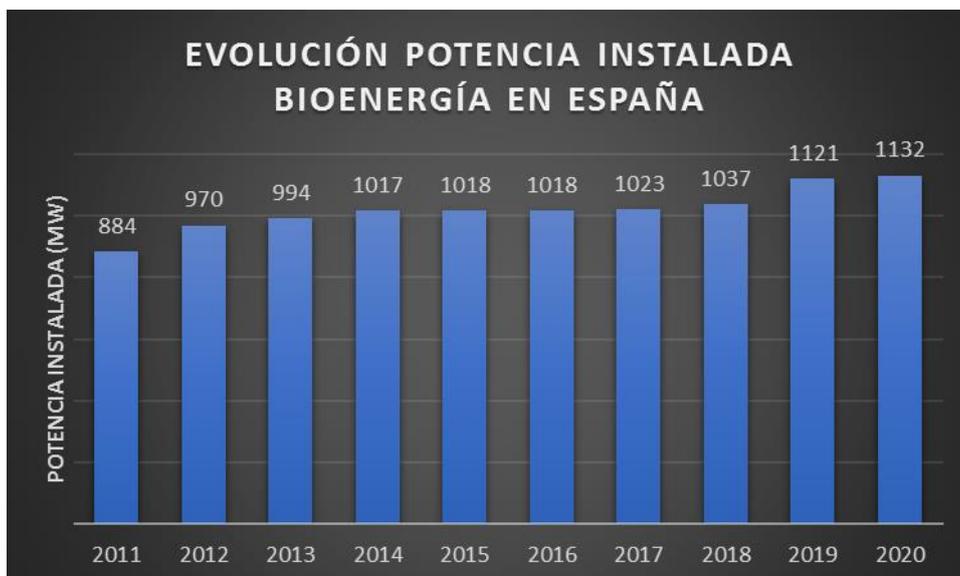


Figura 15. Evolución de la potencia instalada Bioenergía España  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

Como hemos apreciado en los apartados “**2.1.1. Energía Hidráulica**” y “**2.1.2. Energía Eólica**”, España se encuentra en los puestos de cabeza en lo que a potencia instalada se

refiere. Sin embargo, en la potencia instalada de Bioenergía es todo lo contrario, donde podemos observar que estamos lejos en el desarrollo de esta tecnología en España, concretamente en el puesto 19 del mundo, con 1.132 MW, un 0,89% de la potencia instalada en el mundo, frente a 18.687 MW de China que lidera a nivel mundial, con un 14,77% de potencia instalada mundial de Bioenergía y los 10.364 MW de potencia instalados por Alemania que lidera como país de la UE, con un 8,19%.

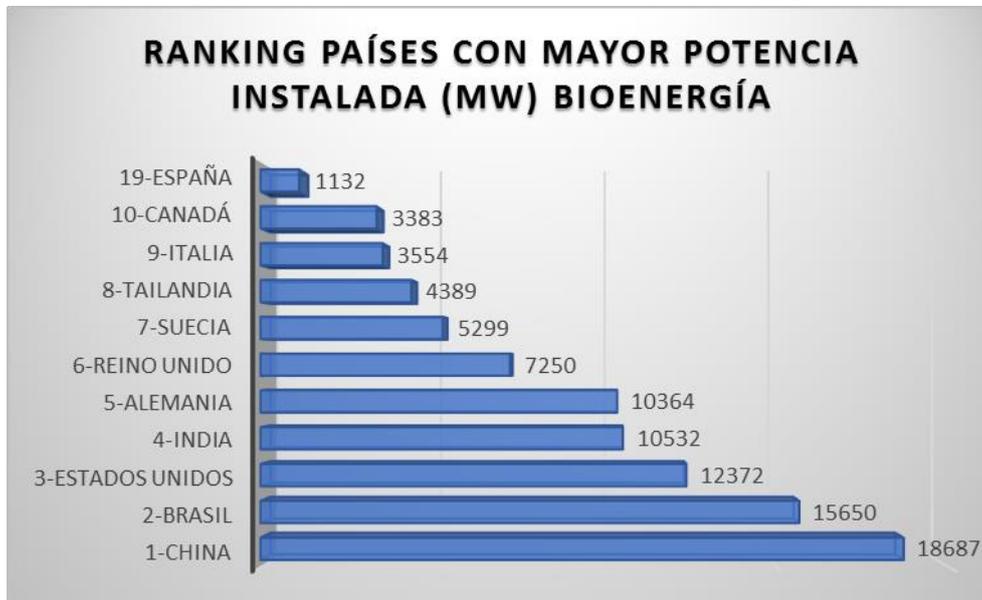


Figura 16. Clasificación de los países con mayor potencia de Bioenergía instalada  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

#### 2.1.4. Energía Geotérmica

La Energía Geotérmica es la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie de la tierra sólida, por tanto, engloba el calor almacenado en rocas, suelos y aguas subterráneas. Esta energía puede aprovecharse para la producción directa de calor o para la generación de electricidad. Es una energía renovable y de producción continua las 24 horas del día.

Existen dos tipos de energía geotérmica: la Energía Geotérmica de Alta Entalpía y la Energía Geotérmica de Baja Entalpía:

- ❖ La Energía Geotérmica de Alta Entalpía es la que aprovecha un recurso geotérmico que se encuentra en determinadas condiciones de presión y alta temperatura, 150°C o superior.
- ❖ La Energía Geotérmica de Baja Entalpía basa sus aplicaciones en la capacidad que el subsuelo posee de acumular calor y de mantener una temperatura sensiblemente constante, entre 10 y 20 m de profundidad, a lo largo de todo el año. Debido a que el calor es insuficiente para producir energía eléctrica, aquellos recursos con temperaturas por debajo de 50°C e incluso hasta 15°C, pueden ser utilizados para producción de agua caliente sanitaria y para climatización, ayudándose de un sistema de bomba de calor.

La producción de energía eléctrica consta por un lado del subsuelo donde se desarrollan los sondeos o perforaciones, que tienen como objeto acceder hasta el reservorio geotermal para extraer el calor a la superficie en forma de vapor a presión o de agua caliente. Por otro lado, está la planta geotérmica, situada en la superficie y cuyo objetivo es la generación de electricidad a partir de la transformación del calor extraído del subsuelo en energía mecánica mediante un ciclo termodinámico.

La producción de calor directo consiste en el intercambio directo del calor del subsuelo con otro circuito secundario en superficie (red de distrito) que calienta de manera directa los edificios. El fluido de agua caliente sirve tanto para calefacción como para agua caliente sanitaria. A través de un convertidor, se puede invertir el proceso generando frío en el verano.

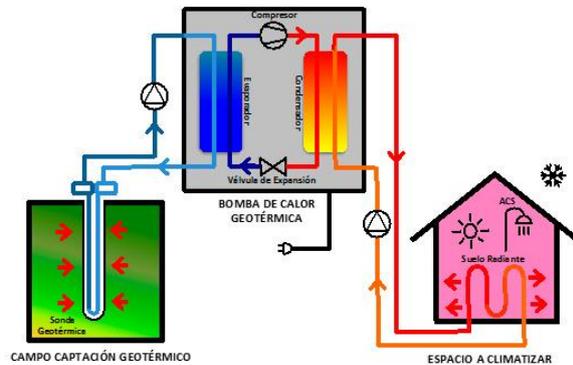


Ilustración 18. Esquema instalación geotérmica  
 Fuente: [www.geotermiavertical.es](http://www.geotermiavertical.es)

Dependiendo de la zona donde nos encontremos, tendremos mayor o menor facilidad para captar el calor interno de la tierra, dependiendo de la profundidad desde ese punto al manto terrestre. Por ejemplo, en España, prácticamente toda la geotermia que tenemos es de baja entalpía, ya que en la península no tenemos zonas volcánicas, o de proximidad con el manto. Sin embargo, en las Islas Canarias, las cuales son islas volcánicas, tienen acceso a la geotermia de alta entalpía., ya que la proximidad de la corteza terrestre al manto es mucho menor.

Existen alrededor de 500 centrales eléctricas que explotan esta fuente renovable de energía en todo el mundo con el fin de generar electricidad o calefacción directamente hogares y edificios, pero aún no se ha implementado ninguna en España, ya que para contar con estas centrales hay que perforar muchos metros como para que la central salga rentable. Solo se utiliza este tipo de energía para la calefacción y el suministro de agua caliente. [18]

En España aún no existen centrales con esta tecnología, por todos los motivos descritos anteriormente. Sin embargo, a nivel mundial es una tecnología en continuo crecimiento, aunque el crecimiento de esta tecnología se ve más condicionado, ya que es un tipo de energía que necesita unas condiciones geográficas más concretas que otras. Su tasa de crecimiento gira en torno al 4% anual.



Figura 17. Evolución de la potencia geotérmica instalada mundial

Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

Como hemos mencionado anteriormente, es una tecnología que necesita unas condiciones geográficas concretas para poder generar Energía renovable de forma rentable. Si observamos la siguiente imagen, vemos que, salvo Estados Unidos, que también está en los puestos de cabeza en potencia geotérmica, hay un gran cambio de los países punteros de esta tecnología de energía renovable siendo estos países que lideran la lista, países donde la actividad volcánica es más frecuente.



Figura 18. Clasificación de los países con mayor potencia de Geotermia instalada

Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

### 2.1.5. Energía Marina

Los océanos tienen un gran potencial energético, que se manifiesta principalmente en las olas, las mareas, las corrientes y en la diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo marino, que, mediante diferentes tecnologías, puede ser transformado en

electricidad y contribuir a satisfacer las necesidades energéticas actuales, conociéndose como Energía Marina al conjunto de tecnologías que aprovechan la energía de los océanos.

Dentro de las Energías Marinas, existen tecnologías claramente diferenciadas, en función del tipo de aprovechamiento energético, como son la mareomotriz, la energía de las corrientes, la energía maremotérmica, la energía undimotriz, y la energía del gradiente salino.

- ❖ Energía Mareomotriz. Aprovecha el movimiento de pleamar y bajar de las aguas que pasan por unas turbinas bidireccionales. Un proyecto de una central mareomotriz está basado en el almacenamiento de agua en un embalse que se forma al construir un dique con unas compuertas que permiten la entrada de agua o caudal a turbinar, en una bahía, cala, o río.



Ilustración 19. Central mareomotriz tipo barrera  
 Fuente: [www.energias.bienescomunes.org](http://www.energias.bienescomunes.org)

- ❖ Energía de las Corrientes. Consiste en el aprovechamiento de la energía cinética contenida en las corrientes marinas. El proceso de captación se basa en convertidores de energía cinética similares a los aerogeneradores empleando en este caso instalaciones submarinas.

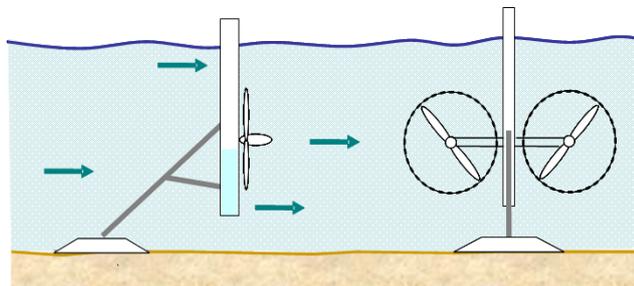


Ilustración 20. Ejemplo funcionamiento con una turbina semisumergible  
 Fuente: [www.ovacen.com](http://www.ovacen.com)

- ❖ Energía Maremotérmica. Consiste en el aprovechamiento de la energía térmica del mar basado en la diferencia de temperaturas entre la superficie del mar y las aguas profundas. Las plantas maremotérmicas transforman la energía térmica en energía eléctrica utilizando el ciclo termodinámico de “Rankine” para producir energía eléctrica cuyo foco caliente es el agua de la superficie del mar y el foco frío el agua de las profundidades.

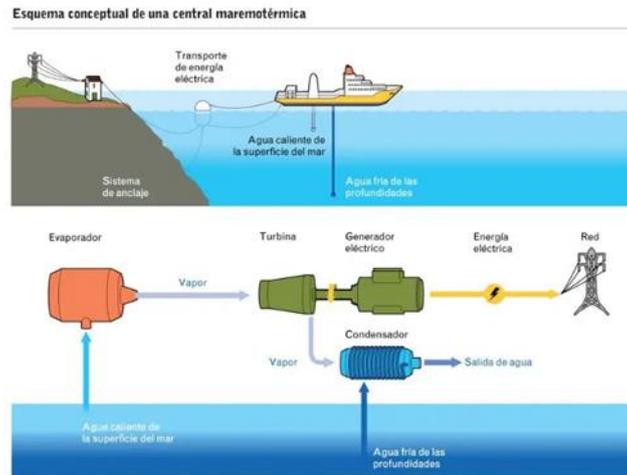


Ilustración 21. Esquema conceptual de una central maremotérmica  
Fuente: [www.ovacen.com](http://www.ovacen.com)

- ❖ Energía Undimotriz. Es el aprovechamiento energético producido por el movimiento de las olas. El oleaje es una consecuencia del rozamiento del aire sobre la superficie del mar, con lo que resulta muy irregular por ello. Se ha llevado al desarrollo de múltiples dispositivos o convertidores de energías del mar según el principio de captación del dispositivo: columna de agua oscilante (OWC), cuerpos flotantes, sistemas de rebosamiento y/o impacto, etc.



Ilustración 22. Sistemas “Balsa de Cockerell” y “columna de agua oscilante”  
Fuente: [www.ingenieros.es](http://www.ingenieros.es)

- ❖ Energía del Gradiente Salino. Es la energía obtenida por la diferencia en la concentración de sal entre el agua de mar y el agua de los ríos mediante los procesos de ósmosis, que es un fenómeno de difusión pasiva que sucede cuando existen dos soluciones en un medio con diferente concentración de solutos, donde una membrana semipermeable deja pasar solo el disolvente. [17]

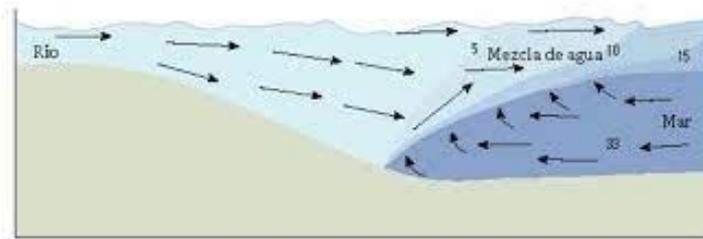


Ilustración 23. Ilustración de la zona donde se juntan el río y el mar  
 Fuente: www.amip.org.mx

La Energía Marina es una de las energías renovables por las que menos se está apostando en la actualidad, ya que solo una parte de los países del mundo tiene acceso a ella, además de ser una tecnología de la que queda aún mucho por desarrollar.

Su potencia actual instalada mundial es de tan solo 527 MW, donde en la última década tan solo ha crecido en 24 MW, frente a las decenas y centenas de miles de otras tecnologías renovables, un 4,7%, además de estar prácticamente estancada desde el año 2016.



Figura 19. Evolución de la potencia de Energía Marina instalada mundial  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

En España la energía marina es casi inexistente. En 2016, 5 MW que fueron instalados, lo que ha sido la única instalación en energía marina que se ha instalado hasta el momento.

Es una tecnología que necesita las condiciones geográficas concretas, las cuales las tenemos en nuestro país, por lo que en España tenemos una gran fuente de energía para explotar y desarrollar de cara al futuro, ya que es una Energía Renovable que depende del oleaje, la fuerza de las corrientes, lo que en España tenemos estos recursos de sobra, donde por ejemplo tenemos el Estrecho de Gibraltar, un paso del Mar donde el movimiento del Mar es enorme e ilimitado.

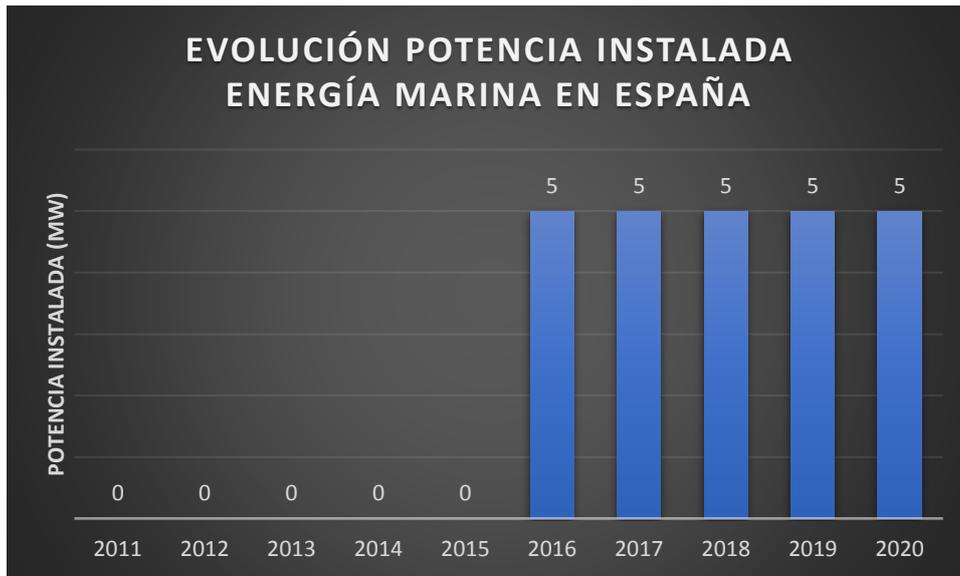


Figura 20. Evolución de la potencia de Energía Marina instalada en España  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

No obstante, España se encuentra en el puesto número 5, igualando su mejor resultado con la Energía Eólica, aunque como ya hemos comentado tan solo disponemos de 5MW, con un 0,95% de la Energía Marina mundial. Tan solo hay 2 países que hayan explotado en mayor medida esta tecnología, los cuales son Corea con 256 MW, un 48,58% de la Energía Marina mundial y Francia como primera potencia europea, con 214 MW instalados con un 40,61%, lo que equivale a que solo estos dos países cuenten con prácticamente el 90% de la Energía Marina mundial.

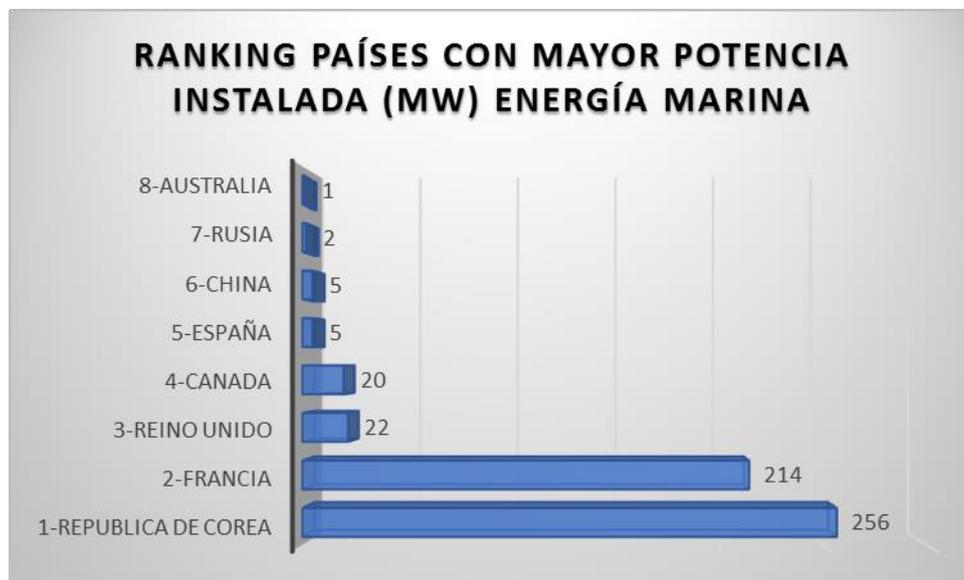


Figura 21. Clasificación de los países con mayor potencia Marina instalada  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

### 2.1.6. Energía Solar

La Energía Solar es la energía proveniente del sol. De forma continua, el sol emite una enorme cantidad de irradiación lo que se traduce en una gran cantidad de energía, de

hecho, emite más energía en un segundo de la que hemos utilizado en la humanidad desde siempre.

Esta gran cantidad de energía viene del interior del sol, concretamente del núcleo mediante una fusión nuclear, donde se produce una gran presión y temperatura. Durante la fusión nuclear se pierde una parte de la materia, la cual es emitida al espacio como irradiación. Una pequeña parte de esta irradiación llega a la superficie terrestre, que, aunque sea una mínima parte de la energía que se generó en el sol, es una gran cantidad de energía la que nos llega.



Ilustración 24. Imagen espacial de la radiación del Sol  
Fuente: [www.bbc.com](http://www.bbc.com)

La Energía Solar es la energía producida por la luz del sol, para generar electricidad y el calor del sol para la producción de calor. Al ser el sol la fuente de energía, se considera un tipo de energía inagotable y renovable, que se obtiene por medio de paneles y espejos.

Las células solares fotovoltaicas convierten la luz del sol directamente en electricidad por el llamado efecto fotoeléctrico, (Energía Fotovoltaica). Por otro lado, los colectores solares térmicos usan paneles o espejos para absorber y concentrar el calor solar, transferirlo a un fluido y conducirlo por tuberías para su aprovechamiento en edificios e instalaciones, (Energía Solar Térmica), aunque con las plantas solares térmicas también producen electricidad.

Es un tipo de energía que tiene numerosos beneficios. Es una manera de producir energía siendo respetuosa con el medio ambiente, y con el ser humano ya que no emite gases de efecto invernadero ni sustancias tóxicas que puedan modificar la salud de los seres vivos. Es una fuente renovable e inagotable, disponible en todo el mundo. Hoy en día es una de las tecnologías para la producción energética no solamente más económicas gracias a la innovación tecnológica como la mejora en los costes de esta tecnología, si no de las más sostenibles. Además, es una energía autóctona, la cual está disponible en la totalidad del planeta, lo que contribuye a la reducción de importaciones energéticas y al fomento de la economía y el empleo local. [19]

Esta tecnología es una de las más desarrolladas, no solo a nivel nacional, sino también de manera internacional, ya que el sol es un recurso que se encuentra en casi toda la totalidad de nuestro planeta, pudiéndonos aprovechar de esta tecnología prácticamente en cualquier parte de mundo.

Sin ninguna duda, La Energía Solar es la Energía Renovable que más ha crecido en la última década a nivel mundial. Es una tecnología que a nivel mundial ha tenido una evolución constante, aproximadamente un 30% de crecimiento anual, llegando a los 713.970 MW instalados, un crecimiento del 968,16%, triplicando el crecimiento de la segunda energía renovable, la eólica.

Se ha convertido en la tercera energía renovable en potencia instalada del mundo, alcanzando a la Energía Eólica, aunque visto el crecimiento que está teniendo la Energía Solar, en el último año un 21,60%, es cuestión de tiempo que supere a la Energía Eólica y se convierta en la segunda energía renovable con más potencia instalada en el mundo.

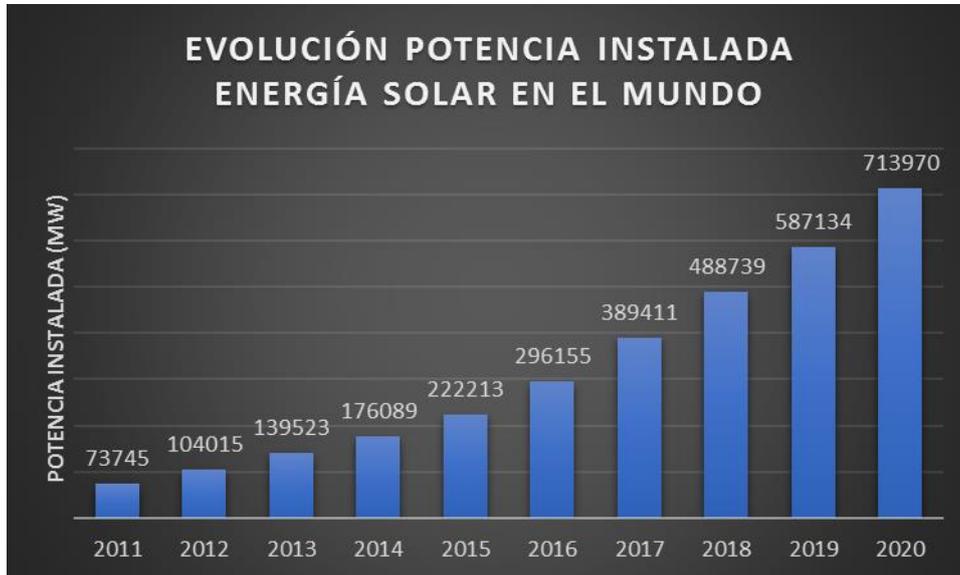


Figura 22. Evolución de la potencia de Energía Solar instalada mundial  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

En España, la Energía Solar ha estado estancada durante varios años. A raíz de la reforma legislativa para esta tecnología se ha producido un “boom solar”, pasando de una tasa de crecimiento nula, a en los últimos 2-3 años, producirse un gran salto, creciendo la potencia solar instalada en nuestro país, un 59,55% solo en un año, creciendo de nuevo en 2020 un 24,93%, pasando a tener 14.089 MW solares instalados

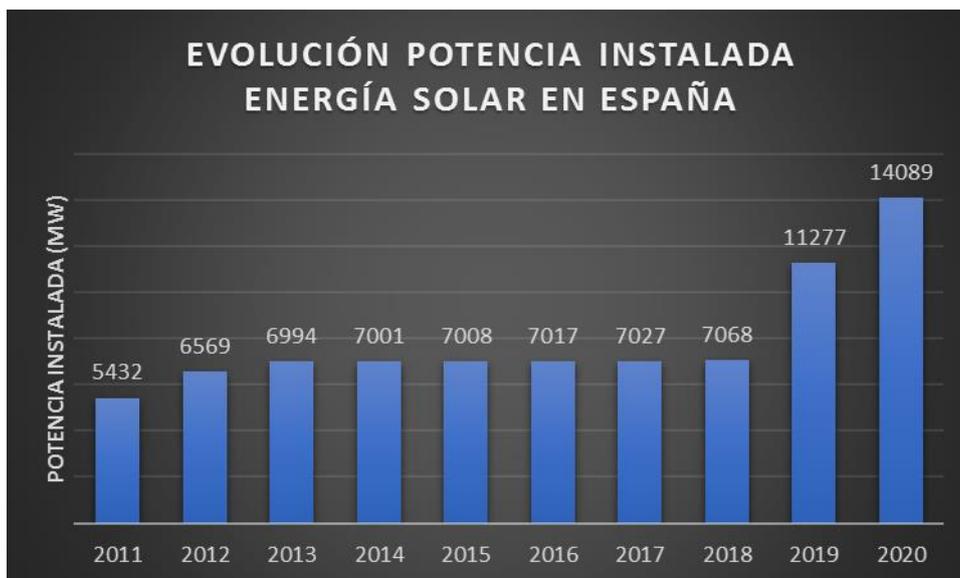


Figura 23. Evolución de la potencia de Energía Solar instalada en España  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

Gracias a esta subida de potencia solar, España ha conseguido entrar en el “Top 10” de los países con más potencia solar instalada, situándose en el puesto número 9, con 14.089 MW, un 1,97% de la potencia solar mundial.

Es la tercera potencia europea, aunque aún lejos de Alemania e Italia que lideran la lista en Europa. Una vez más, China es el país, con mucha diferencia que más potencia solar tiene instalada, un 35,62% de la potencia solar mundial.

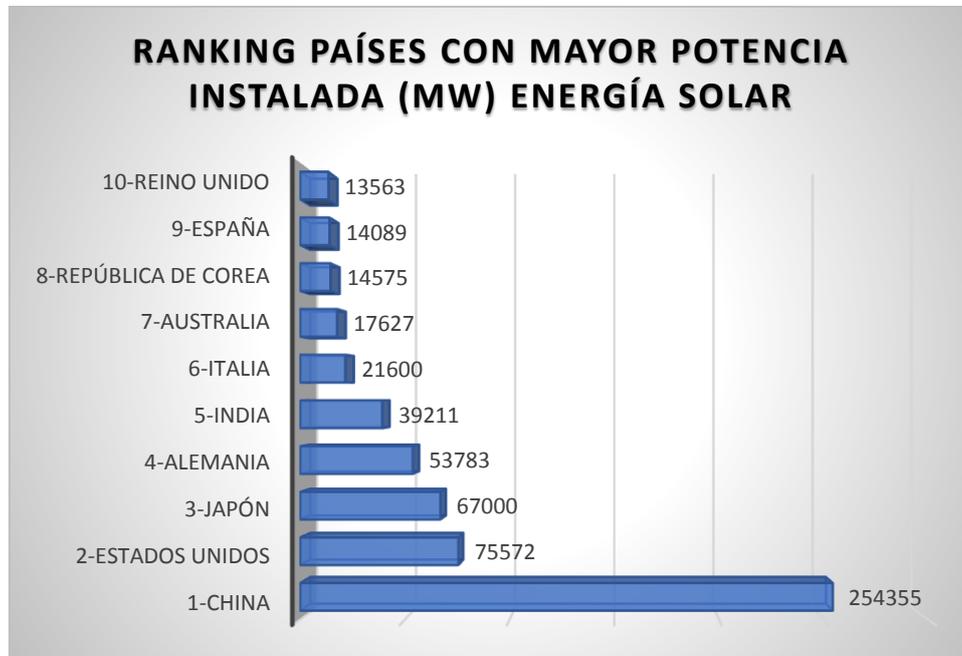


Figura 24. Clasificación de los países con mayor potencia solar instalada  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

#### 2.1.6.1. Energía Solar Térmica

La Energía Solar Térmica es la que consiste en el aprovechamiento de la energía del sol para producir calor. Esta energía se aprovecha principalmente para la producción de agua caliente sanitaria, climatización de piscinas y calefacción. Adicionalmente puede emplearse para la producción de electricidad, como es el caso de las centrales termosolares.

