



Universidad de  
Oviedo



## **TRABAJO FIN DE GRADO**

GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS MINEROS Y

ENERGÉTICOS

Mención en Recursos Energéticos

# **DISEÑO, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR**

**Autor: Pedro Izquierdo Fernández-Ladreda**

**Tutor: Cristian Blanco Charro**

**Julio, 2023**



Universidad de  
Oviedo





Universidad de  
Oviedo



## **Declaración de Originalidad del Trabajo Fin de Grado**

D. Pedro Izquierdo Fernández-Ladreda, con DNI estudiante del Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros y Energéticos de la Escuela Politécnica de Mieres de la Universidad de Oviedo, declaro bajo mi responsabilidad que:

El Trabajo de Fin de Grado aquí presentado con título “Diseño, simulación y análisis de un sistema de generación fotovoltaica para una vivienda unifamiliar” ha sido realizado bajo mi autoría, es original y que todas las fuentes utilizadas para su realización han sido debidamente citadas en el mismo.

Para que así conste, firmo la presente declaración.

En Mieres, a 4 de julio de 2023.

Pedro Izquierdo Fernández-Ladreda



Universidad de  
Oviedo



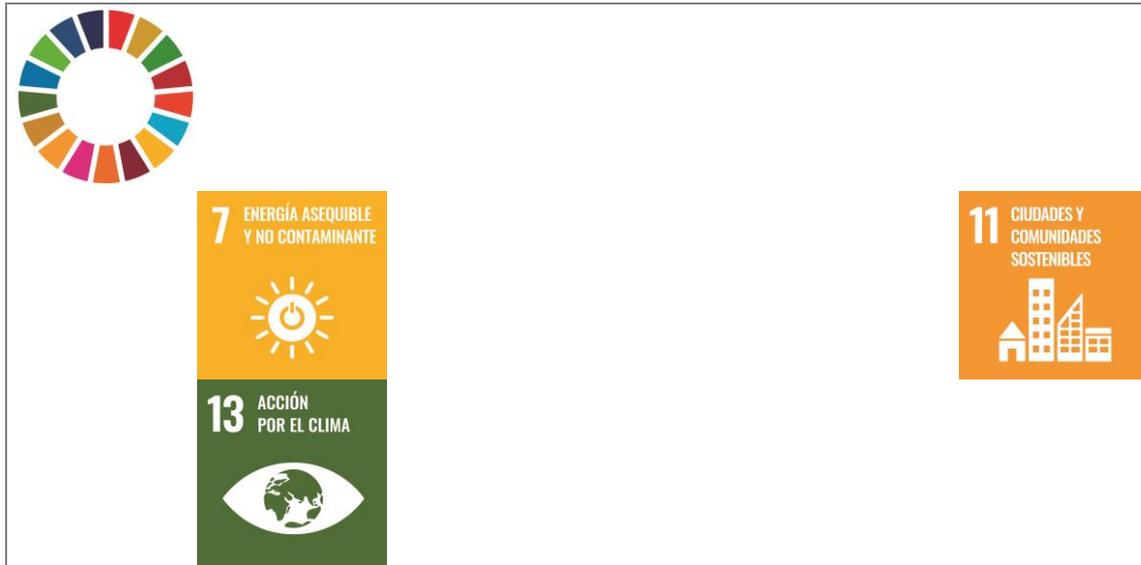


Universidad de  
Oviedo



## Relación del TFG con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

ODS con los que se relaciona el TFG (suprimir los que no proceda):



### Breve justificación:

Siguiendo los Objetivos de Desarrollo Sostenible marcados por las Naciones Unidas, el presente proyecto busca establecer una energía asequible y no contaminante, como es la energía solar fotovoltaica, que es renovable y abarata los costes mediante su instalación para el autoconsumo.

Además, el objetivo anterior se conecta con la consecución de ciudades sostenibles, menos contaminantes, y que son beneficiosas para el clima actual, al reducir la huella de carbono y mitigar el cambio climático.

## Agradecimientos.

*A mi familia, por apoyarme durante todo el transcurso de mi etapa universitaria, levantándose en los momentos más complicados.*

*A todos los profesores de la Escuela Politécnica de Mieres que me han dado clase, por ser parte activa de este Trabajo Fin de Grado a través de sus enseñanzas. Muchas gracias a mi tutor, Cristian, por aceptar ayudarme en este reto, y darme la libertad para trabajar a mi manera, pero siempre dispuesto a ayudarme y aconsejarme.*

*Agradecer también a mi amigo de la infancia, Gregorio, por permitirme utilizar su vivienda para realizar este TFG, estando siempre atento a darme cualquier apoyo y ayuda.*

## Resumen.

En este Trabajo Fin de Grado se lleva a cabo el estudio de viabilidad y desarrollo de las etapas de una instalación fotovoltaica dedicada al autoconsumo en una vivienda unifamiliar. La vivienda estudiada es una vivienda ubicada en Pola de Siero, Asturias.