Su funcionamiento se basa en un fluido caloportador que es calentado por el sol. Los captadores solares, (paneles termosolares), captan el calor de la radiación que emite el sol. Este fluido caloportador almacena esa energía captada por el sol para transferirla a otro fluido de trabajo, es decir, se capta la energía radiante del sol para transformarla directamente en energía térmica, aumentando la temperatura del fluido de trabajo, para que este posteriormente ceda la energía a su receptor, sea para ACS, calefacción, climatización, etc.

Una instalación solar térmica consta de los siguientes equipos:

- ❖ Captadores solares (paneles termosolares). Captan la energía solar para transmitirla al fluido que circula por él.
- ❖ Acumuladores. Almacenan la energía en forma de agua caliente para que pueda ser utilizada en los momentos de poca radiación solar.

- ❖ Intercambiadores de calor. Se encarga de transferir el calor que transporta el fluido caloportador al agua sanitaria del acumulador, sin que estos líquidos se mezclen.
- ❖ Bombas de circulación. Están accionadas por un motor eléctrico y son capaces de suministrar al fluido, una cantidad de energía suficiente para transportar el fluido a través de un circuito.
- ❖ Vaso de expansión. Absorbe las dilataciones del fluido contenido en un circuito cerrado, producidas por aumentos de temperatura.

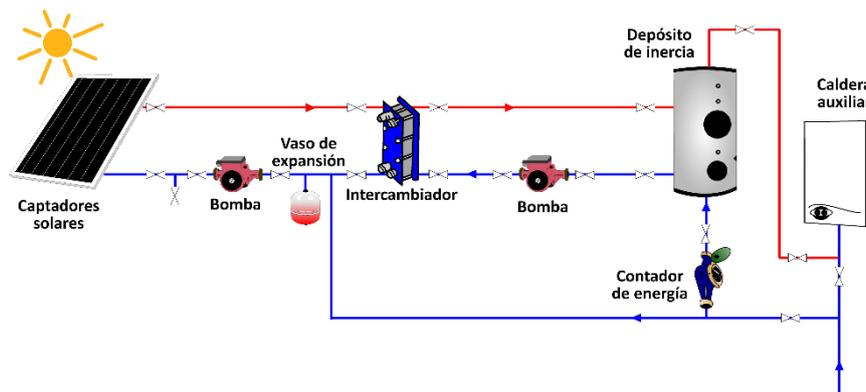


Ilustración 25. Esquema de una instalación termoeléctrica  
Fuente: [www.cenitsolar.com](http://www.cenitsolar.com)

Esta tecnología supone la disminución del consumo de energía primaria y de emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes a la fuente energética a la que sustituye y que abastece dichas demandas. Supone, por tanto, la mejora de la eficiencia energética de los edificios, industrias, etc., donde la energía solar térmica se incorpora. Las instalaciones solares térmicas precisan de un mantenimiento mínimo y disponen de sistemas de control para su seguimiento remoto, ofreciendo así todas las garantías en materia de seguridad y comodidad de uso. [17][20][21]

En el siguiente gráfico podemos observar la energía generada en GWh, de los últimos 11 años en España, donde podemos ver de forma clara la evolución en la generación de energía mediante la tecnología termo solar, consiguiendo su generación máxima en el año 2017. En los últimos años podemos observar como la generación se mantiene o disminuye levemente.

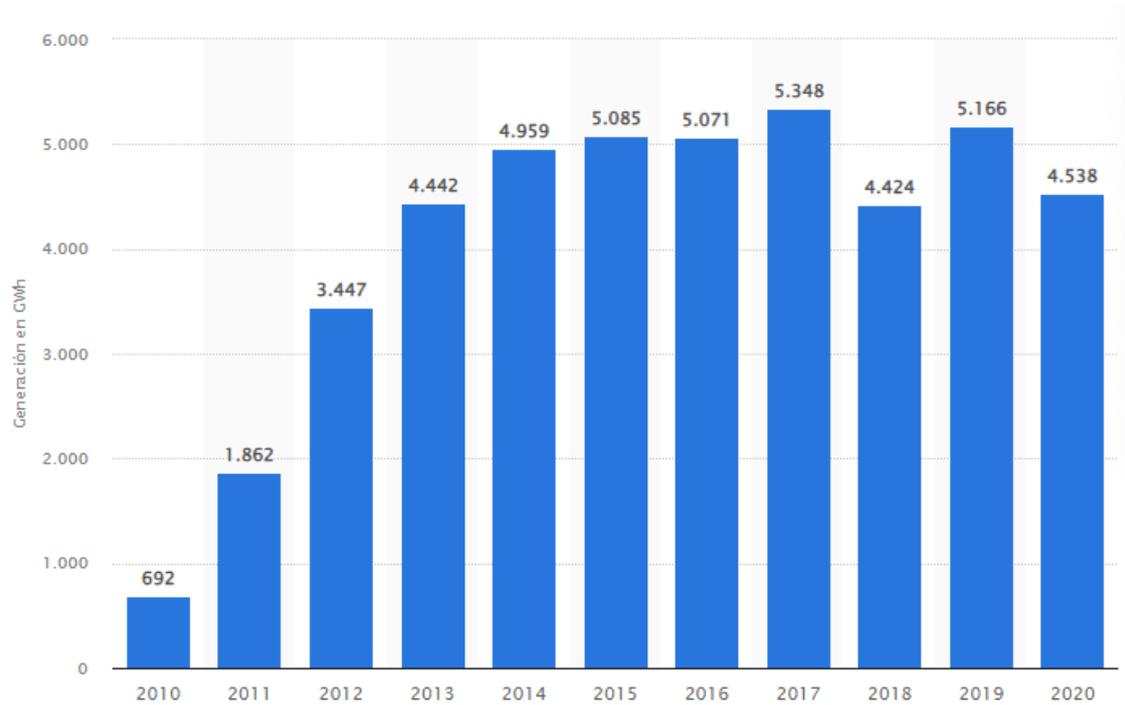


Figura 25. Evolución de la Energía Solar Térmica generada en España  
 Fuente: [www.es.statista.com](http://www.es.statista.com)

Para finalizar con esta tecnología vamos a observar la evolución de su potencia instalada tanto en España como en el mundo.

Vemos que la potencia solar térmica mundialmente instalada es una pequeña parte de la potencia solar mundial, concretamente tenemos instalados en el mundo 6.475 MW solares térmicos, de los 713.970 MW solares instalados, tan solo un 0,90% de la potencia solar mundial.

Es una parte de la Energía Solar que ha crecido mucho en los últimos 10 años, concretamente un 379%, aunque a diferencia de la Energía Solar Fotovoltaica en el último año apenas ha crecido un 1,58%, un frenazo más que considerable si comparamos el crecimiento de la última década con el del último año.

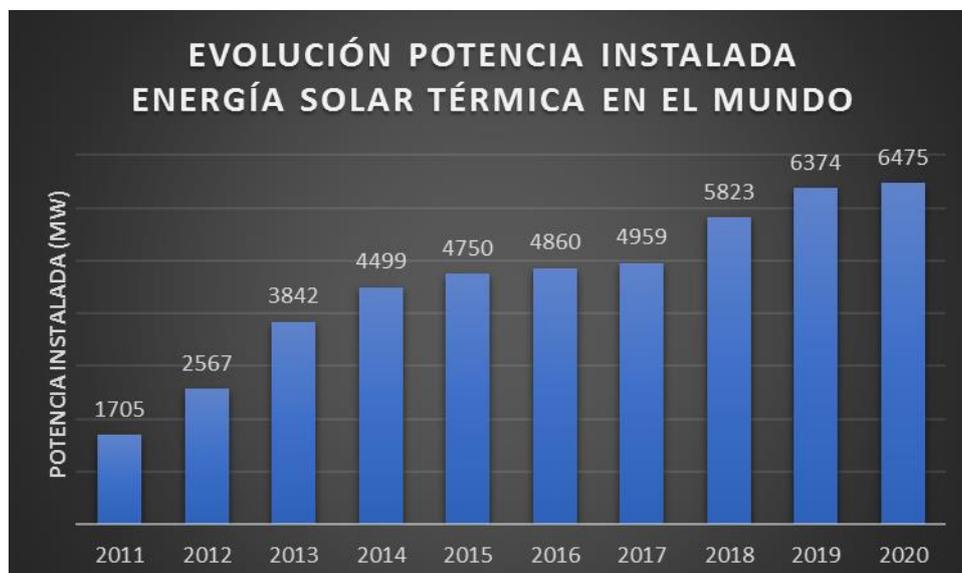


Figura 26. Evolución de la potencia de Energía Solar Térmica instalada mundial  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

Observamos que en España es una tecnología que en la última década no se ha continuado desarrollando. El motivo, es el gran desarrollo que está teniendo la energía solar fotovoltaica, que con la gran evolución que está teniendo esta tecnología está acaparando la energía solar térmica. A principios de la última década hubo un gran salto, donde casi se dobló la potencia instalada de 2011 a 2012.

En el año 2013 se alcanzaron los 2.304 MW solares térmicos instalados en nuestra península, deteniéndose su crecimiento hasta la actualidad, donde seguimos contando con esos 2.304 MW.

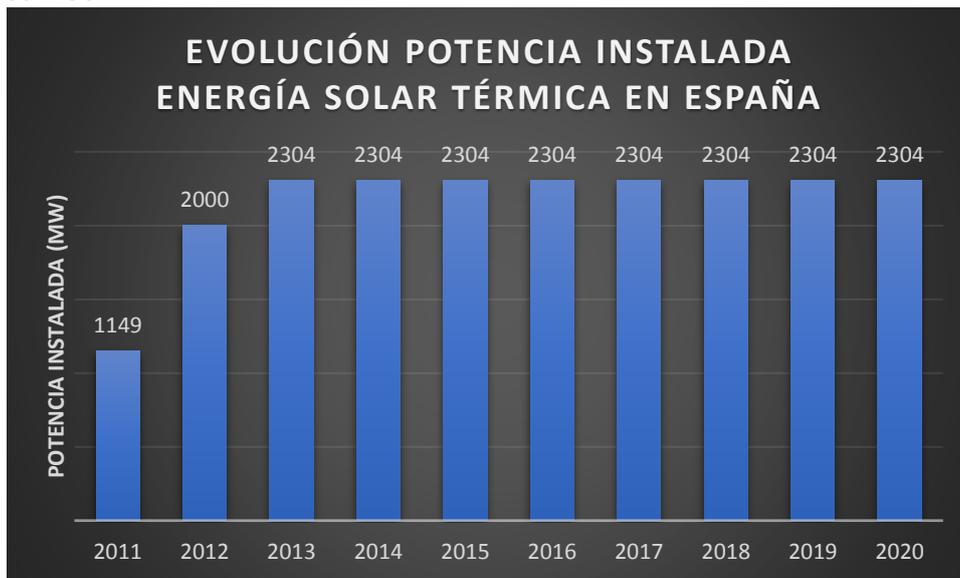


Figura 27. Evolución de la potencia de Energía Solar Térmica instalada en España  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

A pesar de estar estancada en España, somos los referentes en esta energía renovable, liderando no solamente en Europa, sino también en el mundo, donde con los 2304 MW España es el país que más potencia solar térmica tiene instalada en el mundo, exactamente un 35,58% la de Energía Solar Térmica del planeta.



Figura 28. Clasificación de los países con mayor potencia Solar Térmica instalada  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

### 2.1.6.2. Energía Solar Fotovoltaica

La Energía Solar Fotovoltaica transforma de manera directa la luz solar en electricidad empleando una tecnología basada en el efecto fotovoltaico.

Al incidir la radiación del sol sobre una de las caras de una célula fotoeléctrica (que conforman los paneles) se produce una diferencia de potencial eléctrico entre ambas caras que hace que los electrones salten de un lugar a otro, generando así corriente eléctrica.

La energía eléctrica generada mediante paneles solares fotovoltaicos es inagotable y no contamina, por lo que contribuye al desarrollo sostenible, además de favorecer el desarrollo del empleo local.

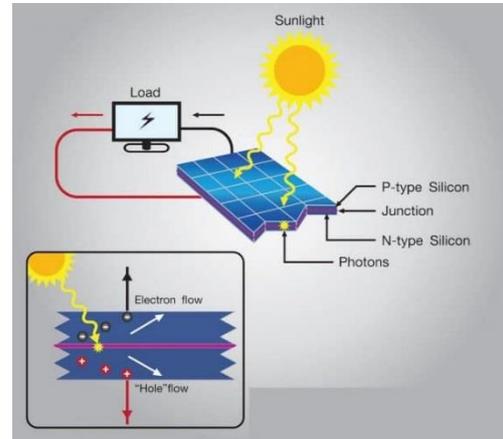


Ilustración 26. Esquema funcionamiento celular solar fotovoltaica  
 Fuente: www.ecoinventos.com

Es un sistema particularmente adecuado para zonas rurales o aisladas donde el tendido eléctrico no llega, es dificultosa o costosa su instalación o para zonas geográficas cuya climatología permite muchas horas de sol al año, ya que se puede utilizar para autoconsumo y no depender de la red convencional.

El coste de instalación y mantenimiento de los paneles solares, cuya vida útil media es mayor a los 30 años, ha disminuido ostensiblemente en los últimos años, a medida que se desarrolla la tecnología fotovoltaica. Requiere de una inversión inicial y de pequeños gastos de operación, pero, una vez instalado el sistema fotovoltaico, el combustible es gratuito y de por vida. [16]

En la siguiente gráfica es donde se justifica el crecimiento de la Energía Solar en el Mundo, ya que a diferencia de lo que hemos visto en el apartado “2.1.6.1 Energía solar térmica”, el crecimiento ha sido continuo durante toda la última década, creciendo un 982%, y un 21,82% solamente en el último año.

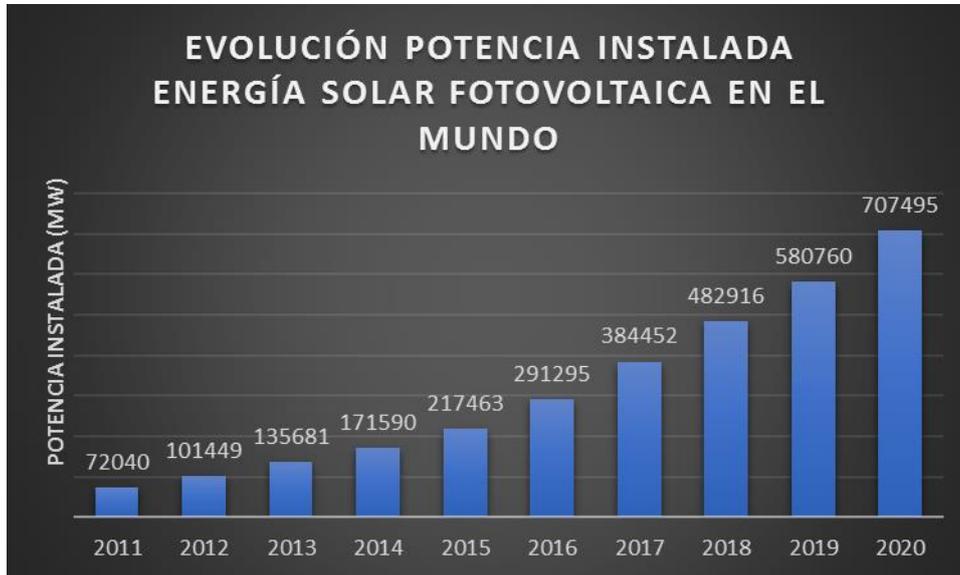


Figura 29. Evolución de la potencia de Energía Solar Fotovoltaica instalada mundial  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

Sin duda la Energía Solar Fotovoltaica es la energía renovable que más en auge está, donde las previsiones de crecimiento son inmensas y la apuesta por esta tecnología está siendo muy fuerte a nivel mundial.

Se está convirtiendo en una de las energías renovables más importantes y como siga esta evolución, en un futuro muy cercano será la gran apuesta mundial en energías renovables, ya que el principal recurso o materia prima que se necesita, lo tiene prácticamente a totalidad del planeta.

En España ha sucedido lo mismo con este tipo de energía renovable, pero de diferente manera. Durante la última década, como ya hemos hablado anteriormente en el apartado, “2.1.6. Energía solar”, en España la Energía Solar se estancó debido a motivos legislativos, pero con la reforma legislativa que hubo, se empezó a recuperar el tiempo perdido con un gran boom que hubo en el año 2019, donde la Energía Solar Fotovoltaica creció en ese año un 88,35%, y al año siguiente otro 31,34%, llegando a los 11.785 MW fotovoltaicos instalados.

De continuar con esta progresión en la evolución de la Energía Solar Fotovoltaica, esta no va a tardar en adelantar a la Energía Eólica como segunda fuerza en Energías Renovables en nuestro país, y en un futuro cercano, de seguir así, la energía fotovoltaica llegara a ser la referente en Energías Renovables en nuestro país.

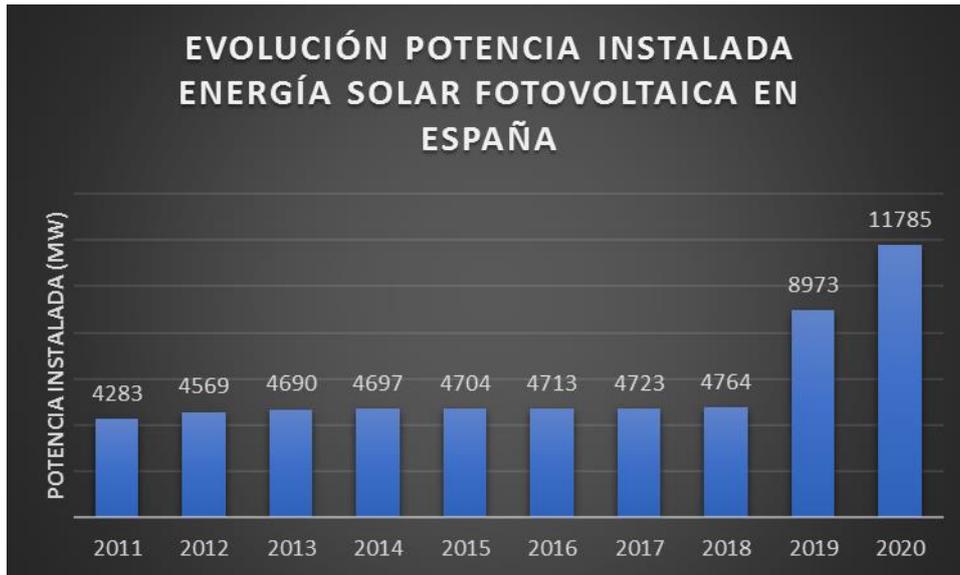


Figura 30. Evolución Potencia Solar Fotovoltaica Instalada en España  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

A pesar de esa gran evolución de la Energía Solar Fotovoltaica en España, a diferencia de la Energía Solar Térmica, se encuentra lejos de los puestos de cabeza, aunque si entre los 10 primeros países del mundo, con un 1,67% de la Energía Solar Fotovoltaica instalada en el planeta, donde una vez más lidera China con un amplio margen con 253.834 MW fotovoltaicos instalados, un 35,88% de la potencia fotovoltaica mundial.

España es la cuarta fuerza europea en esta tecnología, liderando en Europa Alemania con 53.781 MW instalados, un 7,60% de la potencia solar fotovoltaica mundial.

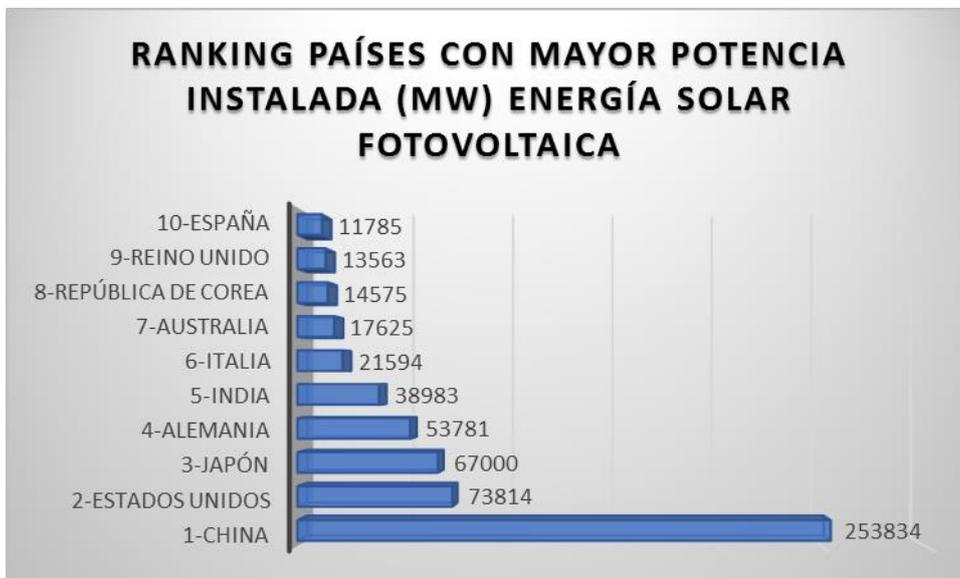


Figura 31. Clasificación de los países con mayor potencia Solar Fotovoltaica instalada  
 Fuente: IRENA (Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada)

La Energía Solar Fotovoltaica puede aprovecharse de dos formas diferentes: puede venderse a la red eléctrica o puede ser consumida en lugares aislados donde no existe

una red eléctrica convencional, que es el método que vamos a desarrollar en el siguiente estudio.

### Sistema fotovoltaico aislado

Cuando hablamos de un sistema fotovoltaico de autoconsumo hablamos de la energía que se genera para el consumo directo y personal, lo que conlleva a un ahorro tanto económico como energético. Mediante unos paneles fotovoltaicos se capta la luz solar, generando energía en corriente continua, que, gracias al inversor solar, transformaremos esa energía en corriente alterna lista para consumir. Una instalación fotovoltaica de autoconsumo se alimenta de forma principal de la instalación fotovoltaica, sin embargo, en caso necesario se alimenta de la red, ya que no significa que el tener tu propia planta generadora de electricidad te excluye de la conexión a la red eléctrica, ya que son dos sistemas completamente compatibles. Puede surgir el caso de que se creen excedentes, es decir, que nuestra planta de autoconsumo genere más energía de la que podemos consumir, lo que dará opción a dos posibilidades, pudiendo vender la energía sobrante, o ahorrar en tu factura ya que dejas de pagar gran parte de ella.



Ilustración 27. Instalación solar fotovoltaica aislada en vivienda unifamiliar  
Fuente: [www.ercam.es](http://www.ercam.es)

Las principales ventajas de esta tecnología es que la materia prima que es el sol es gratuito, limpia, renovable e ilimitada, aunque la gran ventaja es conseguir esa independencia energética, total o parcial, pudiendo decidir cómo y cuándo consumir la energía que se almacena en nuestro sistema sin ningún coste.

Otra ventaja que hoy en día es muy importante, es que el coste de esta energía no va a cambiar a lo largo de los años, mientras que siendo totalmente dependiente de la red eléctrica los precios van a cambiar continuamente, siendo el cambio la gran mayoría de las veces ascendente.

### Sistema fotovoltaico conectado a red

Este sistema consiste en varios generadores fotovoltaicos, que, mediante una configuración determinada, están acoplados a uno o varios inversores, que trabaja en paralelo con la línea eléctrica de transporte.

Los módulos fotovoltaicos (generadores), captan la luz proveniente del sol, generando energía en corriente continua, que tras su paso por el o los inversores, se convierte en energía eléctrica alterna. Una vez que la corriente ha pasado por los inversores pasa de baja tensión a media tensión. Sin embargo, hay que verter esa energía eléctrica de media tensión a una línea eléctrica de media o alta tensión, por lo que tendremos que elevar esa tensión que hemos generado hasta la tensión que nos requiera la línea eléctrica en la que queremos evacuar, por lo que tendrá que ir dirigida hacia la zona de transformación que será el encargado de realizar esa función.

Normalmente, este tipo de plantas suelen ser de varios megavatios de potencia, aunque también se construyen de varios kilovatios, dependiendo de las condiciones geográficas, climáticas, de la zona y sobre todo de la opción de evacuación de energía de esa planta, ya que si no tienes un punto cercano donde poder evacuar, el proyecto no será viable, salvo que sea un proyecto de centenares de megavatios, donde si es factible incluir en el propio proyecto la manera propia de evacuar la energía generada.

Este es el sistema que vamos a desarrollar en nuestro proyecto [22]

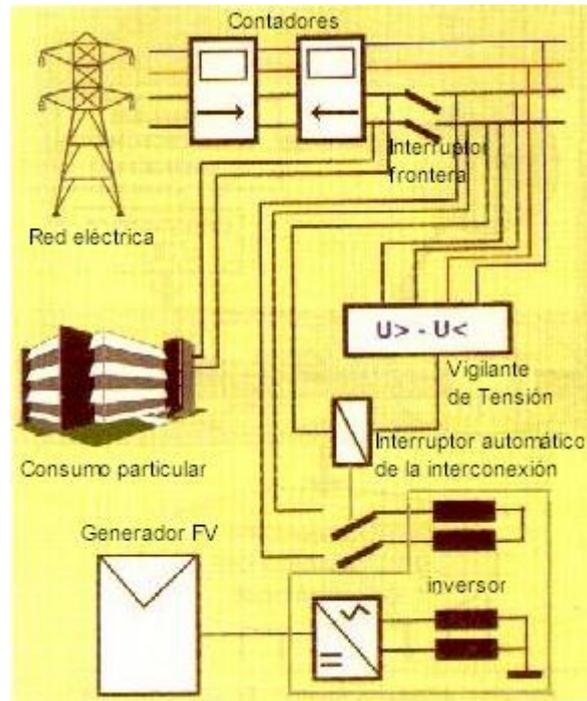


Ilustración 28. Diagrama de un edificio fotovoltaico conectado a la red mostrando los elementos básicos de un SFCR

Fuente: [www.ercam.es](http://www.ercam.es)

### **3. ALCANCE Y OBJETIVOS**

El objeto del presente proyecto básico es el de especificar las condiciones técnicas para la construcción de la Planta Solar Fotovoltaica, “PSFV LAS PALOMAS”.

La energía eléctrica producida por la instalación se inyectará a la red de media tensión de 13 kV, que suministrará a la subestación “STR OLMEDO”.

A continuación, nombraremos las principales características de la planta solar fotovoltaica que estudiaremos a lo largo del presente proyecto, en el que se contemplarán los siguientes puntos:

- ❖ Localización de la planta.
- ❖ Análisis del terreno
- ❖ Características principales de los equipos elegidos
- ❖ Componentes de la instalación.
- ❖ Solución adoptada para la configuración de la planta.
- ❖ Cálculo de producción de la planta mediante el programa informático PVSyst.
- ❖ Criterios de diseño y descripción de la red de media y baja tensión.
- ❖ Funcionamiento de la tecnología solar fotovoltaica.
- ❖ Cálculo de la radiación solar disponible y previsión de energía generada.
- ❖ Cálculo estructural (orientación e inclinación óptima de paneles FV, etc.).
- ❖ Distribución física de los elementos.
- ❖ Cálculo eléctrico (esquema eléctrico, cableado, etc.).
- ❖ Viabilidad ingresos-costes del proyecto

## **4. RESUMEN EJECUTIVO**

Se presentan a continuación los datos básicos de la planta, información de los equipos y producción de energía.

#### 4.1. UBICACIÓN

La Planta Solar Fotovoltaica "Las Palomas" se ubica en la provincia de Valladolid, concretamente en el municipio de Olmedo, a unos 2,5 km al sur-este del municipio de Olmedo.