Inicialmente, conociendo los parámetros característicos de la vivienda, se realizan los cálculos que permiten el dimensionamiento de la instalación. Mediante el software *SAM*, utilizando los cálculos previamente realizados, se llevan a cabo tanto el diseño de la instalación como la comprobación de los resultados, escogiendo entre varias opciones de componentes la más adecuada en términos energéticos y económicos. *SAM* permite conocer además todo lo relacionado con la generación y pérdidas.

Se realiza un presupuesto de obra, y se relaciona con el mercado actual de energía para calcular la amortización de la obra y el ahorro en generación de energía de la vivienda.

## Abstract.

In this Bachelor's Degree Final Project, the feasibility study and development stages of a photovoltaic installation dedicated to self-consumption in a single-family home are carried out. The studied home is located in Pola de Siero, Asturias.

Initially, based on the characteristic parameters of the home, the calculations necessary for the sizing of the installation are performed. Using the SAM software and the previously calculated data, both the installation design and result verification are carried out. The most suitable option in terms of energy and economic factors is chosen among various component choices. SAM also provides information regarding generation and losses.

A cost estimate for the project is prepared, and it is related to the current energy market to calculate the amortization of the project and the savings in energy generation for the home.

## Índice de contenido

1.	Objetivo del proyecto.	16
2.	Antecedentes y uso de nuevas formas de energía.	17
2.1.	Tipos de energías renovables.	18
2.2.	Ventajas y desventajas de las energías renovables.	22
2.3.	Energías renovables en España	22
3.	Energía solar fotovoltaica	24
3.1.	Energía fotovoltaica en España	25
3.2.	Principio de funcionamiento de la energía fotovoltaica.	25
4.	Instalaciones fotovoltaicas.	27
4.1.	Células fotovoltaicas.	27
4.2.	Componentes de una instalación fotovoltaica.	29
4.2.1.	Módulo fotovoltaico.	30
4.2.2.	Regulador de carga.	30
4.2.3.	Inversor.	30
4.2.4.	Batería.	31
4.2.5.	Equipos de seguridad.	31
4.3.	Tipos de instalaciones fotovoltaicas.	31
4.3.1.	Instalaciones fotovoltaicas aisladas.	32
4.3.2.	Instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red.	32
5.	Estudio de la instalación fotovoltaica.	34
5.1.	Situación geográfica.	34
5.2.	Características de la vivienda.	34
5.3.	Factores en la disposición de los módulos fotovoltaicos.	35
5.4.	Disposición de los módulos fotovoltaicos.	35
5.4.1.	Soportes fijos.	36
5.4.2.	Soportes móviles.	36
5.4.3.	Opción escogida en la instalación.	36
5.5.	Disposición y elección de los componentes.	37
5.5.1.	Módulo fotovoltaico.	37
5.5.2.	Inversor	40
5.5.3.	Contador.	41
5.5.4.	Soporte	42
5.6.	Dimensionamiento de la instalación.	43
6.	Elección del conjunto fotovoltaico.	47

6.1.	Simulación con SAM y resultados. ....	47
6.2.	Degradación anual sufrida por los módulos. ....	47
6.3.	Cálculo del LCOE.....	48
6.4.	Uso del software SAM con la opción escogida. ....	51
7.	Análisis económico de la instalación.....	55
7.1.	Presupuesto de la instalación .....	55
7.2.	Sistemas de autoconsumo. ....	57
7.2.1.	Modalidad de autoconsumo sin excedentes. ....	57
7.2.2.	Modalidades de autoconsumo con excedentes. ....	57
7.3.	Mercados eléctricos españoles.....	58
7.3.1.	Mercado regulado.....	58
7.3.2.	Mercado libre.....	59
7.3.3.	Estudio de tarifas. ....	59
7.4.	Subvenciones. ....	62
7.5.	Cálculo del retorno de la inversión y viabilidad económica. ....	63
7.5.1.	Elección de tarifa de la vivienda.....	63
7.5.2.	Periodo de retorno.....	65
7.5.3.	Valor actual neto.....	65
7.5.4.	Conclusiones sobre el VAN y el TIR.....	67
8.	Conclusiones. ....	68
8.1.	Solución 1.....	68
8.2.	Solución 2.....	72
8.3.	Aplicaciones futuras.....	76
9.	Planificación. ....	77
10.	Bibliografía.....	78