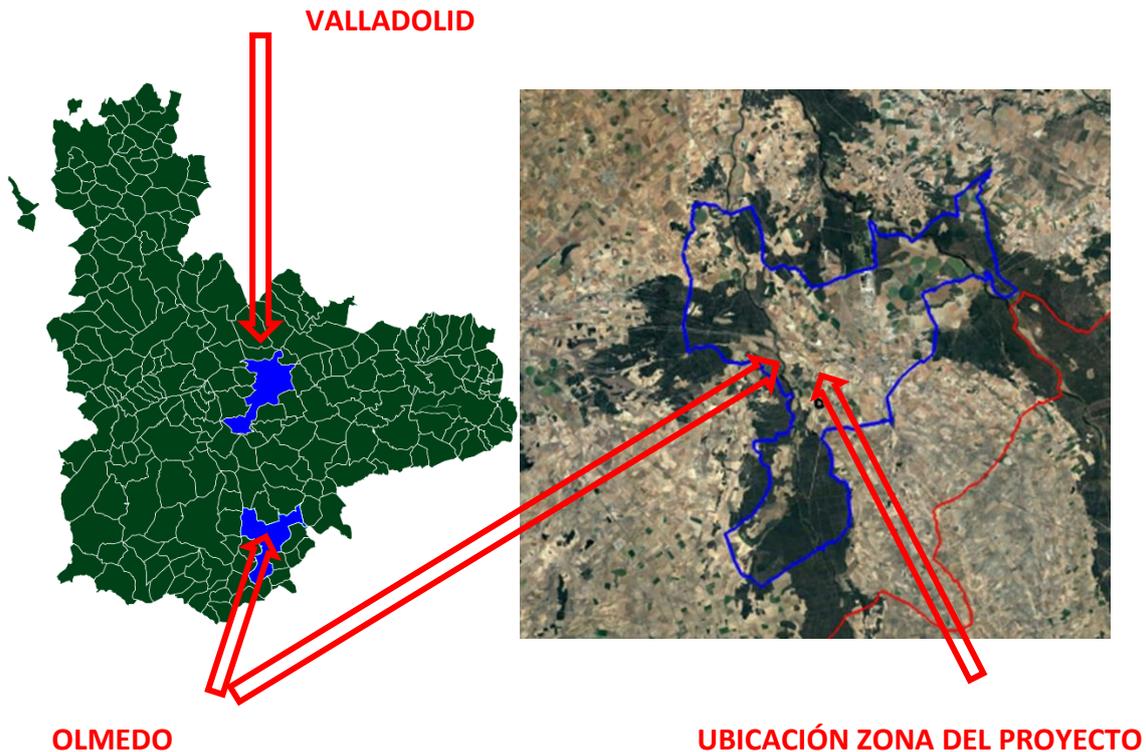


Ilustración 29: Ubicación geográfica de la zona del proyecto  
 Fuente: Elaboración propia

Las coordenadas de referencia propuestas para su ubicación se muestran en la tabla siguiente:

Planta Solar Fotovoltaica "Las Palomas"			
Coordenadas UTM ETRS89-H30N		Coordenadas geográficas	
X	356055,171	Latitud	41,270428°
Y	4570201,899	Longitud	-4,718569°

Tabla 2: Coordenadas ubicación del terreno en estudio  
 Fuente: Elaboración propia

La parcela cuenta con una superficie de 11 Ha, está situada en el polígono 5 parcela 89 en Otero de las Palomas, Olmedo, con la referencia catastral 47105A005000890000XH. La parcela tiene calificación de suelo rústico, y su uso es completamente agrario.

A priori, el terreno presenta varias condiciones favorables, como la tendencia de la pendiente, el paso de una línea eléctrica para la evacuación de la energía generada, y una buena accesibilidad.

#### **4.2. TIPO DE TERRENO**

El terreno presenta pendientes relativamente uniformes entre 0 y 12%, con orientaciones predominantes Este y Sur.

El terreno es rocoso de compacidad media-alta. La elevación del sitio se sitúa aproximadamente en los 740 metros sobre el nivel del mar.

#### **4.3. POTENCIA**

La potencia nominal de la planta es de 3,44 MW.

La potencia instalada de inversores es de 3,44 MW.

La potencia pico de la planta (CC) es de 4,12 MWp. [32]

#### **4.4. INVERSOR FOTOVOLTAICO**

Fabricante y modelo: HUAWEI SUN2000-215KTL-H0

Potencia: 200 kW / 215 kVA.

Número total de inversores en planta: 16. [32]

#### **4.5. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**

Fabricante y modelo: Hi-Mo LR5-72HBD 530P

Potencia: 530 Wp.

Número total de módulos fotovoltaicos: 7776. [32]

#### **4.6. ESTRUCTURA FIJA**

Fabricante y modelo: STI Norland. Modelo a petición del cliente.

Tipo de fijación al terreno: Estructura hincada, debido al recorte de los tiempos de ejecución de las obras y la reducción de los costes de mano de obra y materiales necesarios, frente a la cimentación de zapatas a base de hormigón.

Según información del estudio geotécnico facilitado el hincado podría ser factible. Serán necesarias las pruebas correspondientes por parte del proveedor para verificar la viabilidad y establecer los parámetros del hincado.

Tipo: Estructura biposte, para un mejor reparto de cargas, y por lo tanto una mayor resistencia.

Configuración: 27 módulos fotovoltaicos por estructura, 3 filas de 9 módulos por 9 columnas de 3 módulos.

Número total estructuras fijas: 288. [32]

#### **4.7. EVACUACIÓN ELÉCTRICA DE LA ENERGÍA**

Conexión con línea eléctrica de 13 kV que pasa por el interior del terreno. [32]

#### **4.8. GENERACIÓN ELÉCTRICA**

La producción anual es de 6799 MWh/año. A continuación, se muestra el resumen de los valores de producción: [32]

Resumen Producción	
Producción	7.824 MWh/año
Pérdidas de planta	1.025 MWh/año
Producción Neta (con limitación ante sobrecarga de planta)	6.799 MWh/año

Tabla 3: Resumen de la producción energética de la planta "PSFV Las Palomas"  
Fuente: Elaboración propia (PVSyst)

## **5. ANÁLISIS DEL TERRENO**

### 5.1. OBJETO

A continuación, se analizarán las condiciones orográficas del terreno, con el fin de conocer con más detalle los condicionantes para la instalación de la planta fotovoltaica.

### 5.2. DATOS DE PARTIDA

En la realización del estudio se ha utilizado la documentación y se han tomado las consideraciones que a continuación se exponen:

- ❖ Curvas de nivel interpoladas a partir de datos de elevación satélite.
- ❖ Contorno del terreno disponibles.
- ❖ Límite técnico para la instalación de las estructuras fijas del 10% de pendiente. Este dato debe ser confirmado por parte del fabricante del equipo.
- ❖ Se han establecido las pendientes del terreno que se consideran óptimas en función de la orientación, según los valores que se muestran en la tabla siguiente. [23]

Combinaciones orientación-pendiente permitidas			
Orientación		Rango pendiente	
0° (NORTE)	9°	0%	1%
10°	29°	0%	2%
30°	49°	0%	3%
50°	69°	0%	4%
70°	89°	0%	5%
90°	109°	0%	6%
110°	129°	0%	7%
130°	149°	0%	8%
150°	169°	0%	9%
170°	190°	0%	10%
191°	210°	0%	9%
211°	230°	0%	8%
231°	250°	0%	7%
251°	270°	0%	6%
271°	290°	0%	5%
291°	310°	0%	4%
311°	330°	0%	3%
331°	350°	0%	2%
351°	370°	0%	1%
371°	360°	0%	0%

Tabla 4: Criterio de pendientes y elevaciones  
 Fuente: Ecoibérica

- ❖ Se han excluido elementos en terreno en los que la instalación no es factible: líneas eléctricas existentes, carreteras, caminos, cuerpos de agua, edificaciones u otros condicionantes.

- ❖ No se considera la ejecución de futuros movimientos de tierra, a realizar con el objeto de incrementar la superficie útil, ya que la totalidad del terreno es útil.

### 5.3. METODOLOGÍA

Inicialmente hemos obtenido el MDT de toda la zona del proyecto, (Fuente: CNIG), para posteriormente realizar el análisis ráster de pendiente y orientaciones. Nos hemos apoyado principalmente en el software de QGIS, además del software Global Mapper.

#### 5.3.1. Estudio de elevaciones y orientaciones (QGIS)

Para el siguiente estudio deberemos de obtener el MDT de la zona donde se ubica el proyecto. Para ello, visitaremos la página web del CNIG, Centro Nacional de Información Geográfica.

Una vez en el CNIG, buscamos la zona del proyecto en MDT05 y descargamos el archivo “.asc” correspondiente a nuestro huso. El fichero descargado tiene gran tamaño ya que comprende una amplia zona, por lo que utilizaremos el Global Mapper, para ubicar la zona del proyecto y nos quedarnos con nuestro archivo “asc reducido” de esa zona del proyecto.

Una vez obtenido nuestro MDT reducido, lo insertamos en QGIS para hacer todo el estudio orográfico.

Cuando el MDT de la zona del proyecto está insertado y bien georreferenciado en QGIS, realizaremos un análisis ráster del terreno, tanto para la capa de pendientes como para la capa del aspecto, (orientación), para identificar patrones, encontrar entidades y comprender los cambios en los paisajes, que almacena en función a píxeles. Tras realizar el análisis ráster, poligonizaremos, tanto la capa de pendiente como la de aspecto, el terreno a vectorial para que, en vez de píxeles, lo almacene según los vértices de cada elemento geográfico.

Una vez poligonizado, tendremos que corregir las geometrías tanto de pendiente como de aspecto, para posteriormente unir las dos capas.

Una vez que las capas están unidas insertamos los filtros [23] que utilizamos en base a los criterios que hemos mostrado en la tabla 4.

Una vez que estos filtros se hayan aplicado, se deben de cargar los estilos, que son archivos “.qml” [23], que darán una escala de colores para diferenciar las pendientes y las orientaciones del terreno.

Una vez aplicados los estilos, exportamos tanto el archivo de capa unida, donde nos va a mostrar cual es la zona que cumple con todos los requisitos tanto de pendientes como de orientaciones en nuestro terreno, como los mapas de colores de pendientes y de orientaciones.

A partir de la información obtenida se han calculado las pendientes en escala de colores desde el 0% hasta el 10%, según lo definido en los *Datos de partida*. En el esquema siguiente se han marcado en diferentes colores las pendientes en cada intervalo.

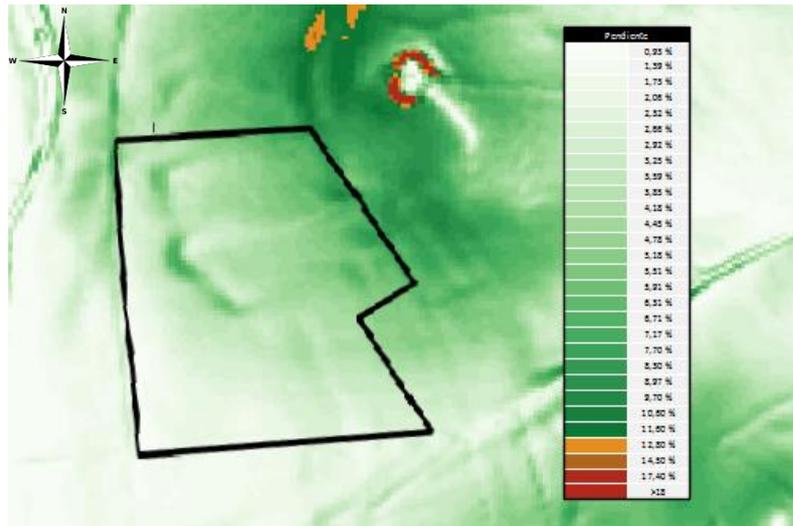


Ilustración 30: Esquema de pendientes  
 Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en el esquema anterior, las pendientes muestran un grado de desnivel entre el 1% y el 10%, en la totalidad del terreno, por lo que, en función de la pendiente, todo el terreno es apto para la implantación, aunque la zona este y sur son las más idóneas para implantar el proyecto.

Para finalizar el análisis de la elevación del terreno, aportamos una imagen donde se puede ver las curvas de elevación del terreno, donde vemos que la diferencia de cota entre el punto más elevado del terreno y el punto menos elevado del mismo se aproxima a los 20 metros.

Las curvas de nivel apoyan el mapa de colores donde nos confirma que a zona con menos pendientes es la zona Sur-Oeste.



Ilustración 31: Curvas de elevación de la zona del proyecto  
 Fuente: Elaboración propia

Tras el estudio de pendientes se ha realizado el de orientaciones. Para ello se calcula en cada punto la orientación a partir de la superficie triangulada.

Se muestra a continuación la distribución de orientaciones.

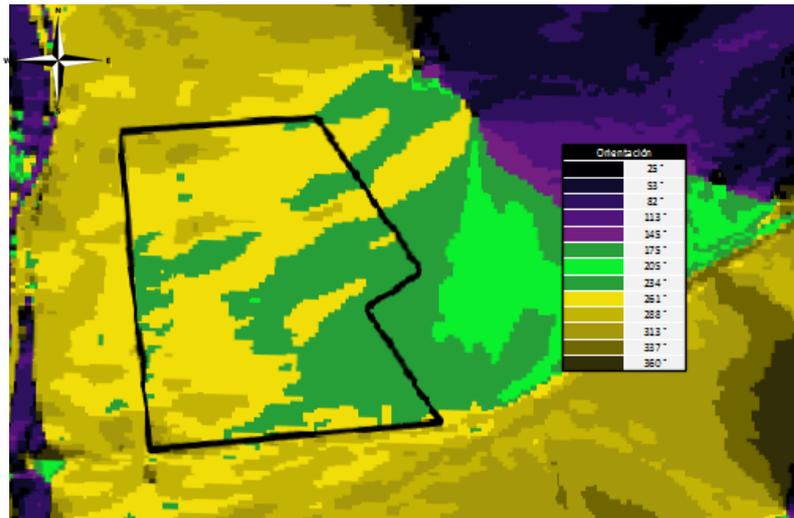


Ilustración 32: Esquema de distribución de orientaciones  
 Fuente: Elaboración propia

Como muestra el esquema de orientaciones, prácticamente la totalidad del terreno presenta una orientación Sur-Oeste, como nos indican el color amarillento y verde en la anterior ilustración, lo que significa que, en la zona Noreste, se generaran más sombras en las primeras horas del día.

El resultado final quedará definido como la intersección de la zona seleccionada por criterio de pendientes con la zona más útil por criterios de orientaciones. La zona más idónea para la implantación según este criterio se muestra en la siguiente ilustración:



Ilustración 33: Superficie de proyecto óptima según criterio de elevaciones y orientaciones  
 Fuente: Elaboración propia

La superficie resultante tras el cálculo de esta intersección es de 7,2 ha.

El resultado de este análisis se fundamenta únicamente en criterios orográficos, por lo que debe tratarse como una referencia en la selección de zonas óptimas, y no como un criterio de factibilidad.

### 5.3.2. Estudio de condicionantes ambientales y presentes en el terreno

Además de la orografía, como hemos indicado en los datos de partida, hemos tenido en cuenta la exclusión de los elementos presentes en el terreno, donde la implantación no

es posible, específicamente hemos tenido en cuenta una línea eléctrica que pasa por el noroeste de la zona más factible para la implantación, además de un camino que rodea la zona sur y la zona oeste de esa zona más factible para su implantación. Ambos condicionantes tienen una zona de servidumbre:

- ❖ Camino: Mínimo 3 metros, (Artículo 5, Ley 13/2018, de 28 de diciembre, de caminos públicos y rutas senderistas de Mallorca y Menorca). Nosotros hemos optado por unos 5 metros, posible por la amplitud del terreno.
- ❖ Línea eléctrica: En la siguiente ilustración, podemos observar todo el ancho mínimo de la servidumbre por el paso de una línea eléctrica. En nuestro caso la línea que transita por el interior de nuestro terreno, es una línea de 13 kV.

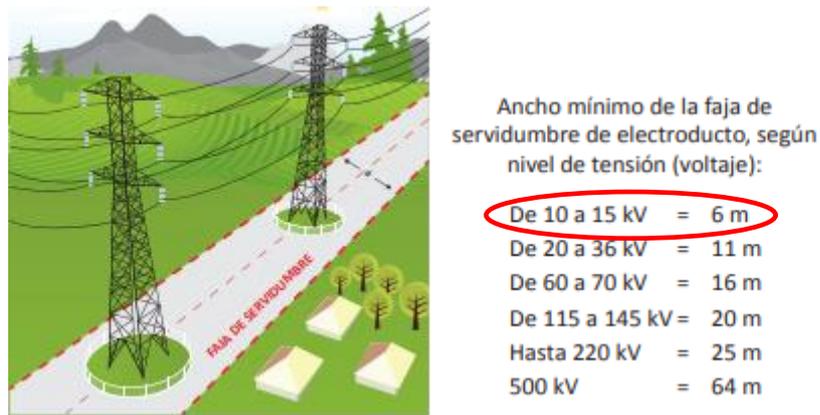


Ilustración 34: Longitudes de servidumbre por líneas eléctricas  
 Fuente: OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería)

El ancho mínimo que nos corresponde en nuestro proyecto es de 6 metros en total. Sin embargo, hemos optado por un ancho de servidumbre de 15 metros gracias a que la amplitud del terreno nos lo permite, obteniendo de esta manera un margen extra de seguridad.

De este modo el estudio de condicionantes sobre el terreno resulta de la siguiente manera:



Ilustración 35: Superficie de proyecto óptima según condicionantes sobre el terreno  
Fuente: Elaboración propia

La superficie resultante tras el este estudio es de 10,2 ha.

Finalmente, hemos solapado los dos estudios, para obtener la superficie más óptima posible para la implantación de la planta.



Ilustración 36: Superficie de proyecto óptima definitiva según criterios estudiados  
Fuente: Elaboración propia

Vemos 2 polígonos donde la instalación es más óptima, por lo que la superficie final más óptima para la implantación de este proyecto se representa en la siguiente tabla:

Superficie óptima final	
Polígono A	5,9 ha
Polígono B	0,6 ha

Tabla 5: Superficies más óptimas para la implantación del proyecto  
Fuente: Elaboración propia

Tras este análisis, vemos que la mejor zona posible para la implantación de la planta es el Polígono A, por lo que tendremos 5,9 ha disponibles para la implantación de los módulos.

## **6. SOLUCIÓN ADOPTADA**

## 6.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PLANTA

La Planta Solar Fotovoltaica “Las Palomas” poseerá una potencia nominal de 3,44 MW, y estará compuesta por un total de 7716 módulos de 530 Wp cada uno, lo que da lugar a una potencia total instalada de 4,12 MWp y a un factor de sobredimensionamiento de planta 1,20.

Los módulos se instalarán sobre estructuras fijas, de manera que el coste de la instalación sea mucho menor, ya que no contaremos con seguidores solares que requerirán una mayor inversión y mantenimiento.

La planta contará con 16 inversores, de 215 kVA nominales la unidad, los cuales contarán con 18 entradas DC cada uno, dando una potencia pico por cada entrada de inversor de 14,31 kWp y una potencia pico por entrada de cada inversor de 257,58 kWp. Hemos elegido la opción de utilizar varios inversores de menor potencia, en vez de utilizar un inversor centralizado, para tener un mejor control sobre cualquier avería o problema en la planta.

Los 16 inversores enviarán la energía en corriente alterna a un transformador, que elevará la corriente hasta los 13 kV a los que se inyectará en la línea de media tensión que circular por el interior del terreno, mediante el posterior paso por la sala de control y medida.

## 6.2. DIMENSIONADO DE LA PLANTA

### 6.2.1. Parámetros eléctricos Módulo FV en función de Temperatura

A continuación, vamos a calcular los parámetros eléctricos del funcionamiento del módulo, tensiones e intensidades para temperaturas máximas y mínimas, así como las temperaturas límites de funcionamiento de los mismos.

#### 6.2.1.1. Temperatura máxima y mínima de funcionamiento Módulo FV

$$T_{mín} = T_{amín} + \frac{(NOCT-20)}{800} \times I_{rmín} \quad [23]$$

$$T_{máx} = T_{amáx} + \frac{(NOCT-20)}{800} \times I_{rmáx} \quad [23]$$

Dónde:

- ❖  $T_{amín}$  (°C): Temperatura mínima registrada en la ubicación del proyecto. Datos Aemet.
- ❖  $T_{amáx}$  (°C): Temperatura máxima registrada en la ubicación del proyecto. Datos Aemet.
- ❖  $I_{rmáx}$  (W/m<sup>2</sup>): Irradiancia máxima (1000W/m<sup>2</sup>).
- ❖  $I_{rmín}$  (W/m<sup>2</sup>): Irradiancia mínima (0W/m<sup>2</sup>).
- ❖  $NOCT$  (°C): Temperatura de operación nominal de célula. Temperatura que alcanza la célula para una irradiación de 800w/m<sup>2</sup>. Especificaciones de fabricante.

Resultado:

$$T_{\text{mín}} = -12 + \frac{(45 - 20)}{800} \times 0 = -12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{máx}} = 39,6 + \frac{(45 - 20)}{800} \times 1000 = 70,85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### 6.2.1.2. Tensiones en puntos de máxima potencia

Para poder calcular los valores de tensión en puntos de máxima potencia necesitamos antes conocer el incremento de temperatura mínima en punto de máxima potencia "AVMppmín".

$$AVMppmín = \Delta UVoc \times \frac{(T_{\text{mín}} - T_{\text{stc}})}{100} = -0,284 \times \frac{(-12 - 25)}{100} \text{ [23]}$$

$$AVMppmín = 0,105$$

Dónde:

- ❖  $\Delta UVoc$ : Coeficiente de Temperatura a Tensión de Circuito Abierto. Especificaciones de fabricante.
- ❖  $T_{\text{mín}}$  ( $^\circ\text{C}$ ): Temperatura mínima de funcionamiento de módulos fv.
- ❖  $T_{\text{stc}}$  ( $^\circ\text{C}$ ): Temperatura en condiciones normales ( $25 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).

### Tensión en punto de máxima potencia a temperatura mínima (VMpp)

$$VMppmín = VMp \times (1 + AVMppmín) \text{ [23]}$$

Dónde:

- ❖  $VMp$  (V): Tensión a potencia nominal. Especificaciones fabricante.
- ❖  $AVMpp$ : Incremento de temperatura mínima en punto de máxima potencia.

Resultado:

$$VMppmín = 41,4 \times (1 + 0,105)$$

$$VMppmín = 45,7 \text{ V}$$

Realizaremos los mismos cálculos para obtener el valor de la tensión en punto de máxima potencia a temperatura máxima.

De nuevo necesitamos conocer el incremento de temperatura, esta vez, máxima en punto de máxima potencia "AVMppmáx".

$$AVMppmáx = \Delta UVoc \times \frac{(T_{\text{máx}} - T_{\text{stc}})}{100} = -0,284 \times \frac{(70,85 - 25)}{100}$$

$$AVMppmáx = -0,130$$

Dónde:

- ❖  $\Delta UVoc$ : Coeficiente de Temperatura a Tensión de Circuito Abierto. Especificaciones de fabricante.

- ❖  $T_{m\acute{a}x}$  (°C): Temperatura máxima de funcionamiento de módulos fv.
- ❖  $T_{stc}$  (°C): Temperatura en condiciones normales (25 °C).

Tensión en punto de máxima potencia a temperatura máxima ( $VM_{pp}$ )

$$VM_{ppm\acute{a}x} = VM_p \times (1 + AV_{Mppm\acute{a}x}) \quad [23]$$

Dónde:

- ❖  $VM_p$  (V): Tensión a potencia nominal. Especificación fabricante.
- ❖  $AV_{Mpp}$ : Incremento de temperatura mínima en punto de máxima potencia.

Resultado:

$$VM_{ppm\acute{a}x} = 41,4 \times (1 - 0,130)$$

$$VM_{ppm\acute{a}x} = 35,97 \text{ V}$$

**6.2.2. Cálculo número de módulos por cada String**

Un String es el conjunto de módulos fotovoltaicos conectados en serie, que van dirigidos a cada entrada del inversor. En la siguiente tabla tenemos el valor máximo por cada entrada del inversor que tenemos que tener en cuenta a la hora de configurar el string, ya que nunca podremos superar estos valores para el correcto funcionamiento del sistema.

Variable	Debe ser máx.
Tensión en vacío	1.500 V

Tabla 6: Parámetro máximo de tensión permitidos por entrada de inversor  
 Fuente: Datos fabricante

Los módulos conectados en serie sumarán sus tensiones, por lo que el número de módulos por cada string, lo obtendremos de la siguiente manera. [23]

$$N^{\circ} \text{módulos/string} = \frac{\text{Tensión máxima entrada}}{Voc(T_{m\acute{i}n})}$$

Dónde:

- ❖  $Voc(T_{m\acute{i}n})(V)$ : Tensión en circuito abierto a temperatura mínima.

Necesitamos hallar el valor de la tensión en circuito abierto a temperatura mínima, que lo obtendremos de la siguiente fórmula.

$$Voc(T_{m\acute{i}n}) = Voc(stc) \times (1 + AV_{Mpp}) \quad [23]$$

Dónde:

- ❖  $Voc(stc)(V)$ : Tensión en circuito abierto en condiciones normales. Especificaciones fabricante.
- ❖  $AV_{Mpp}$ : Incremento de temperatura mínima en punto de máxima potencia.

Resultado:

$$Voc(T_{\min}) = 49,2 \times (1 + 0,105)$$

$$Voc(T_{\min}) = 54,4 V$$

$$N^{\circ} \frac{\text{módulos}}{\text{string}} = \frac{1500}{54,4} = 27,57 \text{módulos/string}$$

Por lo que el número de módulos conectados en serie será de:

$$N^{\circ} \frac{\text{módulos}}{\text{string}} = 27 \text{módulos/string}$$

### 6.2.3. Comprobaciones de intensidad y potencia

Una vez calculado el número de módulos por cada string, comprobaremos que los valores de intensidad y potencia no sobrepasen el límite del inversor.

Necesitamos conocer el valor de Intensidad máxima del inversor, que lo obtendremos de la siguiente manera:

$$Imáx \text{ inversor} = Imáx Mppt \times N^{\circ} Mppt = 30 \times 9 = 270A \text{ [23]}$$

$$Imáx \text{ inversor} = 270A$$

La intensidad de los módulos fotovoltaicos viene dada por la ficha técnica del fabricante, la cual es de 12,82A, por lo que al utilizar las 18 entradas disponibles que posee el inversor, la Intensidad máxima que entra en el inversor será:

$$Imáx \text{ proyecto} = I(std) \times N^{\circ} \text{ entradas} = 12,82 \times 18 = 231A \text{ [23]}$$

$$Imáx \text{ proyecto} = 231A$$

Dónde:

- ❖  $Imáx Mppt(A)$ : Tensión en circuito abierto en condiciones normales. Especificaciones fabricante.
- ❖  $I(std)(A)$ : Intensidad en condiciones normales de temperatura. Especificaciones fabricante.

Por último, comprobaremos que no superaremos los valores de máxima de entrada del inversor que se calculará con la siguiente fórmula.

$$P_{\text{máx. inversor}} = \frac{Imáx \text{ inversor} \times Vn}{1000} = \frac{270 \times 1080}{1000}$$

$$P_{\text{máx. inversor}} = 292 kW$$

La potencia de entrada de nuestro proyecto vendrá determinada de la siguiente manera: [23]

$$P_{\text{máx. proyecto}} = \frac{N^{\circ} \text{módulos string} \times P \text{ módulo} \times N^{\circ} \text{ Entradas inversor}}{1000}$$

$$P_{\text{máx. proyecto}} = \frac{27 \times 530 \times 18}{1000}$$

$$P_{\text{máx. proyecto}} = 257,58 \text{ kWp}$$

Dónde:

- ❖  $I_{\text{máx inversor}} (A)$ : Corriente máxima entrada de inversor.
- ❖  $V_n (V)$ : Voltaje nominal de entrada de inversor. Especificaciones fabricante
- ❖  $P_{\text{máx. inversor}} (W)$ : Potencia máxima de entrada permitida al inversor.
- ❖  $P_{\text{máx. proyecto}} (W)$ : Potencia máxima de entrada calculada del proyecto.

La planta contará con un total de 7776 módulos fotovoltaicos, que formarán 288 strings, que alimentarán 16 inversores, que a su vez enviarán la energía eléctrica a una estación de transformación central de 3.250 kVA. Como resultados obtendremos una potencia nominal de 3,44 MW y una potencia pico de la planta de 4,12 MWp.

#### 6.2.4. Sobredimensionamiento planta

El sobredimensionamiento consiste en realizar una instalación fotovoltaica, en la que la potencia de los módulos instalados supere la potencia de los inversores. Esta técnica se utiliza para captar más energía en horas de baja irradiación ya que aumentará la energía que se genere en esos momentos, sin dañar el inversor en las horas de más irradiación ya que los inversores no van a evacuar más energía que su nominal, aunque no se pueden para unos límites en la entrada del inversor, por lo que un buen sobredimensionado fotovoltaico es lo más próximo al 1,2.

Para realizar la última comprobación de que el dimensionado está correcto, vamos a calcular el sobredimensionamiento de nuestro proyecto. [23]

$$\text{Factor sobredimensionamiento} = \frac{P_{\text{máx. proyecto}}}{P_{\text{nominal inversor}}} = \frac{257,58}{215}$$

$$\text{Factor sobredimensionamiento} = 1,198$$

Como hemos observado no superamos ningún valor eléctrico máximo, y tenemos un factor de sobredimensionado correcto, por lo que la planta deberá de tener un buen funcionamiento. En la siguiente tabla vemos un resumen de los cálculos realizados.

Variable	Debe ser máx.	Diseñado
Tensión en vacío	1.500 V	1.468,99 V
Corriente de una entrada de inversor	15 A	12,82 A
Corriente de entrada inversor	270 A	230,76 A
Potencia entrada inversor	292 kWp	257,58 kWp
Entradas inversor	18	18
Sobredimensionado	1,20	

Tabla 7: Resumen del cálculo parámetros eléctricos del sistema  
 Fuente: Elaboración propia

### 6.3. MÓDULOS FV

#### 6.3.1. Descripción de la tecnología

La tecnología de la célula fotovoltaica de los módulos seleccionados está basada en silicio monocristalino dopado con galio, lo que provoca una menor degradación inducida por la luz. El Hi-MO 5 adopta un diseño bifacial de, doble vidrio con marco, que proporciona una resistencia excepcional para una alta capacidad de carga. La resistencia del marco elimina la necesidad de viga transversal, por tanto, no hay pérdidas de sombreado en la parte posterior del módulo.