## Índice de ilustraciones.

Ilustración 1. Esquema del mix energético mundial.....	17
Ilustración 2. Esquema del mix energético español.....	18
Ilustración 3. Esquema de funcionamiento de molino eólico.....	19
Ilustración 4. Esquema de producción de energía geotérmica.....	19
Ilustración 5. Esquema de funcionamiento de planta hidroeléctrica.....	20
Ilustración 6. Esquema de obtención de energía mediante biomasa.....	20
Ilustración 7. Esquema de obtención de energía marina. ....	21
Ilustración 8. Esquema de obtención de energía solar térmica.....	21
Ilustración 9. Esquema de funcionamiento de módulo fotovoltaico.....	21
Ilustración 10. Tipos de radiaciones solares. ....	26
Ilustración 11. Esquema de una célula solar.....	27
Ilustración 12. Célula de silicio monocristalino.....	28
Ilustración 13. Célula de silicio policristalino. ....	28
Ilustración 14. Estructura de célula de silicio amorfo.....	29
Ilustración 15. Componentes de instalación fotovoltaica.....	30
Ilustración 16. Sección transversal de un módulo fotovoltaico.....	30
Ilustración 17. Esquema de sistema fotovoltaico de inyección cero. ....	32
Ilustración 18. Esquema de sistema fotovoltaico asistido.....	33
Ilustración 19. Esquema de sistema fotovoltaico de autoconsumo ilimitado.....	33
Ilustración 20. Ubicación de la vivienda.....	34
Ilustración 21. Medidas de la vivienda.....	34
Ilustración 22. Vivienda sobre la que se realiza la instalación.....	35
Ilustración 23. Distancia mínima entre la primera cadena y el borde del tejado.....	39
Ilustración 24. Inversor Solís S5-EH1P6K-L.....	40
Ilustración 25. Vatímetro Monofásico Solis-1P-Meter. ....	42
Ilustración 26. Accesorios del soporte. ....	43
Ilustración 27. Panel Solar 450W Monocristalino ERA. ....	49

Ilustración 28. Datos de localización en SAM. ....	51
Ilustración 29. Información general del módulo en SAM. ....	52
Ilustración 30. Información característica del inversor en SAM. ....	53
Ilustración 31. Diseño del sistema en SAM. ....	53
Ilustración 32. Posición de módulos en SAM. ....	54

## Índice de tablas.

Tabla 1. Tabla de eficiencias energéticas.....	29
Tabla 2. Tipos de instalaciones fotovoltaicas.....	31
Tabla 3. Características técnicas del panel solar de 450 watios de potencia. ....	37
Tabla 4. Características técnicas de panel solar de 500 watios de potencia. ....	38
Tabla 5. Características técnicas de panel solar de 505 watios de potencia. ....	38
Tabla 6. Cálculos de módulos según espacio disponible. ....	39
Tabla 7. Características técnicas del inversor. ....	41
Tabla 8. Precios de distintas unidades de soporte.....	42
Tabla 9. Dimensionamiento de la instalación fotovoltaica.....	46
Tabla 10. Resultados de simulación con SAM.....	47
Tabla 11. Eficiencia máxima de los módulos según la degradación sufrida. ....	48
Tabla 12. Comparación del LCOE. ....	49
Tabla 13. Explicación del cálculo del LCOE.....	50
Tabla 14. Presupuesto de ejecución material.....	56
Tabla 15. Presupuesto final de la instalación.....	56
Tabla 16. Rango de precios mensuales en el mercado regulado.....	60
Tabla 17. Precio de los excedentes en mercado regulado en 2022.....	61
Tabla 18. Programa de incentivos en el sector residencial.....	62
Tabla 19. Factura anual de la vivienda en 2022, previo a la instalación.....	63
Tabla 20. Factura anual de la vivienda con la instalación. ....	64
Tabla 21. Cálculo del periodo de retorno. ....	65
Tabla 22. VAN de la instalación.....	66
Tabla 23. Relación Demanda-Generación.....	68
Tabla 24. Nueva demanda de energía aplicando la solución 1.....	69
Tabla 25. Precio de la factura con la nueva demanda. ....	70
Tabla 26. Inversión para adquisición de los nuevos elementos.....	70
Tabla 27. Ahorro conseguido con los nuevos elementos. ....	71

Tabla 28. VAN de la instalación con los nuevos elementos.....	71
Tabla 29. Cambio de inversor en la instalación. ....	73
Tabla 30. Dimensionamiento para inversor de 3.6 kW.....	73
Tabla 31. Presupuesto de la solución 2.....	74
Tabla 32. Factura anual de la solución 2. ....	74
Tabla 33. VAN y PR de la solución 2. ....	75

## Índice de gráficas.

Gráfica 1. Curva I-V en STC.....	52
Gráfica 2. Comparación mensual de producción energética.....	54
Gráfica 3. Comparativa de precio entre mercados en España.....	58
Gráfica 4. Término de facturación de energía activa del PCPV.....	60

## 1. Objetivo del proyecto.

El presente proyecto tratará de abaratar los costes en energía para una vivienda unifamiliar mediante la instalación de una energía renovable basado en energía solar fotovoltaica sobre el tejado de la misma, permitiendo también la posible venta de excedentes, así como la reducción de contaminación y del impacto medioambiental.