El panel utilizado tiene las siguientes características: [24]

- ❖ Durabilidad: Módulos fotovoltaicos duraderos, testeados independientemente en condiciones ambientales adversas, como el ambiente salino, con una degradación del primer año del 2%, y del segundo al trigésimo año de vida, un 0,45%.
- ❖ Utilizando soportes fijos e inversores centralizados, este módulo puede reducir los costes en comparación con productos convencionales en el mercado, sin embargo, para inversores de cadenas, como es nuestro caso, puede mejorar la relación de capacidad de la planta, reducir el coste de los equipos de corriente alterna, entre otras ventajas.

Certificaciones: [24]

- ❖ IEC61215/61730/UL61730.
- ❖ TS62941. Guideline for module design qualification and type approval.
- ❖ OHSAS 18001:2007. Occupational Health and Safety.
- ❖ ISO 9001:2008. ISO Quality Management System.
- ❖ ISO 14001:2004. ISO Environment Management System
- ❖ CE (Unión Europea).

#### 6.3.2. Fabricante y modelo de los módulos

El fabricante del panel fotovoltaico es LONGI Solar Technology, modelo Hi-Mo LR5-72HBD 530P.

Módulos FV	
Fabricante	LONGi Solar Technology
Modelo	Hi-Mo LR5-72HBD 530P
Tecnología	Si-Mono

Tabla 8: Datos módulo fotovoltaico  
 Fuente: Ficha Técnica Módulo FV

#### 6.3.3. Parámetros eléctricos.

Los parámetros eléctricos de los módulos se muestran en la tabla siguiente.

Parámetros eléctricos Módulos FV	
Potencia	530 Wp
Corriente a potencia máxima (Impp)	12,82 A
Voltaje a potencia máxima (Vmpp)	41,4 V
Corriente de corto circuito (Isc)	13,71 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	49,2 V
Temperatura nominal de operación	45±2 °C
Eficiencia de los paneles	20,70%

Tabla 9: Características eléctricas módulo fotovoltaico  
 Fuente: Ficha Técnica Módulo FV

Los valores mostrados están referidos a condiciones estándar STC: irradiancia 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura módulo 25°C, distribución espectral AM 1,5.

Las temperaturas máximas y mínimas registrada en el sitio son de -12 y 39,6°C. De acuerdo con esta información se calculan los parámetros eléctricos corregidos por temperatura.

Especificaciones del Fabricante	
Potencia módulo	530 Wp
Modulos string serie	27 módulos
Voc panel (STC)	49,2 V
Corriente cortocircuito panel	13,71 A
Intensidad a potencia nominal (STD)	12,82 A
Tensión a potencia nominal Vmp (STC)	41,4 V
Coef. Tª Tensión de Circuito Abierto	-0,284 °C
Coef. Tª Corriente de Cortocircuito	0,050°C
Coef. Tª Potencia MPP	-0,350°C
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45,0 °C

Tabla 10: Especificaciones del fabricante del módulo fotovoltaico  
 Fuente: Ficha Técnica Módulo FV

Otros Parámetros eléctricos	
Temperatura funcionamiento celdas a temperatura ambiente mínima	-12°C
Incremento por temperatura mínima MPP	10,51%
VMPP a temperatura mínima	45,7 V
Incremento por temperatura Voc	10,51%
Voc a temperatura mínima	54,4 V
Temperatura funcionamiento celdas a temperatura ambiente máxima	70,85°C
Incremento por temperatura máxima MPP	-13,02%
VMPP a temperatura máxima	35,97 V
Incremento por temperatura máxima Isc	2,29%
Corriente cortocircuito Isc a temperatura máxima	13,71 A

Tabla 11: Parámetros eléctricos corregidos por temperatura módulo fotovoltaico  
 Fuente: Ficha Técnica Módulo FV

### 6.3.4. Inclinación de los módulos

Conseguir una buena inclinación en los módulos fotovoltaicos es fundamental para optimizar el aprovechamiento de la energía recibida del sol y así conseguir un gran rendimiento en nuestra planta fotovoltaica. En España la inclinación suele estar entre los 20° y 40°

Mediante el Software PVSyst, hemos obtenido cual es la inclinación óptima de nuestros módulos fotovoltaicos según los equipos y características de planta diseñados.

La inclinación de os módulos fotovoltaicos óptima en nuestro proyecto es de 20° [25]

### 6.3.5. Curvas Corriente-Potencia-Voltaje

Las curvas corriente-tensión y potencia-tensión, así como sus valores, para una temperatura de células de 25°C, se muestran a continuación.

**Current-Voltage Curve (LR5-72HBD-530M)**

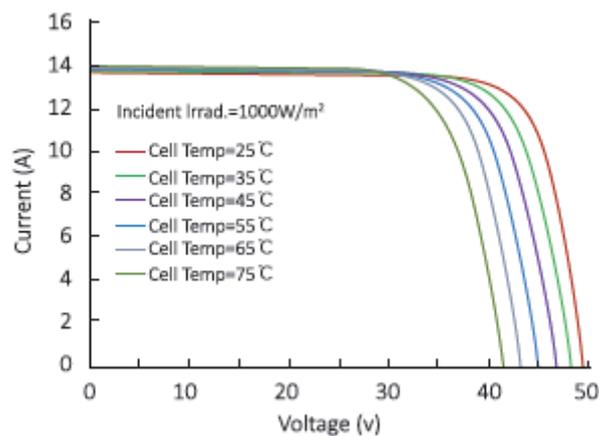


Figura 32: Curvas corriente-tensión módulo fotovoltaico en función de la temperatura  
 Fuente: Fabricante módulo fotovoltaico

**Current-Voltage Curve (LR5-72HBD-530M)**

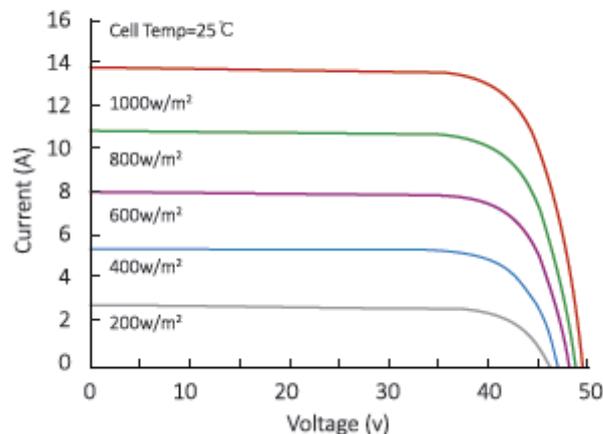


Figura 33: Curvas corriente-tensión módulo fotovoltaico en función de la irradiancia  
 Fuente: Fabricante módulo fotovoltaico.

### Power-Voltage Curve (LR5-72HBD-530M)

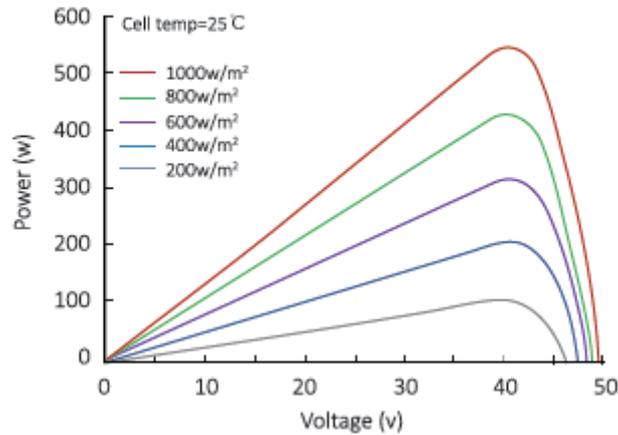


Figura 34: Curvas Potencia-Tensión módulo fotovoltaico en función de la irradiancia  
 Fuente: Fabricante módulo fotovoltaico

### 6.3.6. Esquema de módulo fotovoltaico

Se muestran en el esquema siguiente las dimensiones básicas del módulo fotovoltaico.

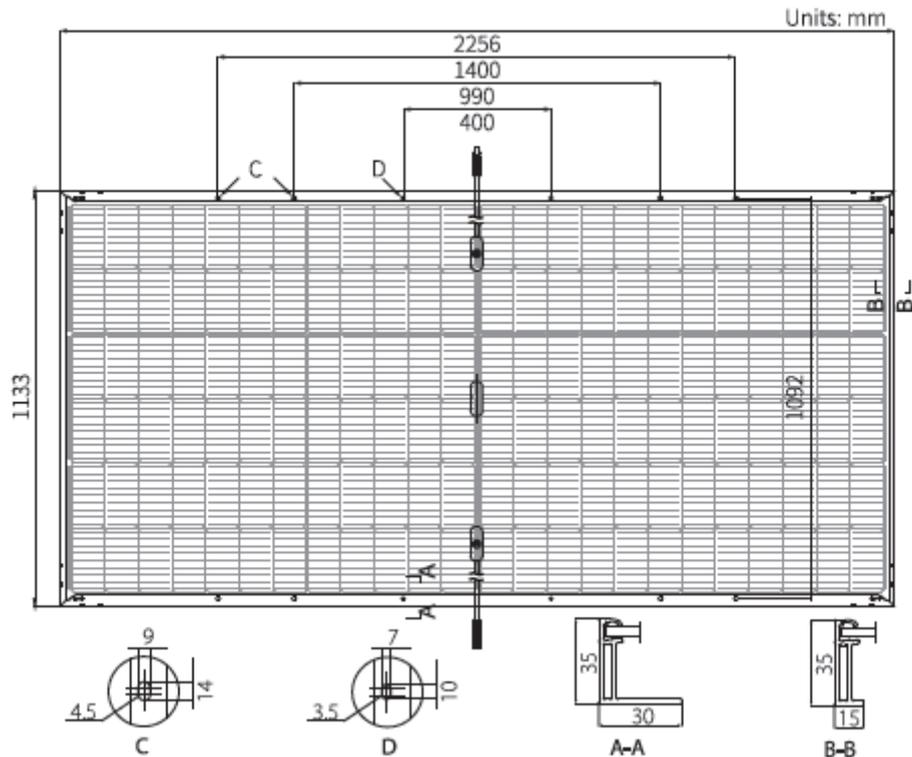


Ilustración 37: Esquema módulo fotovoltaico  
 Fuente: Fabricante módulo fotovoltaico

## 6.4. INVERSORES

### 6.4.1. Fabricante y modelo de los módulos

Se han seleccionado inversores modelo SUN2000-215KTL-H0, del fabricante HUAWEI. En concreto, en la planta se instalarán un total de 16 inversores.

Características generales	
Número total de inversores	16
Fabricante	HUAWEI
Modelo	SUN2000-215KTL-H0
Capacidad del Inversor	200 KW/215 KVA

Tabla 12: Datos inversor fotovoltaico  
 Fuente: Elaboración propia

### 6.4.2. Características generales del inversor

A continuación, se muestran las características principales del modelo de inversor seleccionado.

INVERSOR HUAWEI SUN2000-215KTL-H0			
Datos de entrada DC		Datos de salida AC	
Tensión máxima	1.500 V	Potencia máxima AC	200 kW/215 kVA
Tensión mínima para iniciar alimentación	500 V	Corriente máxima AC para salida	155,2 A
Tensión mínima de trabajo	800 V	Frecuencia	50Hz /60 Hz
Máxima corriente DC	270 A	Factor de potencia (cosφ)	0,8
Rango de tensión MPP(T)	500 - 1.500 V	Distorsión (THD)	< 3 %
Tensión de MPPT	9	Eficiencia máxima	0,99
Entradas DC	18	CEC-eficiencia	98,60%
Datos generales		Características de Protección	
Dimensiones (A/A/F)	1035x700x365 mm	Protección corto-circuito	
Peso	≤86 kg	Protección contra sobretensiones	
Temperatura de funcionamiento	-25 a 60 °C	Protección contra temperatura excesiva	
Clase Protectora	IP66	Protección contra inversiones de la polaridad	
Humedad	0-100 %	Monitorización de fallo de toma de tierra	
Enfriamiento	refrigeración por aire inteligente	Monitorización de fallo de toma de tierra	
Altitud máxima	4000 m	Monitorización de aislamiento	
Interface	RS 485, MBUS, USB y DISPLAY (Led Indicators, WLAN, APP)	Monitorización de red	

Tabla 13: Características inversor fotovoltaico  
 Fuente: Ficha técnica Inversor

## 6.5. ESTRUCTURA FIJA

A la hora de elegir la estructura idónea para nuestro proyecto, se necesitan analizar múltiples condicionantes, como pueden ser el precio, la disponibilidad de los materiales, las condiciones del propio terreno, es decir, pendientes, orientaciones, sombras, la propia ubicación del terreno del proyecto, y por supuesto la producción energética.

Existen tres tipos de estructuras: seguidor a dos ejes, seguidor a un eje, y estructura fija, los cuales presentan una serie de ventajas, respecto a las otras opciones, que, dependiendo de las características de nuestro proyecto, encajaran mejor o peor.

En el caso de los seguidores a dos ejes, será la opción que más producción energética genere, ya que tiene la posibilidad de girar tanto sobre su eje vertical, como sobre su eje horizontal. De esta manera los paneles se pueden orientar hacia cualquier dirección, favoreciendo la captación de la irradiación de manera perpendicular, y por lo tanto más

productiva, aunque es una tecnología mucho más cara, y que requiere más espacio en el terreno. Es una tecnología muy potente, la cual no es muy utilizada por el gran mantenimiento que conlleva, debido a que son propensas a las averías, ya que llevan varias partes mecánicas, motor, actuador, correas, rodamientos.



Ilustración 38: Seguidor solar a dos ejes  
Fuente: [www.degeriberica.com](http://www.degeriberica.com)

Los seguidores a un eje, tienen el mismo concepto que los seguidores a dos ejes, con la diferencia de que estos solo giraran sobre el eje N-S, de manera que puedan captar la irradiación directa de su zona este y oeste, además de la zona sur en la cual el sol está en el punto más alto, prácticamente perpendicular al suelo.

También es una tecnología que necesita más espacio por la generación de sombras, y un mantenimiento, aunque a diferencia del seguidor a dos ejes, es una tecnología que no es propensa a averiarse, requiriendo menos mantenimiento.



Ilustración 39: Seguidor solar a un eje  
Fuente: [www.degeriberica.com](http://www.degeriberica.com)

Por último, está la estructura fija, que es la opción que hemos escogido. Esta opción permite aprovechar más el terreno, ya que se generan menos sombras, además de ser una opción mucho más barata y que requiere menos mantenimiento, aunque la generación eléctrica va a ser menor. [26]

En nuestro caso, tenemos como objetivo verter la energía producida a la línea de 13 kV que pasa por el interior del terreno. De este modo, nosotros tenemos que pensar en reducir costes del proyecto, ya que, aunque queramos producir más energía no vamos a poder verterla a la red eléctrica, ya que no habrá más capacidad de meter más potencia, como veremos más adelante.



Ilustración 40: Estructura fija solar  
 Fuente: [www.stinorland.com](http://www.stinorland.com)

Para nuestro proyecto, hemos elegido una estructura fija, al fabricante STINORLAND, gracias a la adaptación del fabricante para las necesidades del nuestro proyecto, requiriendo un modelo a medida, de manera que encaje con nuestra configuración.

Las principales características de nuestra estructura son: [24]

- ❖ La fijación será mediante un hincado directo.
- ❖ Las dimensiones son adaptables en función de nuestro proyecto, de manera que nos queden 3 filas de 9 módulos cada una.
- ❖ Normativa aplicada: Eurocódigo como Standard. Adaptable a regulación local: EC, ASCE, CFE, NCH, AS, NZS, SANS.
- ❖ Los materiales de las estructuras son Acero galvanizado S235, S275, S355, S350GDZM310 o equivalente.
- ❖ La tornillería es de acero de calidad 10.9 y 8.8 con Zinc, níquel o Geomet Grado B (ISO 9227)
- ❖ El tipo de estructura es biposte para una mayor resistencia.

## 6.6. DISTANCIA MÍNIMA ENTRE FILAS DE MÓDULOS FV

Para la determinación de la distancia mínima nos vamos a apoyar en la posición del sol. Para ellos, nos vamos a apoyar en la página “[SunEarthTools.com](http://SunEarthTools.com)”, la que nos va a proporcionar la elevación solar en cada hora del día, en la zona del proyecto.

Hemos elegido un día de invierno, para calcularlo en base al caso más desfavorable donde el sol se encuentra más bajo, y, por lo tanto, se producirán más sombras.

Conocemos las dimensiones de los módulos, aparte de la configuración física de los mismos, además de saber que la estructura fija tiene una altura de 0,5m. También conocemos la elevación solar, por lo que gracias a estos datos podemos estimar la longitud de sombras en cada hora del día, para posteriormente hacer un promedio entre las horas más representativas.

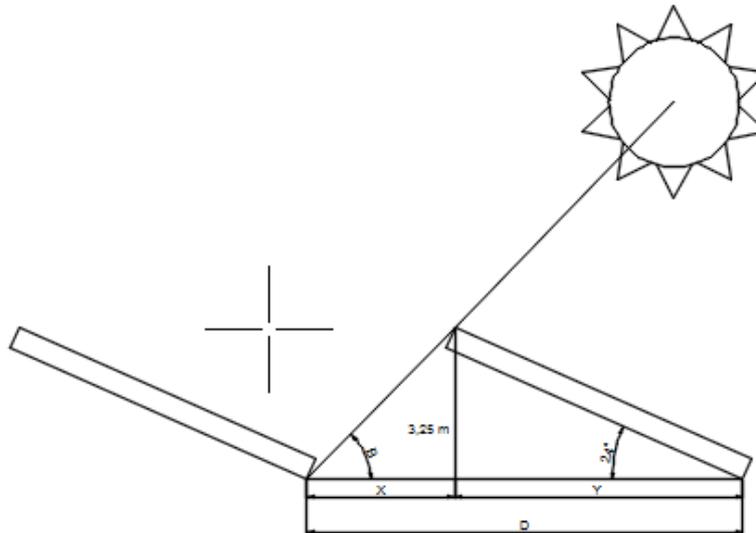


Ilustración 41: Esquema cálculo sombreado entre filas  
 Fuente: Elaboración propia

El cálculo que realizaremos será el siguiente:

$$X = \frac{3,25}{\text{TAN}(B)}$$

$$D = Y + X$$

Dónde:

- ❖  $B$  ( $^{\circ}$ ): Elevación Solar. *SunEarthTools.com*
- ❖  $Y$  ( $m$ ): Longitud horizontal de la estructura fija con los paneles.
- ❖  $X$  ( $m$ ): Longitud horizontal entre el final de una estructura y la siguiente.
- ❖  $D$  ( $m$ ): Distancia mínima entre filas.

En la siguiente tabla podemos ver los resultados.

Hora	Elevacion solar (B)	Separación entre filas (D)
10:00	7,13	33,31 m
11:00	16,93	17,99 m
12:00	25,37	14,17 m
13:00	31,76	12,56 m
14:00	35,35	11,89 m
15:00	35,54	11,86 m
16:00	32,31	12,45 m
17:00	26,18	13,92 m
18:00	8,26	29,71 m
	<b>Media</b>	<b>12,16 m</b>

Tabla 14: Longitud de sombre media y por cada hora  
 Fuente: [www.SunEarthTools.com](http://www.SunEarthTools.com)

Además de hacer esta estimación para conocer la separación entre filas, en la simulación de PVSyst nos ha proporcionado la distancia optima entre filas, la cual coincide con nuestra estimación siendo de 12 metros.

### 6.7. CABLEADO Y SECCIONES

La sección de cada cable depende directamente de la intensidad de corriente que circule por ese cable, a más intensidad de corriente, más sección necesitará el cable para transportarla de forma correcta.

La instalación interna fotovoltaica conectada a red se divide en dos tramos:

#### 6.7.1. Instalación de corriente continua

##### 6.7.1.1. Configuración

Esta instalación es la que se comprende entre el generador fotovoltaico, hasta la entrada en el inversor.

Como hemos informado en los apartados anteriores, la instalación está formada por 7776 módulos proporcionando una potencia de 3,44 MW nominales y 4,12 MWp. Los módulos fotovoltaicos de la planta se unirán en series de 27 unidades aprovechando el cable Multicontact que incorporan de fábrica, para formar lo que se denomina strings, que serán un total de 288 strings divididos en 16 inversores, de 18 entradas cada uno. En esta instalación no es necesaria ninguna caja de conexiones de string, ya que cada string tiene su entrada, ni tampoco cajas de conexiones de los inversores, ya que el centro de transformación elegido tiene entrada para los 16 inversores.

##### 6.7.1.2. Cálculo de la sección por intensidad admisible

Tomamos el valor de la intensidad de cortocircuito en condiciones estándar (Istc), 13,71 A. El cableado se encuentra al aire libre, en cumplimiento con los reglamentos ITC-BT-26 punto 7.1 y ITC-BT-30 punto 2.1.2

Calcularemos la sección por el método de intensidad admisible, siguiendo el catálogo Prysmian de cables y accesorios para BT. Para ello tenemos que contar con las correcciones por la temperatura, por agrupamiento y por instalación fotovoltaica generadora.

❖ Por temperatura el terreno de 35 °C (UNE-HD 60364-5-52, tabla B.52.14): 0,96

Temperatura ambiente al aire (°C)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Factor de corrección	1,15	1,12	1,08	1,04	1	0,96	0,91	0,87	0,82	0,76	0,71	0,65	0,58	0,5	0,41

Tabla 15: Criterios de corrección por temperatura a la intemperie

Fuente: UNE-HD 60364-5-52, tabla B.52.14

❖ Por agrupamiento, 2 circuitos en contacto (UNE-HD 60364-5-52, tabla B.52.18): 0,8

PUNTO	DISPOSICIÓN	NÚMERO DE CIRCUITOS O CABLES MULTICONDUCTORES										INSTALACIÓN TIPO
		1	2	3	4	6	9	12	16	20		
1	Agrupados al aire, en una superficie, empotrados o en el interior de una envolvente.	1,0	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40	A a F	
2	Capa única sobre los muros o los suelos o bandejas no perforadas.	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	C	
3	Capa única fijada al techo.	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60		
4	Capa única sobre bandejas perforadas horizontales o verticales.	1,0	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	E y F	
5	Capa única sobre escaleras de cables, abrazaderas, soportes, bridas de amarre, etc.	1,0	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80		

Tabla 16: Criterios de corrección por agrupamiento de circuitos agrupados a el aire  
 Fuente: UNE-HD 60364-5-52, tabla C.52.3

❖ Por instalación fotovoltaica generadora (IEC 62548): 1,4

Una vez conocemos las correcciones necesarias para nuestra configuración, dividiremos nuestra intensidad de corto circuito a condiciones estándar por el producto de los coeficientes de corrección, para conocer el valor de la intensidad máxima admisible para nuestro caso y poder ver la sección de cable que vamos a utilizar.

$$I_{M\acute{a}x. adm} = \frac{I_{stc} \times 1,4}{0,96 \times 0,80} = \frac{13,71 \times 1,4}{0,96 \times 0,80}$$

$$I_{M\acute{a}x. adm} = 24,99 A$$

El cable utilizado es:

- ❖ Nombre: AFUMEX CLASS 750 V (AS) H07Z1-K TYPE 2 (AS),
- ❖ Norma diseño: UNE 211002; EN 50525-3-31
- ❖ Designación genérica: H07Z1-K TYPE 2 (AS)

NÚMERO DE CONDUCTORES x SECCIÓN mm <sup>2</sup>	ESPESOR DE AISLAMIENTO mm (t)	DIÁMETRO EXTERIOR mm (T)	PESO kg/km (t)	RESISTENCIA DEL CONDUCTOR a 20 °C Ω /km	INTENSIDAD ADMISIBLE AL AIRE (2) A	CAÍDA DE TENSIÓN V/A km (2)	
						cos φ = 1	cos φ = 0,8
1 x 1,5	0,7	3,4	20	13,3	14,5	28,84	23,22
1 x 2,5	0,8	4,1	27	7,98	20	17,66	14,25
1 x 4	0,8	4,8	46	4,95	26	10,99	8,91
1 x 6	0,8	5,3	65	3,30	34	7,34	5,99
1 x 10	1,0	6,8	111	1,91	46	4,36	3,59
1 x 16	1,0	8,1	164	1,21	63	2,74	2,29
1 x 25	1,2	10,2	255	0,78	82	1,73	1,48
1 x 35	1,2	11,7	351	0,554	101	1,25	1,09
1 x 50	1,4	13,9	520	0,386	122	0,92	0,84
1 x 70	1,4	16	700	0,272	155	0,64	0,61
1 x 95	1,6	18,2	920	0,206	187	0,46	0,46
1 x 120	1,6	20,2	1130	0,161	216	0,36	0,38
1 x 150	1,8	22,5	1410	0,127	247	0,29	0,33
1 x 185	2,0	20,6	1770	0,106	281	0,26	0,28
1 x 240	2,2	28,4	2300	0,0801	330	0,18	0,24

Tabla 17: Características técnicas cable AFUMEX CLASS 750 V (AS) H07Z1-K TYPE 2 (AS)  
 Fuente: Grupo Prysmian

La sección será la siguiente que aguante esa intensidad máxima admisible, por lo que la sección que nos sale en la parte de corriente continua, es decir, desde los módulos FV hasta la entrada de los inversores será de **1x4mm<sup>2</sup>**, lo que nos coincide con la sección de los cables Multicontact facilitados por el fabricante.

6.7.1.3. Cálculo de la sección por caída de tensión

El punto 5 de la ITC-BT 40 del REBT dice que la caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la Red de Distribución Pública o a la instalación interior, no será superior al 1,5 % para la intensidad nominal.

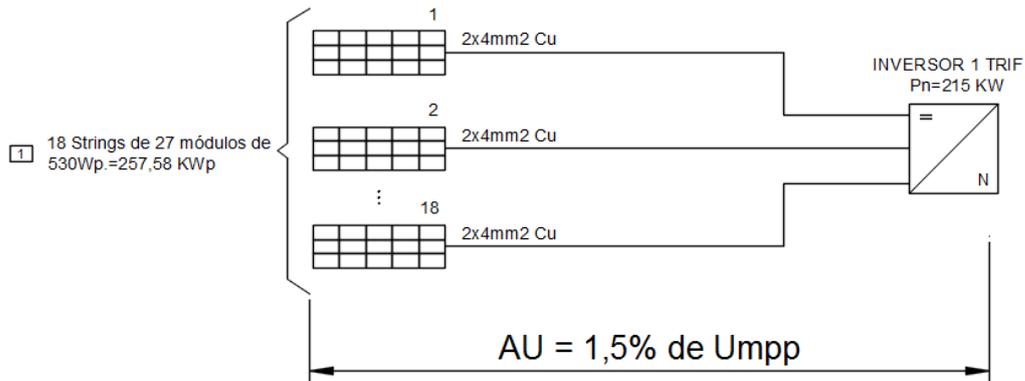


Ilustración 42: Esquema unifilar parte corriente continua  
 Fuente: Elaboración propia

$$S = \frac{2 \times L \times I}{Y \times AU}$$

Dónde:

- ❖  $I$  (A): Intensidad a potencia nominal. 12,82 A. Especificación fabricante.
- ❖  $Y$  (m): Conductividad del cobre. 45,49 m/(Ω/mm²). Catálogo cableado Prysmian.

	Temperatura del conductor		
	20 °C	Termoplásticos 70 °C	Termoestables 90 °C
Cu	58,00	48,47	45,49
Al	35,71	29,67	27,8

Tabla 18: Conductividades materiales para diferentes temperaturas  
 Fuente: Grupo Prysmian

- ❖  $L$  (m): Longitud de los cableados del String estimada. 40m.
- ❖  $AU$  (V): Caída de tensión máxima.
- ❖  $Umpp$  (V): Tensión de cada string.

$$Umpp = N^{\circ} \frac{\text{módulos}}{\text{string}} \times V_{\text{nominal. módulo}} [27]$$

$$Umpp = 27 \times 41,4$$

$$Umpp = 1117,8V$$

$$AU = \frac{1,5}{100} \times Umpp = \frac{1,5}{100} \times 1117,8$$

$$AU = 16,77 V$$

Una vez que conocemos todos los valores necesarios para calcular la sección.

$$S = \frac{2 \times 40 \times 12,82}{45,49 \times 16,77}$$

$$S = 1,35 \text{ mm}^2$$

La siguiente sección que podemos utilizar para el cable “AFUMEX CLASS 750 V (AS) HO7Z1-K TYPE 2 (AS)” es de **1,5 mm<sup>2</sup>**. Sin embargo, nos quedaremos con la sección calculada por Intensidad admisible, **4mm<sup>2</sup>**, ya que es la sección que nos recomienda el fabricante, aparte de ser la mayor que hemos calculado, y obviamente la que más seguridad nos va a proporcionar.[27]

### 6.7.2. Instalación de corriente alterna

#### 6.7.2.1. Configuración

La intensidad máxima de salida del inversor será 155,2 A, es decir, circulara una corriente por el tramo desde el inversor al transformador de 155,2A

Tras los inversores la energía entra en el centro de transformación previo a la evacuación de la energía eléctrica a la red, que transformará la tensión de 800V a 13 kV, pasando de baja a media tensión tras su paso por el transformador.

Antes de la inyección de la energía en la red eléctrica, se transportará hasta el centro de control y protecciones de la planta, punto habilitado para las operaciones de control y maniobra, así como para la realización de las lecturas fiscales de la energía producida.

#### 6.7.2.2. Cálculo de la sección por intensidad admisible

En este caso sólo aplicamos coeficiente mayorador, 1,25, que es un factor que multiplica a la intensidad máxima que se puede aplicar sobre el producto, para emular diferentes aspectos como el uso de carga máxima, cumplimiento de la normativa, etc., porque el inversor ya limita la corriente de salida. El resto de los coeficientes del lado de corriente continua no se deben de tener en cuenta. El circuito es único, no forma parte de un agrupamiento, está a la sombra en interior y a la temperatura estándar de España 40°C. [27]

$$I_{Máx. adm} = I_{out. inversor} \times 1,25 = 155,2 \times 1,25$$

$$I_{Máx. adm} = 194 A$$

NÚMERO DE CONDUCTORES x SECCIÓN mm²	ESPESOR DE AISLAMIENTO mm (t)	DIÁMETRO EXTERIOR mm (t)	PESO kg/km (t)	RESISTENCIA DEL CONDUCTOR a 20 °C Ω /km	INTENSIDAD ADMISIBLE AL AIRE (2) A	CAÍDA DE TENSIÓN V/A km (2)	
						cos φ = 1	cos φ = 0,8
1 x 1,5	0,7	3,4	20	13,3	14,5	28,84	23,22
1 x 2,5	0,8	4,1	32	7,98	20	17,66	14,25
1 x 4	0,8	4,8	46	4,95	26	10,99	8,91
1 x 6	0,8	5,3	65	3,30	34	7,34	5,99
1 x 10	1,0	6,8	111	1,91	46	4,36	3,59
1 x 16	1,0	8,1	164	1,21	63	2,74	2,29
1 x 25	1,2	10,2	255	0,78	82	1,73	1,48
1 x 35	1,2	11,7	351	0,554	101	1,25	1,09
1 x 50	1,4	13,9	520	0,386	122	0,92	0,84
1 x 70	1,4	16	700	0,272	155	0,64	0,61
1 x 95	1,6	18,2	930	0,206	187	0,46	0,46
1 x 120	1,6	20,2	1130	0,161	216	0,36	0,38
1 x 150	1,8	22,5	1410	0,127	247	0,29	0,33
1 x 185	2,0	20,6	1770	0,106	281	0,26	0,28
1 x 240	2,2	28,4	2300	0,0801	330	0,18	0,24

Tabla 19: Características cable técnicas AFUMEX CLASS 750 V (AS) H07Z1-K TYPE 2 (AS)  
 Fuente: Grupo Prysmian

La sección será la siguiente que aguante esa Intensidad máxima admisible, por lo que la sección que nos sale en la primera parte de corriente alterna, es decir, desde los inversores hasta la entrada al transformador será de **1x120mm<sup>2</sup>**. [27]

6.7.2.3. Cálculo de la sección por caída de tensión

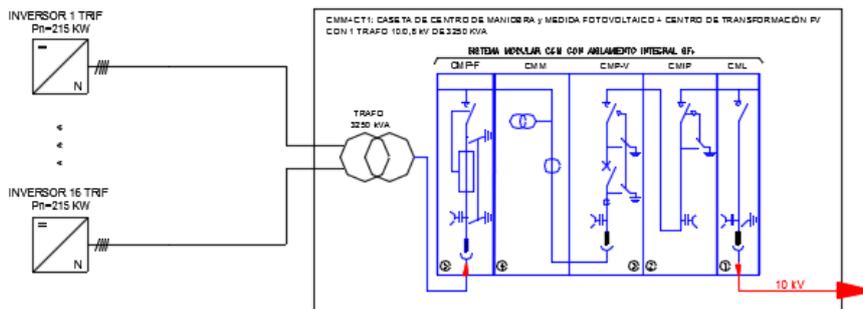


Ilustración 43: Esquema unifilar parte corriente alterna de BT  
 Fuente: Elaboración propia

$$S = \frac{2 \times L \times I \times \cos \alpha}{Y \times AU}$$

Dónde:

- ❖  $I (A)$ : Intensidad máxima salida del inversor. 155,2 A. Especificación fabricante.
- ❖  $Y (m)$ : Conductividad del cobre. 45,49 m/(Ω/mm<sup>2</sup>). Catálogo cableado Prysmian.

	Temperatura del conductor		
	20 °C	Termoplásticos 70 °C	Termoestables 90 °C
Cu	58,00	48,47	45,49
Al	35,71	29,67	27,8

Tabla 20: Conductividades de materiales para diferentes temperaturas  
 Fuente: Grupo Prysmian

- ❖  $L (m)$ : Longitud de los cableados del String estimada. 200 m.
- ❖  $AU (V)$ : Caída de tensión máxima.
- ❖  $Umpp (V)$ : Tensión de salida del inversor. 800v. Especificación fabricante.
- ❖  $cosa$ : Factor de potencia. (1)

$$AU = \frac{1,5}{100} \times Umpp = \frac{1,5}{100} \times 800$$

$$AU = 12 V$$

Una vez que conocemos todos los valores necesarios para calcular la sección.

$$S = \frac{2 \times 200 \times 155,2}{45,49 \times 12}$$

$$S = 113,72 \text{ mm}^2$$

La siguiente sección que podemos utilizar para el cable “AFUMEX CLASS 750 V (AS) H07Z1-K TYPE 2 (AS)” es de **120 mm<sup>2</sup>**, sección que nos concuerda con lo anteriormente calculado mediante la Intensidad admisible. [27]

Todo el cableado en BT, se realiza con el cable, “AFUMEX CLASS 750 V (AS) H07Z1-K TYPE 2 (AS)”, cable eléctrico multiconductor, de fácil pelado y tendido, que supone el ahorro del 30% del tiempo de mano de obra, tipo RZ1-K (AS), tensión nominal 0,6/1 kV, de alta seguridad en caso de incendio (AS), reacción al fuego clase Cca-s1b,d1,a1, con conductores de cobre recocido, flexible (clase 5), de 240 mm<sup>2</sup> de sección, aislamiento de polietileno reticulado (XLPE), de tipo DIX3, cubierta de poliolefina termoplástica, de tipo Afumex Z1, de color verde, y con las siguientes características: [30]

- ❖ Evita la propagación de la llama o del incendio.
- ❖ Baja emisión de humos opacos.
- ❖ Reducción en emisión de gases tóxicos y nula emisión de gases corrosivos.
- ❖ Libre de halógenos.
- ❖ Resistencia a la absorción de agua, al frío, a los rayos ultravioleta y resistencia a los agentes químicos.

### 6.7.3. Puesta a tierra

Los módulos FV estarán puestos a tierra, protegiendo contra el contacto directo evitando la transferencia de energía de los marcos de los módulos a las estructuras fijas.

La toma de tierra para las masas se realizará uniendo una serie de electrodos enterrados o picas de tierra a través de un cable conductor, al que se conectarán todos los elementos metálicos que conforman la instalación fotovoltaica (marcos de módulos, seguidores y armarios metálicos).

Se dispondrá el número de electrodos necesario para conseguir una resistencia de tierra tal que cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a 24 V.

### 6.8. PROTECCIONES Y MONITORIZACIÓN

En este punto vamos a describir las protecciones comprendidas en los tramos de DC/AC de baja tensión, es decir, los tramos comprendidos entre los módulos-inversores y cada

inversor-transformador, que se emplean debido a la configuración de esta planta fotovoltaica.

Debido a nuestra configuración, las protecciones vienen integradas en los equipos, más concretamente en los inversores y el centro de transformación. A continuación, vamos a nombrar y describir las protecciones de cada componente. [24]

### **6.8.1. Inversor**

#### Dispositivo de desconexión del lado de entrada

Son equipos destinados al corte de flujo de la corriente. Su uso se basa para poder realizar mantenimiento en el sistema, abriendo un punto en el circuito, incluso cuando está bajo carga. Constan de un resorte que acumula energía eléctrica hasta que llega a un punto donde libera la energía mediante la apertura o el cierre del mismo. Estos dispositivos suelen ser seccionadores, fusibles, cajas de maniobra, etc.

#### Protección anti-isla

Es un sistema de protección que en caso de que se produzca un fallo en la red que haga que la tensión salga de los valores correctos, el inversor se desconecta, incluso desconectándose también cuando la tensión desaparezca por completo, esperando a que vuelva a existir tensión para volver a conectarse cuando la tensión regrese.

#### Protecciones contra sobrecorrientes AC

Son dispositivos que gestionan la electricidad de un dispositivo, protegiéndoles de picos de tensión, descargándolos a tierra.

Mientras los voltajes se mantienen en su rango de operación normal, presentan una resistencia eléctrica muy elevada, pero, cuando aparece una sobretensión estos se comportan como si se produjese un breve cortocircuito.

#### Protección en DC contra polaridad inversa

Sistema de protección para circuitos de baja tensión, donde se coloca un diodo en polarización directa, que permitirá que solo conduzca cuando se conecte la polaridad correctamente, bloqueando el diodo el paso de la corriente en caso de no estar la fuente de alimentación bien conectada. Este sistema de protección es simple y barato además de que los componentes de la instalación están completamente a salvo de daños en caso de conectarse la fuente inversamente. Sin embargo, la caída de tensión en el diodo se disipa en forma de calor, aumentando las pérdidas cuanto más corriente circule por el sistema.

#### Pararrayos

Las plantas fotovoltaicas están formadas por numerosos elementos electrónicos y metálicos, que, situadas en zonas abiertas, como es nuestro caso, está expuesta a las perturbaciones climatológicas, concretamente en este punto hablamos de las perturbaciones electroestáticas producidas por los rayos, capturándolos con una grande superficie. Se utiliza dos sistemas, para protección externa y para protección interna. Nuestro inversor ya viene con el pararrayos integrado, más concretamente de tipo II.

La protección externa da cobertura a los módulos FV, las estructuras, las edificaciones, básicamente a cualquier elemento o persona que se encuentre en el exterior de la planta fotovoltaica.

La protección interna protege contra las sobre tensiones de duración determinada producidas por los impactos directos de los rayos, por consecuencia a sus corrientes inducidas y distribuidas en la red y por las variaciones de campo eléctrico por consecuencia de los rayos.

### Monitoreo de fallos de strings fotovoltaicos

A la hora de monitorizar el sistema fotovoltaico, supervisar los strings nos va a permitir aumentar considerablemente la eficiencia de la planta, de manera que se puedan detectar fallos y así tomar las medidas necesarias para solucionar los fallos de una manera rápida y precisa, ya que con este sistema se puede reaccionar de forma inmediata a cualquier pérdida en la potencia de cualquier string, detectando la avería inmediatamente.

Monitorizar los strings fotovoltaicos conlleva muchas ventajas:

- ❖ Reducción de costes, ahorro de espacio y ahorro de cableado.
- ❖ Se produce una medición de la corriente sencilla, segura y sin interrupciones.
- ❖ Integración sencilla en sistemas de monitorización.

Este sistema se compone de el módulo de comunicación, para poder conectarse y recopilar los valores de la medición, además de preparar los datos para transmitirlos a sistemas de control superiores y alimenta los módulos de medición conectados. Otra parte que compone este sistema es el módulo de medición de corriente, informándonos de la corriente en todo momento en cada string, además de medir corrientes inversas, etc. Por último, está el módulo de medición de tensión, que mide la tensión en DC hasta los 1500 V, conecta y alimenta a través de una entrada analógica y emite el valor de la tensión como señal analógica.

### Unidad de control de corriente residual

Los monitores de corriente residual se utilizan para seguir el funcionamiento de los sistemas conectados a tierra, de manera que se pueda detectar corrientes residuales. En general se emplean para comunicar al usuario sobre los deterioros en el nivel de aislamiento de forma temprana y fiable.

#### **6.8.2. Centro de Transformación**

El Centro de Transformación tendrá monitorizado su funcionamiento, ya que posee la posibilidad de medición de del nivel, temperatura y presión del aceite. Incorpora un relé de Buchholz, que protege el sistema contra los fallos que puedan surgir en el aislamiento en el interior del equipo.

El grado de protección de la sala de MT y BT es IP54. Posee las celdas de MT TPR6 de clase IAC, con una resistencia ante arco interno a 20 kA 1s. El Centro de Transformación está equipado con un descargador de sobretensiones de MT, con protector contra las sobretensiones Tipo I+II. Para finalizar este centro incorpora protección contra el relé de MT y protección anti-roedores, C4 alto / C5 medio de acuerdo con ISO 12944-1.

## **7. PRODUCCIÓN**

### 7.1. DATOS DE RADIACIÓN

Para la representación de la irradiación solar en la zona donde se ubica el proyecto, hemos optado por basarnos en la fuente de los datos de irradiación del *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM*, más exactamente, el año meteorológico típico (TMY).

El año meteorológico típico es una recopilación de datos climatológicos de los diferentes años del pasado en una zona determinada. Estructurados en intervalos de una hora, se basa en la recopilación de datos del clima en diferentes momentos de los últimos años, para obtener una representación del clima más típico en una zona determinada. En nuestro caso los datos obtenidos del NREL varían desde 2007 a 2016, donde nos va a representar entre otros datos climatológicos la irradiación global directa (W/m<sup>2</sup>) y la irradiancia difusa (W/m<sup>2</sup>), en cada hora, de cada día, de cada mes de un año comprendido entre 2007 y 2016.

En las siguientes tablas representamos el promedio de ambas irradiancias, de cada hora de cada mes, así como el promedio anual de cada hora del día. [32]

#### Irradiancia Global Horizontal

		Irradiancia Anual (W/m <sup>2</sup> )	Irradiancia Enero (W/m <sup>2</sup> )	Irradiancia Febrero (W/m <sup>2</sup> )	Irradiancia Marzo (W/m <sup>2</sup> )	Irradiancia Abril (W/m <sup>2</sup> )	Irradiancia Mayo (W/m <sup>2</sup> )
Hora	0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	4:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5:00	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	6:00	40,17	0,00	0,00	0,00	0,00	22,00
	7:00	115,92	0,00	0,00	0,00	50,00	88,00
	8:00	222,92	27,00	74,00	44,00	141,00	200,00
	9:00	347,83	100,00	236,00	72,00	285,00	341,00
	10:00	471,25	118,00	392,00	157,00	290,00	674,00
	11:00	446,92	156,00	496,00	173,00	240,00	572,00
	12:00	481,83	118,00	364,00	110,00	314,00	328,00
	13:00	509,50	136,00	539,00	119,00	578,00	174,00
	14:00	427,83	106,00	289,00	163,00	616,00	127,00
	15:00	369,00	122,00	186,00	113,00	335,00	499,00
	16:00	272,92	58,00	164,00	90,00	291,00	445,00
	17:00	141,33	0,00	20,00	12,00	92,00	288,00
	18:00	57,25	0,00	0,00	0,00	38,00	69,00
	19:00	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	21:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	22:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	23:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Irradiancia Junio (W/m <sup>2</sup> )	Irradiancia Julio (W/m <sup>2</sup> )	Irradiancia Agosto (W/m <sup>2</sup> )	Irradiancia Septiembre (W/m <sup>2</sup> )	Irradiancia Octubre (W/m <sup>2</sup> )	Irradiancia Noviembre (W/m <sup>2</sup> )	Irradiancia Diciembre (W/m <sup>2</sup> )
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18,00	14,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
179,00	141,00	107,00	33,00	0,00	0,00	0,00
369,00	351,00	287,00	215,00	28,00	3,00	0,00
505,00	572,00	472,00	413,00	28,00	127,00	72,00
477,00	736,00	632,00	600,00	366,00	204,00	125,00
705,00	873,00	621,00	751,00	427,00	493,00	154,00
751,00	957,00	759,00	850,00	104,00	140,00	165,00
998,00	986,00	831,00	890,00	616,00	78,00	149,00
981,00	905,00	784,00	854,00	331,00	485,00	228,00
911,00	848,00	725,00	774,00	345,00	168,00	62,00
780,00	678,00	691,00	642,00	181,00	106,00	95,00
611,00	307,00	557,00	468,00	117,00	97,00	70,00
420,00	190,00	391,00	273,00	10,00	0,00	0,00
220,00	67,00	203,00	90,00	0,00	0,00	0,00
38,00	33,00	37,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 21: Promedio Irradiación Global directa horaria, mensual y anual  
 Fuente: PVGIS

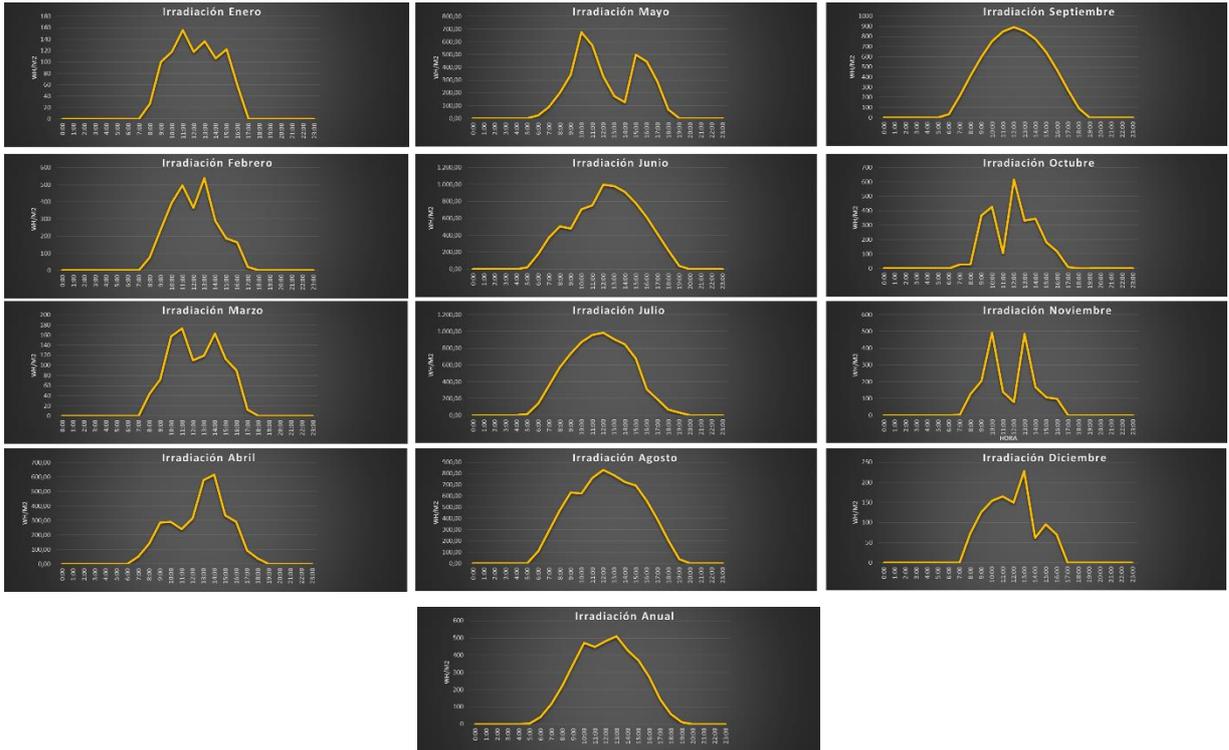


Figura 35: Representación gráfica del promedio horario de cada mes y anual de la irradiación global directa  
 Fuente: PVGIS

### Irradiación Difusa Horizontal

		Irradiancia Anual (W/m <sup>2</sup> )	Irradiancia Enero (W/m <sup>2</sup> )	Irradiancia Febrero (W/m <sup>2</sup> )	Irradiancia Marzo (W/m <sup>2</sup> )	Irradiancia Abril (W/m <sup>2</sup> )	Irradiancia Mayo (W/m <sup>2</sup> )
Hora	Promedio						
	0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	4:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5:00	2,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	6:00	21,08	0,00	0,00	0,00	0,00	22,00
	7:00	46,17	0,00	0,00	0,00	0,00	88,00
	8:00	92,33	19,00	29,00	44,00	138,00	195,00
	9:00	172,00	88,00	72,00	72,00	256,00	310,00
	10:00	204,25	116,00	76,00	157,00	281,00	340,00
	11:00	209,58	153,00	90,00	173,00	240,00	446,00
	12:00	199,17	118,00	265,00	110,00	309,00	325,00
	13:00	210,25	136,00	93,00	119,00	401,00	174,00
	14:00	190,25	106,00	230,00	163,00	318,00	127,00
	15:00	177,83	110,00	165,00	113,00	294,00	342,00
	16:00	130,08	47,00	89,00	90,00	225,00	231,00
	17:00	62,83	0,00	17,00	12,00	91,00	154,00
	18:00	29,08	0,00	0,00	0,00	33,00	65,00
	19:00	6,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	21:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	22:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Irradiancia Junio (W/m2)	Irradiancia Julio (W/m2)	Irradiancia Agosto (W/m2)	Irradiancia Septiembre (W/m2)	Irradiancia Octubre (W/m2)	Irradiancia Noviembre (W/m2)	Irradiancia Diciembre (W/m2)
Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
68,00	87,00	54,00	22,00	0,00	0,00	0,00
103,00	109,00	100,00	73,00	28,00	3,00	0,00
204,00	76,00	135,00	102,00	28,00	99,00	39,00
359,00	104,00	177,00	108,00	233,00	174,00	111,00
363,00	115,00	359,00	107,00	307,00	82,00	148,00
415,00	137,00	346,00	109,00	104,00	140,00	162,00
145,00	159,00	320,00	110,00	302,00	78,00	149,00
135,00	266,00	355,00	136,00	309,00	196,00	203,00
113,00	237,00	333,00	132,00	296,00	166,00	62,00
112,00	287,00	213,00	123,00	178,00	105,00	92,00
107,00	281,00	159,00	112,00	115,00	77,00	28,00
91,00	182,00	111,00	86,00	10,00	0,00	0,00
72,00	67,00	76,00	36,00	0,00	0,00	0,00
28,00	32,00	23,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 22: Promedio Irradiación Difusa Horizontal horaria, mensual y anual  
 Fuente: PVGIS

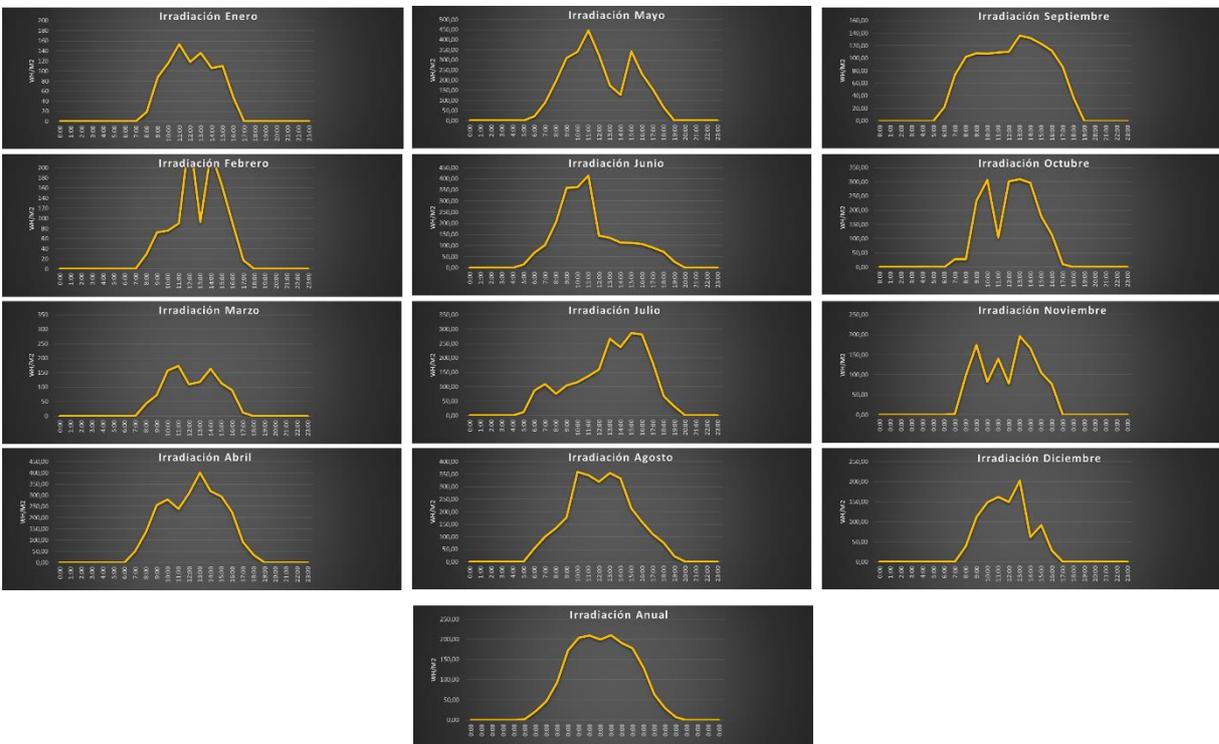


Figura 36: Representación gráfica del promedio horario de cada mes y anual de la irradiación difusa horizontal  
 Fuente: PVGIS

## 7.2. PÉRDIDAS CONSIDERADAS

En nuestro caso, hemos realizado el cálculo de la producción con el software PVsyst, que pasará de ser de 7824 MWh a 6799 MWh tras el cálculo de todas las pérdidas de producción. A continuación, vamos a describir todas las pérdidas consideradas. [25]

### Pérdidas por degradación del módulo

Este dato nos lo facilita el fabricante. En la ficha técnica de nuestro módulo consta una degradación del primer año de funcionamiento de la instalación menor del 2%, y del

0,45% del año 2 al 30. Gracias al PvSyst tenemos las pérdidas exactas por degradación del módulo en el primer año las cuales son del 0,23%.

Pérdidas debido a el nivel de irradiancia

Estas pérdidas dependen completamente del módulo fotovoltaico elegido. Son concretamente las que se producen ya que el módulo no trabaja siempre con la irradiancia optima, ya que los módulos están diseñados para que tengan su máxima eficiencia para ciertos puntos de radiación, en nuestro caso de 1000 W/m2. Para nuestro proyecto las pérdidas debidas a el nivel de irradiancia son de 0,5%.

Pérdidas debido a la temperatura

La tensión proporcionada por un panel fotovoltaico depende de la temperatura a la que se encuentre, sabiendo que a menor temperatura mayor será el voltaje del panel, es decir, los módulos están diseñados para funcionar a una temperatura óptima, por lo que cuando los módulos no se encuentren a esa temperatura óptima, debido a condiciones ambientales como irradiancia, viento, etc., no van a generar su máxima potencia. En nuestro caso las pérdidas debidas a la temperatura son de un 3,59%.

Pérdidas por sombreado cercano

Se ha simulado la disposición de módulos con el fin de definir la influencia del sombreado.

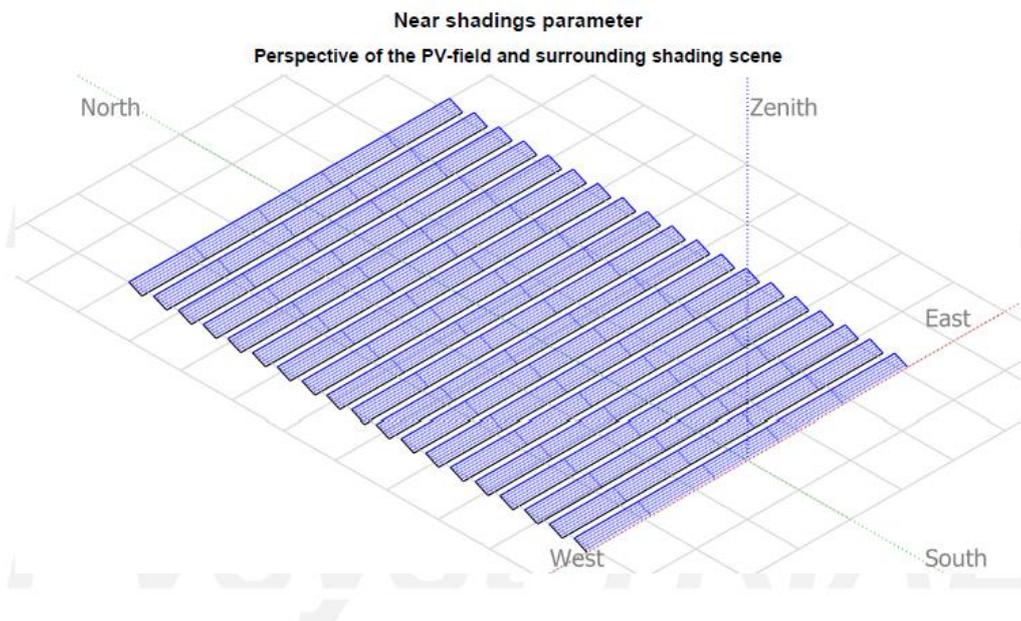


Ilustración 44: Perspectiva del campo fotovoltaico y la escena de sombreado circundante  
 Fuente: PVsyst

Las pérdidas por sombreado cercano se van a producir en mayor medida en las horas iniciales y finales de cada día. Nuestra configuración es de estructuras fijas en las cuales se dispone de 27 módulos cada uno. Cada string está formado por 27 módulos, pero para la reducción de este tipo de pérdida no vamos a unir en serie los 27 módulos de cada estructura fija, si no que vamos a unir en serie para formar cada string con los módulos de diferentes estructuras pero del mismo nivel, es decir cada string estará formado por 27 módulos los cuales serán los 9 módulos d debajo de una estructura con

los 9 módulos de debajo de la estructura de al lado y así consecutivamente, de manera que en las primeras y últimas horas del día el sombreado solo afecte a los strings que más pegados al suelo están en vez de afectar prácticamente a todos los strings de la planta. En nuestro proyecto las pérdidas por sombreado cercano son de 0,51%

#### Pérdidas de la degradación inducida por la luz (LID)

En los módulos fotovoltaicos se produce una degradación debido a reacciones químicas en la célula de silicio por la presencia de impurezas que se encuentran en los materiales utilizados y su método de procesamiento durante la fabricación. En nuestro proyecto la pérdida es del 1,55%.