Para ello, se utiliza el software *SAM*, modelo de software técnico económico gratuito que facilita la toma de decisiones y diseño en la industria de las energías renovables. Es capaz de varios tipos de modelaje como [1]:

- Sistemas fotovoltaicos.
- Calentamiento solar de agua.
- Energías mareomotriz y undimotriz.
- Almacenamiento con baterías de iones de litio.

Para la realización del proyecto son necesarias unas nociones previas sobre la energía fotovoltaica, por lo que hay que cumplir los siguientes requisitos académicos:

- Estudio sobre la actualidad de las energías renovables y, en concreto, de la situación de la energía solar fotovoltaica.
- Conocimiento de las normativas relacionadas con las instalaciones solares de consumo propio.
- Aprendizaje sobre los cálculos y pasos necesarios para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico.
- Familiarizarse con el software necesario para el diseño.
- Realización del presupuesto de proyecto, siendo necesaria una investigación previa sobre los precios de mercado y los impuestos a tener en cuenta.

## 2. Antecedentes y uso de nuevas formas de energía.

A lo largo del siglo XX, debido a la continua industrialización y modernización de la vida en los hogares del mundo, adquiriendo gran poder adquisitivo y mejoras sustanciales de bienes, hizo falta la adaptación rápida de nuevas fuentes de energía, fáciles y rápidas. Estas necesidades llevaron al uso de energías no renovables, ya que en aquella época no existían leyes relacionadas con las emisiones y el cambio climático. Aún en el mundo gran parte de la energía que se consume es producida mediante combustibles fósiles como se muestra en la Ilustración 1:

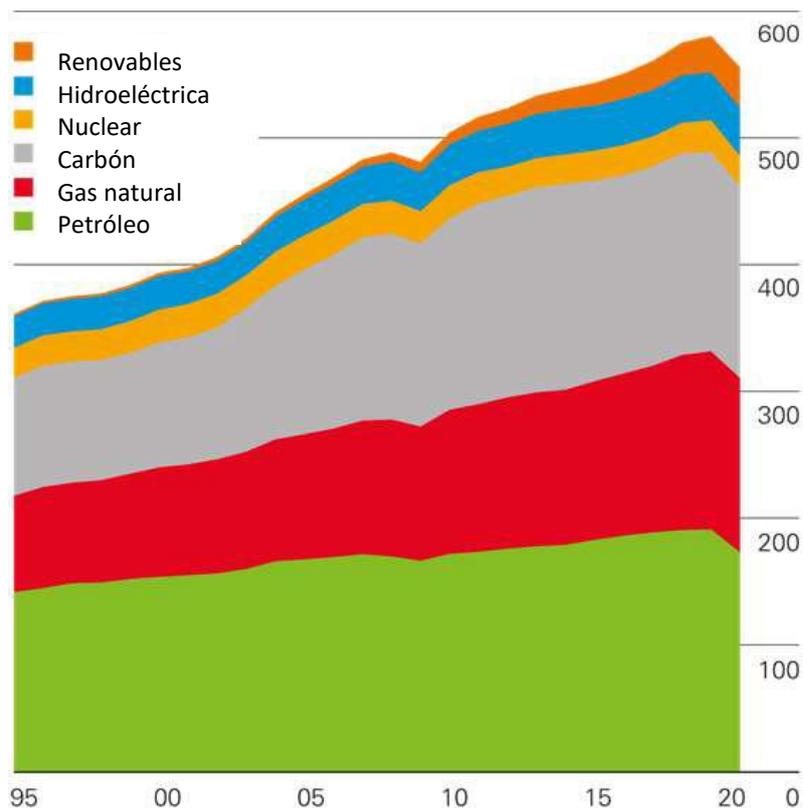


Ilustración 1. Esquema del mix energético mundial

Fuente: [2]

La utilización masiva de este tipo combustibles en el actual modelo energético deriva en unas consecuencias a corto plazo a solucionar mediante la transición energética, siendo los problemas más importantes los siguientes [3]:

- Carácter limitado del suministro eléctrico.
- Disminución de las reservas de combustibles fósiles (fuente agotable).
- Calentamiento global.
- Efecto invernadero.
- Destrucción de la capa de ozono.

- Generación de residuos.
- Contaminación de acuíferos, suelos y atmosférica.
- Lluvia ácida.

El sector energético español sigue nutriéndose en gran parte de energías no renovables, fuertemente independiente de las importaciones energéticas, situada en torno al 76,1% y alcanzando los 26 millones de euros en 2015. En pro a alcanzar los objetivos marcados desde la UE, España ha de alcanzar una producción de energía del 27% mediante energías renovables en 2030, por lo que ha de cambiar el mix energético del que está actualmente compuesto, como se observa en la Ilustración 2.