#### Pérdidas por suciedad en los módulos

Provocan una disminución en la potencia de los módulos causada por el polvo, los excrementos de aves o la nieve hacen que aumente el desajuste entre los módulos y los strings.

#### Pérdidas de conexionado de los módulos y Strings

Causadas por la conexión de módulos fotovoltaicos de potencias ligeramente diferentes para formar un generador fotovoltaico, que para nuestro proyecto tiene una pérdida de producción del 2,10%.

#### Pérdidas por caídas óhmicas en el cableado

Tanto en la parte de corriente continua (DC) como en la de corriente alterna (AC) se producen pérdidas ya que se producen caídas de tensión en momentos determinados, restándonos un 0,16% en nuestro caso, así mismo como otro 0,27% cuando la energía sale del inversor.

Pérdidas por rendimiento de seguimiento del MPP del generador fotovoltaico. Es importante que el inversor trabaje a un gran rendimiento para reducir las pérdidas al máximo, ya que, si ponemos un inversor de una potencia excesiva frente a los generadores fotovoltaicos, estos generarán poca energía como para hacer que el inversor trabaje a pleno rendimiento, las cuales con nuestro diseño son del 2,81%.

#### Pérdidas del transformador

Dependen de la potencia, pero sobre todo dependen del estado de carga del mismo. Las pérdidas no son las mismas si el transformador está a media carga que si está a plena carga, siendo en nuestro proyecto un 0,88% de la energía generada.

#### Pérdidas por indisponibilidad del sistema

Causados por periodos donde la instalación sea desconectada por mantenimiento o cualquier actuación necesaria que requiera pausar o suspender el funcionamiento. 1,00%.

Por último, veremos el diagrama de pérdidas de producción resultante en nuestra simulación de PVSyst.

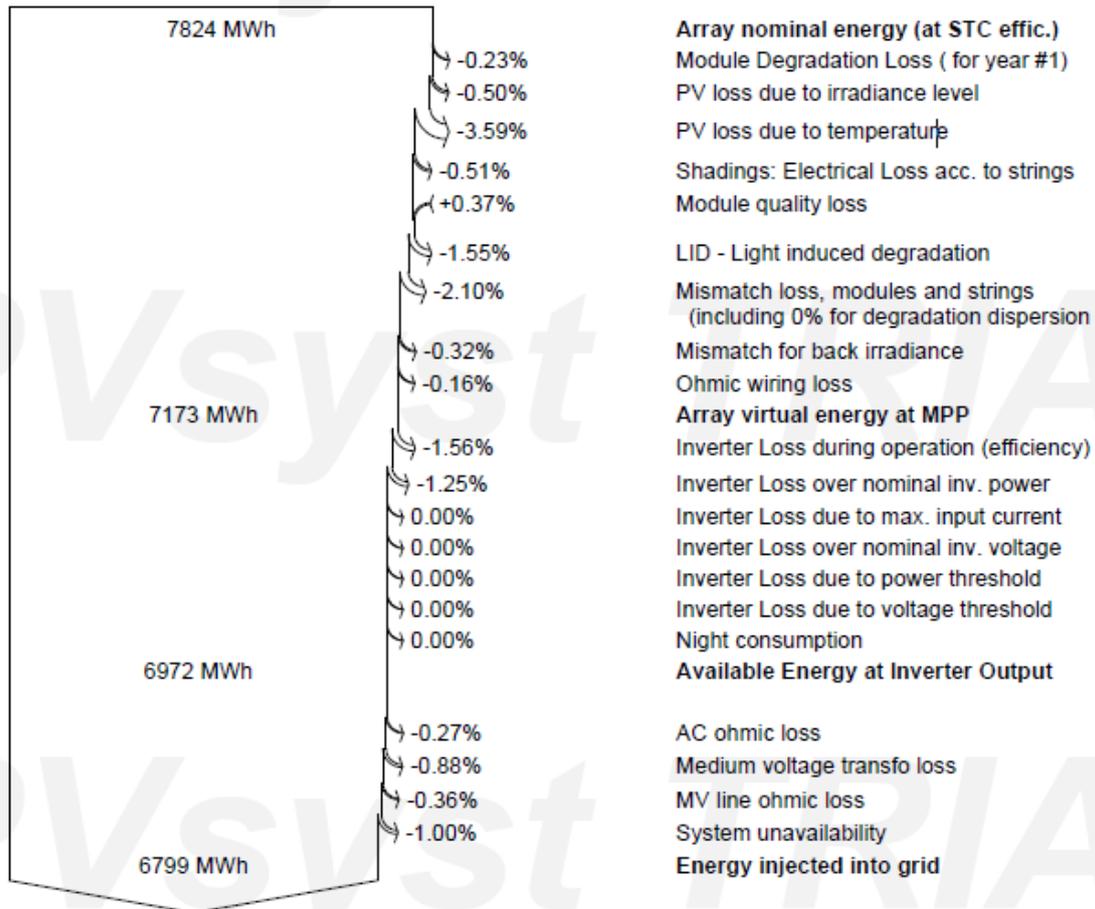


Ilustración 45: Diagrama de pérdidas de producción eléctrica  
 Fuente: PVSyst

### 7.3. RESULTADOS

La energía que produce esta planta fotovoltaica es estimada mediante el software PVSyst, contando con todo el equipo elegido y la configuración que se ha diseñado.

Lo primero que queremos resaltar es el Performance Ratio (PR), el cual nos informa del rendimiento energético real, respecto del posible, es decir, que, durante un cierto periodo, relaciona la energía que se genera en la planta con la irradiación que obtiene la planta fotovoltaica. Dicho esto, el mejor PR posible es de 1, ya que en ese hipotético caso la planta generaría la misma energía que recibe de la irradiación, pero siempre hay pérdidas. En nuestro caso el Performance Ratio es del 0,854, un valor dentro de lo correcto.

En la siguiente imagen tenemos el resumen de la producción, mensual y anual, donde la energía generada es de 6.798,7 MWh/año, siendo julio y agosto los meses con más producción, mientras que diciembre y enero son los meses con menos producción.

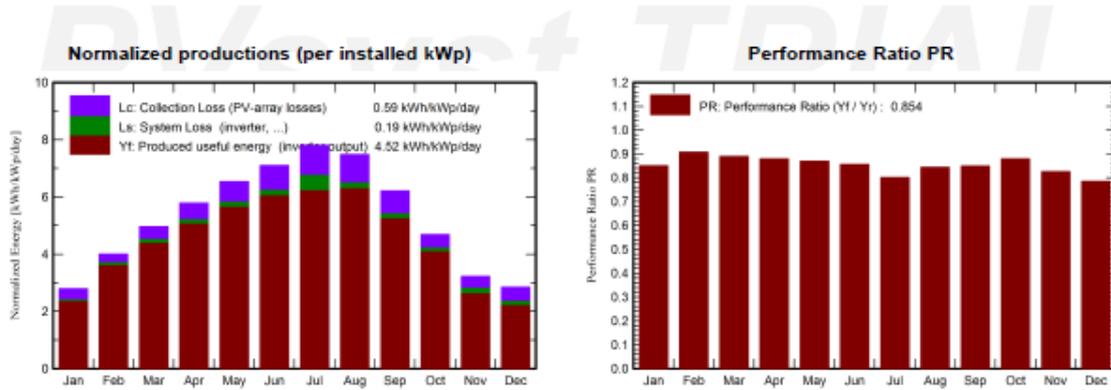
Gracias a la producción de estos casi 7 GWh/año vamos a colaborar en la reducción de quema de combustibles, y por lo tanto a la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero a nuestro planeta. [25]

**System Production**  
 Produced Energy

6799 MWh/year

Specific production  
 Performance Ratio PR

1650 kWh/kWp/year  
 85.35 %



**Balances and main results**

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	57.7	28.40	4.41	86.6	79.3	312.5	303.8	0.851
February	82.3	33.65	4.98	112.2	107.9	432.6	419.6	0.908
March	127.7	52.44	8.01	153.9	148.6	582.4	564.8	0.890
April	159.3	65.11	10.90	173.5	167.5	649.5	629.8	0.881
May	200.5	73.57	14.65	202.7	195.3	749.4	726.5	0.870
June	218.5	72.08	19.24	212.9	205.3	776.0	751.8	0.857
July	242.4	59.73	22.17	242.1	234.3	869.4	799.3	0.801
August	215.4	54.34	21.81	232.1	225.1	835.0	808.0	0.845
September	156.6	48.97	18.35	186.4	180.5	674.5	653.3	0.850
October	109.3	40.11	13.68	145.3	139.8	543.5	527.0	0.880
November	66.0	30.40	8.22	96.7	90.3	352.9	329.2	0.826
December	55.1	24.75	4.97	88.3	78.9	306.8	285.6	0.785
Year	1690.7	583.54	12.66	1932.8	1852.8	7084.6	6798.7	0.854

**Legends**

- GlobHor Global horizontal irradiation
- DiffHor Horizontal diffuse irradiation
- T\_Amb Ambient Temperature
- GlobInc Global incident in coll. plane
- GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
- EArray Effective energy at the output of the array
- E\_Grid Energy injected into grid
- PR Performance Ratio

Figura 37: Resumen de producción eléctrica planta fotovoltaica  
 Fuente: PVSyst

## **8. EVACUACIÓN DE LA ENERGÍA**

Para la viabilidad de este proyecto la energía generada se inyectará a una línea de 13 kV, que se dirige a la Subestación de Olmedo, donde se ubican dos transformadores, de 5 y 2 MW de potencia. Esta subestación es propiedad del Grupo Iberdrola, que es el que tiene la potestad en Castilla y León.

El Grupo Iberdrola presenta un documento público donde podemos ver la capacidad de todos los transformadores de su posesión en España, así como su capacidad ocupada y libre.

En la siguiente tabla podemos ver todos los transformadores del Grupo Iberdrola en Valladolid, donde vemos que los transformadores de la subestación de Olmedo están ocupados en su totalidad, por lo que no podemos evacuar la energía en la línea cercana que pasa por el interior del terreno.

La evacuación deberá de ser a la subestación de Medina del Campo, donde vemos que hay capacidad de sobra para a evacuación de la energía. El problema es que no tenemos una línea eléctrica cerca que comunique con esta subestación, ya que la más próxima está a unos 500 metros de nuestro terreno, por lo que al proyecto habría que sumarle una línea eléctrica de evacuación de 500 metros para poder conectar con la línea que lleve la energía a la subestación más cercana posible, algo inviable para un proyecto de esta potencia.

Denominación del Punto de Conexión	Identificador del Punto de Conexión	Coordenada X (m) (WGS84 Mercator)	Coordenada Y (m) (WGS84 Mercator)	Nivel de Tensión (kV)	Capacidad de acceso disponible (MW)	Capacidad de acceso ocupada (MW)	Capacidad de acceso aceptada NO conectada (MW)
ARROYADA 45.000	0017001330	-524788,64	5090157,83	45	38,29	0,00	30,00
ARROYADA T3	0247125480	-524788,64	5090157,83	13	0,00	0,00	1,00
ARROYADA T4	0247125482	-524788,64	5090157,83	13	15,62	0,00	0,00
ARROYADAS 45.000	0017001352	-524788,64	5090157,83	45	37,98	0,00	0,00
ARROYADAS.T4	0247099101	-524788,64	5090157,83	45	28,50	0,00	0,00
ATAQUINE T1	0247125189	-538991,39	5041197,51	13	0,00	5,00	0,00
ATAQUINES.T1	0247092207	-538991,39	5041197,51	45	0,00	0,00	0,00
BECILLA T1	0247082735	-579715,15	5175481,27	45	0,00	0,00	0,00
BOECILLO T1	0247125480	-521466,15	5092483,32	13	1,74	2,00	0,00
BOECILLO T2	0247125483	-521466,15	5092483,32	13	14,49	1,00	1,00
BOECILLO.T1	0247091108	-521466,15	5092483,32	45	17,14	0,00	0,00
BOECILLO.T2	0247098121	-521466,15	5092483,32	45	17,23	0,00	0,00
BVALDERA T1	0247125139	-579715,15	5175481,27	13	0,00	1,00	2,00
C.MADRID.T1	0247090635	-528294,47	5105508,71	45	19,58	0,00	0,00
C.MADRID.T2	0247090816	-528294,47	5105508,71	45	18,00	0,00	0,00
C.P.DUERO.T1	0247090728	-529097,57	5103737,15	45	18,00	0,00	0,00
C.SEGOVIA.T1	0247091908	-525566,60	5105853,16	45	19,58	0,00	0,00
C.SEGOVIA.T2	0247096906	-525566,60	5105853,16	45	23,19	0,00	0,00
CABILDO T1	0247125134	-524750,18	5113340,91	13	3,20	3,00	0,00
CABILDO T2	0247125138	-524750,18	5113340,91	13	4,20	0,00	0,00
CABILDO.T1	0247096101	-524750,18	5113340,91	45	18,00	0,00	0,00
CABILDO.T2	0247096205	-524750,18	5113340,91	45	20,50	0,00	0,00
CANTERAC T1	0247125758	-524319,07	5108180,22	13	1,78	1,00	4,00
CANTERAC T2	0247125782	-524319,07	5108180,22	13	8,11	0,00	0,00
CANTERAC.T1	0247095816	-524319,07	5108180,22	45	15,00	0,00	0,00
CANTERAC.T2	0247090833	-524319,07	5108180,22	45	15,00	0,00	0,00
CCIRCUNV T1	0247125146	-523878,25	5109899,93	13	6,99	0,00	0,00
CCIRCUNV T2	0247125148	-523878,25	5109899,93	13	7,00	0,00	0,00
CCIRCUNV.T1	0247095114	-523878,25	5109899,93	45	28,49	0,00	0,00
CCIRCUNV.T2	0247090105	-523878,25	5109899,93	45	28,50	0,00	0,00
CEMENTE T1	0247125156	-523567,29	5111891,29	13	12,59	0,00	0,00
CEMENTE T2	0247125183	-523567,29	5111891,29	13	9,42	0,00	0,00
CEMENTER.T1	0247095110	-523567,29	5111891,29	45	28,08	0,00	0,00
CEMENTER.T2	0247090114	-523567,29	5111891,29	45	28,38	0,00	0,00
CIGALES T1	0247125188	-519052,16	5122434,25	13	0,00	5,00	1,00
CIGALES.T1	0247090404	-519052,16	5122434,25	45	0,00	0,00	0,00
CMADRID T1	0247125151	-528294,47	5105508,71	13	8,88	0,00	0,00
CMADRID T2	0247125152	-528294,47	5105508,71	13	6,45	0,00	0,00
CPDUERO T1	0247125609	-529097,57	5103737,15	13	8,83	0,00	0,00
CSEGOVIA T1	0247125455	-525566,60	5105853,16	13	8,91	0,00	0,00
CSEGOVIA T2	0247125456	-525566,60	5105853,16	13	8,94	0,00	0,00
EL PERAL T1	0247125372	-530880,24	5103271,16	13	0,00	3,00	0,00
EL PERAL.T1	0247095819	-530880,24	5103271,16	45	0,00	0,00	0,00
EL PERAL.T2	0247090809	-530880,24	5103271,16	45	0,00	0,00	0,00
ENCOMIEN T1	0247125500	-535424,32	5102875,99	13	14,27	0,00	0,00
ENCOMIEN T2	0247125499	-535424,32	5102875,99	13	14,27	0,00	0,00
ENCOMIEN.T1	0247098103	-535424,32	5102875,99	45	18,00	0,00	0,00
ENCOMIEN.T2	0247091016	-535424,32	5102875,99	45	18,00	0,00	0,00
FRESNO T1	0247125170	-572222,96	5042431,78	13	0,00	2,00	0,00
FRESNO.T1	0247091518	-572222,96	5042431,78	45	0,00	0,00	0,00
ISCAR T1	0247125670	-508445,09	5085118,80	13	0,00	0,00	0,00
ISCAR T2	0247125671	-508445,09	5085118,80	13	0,00	0,00	1,00

ISCAR.T1	0247092408	-508445,09	5085118,80	45	0,00	0,00	0,00
ISCAR.T2	0247096313	-508445,09	5085118,80	45	0,00	0,00	0,00
JALON T1	0247125444	-522904,28	5101360,44	13	0,00	4,00	2,00
JALON T2	0247143312	-522904,28	5101360,44	13	0,00	0,00	0,00
JALON T1	0247096533	-522904,28	5101360,44	45	0,00	0,00	0,00
JALON.T2	0247090840	-522904,28	5101360,44	45	0,00	0,00	0,00
LOGISTIC T1	0247125585	-558132,76	5089235,43	20	0,00	0,00	0,00
LOGISTIC T2	0247125566	-558132,76	5089235,43	20	12,72	0,00	0,00
LOGISTICA.T1	0247092801	-558132,76	5089235,43	45	0,00	0,00	0,00
LOGISTICA.T2	0247097801	-558132,76	5089235,43	45	27,00	0,00	0,00
M.RIOSECO.T1	0247092718	-561110,86	5142835,84	45	0,00	0,00	0,00
M.RIOSECO.T2	0247092717	-561110,86	5142835,84	45	0,00	0,00	0,00
MATAPOZU T1	0247125188	-532094,56	5073047,57	13	0,00	5,00	0,00
MATAPOZUE.T1	0247096305	-532094,56	5073047,57	45	0,00	0,00	0,00
MCSUR T2	0247125178	-547676,63	5055389,73	13	0,00	1,00	0,00
MEDIN.SUR.T1	0247092205	-547676,63	5055389,73	45	0,00	0,00	0,00
MEDIN.SUR.T2	0247097205	-547676,63	5055389,73	45	0,00	0,00	0,00
MEDINA 45.000	0017001452	-546740,53	5060705,44	45	0,00	40,00	10,00
MEDINA T3	0247125569	-546740,53	5060705,44	13	0,00	1,00	0,00
MEDINA T4	0247125572	-546740,53	5060705,44	13	0,00	2,00	0,00
MEDINA.T3	0247092001	-546740,53	5060705,44	45	0,00	0,00	0,00
MEDINA.T4	0247097001	-546740,53	5060705,44	45	0,00	0,00	0,00
MONTEMAY T1	0247125201	-497497,68	5087458,06	13	0,00	2,00	0,00
MONTEMAY.T1	0247096312	-497497,68	5087458,06	45	0,00	0,00	0,00
MONTICO T1	0247125382	-550286,34	5088715,66	13	0,00	0,00	0,00
MONTICO.T1	0247096018	-550286,34	5088715,66	45	0,00	0,00	0,00
MOTA T1	0247125221	-575502,87	5104478,59	13	0,00	6,00	1,00
MOTA.T1	0247091603	-575502,87	5104478,59	45	0,00	0,00	0,00
MRSECO T1	0247125608	-561110,86	5142835,84	13	0,00	1,00	1,00
MRSECO T2	0247125607	-561110,86	5142835,84	13	0,00	1,00	0,00
MUDARRA 45.000	0017001345	-546750,52	5129688,55	45	30,00	0,00	0,00
MUDARRA 45.000	0017001473	-546750,52	5129688,55	45	18,00	49,00	0,00
MUDARRA 45.000	0017070027	-546750,52	5129688,55	45	0,00	0,00	0,00
MUDARRA.T1	0247092702	-550196,44	5129430,30	45	0,00	0,00	0,00
NAVA.REY.T1	0247091517	-566732,41	5060482,52	45	0,00	0,00	0,00
NAVADREY T1	0247110014	-566732,41	5060482,52	13	0,00	5,00	1,00
OLMEDO T1	0247125189	-521353,45	5055447,78	13	0,00	5,00	0,00
OLMEDO T2	0247125188	-521353,45	5055447,78	13	0,00	2,00	0,00
OLMEDO.T1	0247092405	-521353,45	5055447,78	45	0,00	0,00	0,00
OLMEDO.T2	0247092427	-521353,45	5055447,78	45	0,00	0,00	0,00
P.ARGALES.T1	0247090616	-527025,28	5104097,45	45	0,00	0,00	0,00
P.ARGALES.T2	0247090811	-527025,28	5104097,45	45	16,00	0,00	0,00
PAJARILL T1	0247125205	-522522,96	5108969,72	13	7,00	0,00	0,00
PAJARILL T2	0247125207	-522522,96	5108969,72	13	7,00	0,00	0,00
PAJARILLO.T1	0247090307	-522522,96	5108969,72	45	26,49	0,00	0,00
PAJARILLO.T2	0247090309	-522522,96	5108969,72	45	26,49	0,00	0,00
PARGALES T1	0247125211	-527025,28	5104097,45	13	0,00	2,00	2,00
PARGALES T2	0247125209	-527025,28	5104097,45	13	12,29	2,00	0,00
PENAFIE2 T1	0247125503	-457012,37	5103403,97	13	2,13	3,00	0,00
PENAFIEL T1	0247125581	-458787,20	5099980,82	13	2,13	1,00	0,00
PEÑAFIEL T1	0247096531	-458787,20	5099980,82	45	2,13	0,00	0,00
PEÑAFIEL2.T1	0247096548	-457012,37	5103403,97	45	2,13	0,00	0,00
PESQUERU T1	0247125212	-540058,61	5095355,06	13	3,04	4,00	0,00
PESQUERUE.T1	0247091002	-540058,61	5095355,06	45	8,00	0,00	0,00
QONESIMO T1	0247125203	-488526,69	5104858,38	13	2,13	2,00	2,00
QONESIMO.T1	0247096508	-488526,69	5104858,38	45	2,13	0,00	0,00
RENEDO 45.000	0017001205	-520773,96	5107742,65	45	29,93	0,00	46,00
RENEDO 45.000	0017001206	-520773,96	5107742,65	45	29,96	46,00	0,00
RENEDO 45.000	0017001403	-520773,96	5107742,65	45	11,74	26,00	0,00
SISIDRO.T1	0247096517	-524271,92	5108799,32	45	0,00	0,00	0,00
SERRADA T2	0247125181	-542371,46	5080742,56	13	0,00	2,00	0,00
SERRADA.T2	0247096001	-542371,46	5080742,56	45	0,00	0,00	0,00
SISIDRO T1	0247125788	-524271,92	5108799,32	13	0,00	0,00	0,00
STMUDARRAF	0247900212	-546750,52	5129688,55	45	0,00	49,00	0,00
STRMUDAR T1	0247377888	-550196,44	5129430,30	13	0,00	2,00	3,00
STRTUDEL T1	0247125470	-508837,32	5098537,79	13	5,04	2,00	0,00
TORD.VEGA.T1	0247096406	-556839,54	5085251,50	45	0,00	0,00	0,00
TORDESIL 45.000	0017001415	-558051,68	5087382,77	45	0,00	0,00	35,00
TORDESIL 45.000	0017001423	-558051,68	5087382,77	45	44,00	0,00	0,00
TORDESIL T3	0247125546	-558051,68	5087382,77	13	0,00	1,00	2,00
TORDESIL T4	0247125545	-558051,68	5087382,77	13	2,11	2,00	0,00
TORDESIL.T3	0247090003	-558051,68	5087382,77	45	0,00	0,00	0,00
TORDESIL.T4	0247090004	-558051,68	5087382,77	45	24,00	0,00	0,00
TUDELADU.T1	0247091101	-508837,32	5098537,79	45	13,01	0,00	0,00
VALLADOL T11	0247110054	-527971,11	5108377,34	13	25,06	1,00	1,00
VALLADOL T12	0247125383	-527971,11	5108377,34	13	25,06	0,00	0,00

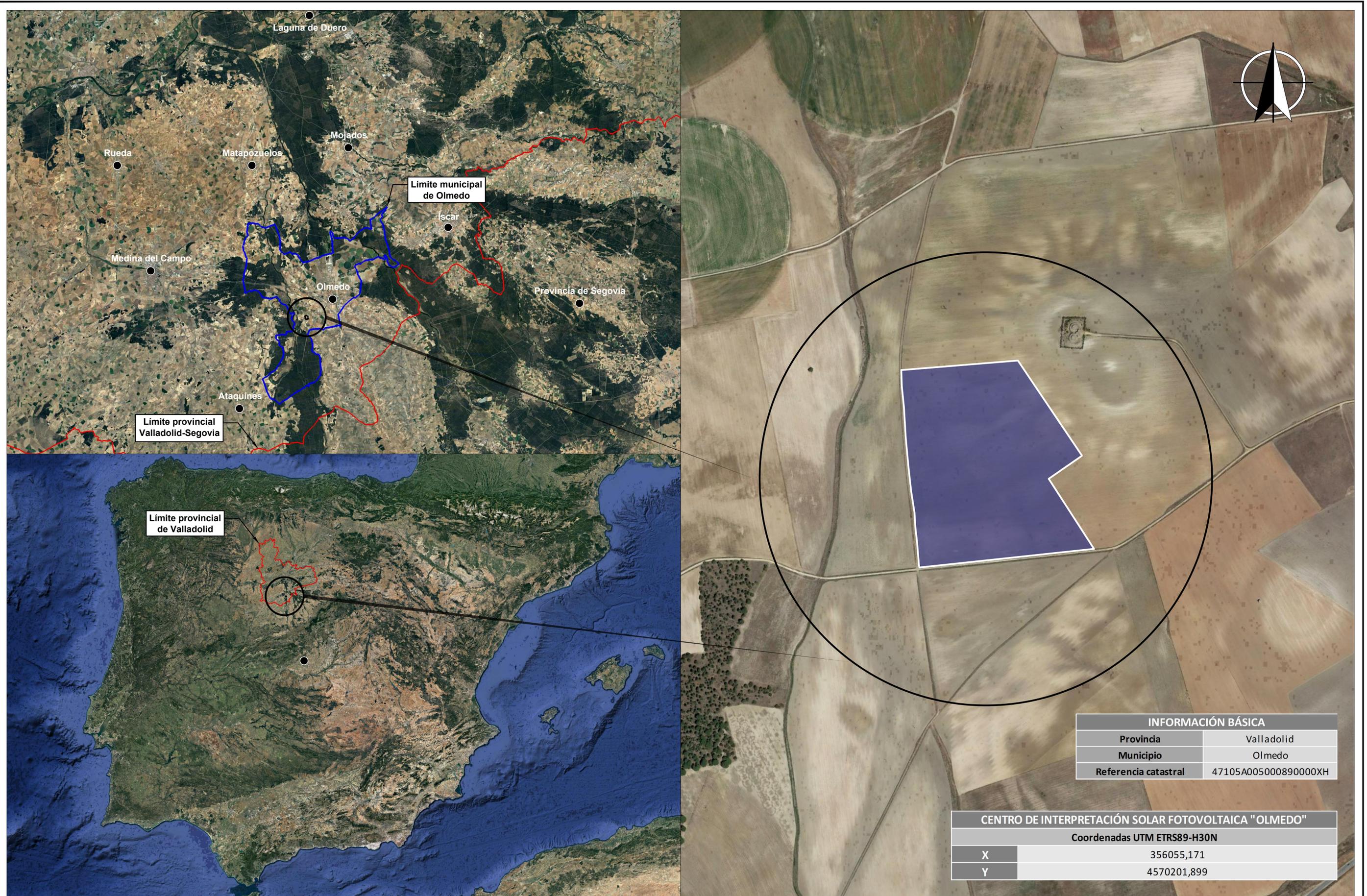
VALLADOL T21	0247110057	-527971,11	5108377,34	13	25,08	1,00	1,00
VALLADOL T22	0247125384	-527971,11	5108377,34	13	25,08	0,00	0,00
VALLADOL T31	0247110080	-527971,11	5108377,34	13	25,08	0,00	0,00
VALLADOL T32	0247125385	-527971,11	5108377,34	13	25,08	0,00	0,00
VESTER T1	0247367282	-576534,45	5088425,94	13	0,00	0,00	1,00
VFRADES T1	0247125220	-585449,25	5118745,45	13	0,00	4,00	2,00
VILLAESTE.T1	0247091703	-576534,45	5088425,94	45	0,00	0,00	0,00
VILLAFUE T1	0247125488	-482277,64	5121628,11	13	3,35	0,00	1,00
VILLAFUER.T1	0247091801	-482277,64	5121628,11	45	3,96	0,00	0,00
VILLALON T1	0247125219	-561225,53	5175833,77	13	0,00	0,00	0,00
VILLALON.T1	0247082737	-561225,53	5175833,77	45	0,00	0,00	0,00
VILLFRADE T1	0247091804	-585449,25	5118745,45	45	0,00	0,00	0,00
ZAMBRANA T1	0247125507	-524444,23	5105437,39	13	11,98	0,00	0,00
ZAMBRANA T2	0247125509	-524444,23	5105437,39	13	11,98	0,00	0,00
ZAMBRANA.T1	0247091916	-524444,23	5105437,39	45	26,50	0,00	0,00
ZAMBRANA.T2	0247090916	-524444,23	5105437,39	45	23,19	0,00	0,00
ZARATAN 45.000	0017001441	-535777,26	5108969,59	45	0,00	9,00	111,00
ZARATAN 45.000	0017001453	-535777,26	5108969,59	45	16,00	0,00	0,00