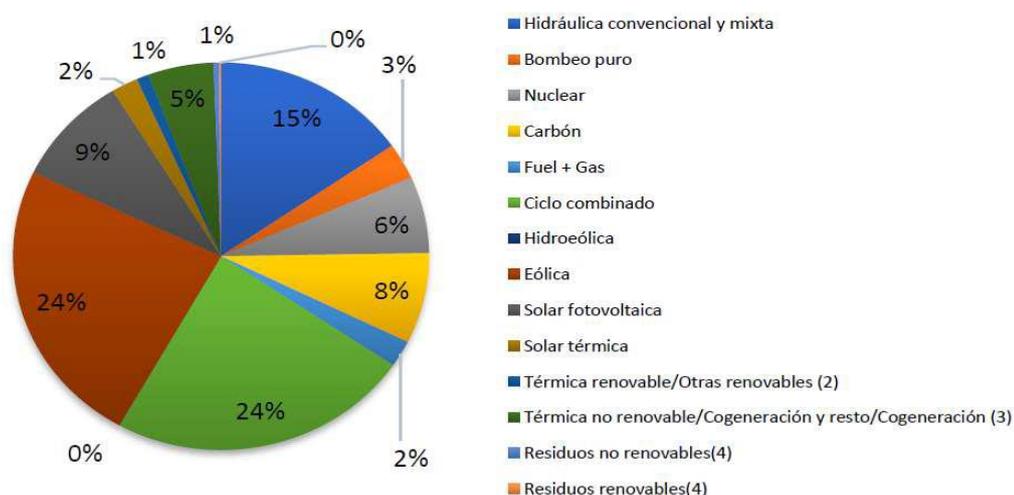


Ilustración 2. Esquema del mix energético español.

Fuente: [2]

### 2.1. Tipos de energías renovables.

Las energías renovables están comprendidas entre aquellas cuya renovación es mayor a la cadencia de uso. Son energías no continuas (dependen de que haya viento, sol, movimientos marinos, etc.) pero inagotables [4].

- Energía eólica: se refiere a la energía producida por el viento. La energía cinética de las masas de aire se convierte en mecánica y posteriormente en energía eléctrica en una turbina eólica, como se observa en la Ilustración 3. La capacidad eólica ha ido aumentando significativamente, llegando a producir el 4% de la energía mundial, con países líderes como China, Estados Unidos, Alemania, India y España, que aportan un 67% de la capacidad eólica mundial [4] y [5].

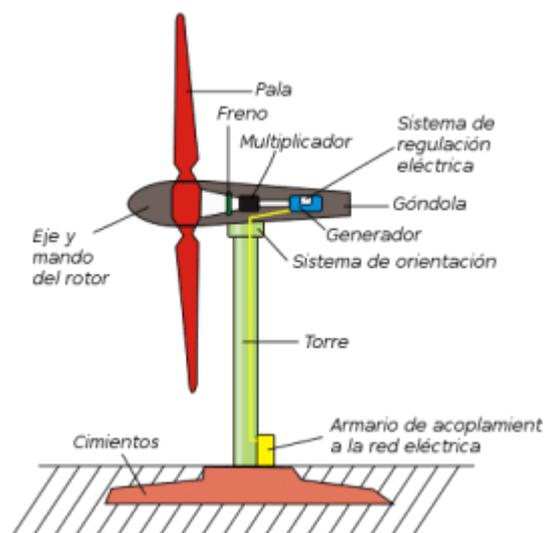


Ilustración 3. Esquema de funcionamiento de molino eólico.

Fuente: [6]

- Energía geotérmica: las fuentes geotérmicas son las referidas a la extracción térmica directa de las altas temperaturas emergentes desde las capas inferiores del planeta para calor y enfriamiento (Ilustración 4). Pueden utilizarse para la producción directa de energía o su derivación en energía térmica [4] y [5].

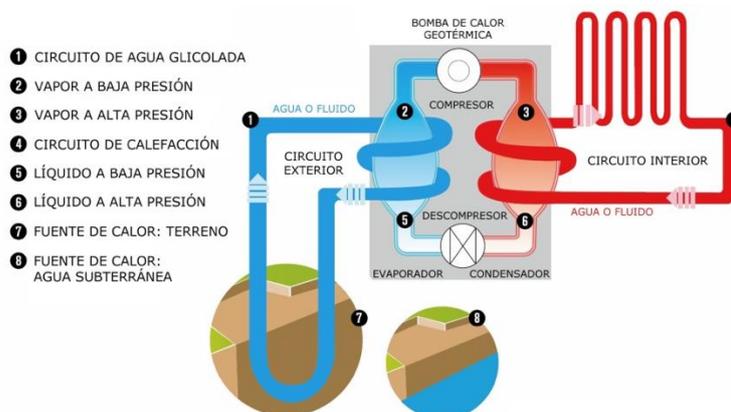


Ilustración 4. Esquema de producción de energía geotérmica.

Fuente: [7]

- Energía hidroeléctrica: energía obtenida mediante la energía potencial gravitatoria del agua que desciende de las montañas, convirtiéndose al alcanzar cauces bajos en energía cinética que mueve unas turbinas para la producción de energía eléctrica. Alrededor de 160 países en el mundo utilizan este tipo de energía, generando una media de 3500 TWh al año (un 15,8% de la producción eléctrica mundial) [4] y [5]. En la Ilustración 5 se muestra su esquema de funcionamiento.

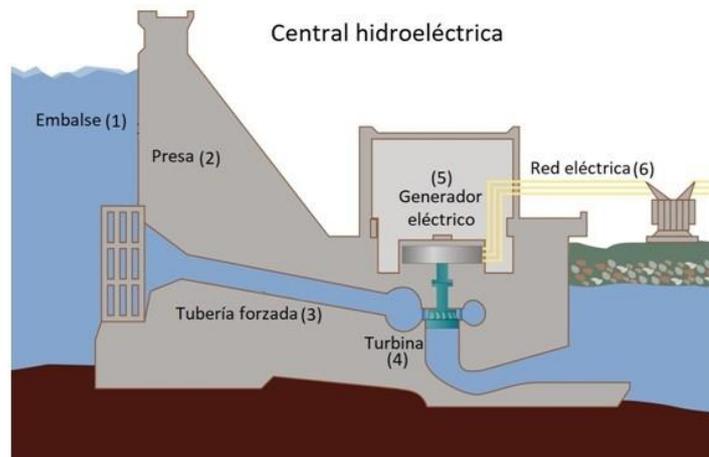


Ilustración 5. Esquema de funcionamiento de planta hidroeléctrica.

Fuente: [8]

- Energía a partir de biomasa: energía almacenada en materia orgánica, que es transformada en energía eléctrica mediante su combustión, como se muestra en la Ilustración 6. Esta energía representa aproximadamente un 10% de la demanda energética mundial. Esta energía es ampliamente utilizada en regiones con altos recursos de madera, forestales, y residuos agrícolas [4] y [5].

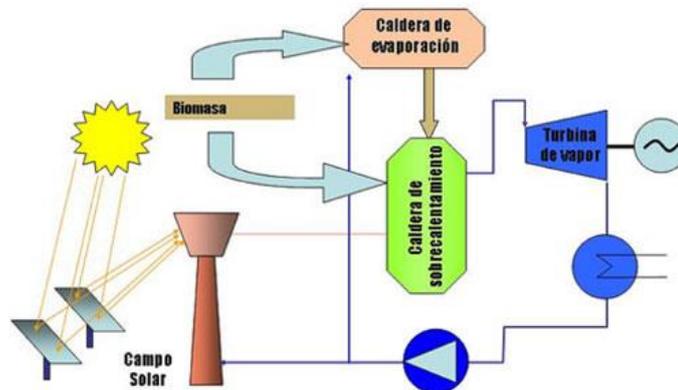


Ilustración 6. Esquema de obtención de energía mediante biomasa.

Fuente: [9]

- Energía marina: energía que aprovecha la energía cinética de los movimientos de aguas marinas en océanos y mares para, mediante turbinas, transformarla en energía eléctrica. Puede ser mareomotriz, undimotriz, o de conversión térmica entre distintas aguas marinas [4]. En la Ilustración 7 se muestra su principio de funcionamiento.

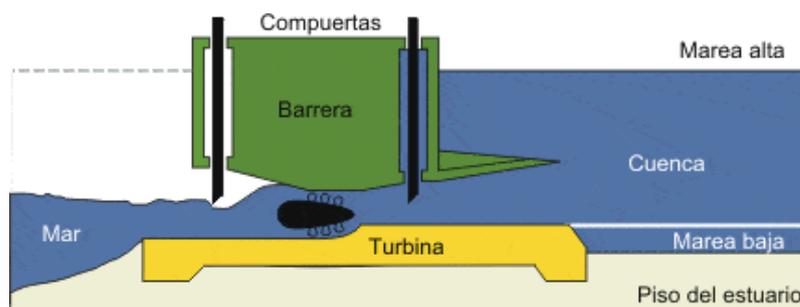


Ilustración 7. Esquema de obtención de energía marina.

Fuente: [10]

- Energía solar térmica: energía que permite aprovechar el calor del sol para, mediante colectores que alcanzan altas temperaturas, calentar el agua, como se muestra en el esquema de la Ilustración 8. Durante la última década la capacidad operativa global de este tipo de energía aumentó un promedio anual del 46% [4] y [5].