Tabla 23: Datos de capacidad subestaciones eléctricas de Grupo Iberdrola  
 Fuente: Grupo Iberdrola

## DOCUMENTO Nº2. PLANOS

## ÍNDICE DE PLANOS

1. PLANO DE UBICACIÓN
2. ESQUEMA UNIFILAR GENERAL
3. MÓDULO FV LONGI HI-MO LR5-72HBD 530P
4. INVERSOR FV HUAWEI SUN2000-215KTL-H0



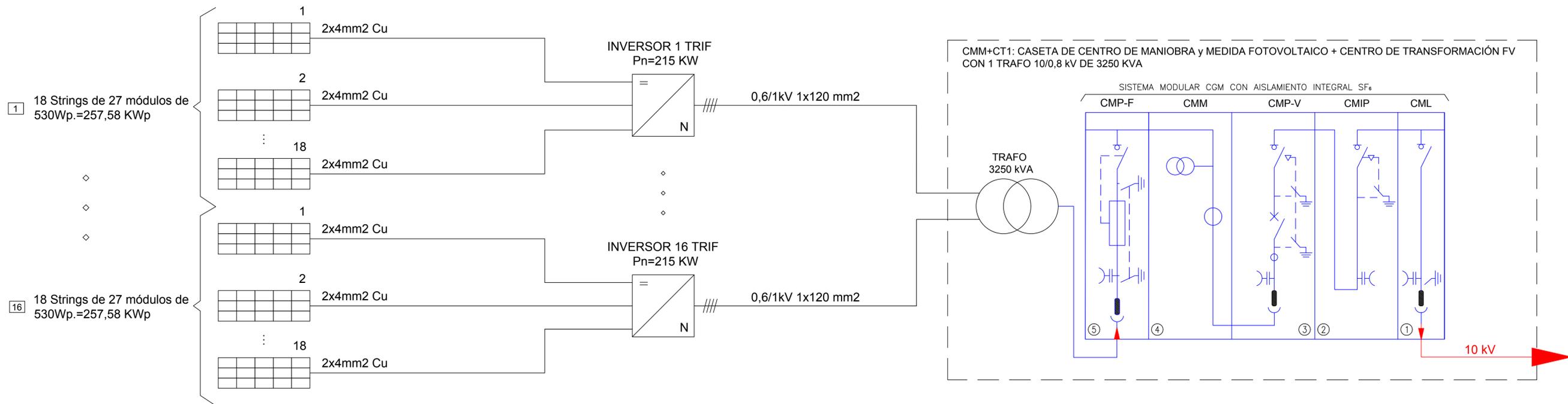
Límite municipal de Olmedo

Límite provincial Valladolid-Segovia

Límite provincial de Valladolid

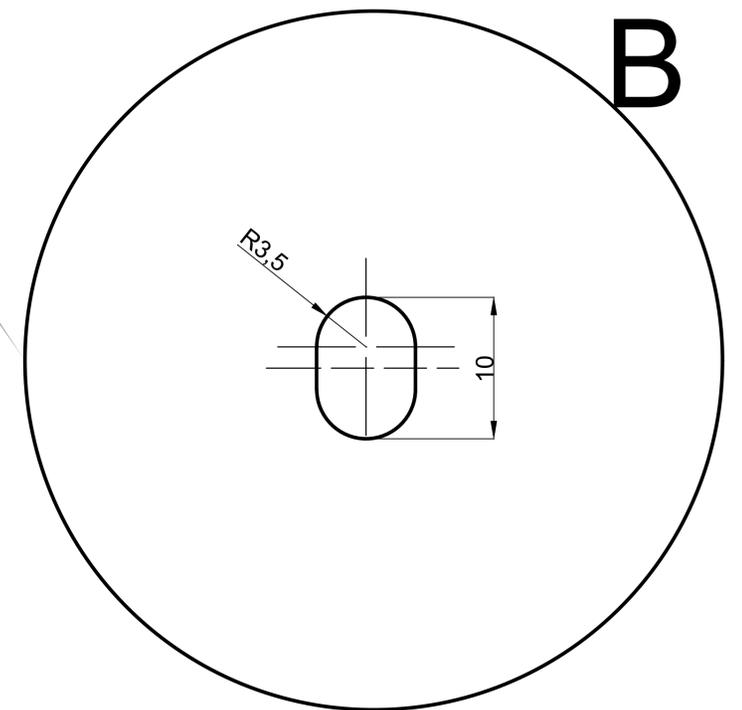
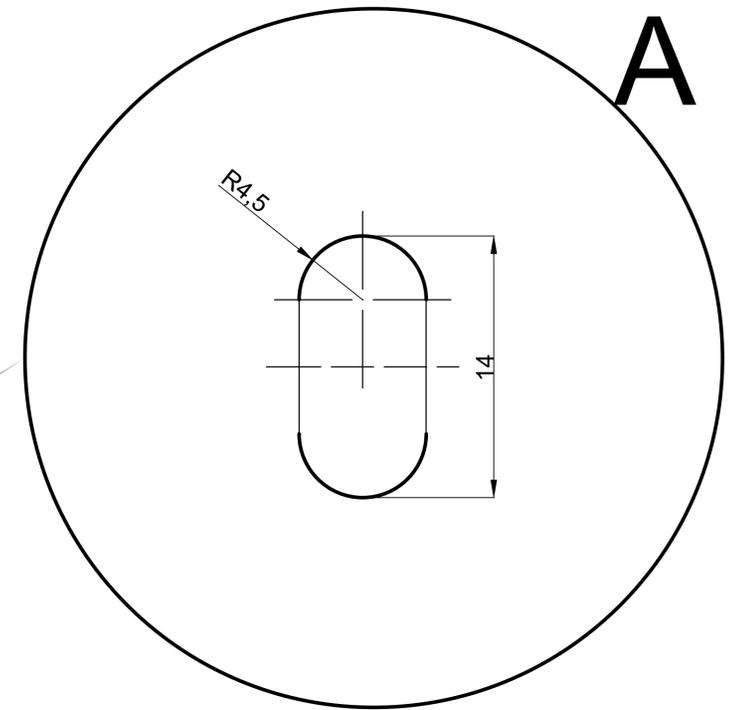
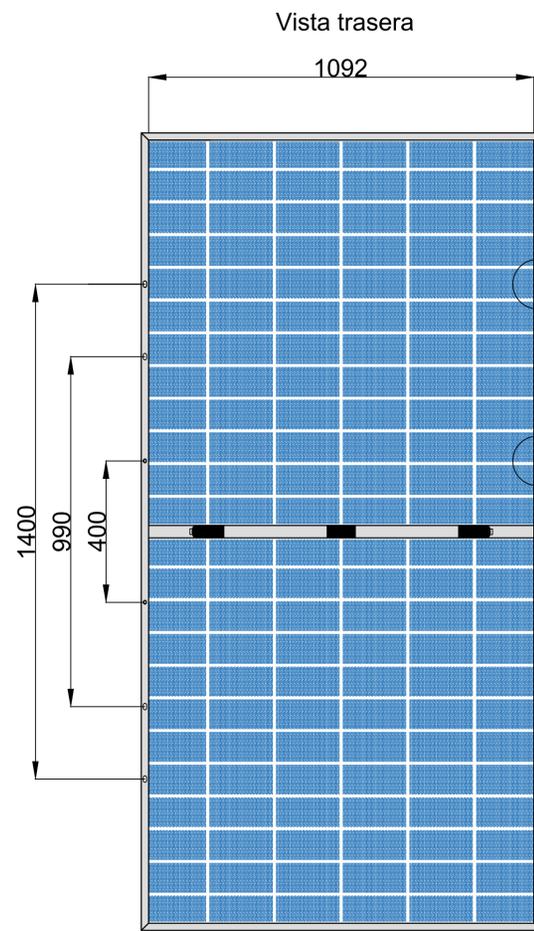
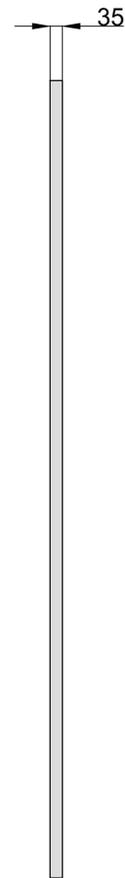
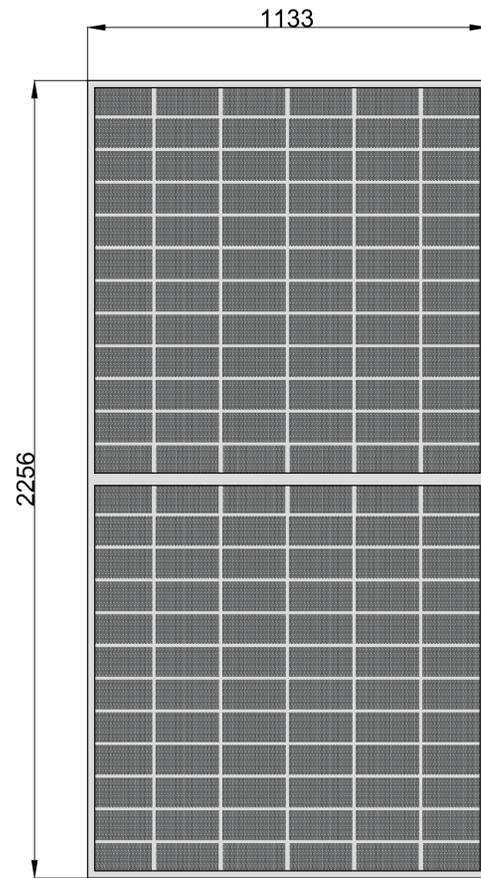
INFORMACIÓN BÁSICA	
Provincia	Valladolid
Municipio	Olmedo
Referencia catastral	47105A005000890000XH

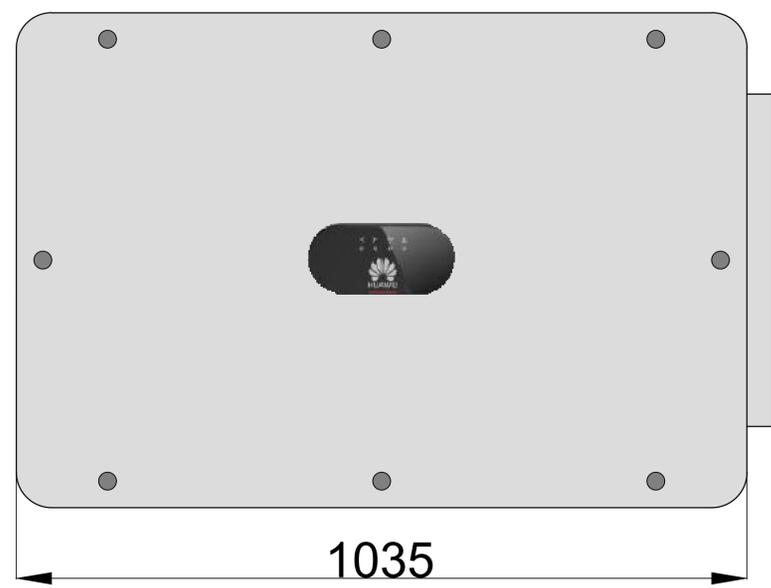
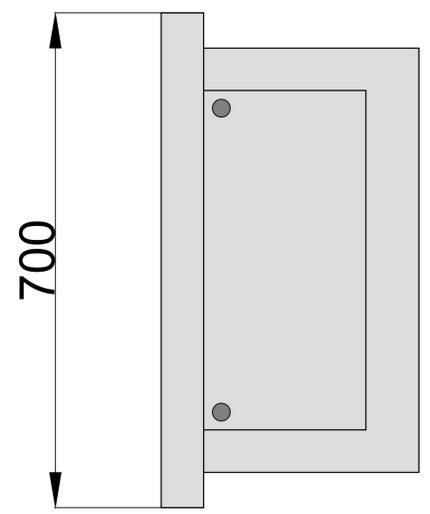
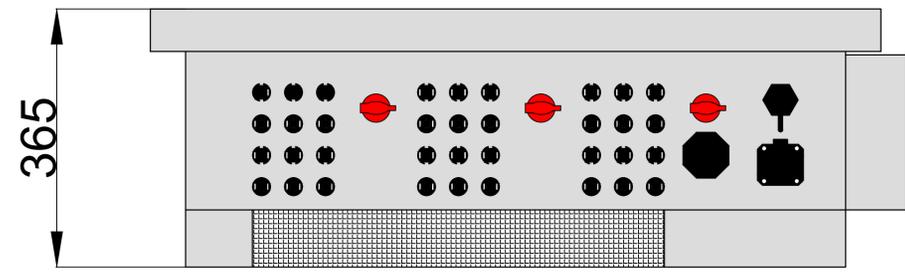
CENTRO DE INTERPRETACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA "OLMEDO"	
Coordenadas UTM ETRS89-H30N	
X	356055,171
Y	4570201,899



### DESIGNACION DE CELDAS

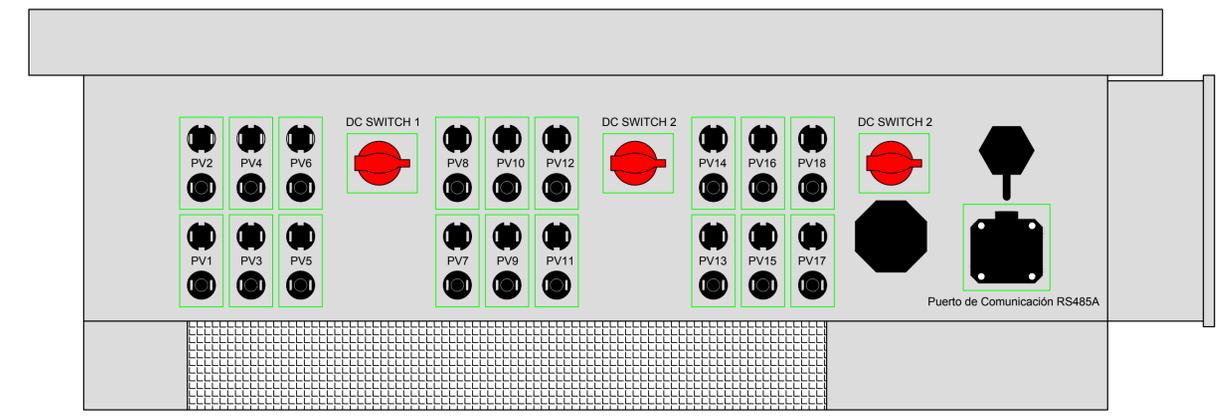
- ① CELDA INTERRUPTOR-SECCIONADOR DE LÍNEA (ENTRADA/SALIDA)
- ② CELDA INTERRUPTOR PASANTE SECCIONADOR
- ③ CELDA INTERRUPTOR AUTOMÁTICO DE VACÍO
- ④ CELDA DE MEDIDA DE ENERGÍA GENERADA
- ⑤ CELDA INTERRUPTOR-SECCIONADOR RUPTOFUSIBLE (PROTECC. TRAFO)





# DETALLE CONEXIONES

## E: 1/4



## **DOCUMENTO Nº3. PLIEGO DE CONDICIONES**

## ÍNDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES

1. OBJETO.....	105
2. GENERALIDADES.....	105
3. DISEÑO.....	106
3.1. DISEÑO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO.....	106
3.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN .....	107
3.3. INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA.....	107
4. EQUIPOS Y MATERIALES.....	108
4.1. GENERALIDADES.....	108
4.2. SISTEMAS GENERADORES FOTOVOLTAICOS .....	108
4.3. ESTRUCTURA DE SOPORTE.....	109
4.4. INVERSORES.....	110
4.5. CABLEADO.....	111
4.6. MEDICIONES.....	112
4.7. PROTECCIONES.....	112
4.8. PUESTA A TIERRA.....	112
4.9. MEDIDAS DE SEGURIDAD.....	112
5. RECEPCIÓN Y PRUEBAS.....	112
6. CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN ANUAL ESPERADA.....	113
7. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DEL CONTRATO DE MANTENIMIENTO.....	114
7.1. GENERALIDADES.....	114
7.2. PROGRAMA .....	114
7.3. GARANTÍAS.....	114

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Límites de orientaciones, inclinaciones y sombras de un SFCR.....107

Este documento es una adaptación del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red, PCT-C-REV - julio 2011, presentado por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE).

## 1. OBJETO

Este Pliego de Condiciones Técnicas tendrá por objeto la fijación de las condiciones técnicas mínimas que deben de cumplir las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a red que se realicen. Así mismo, pretende servir de guía para instaladores y fabricantes de equipos, determinando las especificaciones técnicas que debe de cumplir toda la instalación para obtener la garantía de calidad. También se pretende con el presente documento valorar la calidad final de la instalación en función de su rendimiento, producción e integración del mismo.

El ámbito de aplicación de este Pliego de Condiciones Técnicas se extiende a todos los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que formen parte de la instalación. En determinados proyectos se podrán adoptar diferentes soluciones a las exigidas en este Pliego de Condiciones Técnicas, siempre que se justifique su necesidad y no requiera una disminución de la calidad en la instalación. [17]

## 2. GENERALIDADES

El presente Pliego de Condiciones Técnicas es de aplicación de manera exclusiva a las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a red, por lo que se excluyen las instalaciones solares fotovoltaicas aisladas de red.

En el documento de la Memoria del Proyecto, se incluirán las características de otras aplicaciones especiales, la cuales deberán de cumplir los requisitos de seguridad, calidad y durabilidad establecidos.

En todo caso, será de aplicación la normativa que afecte a instalaciones solares fotovoltaicas, concretamente: [17]

- ❖ 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 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.
- ❖ Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (RD 842/2002), ver las Instrucciones Complementarias ITC 40 y la Nota de Interpretación Técnica de la equivalencia de la separación galvánica de la conexión de instalaciones generadoras en baja tensión.
- ❖ Código Técnico de la Edificación (RD 314/2006).
- ❖ Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.
- ❖ Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción eléctrica de pequeña potencia.
- ❖ Real Decreto 1544/2011 sobre tarifas de acceso a productores, en régimen ordinario y especial.

- ❖ Orden IET/3586/2011, de 30 de diciembre, por la que se establecen los peajes de acceso a partir de 1 de enero de 2012 y las tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial.
- ❖ Real Decreto-ley 1/2012, de 27 de enero, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de preasignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos.
- ❖ Real Decreto-ley 9/2013, de 12 de julio, por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico.
- ❖ Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del sector eléctrico con sus últimas modificaciones tal como se indica en Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica.
- ❖ Real Decreto-ley 2/2013, de 1 de febrero, de medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero.
- ❖ Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica.
- ❖ Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica.
- ❖ Orden IET/221/2013, de 14 de febrero, por la que se establecen los peajes de acceso a partir de 1 de enero de 2013 y las tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial.
- ❖ Orden HAP/703/2013, de 29 de abril, por la que se aprueba el modelo 583 «Impuesto sobre el valor de la producción de la energía eléctrica. Autoliquidación y Pagos Fraccionados», y se establece la forma y procedimiento para su presentación.
- ❖ Orden TEC/1281/2019, de 19 de diciembre, por la que se aprueban las Instrucciones Técnicas Complementarias al Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.
- ❖ Normas C.T.N.E: aplicables a esta instalación.
- ❖ Normas autonómicas y provinciales para este tipo de instalaciones.
- ❖ Normas municipales para este tipo de instalaciones.
- ❖ Normas particulares de la compañía eléctrica distribuidora.
- ❖ Recomendaciones UNESA

### 3. DISEÑO

#### 3.1. DISEÑO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO

Los módulos fotovoltaicos seleccionados deberán de cumplir las especificaciones del apartado 4.2.

Todos los módulos fotovoltaicos de la instalación deberán de ser del mismo modelo, salvo que se presente la garantía de compatibilidad y no afecte a la calidad de la instalación, en el caso de que sean de diferentes modelos. En casos excepcionales en que se utilicen módulos no cualificados, deberá aportarse y justificarse debidamente la documentación sobre las pruebas y ensayos a los que han sido sometidos, cumpliéndose de forma vinculante las normas vigentes de cumplimiento.

Deberán de cumplirse los requisitos de orientación, inclinación y sombras sobre el generador fotovoltaico. Estos serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites de la tabla 1.

	<i>Orientación e inclinación (OI)</i>	<i>Sombras (S)</i>	<i>Total (OI+S)</i>
General	10%	10%	15%
Superposición	20%	15%	30%
Integración arquitectónica	40%	20%	50%

Tabla 1: Límites de orientaciones, inclinaciones y sombras de un SFCR.  
 Fuente: IDAE

Cuando, por razones justificadas, y en casos especiales en las que no se cumplan los requisitos de pérdidas de orientación, inclinación y sombras, se evaluará la reducción en las prestaciones energéticas de la instalación, incluyéndose en la Memoria del Proyecto.

### 3.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN

El sistema de monitorización proporcionará medidas, como mínimo, de las siguientes variables:

- ❖ Voltaje e intensidad de corriente a la entrada del inversor.
- ❖ Voltaje de fase/s en la red.
- ❖ Potencia total de salida del inversor.
- ❖ Radiación solar en el plano de los módulos.
- ❖ Temperatura ambiente en la sombra.
- ❖ Potencia reactiva de salida del inversor para instalaciones mayores de 5 kWp.
- ❖ Temperatura de los módulos en integración arquitectónica y, siempre que sea posible, en potencias mayores de 5 kW.

Los datos se presentarán en forma de medias horarias. Los tiempos de adquisición, la precisión de las medidas y el formato de presentación se hará conforme al documento del JRC-Ispra *“Guidelines for the Assessment of Photovoltaic Plants -Document A”*, Report EUR16338 EN.

El sistema de monitorización será fácilmente accesible para el usuario.

### 3.3. INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA

En el caso de pretender realizar una instalación integrada desde el punto de vista arquitectónico, la Memoria de Proyecto especificará las condiciones de la construcción y de la instalación, y la descripción y justificación de las soluciones elegidas.

Las condiciones de la construcción se refieren al estudio de características urbanísticas, implicaciones en el diseño, actuaciones sobre la construcción, necesidad de realizar obras de reforma o ampliación, verificaciones estructurales, etc., que, desde el punto de vista del profesional competente en la edificación, requerirían su intervención.

Las condiciones de la instalación se refieren al impacto visual, la modificación de las condiciones de funcionamiento de la instalación, la necesidad de habilitar nuevos espacios o ampliar el volumen construido, efectos sobre la estructura, etc. [17]

## **4. EQUIPOS Y MATERIALES**

### **4.1. GENERALIDADES**

Ha de asegurarse, como mínimo, un grado de aislamiento eléctrico de tipo básico clase I, en lo que afecta tanto a equipos como a materiales, a excepción del cableado DC, que será de doble aislamiento de clase II y un grado de protección mínimo de IP65.

La instalación incorporará todos los elementos y características necesarias para garantizar en todo momento el correcto funcionamiento del suministro eléctrico.

El funcionamiento de las instalaciones fotovoltaicas no deberá provocar averías en la red, disminuciones de las condiciones de seguridad, o alteraciones superiores a las admitidas por la normativa que resulte aplicable. Así mismo, el funcionamiento de estas instalaciones no podrá dar origen a condiciones peligrosas de trabajo para el personal de mantenimiento y explotación de la red de distribución.

Los materiales situados en intemperie se protegerán contra los agentes ambientales, en particular, contra la radiación solar y la humedad.

Se incluirán todos los elementos necesarios de seguridad y protecciones propias de las personas y de la instalación fotovoltaica, asegurando la protección frente a contactos directos e indirectos, cortocircuitos, sobrecargas, así como otros elementos y protecciones que resulten de la aplicación de la legislación vigente.

En la Memoria de Proyecto se incluirán las fotocopias de las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante de todos los equipos. Por motivos de seguridad y operación de los equipos, los indicadores, etiquetas, etc., de los mismos estarán en el idioma oficial del lugar de emplazamiento.

### **4.2. SISTEMAS GENERADORES FOTOVOLTAICOS**

Los módulos fotovoltaicos de silicio cristalino para uso terrestre deberán satisfacer la norma UNE-EN 61215-1-2:2017, sobre módulos fotovoltaicos para uso terrestre. Cualificación del diseño y homologación. Requisitos especiales de ensayo para los módulos fotovoltaicos de lámina delgada de telururo de cadmio.

Así mismo, los módulos fotovoltaicos de lámina delgada de uso terrestre se acogerán a la norma UNE-EN 61215-2:2017, sobre módulos fotovoltaicos para uso terrestre. Cualificación del diseño y homologación. Procedimientos de ensayo. Por último, los módulos y sistemas fotovoltaicos de concentración se acogerán a la norma UNE-EN 62108:2019, sobre módulos y sistemas fotovoltaicos de concentración. Cualificación del diseño y homologación.

Los módulos FV deberán cumplir la norma UNE-EN 61730:2019, sobre cualificación de la seguridad de módulos fotovoltaicos, y la norma UNE-EN 50380:2018, sobre informaciones de las hojas de datos y de las placas de características para los módulos fotovoltaicos.

Los módulos que se encuentren integrados en la edificación, aparte de que deben cumplir la normativa indicada anteriormente, además deberán cumplir con lo previsto en el Real Decreto 542/2020, de 26 de mayo relativo a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas sobre los productos de construcción.

El módulo fotovoltaico llevará de forma claramente visible e imborrable el modelo y nombre o logotipo del fabricante, así como una identificación individual o número de serie trazable a la fecha de fabricación.

Los módulos fotovoltaicos deberán incorporar el marcado CE, según el Real Decreto 187/2016, de 6 de mayo, por el que se regulan las exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión.

Los módulos deberán llevar los diodos de derivación para evitar las posibles averías de las células y sus circuitos por sombreados parciales y tendrán un grado de protección IP65.

Los marcos laterales, si existen, serán de aluminio o acero inoxidable.

Para que un módulo resulte aceptable, su potencia máxima y corriente de cortocircuito reales referidas a condiciones estándar deberán estar comprendidas en el margen del  $\pm 3\%$  de los correspondientes valores nominales de catálogo.

Será rechazado cualquier módulo que presente defectos de fabricación como roturas o manchas en cualquiera de sus elementos, así como falta de alineación en las células o burbujas en el encapsulante.

Será deseable una alta eficiencia de las células. La estructura del generador se conectará a tierra.

Por motivos de seguridad y para facilitar el mantenimiento y reparación del generador, se instalarán los elementos necesarios (fusibles, interruptores, etc.) para la desconexión, de forma independiente y en ambos terminales, de cada una de las ramas del generador.

Los módulos fotovoltaicos estarán garantizados por el fabricante durante un periodo mínimo de 10 años y contarán con una garantía de rendimiento durante 25 años.

#### **4.3. ESTRUCTURA DE SOPORTE**

La estructura con los módulos fotovoltaicos integrados ha de resistir, de acuerdo con lo indicado en el Código Técnico de la Edificación. El diseño y la construcción de la estructura y el sistema de fijación de módulos, permitirá las necesarias dilataciones térmicas, sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los módulos, siguiendo las indicaciones del fabricante.

Los módulos FV deberán de estar sujetos en varios puntos de la estructura, de forma que no se produzcan esfuerzos superiores a los estipulados por el fabricante.

El diseño de la estructura se realizará para la orientación y el ángulo de inclinación especificado para el generador fotovoltaico, teniendo en cuenta la facilidad de montaje, desmontaje y la posible necesidad de sustituciones de elementos.

La estructura se protegerá superficialmente contra la acción de los agentes ambientales. La tornillería será realizada en acero inoxidable. En el caso de que la estructura sea galvanizada se admitirán tornillos galvanizados, exceptuando la sujeción de los módulos a la misma, que serán de acero inoxidable.

Los topes de sujeción de módulos y la propia estructura no crearán sombra sobre los módulos fotovoltaicos.

La estructura soporte será calculada según la normativa vigente para soportar cargas extremas debidas a factores climatológicos adversos, tales como viento, nieve, etc.

Si es del tipo galvanizada en caliente, cumplirá las normas UNE-EN ISO 14713-1:2017, partes 1, 2 y 3, sobre recubrimientos de zinc. Directrices y recomendaciones para la protección frente a la corrosión de las estructuras de hierro y acero, y UNE-EN ISO 10684:2006/AC:2009, sobre elementos de fijación. Recubrimientos por galvanización en caliente.

Los espesores cumplirán con los mínimos exigibles en la norma UNE-EN ISO 1461:2010, sobre recubrimientos de galvanización en caliente sobre piezas de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo.

#### **4.4. INVERSORES**

Deberán de tener una potencia de entrada variable, además de ser del tipo adecuado para la conexión a la red eléctrica.