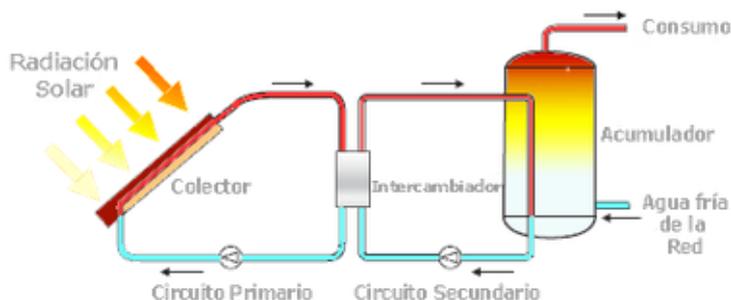


Ilustración 8. Esquema de obtención de energía solar térmica.

Fuente: [11]

- Energía solar fotovoltaica: energía generada mediante la recepción de placas fotovoltaicas formadas por células fotoeléctricas de la luz solar (Ilustración 9). En la última década se ha establecido más capacidad de energía fotovoltaica que en las 4 décadas anteriores juntas. Desde el año 2013, China, Japón y Estados Unidos se han convertido en los líderes en desarrollo de energía fotovoltaica [4] y [5].

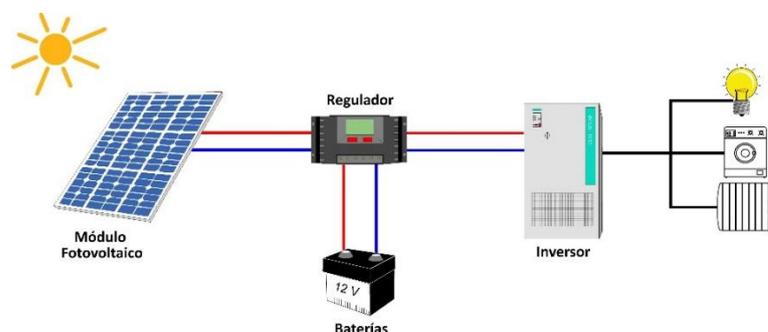


Ilustración 9. Esquema de funcionamiento de módulo fotovoltaico.

Fuente: [12]

## 2.2. Ventajas y desventajas de las energías renovables.

Las fuentes de las que se obtienen las energías renovables son mucho más limpias que los combustibles fósiles; además, las plantas de generación renovable emiten cantidades ínfimas de gases tóxicos con relación a fuentes no renovables de producción de energía. Sus ventajas más decisivas son [13]:

- Son energías limpias que no emiten gases de efecto invernadero.
- Son recursos inagotables como el sol, el viento, o el agua.
- En España, debido a la gran dependencia energética de otros países, son muy necesarias por su naturaleza local, que aumenta las posibilidades de producción de la propia energía necesaria para el suministro.
- Son económicamente competitivas, reduciendo en gran medida sus costes. Cada vez es más fácil la instalación de propios módulos de electricidad en viviendas unifamiliares para la producción de energía, abaratando costes de obtención de la energía necesaria para la vida diaria.
- Son energías de futuro, necesarias para el desarrollo tecnológico, económico y social.
- Al generar recursos por sí misma, contribuye a la diversificación y el autoabastecimiento.
- Desarrolla la industria y economía de la región en la que se instala.

En resumen, las fuentes de energía renovables son mucho más diversas y abundantes que las fósiles, además de permitir mayor independencia económica al país en cuestión, y a sus ciudadanos, permitiendo su autoabastecimiento. Los riesgos económicos, sociales y medioambientales (las energías limpias dañan 31 veces menos el medio ambiente que las fósiles) se ven muy reducidos con el uso de estos tipos de energía [4] y [13].

## 2.3. Energías renovables en España

Es importante destacar que España ha estado impulsando activamente la transición hacia fuentes de energía más limpias y renovables en los últimos años.

Entre las energías renovables más importantes en España se encuentran la energía eólica, la energía solar fotovoltaica, la energía solar termoeléctrica, la energía hidroeléctrica, la biomasa y la geotermia.

La energía eólica es la fuente de energía renovable más utilizada en España, con una capacidad instalada de 27.2 GW en 2020 [14]. La energía eólica es generada por aerogeneradores que convierten la energía del viento en electricidad. España cuenta con excelentes recursos eólicos en su territorio, especialmente en regiones como Galicia, Castilla y León, y Cataluña.

Otra importante fuente de energía renovable en España es la energía solar. España cuenta con una gran cantidad de horas de sol al año, lo que la convierte en un lugar ideal para la generación de energía solar. La energía solar fotovoltaica convierte la energía del sol en electricidad mediante el uso de paneles solares, mientras que la energía solar termoeléctrica utiliza espejos para concentrar la luz solar y generar vapor para mover una turbina y producir electricidad.