Los inversores deberán de tener las siguientes características básicas:

- ❖ Principio de funcionamiento: fuente de corriente.
- ❖ Auto conmutados.
- ❖ Seguimiento automático del punto de máxima potencia del generador.
- ❖ No funcionarán en modo isla.

Los inversores estarán caracterizados por las siguientes normas:

- ❖ UNE-EN 62093:2006: Componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de sistemas fotovoltaicos. Cualificación del diseño y ensayos ambientales (IEC 62093:2005).
- ❖ UNE-EN 61683:2001: Sistemas fotovoltaicos. Acondicionadores de potencia. Procedimiento para la medida del rendimiento.
- ❖ UNE-EN 62116:2014 V2. Inversores fotovoltaicos conectados a la red de las compañías eléctricas. Procedimiento de ensayo para las medidas de prevención de formación de islas en la red.

Todos los inversores deberán de cumplir con las Directivas de Seguridad Eléctrica y Compatibilidad Electromagnética, incorporando protecciones frente a cortocircuitos en AC, frente a la tensión y frecuencia de red fuera de rango, contra las sobretensiones y perturbaciones presentes en la red.

Adicionalmente, han de cumplir con lo establecido en el Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos.

Todos los inversores dispondrán de todas las señalizaciones y controles automáticos necesarios para su correcto funcionamiento, supervisión y manejo.

Los inversores dispondrán como mínimo de un encendido y apagado general del inversor, además de su parte de AC.

Dispondrán de las siguientes características eléctricas:

- ❖ Los inversores aportarán energía a la red de forma continuada en condiciones de irradiancia solar un 10% superiores a las establecidas por el Centro Español de Meteorología, y soportarán picos de un 30% superiores a las del Centro Español de Meteorología durante periodos de hasta 10 segundos.
- ❖ El rendimiento de potencia del inversor, para una potencia de salida en corriente alterna igual al 50 % y al 100% de la potencia nominal, será como mínimo del 92% y del 94% respectivamente. El cálculo del rendimiento se realizará de acuerdo con la norma UNE-EN 61683:2001: Sistemas fotovoltaicos. Acondicionadores de potencia. Procedimiento para la medida del rendimiento.
- ❖ El autoconsumo de los equipos en modo nocturno, deberá ser inferior al 2 % de su potencia nominal de salida.
- ❖ El factor de potencia de la potencia generada deberá ser superior a 0,95.
- ❖ A partir de potencias mayores del 10 % de su potencia nominal, el inversor deberá inyectar en red.

El grado mínimo de protección para los inversores instalados a la intemperie será de IP 65.

Su funcionamiento deberá de estar garantizado para temperaturas entre 0°C y 40°C y humedades relativas entre el 0% y 85%.

Los inversores para instalaciones fotovoltaicas estarán garantizados por el fabricante durante un periodo mínimo de 3 años.

#### **4.5. CABLEADO**

Los positivos y negativos de cada grupo de módulos se conducirán por separado y protegidos.

Los conductores deberán ser de cobre, además de tener la suficiente sección para que la caída de tensión no supere el 1,5%. Así mismo, la longitud de los conductores será la necesaria para que no se generen en si mismos, o puedan ser enganchados por algún agente externo.

Todo el cableado DC será de doble aislamiento y adecuado para su uso en intemperie, de acuerdo con la norma UNE 21123-1:2017, sobre cables eléctricos de utilización industrial de tensión asignada 0,6/1 kV. Cables con aislamiento y cubierta de policloruro de vinilo.

#### **4.6. MEDICIONES**

Todas las instalaciones cumplirán con el Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.

#### **4.7. PROTECCIONES**

En conexiones a la red trifásicas las protecciones para la interconexión de máxima y mínima frecuencia y tensión serán para cada fase.

#### **4.8. PUESTA A TIERRA**

Todas las instalaciones cumplirán con lo dispuesto en el Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, (artículo 15), por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.

Todas las masas de la instalación fotovoltaica estarán conectadas a una única tierra.

#### **4.9. MEDIDAS DE SEGURIDAD**

Toda instalación solar fotovoltaica debe de estar equipada con sistemas de protección contra fallos internos o en la red que garanticen su desconexión, de manera que no afecten estos fallos al correcto funcionamiento de las redes a la que la instalación está conectada.

La protección anti-isla en las instalaciones fotovoltaicas debe de detectar la desconexión de red durante un tiempo determinado. En caso de desconexión con la red general, la instalación deberá de evitar el funcionamiento no intencionado en modo isla. Todo el sistema seleccionado debe de funcionar de forma idónea en paralelo con otras instalaciones conectadas a esa red.

Las instalaciones fotovoltaicas con potencia nominales superiores a 1MW, dispondrán de un sistema de teledesconexión y telemedida, actuando sobre el elemento de conexión de la instalación con la red de distribución de manera remota. Tendrán compatibilidad con la red de distribución pudiendo utilizarse en baja tensión los sistemas de telegestión incluidos en los equipos de medida.

Toda instalación fotovoltaica dispondrá de los medios necesarios para admitir un reenganche de la red de distribución sin producirse daños. No producirán sobretensiones que causen daños en otros equipos. [17]

### **5. RECEPCIÓN Y PRUEBAS**

El instalador entregará al usuario un documento-albarán, referente a el suministro de materiales, componentes, manuales de uso y mantenimiento de la instalación. Se firmará de forma duplicada por las dos partes. El documento entregado al usuario tendrá que ser de fácil interpretación.

Antes de la puesta en marcha de la instalación, todos los elementos que forman parte de la misma, deberán de haber superado todas las pruebas de funcionamiento.

Las pruebas a realizar por el instalador serán como mínimo las siguientes:

- ❖ Funcionamiento y puesta en marcha de todos los sistemas.
- ❖ Pruebas de arranque y parada en distintos instantes de funcionamiento.
- ❖ Pruebas de los elementos y medidas de protección y seguridad, con excepción de las pruebas referidas al interruptor automático de la desconexión.
- ❖ Determinación de la potencia instalada.

Una vez finalizadas las pruebas y puesta en marcha, todos los elementos que forman parte de la instalación deberán funcionar durante 240 horas de manera continua para la firma de la Recepción Provisional de la Instalación. Además, estos elementos deberán de cumplir los siguientes requisitos:

- ❖ Entrega de toda la documentación requerida en este Pliego de Condiciones Técnicas, como mínimo, la recogida en la norma UNE-EN 62446-1:2017: Sistemas fotovoltaicos. Requisitos para ensayos, documentación y mantenimiento. Sistemas conectados a la red. Documentación, ensayos de puesta en marcha e inspección.
- ❖ Retirada de obra de todo el material sobrante.
- ❖ Limpieza de las zonas ocupadas.

El suministrador será el responsable del funcionamiento de los equipos suministrados. Estos equipos estarán protegidos frente a defectos de fabricación, instalación o diseño, con 3 años de garantía, salvo los generadores fotovoltaicos que dispondrán de una garantía de 10 años.

El suministrador tendrá la obligación de la reparación de los equipos, siempre que los fallos de los mismos sean de diseño, construcción, materiales o montaje, solucionando los problemas sin ningún cargo adicional. [17]

## 6. CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN ANUAL ESPERADA

Deberá de incluirse en la Memoria del Proyecto las producciones mensuales estimadas, en función de la irradiancia, potencia instalada y rendimiento de la instalación.

Los datos iniciales para la estimación de la producción serán:

- ❖ Valor medio mensual y anual de la irradiación diaria sobre superficie horizontal, adquirido en fuentes como la Agencia Estatal de Meteorología, Organismo autonómico oficial u otras fuentes de reconocida solvencia.
- ❖ Valor medio mensual y anual de la irradiación diaria sobre el plano del módulo FV.
- ❖ El Performance Ratio (PR). Rendimiento energético de la instalación. Se refiere a la eficiencia de la instalación en condiciones reales. Hay varios factores que se tienen en cuenta como la dependencia de la eficiencia con la temperatura, la eficiencia del cableado y el inversor, las pérdidas por dispersión de parámetros y suciedad, así como las producidas en los errores en el seguimiento del punto de máxima potencia.

- ❖ La estimación de la energía inyectada se realizará de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{Gdm \times Pp \times PR}{Gcem}$$

Dónde:

- ❖ *Gdm (kWh/m2.dia)*: Irradiación diaria sobre el plano del módulo FV.
- ❖ *Pp (kWp)*: Potencia pico de la planta.
- ❖ *PR*: Rendimiento energético de la instalación.
- ❖ *Gcem*: 1000W/m2.

Los datos se presentarán en una tabla con los valores medios mensuales y el promedio anual. [17]

## 7. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DEL CONTRATO DE MANTENIMIENTO

### 7.1. GENERALIDADES

El contrato de mantenimiento preventivo y correctivo será de al menos 3 años, que afectará a todos los elementos de la instalación.

### 7.2. PROGRAMA

Las condiciones generales mínimas que deben seguirse para un correcto mantenimiento vienen definidas a continuación.

- ❖ Plan de mantenimiento preventivo: Consiste en inspecciones visuales, verificación de actuaciones que deben mantener dentro de los límites aceptables de funcionamiento a la instalación, así como su protección y durabilidad. Incluirá una visita cada 6 meses donde se comprobará las protecciones eléctricas y el estado de los módulos FV, los inversores y el estado del cableado y terminales. Tras cada visita se deberá de realizar un informe técnico, con el resultado de las comprobaciones.
- ❖ Plan de mantenimiento correctivo: Se refiere a las operaciones de sustitución que se realicen con objetivo de asegurar que el sistema funciona de manera correcta durante toda su vida útil.

El mantenimiento de la instalación será realizado por personal técnico cualificado, responsabilizándose el instalador, donde se dejará un registro de las operaciones de mantenimiento realizadas en cada visita. [17]

### 7.3. GARANTÍAS

En caso de que se produzca una avería debido a un defecto de montaje o de algún componente la instalación será reparada sin perjuicio de cualquier posible reclamación a terceros. Esta garantía esta concedida a favor del comprador de la instalación, justificándose mediante el certificado de garantía.

En caso de interrumpirse el funcionamiento, en periodo de garantía, de la instalación por responsabilidad del suministrador, el plazo se prolongará por la duración de dichas interrupciones.

La reparación de los componentes o las piezas que puedan resultar defectuosas está comprendido por la garantía y dentro del periodo de la misma, así como los gastos colaterales de dichas reparaciones, como es la mano de obra, materiales, tiempos de desplazamiento, medios de transporte, etc.

En caso de que el suministrador no cumpla con las obligaciones de la garantía en un plazo inicial, el comprador podrá fijar una fecha final para que el suministrador cumpla sus obligaciones. En caso de que tras esta última fecha tampoco cumpla con sus obligaciones el comprador de la instalación podrá realizar las tareas de reparación, a cargo del suministrador.

En caso de utilizarla, la garantía puede anularse una vez que la avería o un determinado problema haya sido solucionado.

En el momento que el usuario detecte un problema en el funcionamiento de la instalación lo comunicará al suministrador, que, a su vez, una vez que este considere que es un defeco de fabricación el causante del problema, lo comunicará al fabricante.

El plazo máximo para atender una incidencia por parte del suministrador será de 7 días naturales, siendo 10 días naturales el plazo máximo para la resolución de dicha incidencia, a excepción de una causa debidamente justificada.

En lo que a el lugar de reparación se refiere, se realizará en la ubicación elegida por el suministrador, en función de la incidencia que se produzca. [17]

## DOCUMENTO Nº 4. PRESUPUESTO

## ÍNDICE DE PRESUPUESTOS

1. COSTES.....	119
2. INGRESOS.....	120
3. AMORTIZACIÓN.....	121
4. RENTABILIDAD.....	121

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Presupuesto de la parte generadora FV.....	119
Tabla 2: Presupuesto de la parte eléctrica.....	119
Tabla 3: Presupuesto de Ingeniería.....	119
Tabla 4: Presupuesto de ejecución de material.....	119
Tabla 5: Resumen de presupuesto.....	120
Tabla 6: Precio medio mensual (2019-2021).....	120
Tabla 7: Resultados VAN y TIR Planta Solar Fotovoltaica PSFV “Las Palomas” .....	123

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Explicación gráfica del TIR.....	122
--	-----

## 1. COSTES

A continuación, podemos observar los presupuestos de las partes de generación de energía y la parte eléctrica de la Planta Solar Fotovoltaica “Las Palomas”.

Presupuesto parte generadora			
Concepto	Precio(€/UD)	Unidades	Precio
Suministro de Módulos FV	163,85	7.776,00	1.274.097,60 €
Suministro de Inversores	7.041,62	16,00	112.665,92 €
Suministro de estructura	1.400,00	288,00	403.200,00 €
Suministro Centro de Transformación (Equipo de medida y protección incluido)	60.000,00	1,00	60.000,00 €
<b>Total</b>			<b>1.849.963,52 €</b>

Tabla 1: Presupuesto de la parte generadora FV.  
 Fuente: www.technosun.com y Fabricantes

Presupuesto parte eléctrica			
Concepto	Precio(€/UD)	Metros	Precio
Suministro de Cableado DC Baja Tensión	1,13	13.250,00	14.972,50 €
Suministro de Cableado AC Baja Tensión	50,94	2.900,00	147.726,00 €
Suministro de Cableado Media Tensión	100,00	30,00	3.000,00 €
Puesta a tierra	17.540,00	1,00	17.540,00 €
<b>Total</b>			<b>183.238,50 €</b>

Tabla 2: Presupuesto de la parte eléctrica.  
 Fuente: Consejería de Obras Públicas, Viviendas y Transportes de Murcia.

Los presupuestos de Ingeniería y ejecución están estimados en base a el presupuesto real de una planta solar fotovoltaica de 72 MW, facilitado por la empresa “Ecoibérica Proyectos y Desarrollos”. Los resultados se muestran en las siguientes tablas.

Presupuestos de ejecución del material	
Concepto	Precio
Gestión de residuos	4.027,79 €
Seguridad y salud	12.890,88 €
<b>Total</b>	<b>16.918,67 €</b>

Tabla 3: Presupuesto de ingeniería.  
 Fuente: Ecoibérica Proyectos y Desarrollos.

Presupuesto parte ingeniería	
Concepto	Precio
Ingeniería de Proyecto	43.500,00 €
Obra civil	139.198,69 €
Montaje mecánico	34.928,98 €
<b>Total</b>	<b>217.627,67 €</b>

Tabla 4: Presupuesto de ejecución de material  
 Fuente: Ecoibérica Proyectos y Desarrollos.

RESUMEN PRESUPUESTO		
1	PARTE GENERADORA	1.849.963,52 €
2	PARTE ELÉCTRICA	183.238,50 €
3	PARTE DE INGENIERÍA	217.627,67 €
4	EJECUCIÓN DEL MATERIAL	16.918,67 €
		<b>2.267.748,36 €</b>
5	GASTOS GENERALES (13%)	294.807,29 €
6	BENEFICIO INDUSTRIAL (6%)	136.064,90 €
	<b>TOTAL</b>	<b>2.698.620,55 €</b>

Tabla 5: Resumen de presupuesto  
 Fuente: Elaboración propia

El coste de la Planta Solar Fotovoltaica “Las Palomas” es de **2.698.620,55€**, donde no se han considerado los gastos por arrendamiento del terreno, que, de forma estimada, el coste de arrendamiento del terreno ronda los 1200€/ha de forma anual.

## 2. INGRESOS

Para realizar el cálculo de los ingresos que nos va a generar la planta fotovoltaica, tendremos que basarnos en la energía producida de forma anual, y el precio de la energía eléctrica.

No tenemos la forma de saber qué precio va a tener la electricidad en los siguientes años, por lo que vamos a realizar una estimación, basándonos en el precio mensual de cada mes de los últimos 3 años, según los datos de “La Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia”. En la siguiente tabla vemos el precio medio de la energía eléctrica de cada mes de los últimos 3 años.

Precios Medios Mensuales (2019-2021)					
2019		2020		2021	
Enero	67,30€/MWh	Enero	46,27€/MWh	Enero	68,02€/MWh
Febrero	59,16€/MWh	Febrero	40,86€/MWh	Febrero	35,02€/MWh
Marzo	53,51€/MWh	Marzo	32,33€/MWh	Marzo	50,58€/MWh
Abril	55,92€/MWh	Abril	24,02€/MWh	Abril	70,31€/MWh
Mayo	53,14€/MWh	Mayo	26,37€/MWh	Mayo	71,87€/MWh
Junio	51,82€/MWh	Junio	35,29€/MWh	Junio	86,49€/MWh
Julio	56,40€/MWh	Julio	39,35€/MWh	Julio	95,68€/MWh
Agosto	48,87€/MWh	Agosto	40,43€/MWh	Agosto	110,23€/MWh
Septiembre	46,25€/MWh	Septiembre	46,64€/MWh	Septiembre	159,74€/MWh
Octubre	51,70€/MWh	Octubre	41,16€/MWh	Octubre	206,08€/MWh
Noviembre	47,41€/MWh	Noviembre	47,39€/MWh	Noviembre	201,18€/MWh
Diciembre	39,73€/MWh	Diciembre	47,62€/MWh	Diciembre	Sin Datos

Tabla 6: Precio Medio mensual (2019-2021)  
 Fuente: CNMC

Considerando estos datos, vamos a obtener un valor medio, de todos los precios mensuales de los últimos 3 años, quedándonos un precio medio estimado, de **64,40€/MWh**.

No podemos olvidar que, en la segunda mitad del año 2021, la energía eléctrica ha multiplicado su valor, por lo que 64,40 €/MWh se queda muy por debajo de los aproximadamente 200€/MWh que actualmente pagamos. Nos basaremos en la media de los últimos tres años para que los ingresos resultantes se obtengan en el caso más desfavorable.

Conociendo que la PSFV “Las Palomas” genera 6.798,7 MWh/año, calculamos los ingresos de la planta para los próximos 25 años:

$$\text{Ingresos PSFV "Las Palomas"} = \text{Energía anual producida (Mwh/año)} \times \text{Precio medio eléctrico} \left( \frac{\text{€}}{\text{Mwh}} \right) \times \text{años vida}$$

$$\text{Ingresos PSFV} = 6798,7(\text{Mwh/año}) \times 64,4 \left( \frac{\text{€}}{\text{Mwh}} \right) \times 25 \text{ años}$$

$$\text{Ingresos PSFV} = 10,945.907 \text{ €}$$

La planta generará un total de **10.945.907€**.

### 3. AMORTIZACIÓN

Es obvio que, dependiendo del clima, o de los imprevistos que surjan que requieran una suspensión temporal del funcionamiento de la planta, esta pueda producir más o menos cantidad de energía eléctrica cada año, así como el precio de mercado varía cada mes, y es imposible predecir cual va a ser su valor en el futuro. Dicho esto, vamos a hallar el plazo de amortización de la planta en base a la producción anual [25] y el precio medio de mercado obtenido mediante los datos de “CNMC”.

$$\text{Plazo Amortización} = \frac{\text{Costes totales PSFV "Las Palomas"}}{\text{Ingresos anuales PSFV "Las Palomas"}}$$

$$\text{Ingresos PSFV "Las Palomas"} = \text{Energía anual producida (Mwh/año)} \times \text{Precio medio eléctrico} \left( \frac{\text{€}}{\text{Mwh}} \right)$$

$$\text{Ingresos anuales PSFV "Las Palomas"} = 6798,7(\text{Mwh/año}) \times 64,4 \left( \frac{\text{€}}{\text{Mwh}} \right)$$

$$\text{Ingresos anuales PSFV "Las Palomas"} = 437.836,28\text{€/año}$$

$$\text{Plazo Amortización} = \frac{2.698.620,55\text{€}}{437.836,28\text{€/año}}$$

$$\text{Plazo Amortización} = 6,16 \text{ años}$$

La Planta Solar Fotovoltaica “Las Palomas”, tendrá un plazo de amortización aproximado de 6 a 7 años. A partir del séptimo año de vida hasta el vigésimo-quinto año de vida, la planta solo producirá beneficios.

### 4. RENTABILIDAD

El VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno), son dos herramientas esenciales a la hora de determinar la rentabilidad de un proyecto que requiere una inversión.

El Valor Actual Neto (VAN) nos permite conocer el valor del negocio, sobre todo, si ese negocio es viable, de manera que, si el valor del VAN es superior a 0, el proyecto será viable, mientras que, si el VAN es menor o igual a 0, la inversión que conlleva el proyecto no será rentable.

Depende totalmente de 3 parámetros: El Flujo de caja en base a un periodo de tiempo especificado, la inversión inicial y el tipo de interés.

- ❖ Flujo de caja ( $F$ ): Es el beneficio neto resultante de la diferencia entre los beneficios generados por un proyecto, en un determinado tiempo ( $t$ ), y los costes que se hayan tenido que asumir en ese determinado tiempo.
- ❖ Inversión inicial ( $I_{inicial}$ ): En nuestro caso, un proyecto fotovoltaico, la inversión inicial es prácticamente la totalidad de la inversión del proyecto.
- ❖ Tasa de interés ( $i$ ): Esta tasa es el denominado TIR, el que nos marcará a partir de que tasa de interés este proyecto será, rentable.

Para realizar este estudio de rentabilidad, utilizaremos la fórmula del VAN.

$$VAN = -I_{inicial} + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+i)^t} = -I_{inicial} + \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{Ft}{(1+i)^t}$$

Como hemos comentado anteriormente el VAN va a ser el indicador que nos va a informar sobre la viabilidad del proyecto, siendo viable cuando el  $VAN > 0$ , mientras que no es viable cuando el  $VAN \leq 0$ . Lo que nos quiere decir, es que el valor que marca el límite que marca la diferencia entre la viabilidad o la no viabilidad de un proyecto es el 0, por lo que el primer paso es calcular la tasa de interés, (TIR), en la que el VAN vale 0, ya que esa será la TIR límite que nos marque la viabilidad de nuestro proyecto. [31]

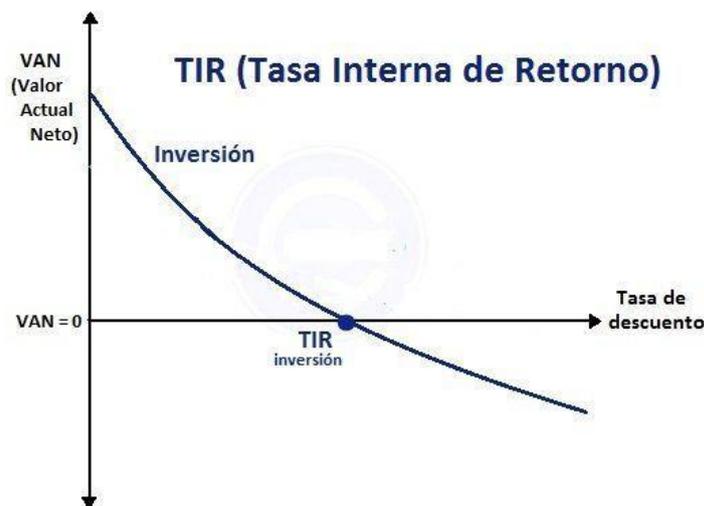


Figura 1: Explicación gráfica del TIR  
 Fuente: [www.economipedia.com](http://www.economipedia.com)

La vida inicial de nuestra planta es de 25 años, por lo que vamos a calcular la tasa de interés límite a 25 años, TIR, es decir, el valor de la TIR para que el VAN sea 0.

$$VAN = -I_{inicial} + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+i)^t}$$

$$0 = -2.698.620,55 + \frac{10.945.907}{(1+TIR)^{25}}$$

$$0 = -2.698.620,55 + \frac{10.945.907}{(1+TIR)^{25}}$$

$$TIR = 0,15$$

$$TIR = 15\%$$

Para un VAN=0, nuestra TIR tendrá un valor del 15%, es decir, que la tasa de interés de nuestro proyecto deberá superar o igualar nuestro TIR para que la viabilidad del proyecto sea positiva.

Calculamos el VAN y el TIR de nuestro proyecto, donde consideramos los 437.836,28€/año, como el flujo de caja anual. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Proyecto	Inversión Inicial	Flujo de caja/año	Años de vida	VAN	TIR
Planta Solar Fotovoltaica PSFV "Las Palomas"	-2.698.621,55 €	437.836,28 €	25	131.617,44 €	15,81%

Tabla 7: Resultados VAN y TIR Planta Solar Fotovoltaica PSFV "Las Palomas"  
 Fuente: [www.obsbusiness.school](http://www.obsbusiness.school)

El TIR de nuestro proyecto es superior a el 15% que marca el límite para su viabilidad, por lo que la inversión en este proyecto será rentable.

## BIBLIOGRAFÍA

- ❖ [1] Información sobre el Petróleo. Fuente: [www.academia.edu](http://www.academia.edu)
- ❖ [2] Información sobre el origen, tipos y características del Carbón. Fuente: [www.solar-energia.net](http://www.solar-energia.net)
- ❖ [3] Informe sobre la Fracturación Hidráulica (Fracking) de Greenpeace. Fuente: [www.archivo-es.greenpeace.org](http://www.archivo-es.greenpeace.org)
- ❖ [4] Trabajo Fin de Grado de Don Juan Manuel Carmona Cabezas, “Sistemas de Producción de Potencia Nuclear. Estado Actual de la Tecnología y Perspectivas Futuras”. Depósito de Investigación, Universidad de Sevilla) Fuente: [www.idus.us.es](http://www.idus.us.es)
- ❖ [5] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Sitio web de la Energía Nuclear. Fuente: [www.energia.gob.es](http://www.energia.gob.es)
- ❖ [6] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Cumbre del Cambio Climático COP21, (21ª conferencia de las partes sobre el Cambio Climático). Fuente: [www.miteco.gob.es](http://www.miteco.gob.es)
- ❖ [7] Agencia Estatal de Meteorología. Efectos del Cambio Climático. Fuente: [www.aemet.es](http://www.aemet.es)
- ❖ [8] Parlamento Europeo. La lucha contra el Cambio Climático. Fuente: [www.europarl.europa.eu](http://www.europarl.europa.eu)
- ❖ [9] Naciones Unidas. El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible. Fuente: <https://www.un.org>
- ❖ [10] Información sobre la Energía Hidráulica y como se genera. Fuente: [www.bbva.es](http://www.bbva.es)
- ❖ [11] Solventa Soluciones de Ingeniería S.L. Información general de las Energías Renovables. Fuente: [www.agora.ulpgc.es](http://www.agora.ulpgc.es)
- ❖ [12] Estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables 2021 de potencia renovable instalada. Fuente: [www.irena.org](http://www.irena.org)
- ❖ [13] Partes y componentes de una central hidroeléctrica. Fuente: [www.deingenierias.com](http://www.deingenierias.com)
- ❖ [14] Funcionamiento de las centrales hidroeléctricas. Fuente: [www.iberdrola.com](http://www.iberdrola.com)
- ❖ [15] Energía eólica en Europa 2020 Estadísticas y perspectivas 2021-2025. Fuente: [www.windeurope.org](http://www.windeurope.org)
- ❖ [16] Asociación de empresas de Energías Renovables. Hidráulica: La energía más respetuosa con el medio ambiente / Eólica: Una historia de éxito en el desarrollo renovable / Biomasa: Energía renovable gestionable gran generadora de empleo / El aprovechamiento de la energía del mar un reto de futuro / Geotermia de Alta entalpia: una tecnología emergente en España / De energía del futuro a energía del presente: La competitividad de la fotovoltaica). Fuente: [www.appa.es](http://www.appa.es)
- ❖ [17] Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía. Descripción de las diferentes tecnologías renovables. Fuente: [www.idae.es](http://www.idae.es)
- ❖ [18] Instituto Geológico y Minero de España La geotermia en España. La Geotermia en España. Fuente: [www.igme.es](http://www.igme.es)
- ❖ [19] Beneficios de la Energía Solar. Fuente: [www.acciona.com](http://www.acciona.com)

- ❖ [20] Campus Sostenible de la Universidad de Murcia. Energía Solar Térmica. Fuente: [www.um.es](http://www.um.es)
- ❖ [21] Escuela de Postgrado Industrial. Funcionamiento de la Energía Solar Térmica. Fuente: [www.postgradoindustrial.com](http://www.postgradoindustrial.com)
- ❖ [22] Universidad de Jaén. Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red (SFCR) Fuente: [www.ujaen.es](http://www.ujaen.es)
- ❖ [23] Datos e información facilitados por Ecoibérica Proyectos y Desarrollos.
- ❖ [24] Fichas técnicas fabricantes de equipos.
- ❖ [25] PVSyst (Software)
- ❖ [26] Información sobre estructuras y seguidores solares. Fuente: [www.arconi.solutions/es](http://www.arconi.solutions/es)
- ❖ [27] Grupo Prysmian.
- ❖ [28] CNMC (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia).
- ❖ [29] Precios equipo generador fotovoltaico. Fuente: [www.Technosun.com](http://www.Technosun.com)
- ❖ [30] Consejería de Obras Públicas, Viviendas y Transportes de Murcia. Presupuesto cableado Afumex España. Fuente: [www.carm.generadordeprecios.info](http://www.carm.generadordeprecios.info)
- ❖ [31] Información del VAN y TIR, dos herramientas para la viabilidad y rentabilidad de una inversión. Fuente: [www.obsbusiness.school](http://www.obsbusiness.school)
- ❖ [32] PROYECTO BÁSICO PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA PUERTO PEÑASCO (MÉXICO), Autor: Pablo Blanco Corral.