La energía hidroeléctrica también es una fuente importante de energía renovable en España, con una capacidad instalada de 17.8 GW en 2020. Esta energía se genera mediante la utilización del agua en movimiento para mover una turbina y generar electricidad. España cuenta con una gran cantidad de embalses y ríos que son ideales para la generación de energía hidroeléctrica.

La biomasa es otra fuente de energía renovable en España que utiliza materia orgánica, como residuos forestales y agrícolas, para producir energía térmica y eléctrica. La geotermia, aunque es una fuente de energía renovable con gran potencial en España, todavía se encuentra en una etapa de desarrollo.

En conclusión, España cuenta con una amplia variedad de fuentes de energía renovable disponibles en su territorio, lo que la convierte en un actor importante en la transición hacia un sistema energético más sostenible y limpio [14] y [15].

### 3. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una forma de obtener electricidad a partir de la luz solar utilizando paneles solares fotovoltaicos. Este proceso se basa en el efecto fotoeléctrico, descubierto por Albert Einstein en 1905, que describe cómo ciertos materiales pueden liberar electrones cuando son golpeados por fotones de luz.

En los paneles solares fotovoltaicos, se utilizan materiales semiconductores, como el silicio, para crear células solares que convierten la energía solar en electricidad. Cada célula solar está compuesta por dos capas de material semiconductor: una capa dopada con impurezas que le da una carga eléctrica positiva ( $p$ ) y otra capa dopada con impurezas que le da una carga eléctrica negativa ( $n$ ).

Cuando los fotones de luz solar golpean la célula solar, algunos de ellos son absorbidos por los átomos de la capa  $n$ , lo que provoca que los electrones se liberen de sus átomos y se muevan hacia la capa  $p$ . Esto crea una diferencia de potencial eléctrico entre las dos capas, lo que genera una corriente eléctrica.

Los paneles solares fotovoltaicos suelen estar formados por varias células solares conectadas en serie para aumentar la tensión de salida y en paralelo para aumentar la corriente de salida. Estas células solares están protegidas por una capa de vidrio para protegerlas de los elementos y permitir que la luz solar pase a través de ellas.

Una vez que se produce la corriente eléctrica en el panel solar, esta se dirige a un dispositivo llamado inversor, que convierte la corriente continua (DC) producida por los paneles solares en corriente alterna (AC) que se puede utilizar para alimentar una casa o un edificio. Si el sistema de energía solar produce más electricidad de la que se consume en el momento, la electricidad sobrante se puede enviar a la red eléctrica para su posterior uso.

En resumen, la energía solar fotovoltaica es una forma de obtener electricidad a partir de la luz solar mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos. Estos paneles contienen células solares que convierten la energía solar en electricidad a través del efecto fotoeléctrico. La electricidad producida por los paneles solares se dirige a un inversor que convierte la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC) que se puede utilizar para alimentar una casa o un edificio [15] y [16].

### 3.1. Energía fotovoltaica en España

Hasta el siglo XXI la energía solar fotovoltaica en España no ha tenido una repercusión suficientemente importante para las características del país, cuyas horas de sol y condiciones climáticas lo convierten en un lugar idóneo para la utilización de este tipo de energía.

El clima de la península permite dividir su área en 3 zonas de influencia de la insolación, las cuales permite el mejor o peor aprovechamiento de la energía solar:

- La zona norte, formada por aquellas comunidades autónomas ubicadas en latitudes superiores a Castilla y León (véase Galicia, Asturias, País Vasco, Navarra atlántica y Cantabria), que no superan las 2000 horas de sol anuales.
- La zona meridional, con una cantidad de horas de sol anuales de entre 2000 y 2600 horas; abarca la zona sur de la comunidad autónoma de Galicia (provincia de Orense), toda la zona de la meseta, incluyendo tanto La Rioja como Cataluña y partes de Aragón. Engloba pequeñas zonas del sur que, por su geolocalización, no reciben tantas horas de sol como el resto de las zonas, incluyendo el Mar Menor (Murcia), y Tarifa (Cádiz).
- El área de gran iluminación, superior a las 2600 horas de sol anuales, se trata de la zona sur de la Península, en las comunidades autónomas de Extremadura, Andalucía, Región de Murcia, y el litoral sureste, en la provincia de Alicante.

España se trata de la tercera potencia fotovoltaica en Europa. En 2019, las tecnologías de energía solar fotovoltaica superaron los 8623 MW de potencia. Además, en 2021 se instalaron en España 1203 MW de nueva potencia fotovoltaica, incrementando en más de un 100% el incremento del año anterior.

Dentro de España, la comunidad autónoma de Extremadura lidera la potencia solar instalada en el país. En 2020, Extremadura ha producido 21294 GWh de energía solar fotovoltaica, lo que supone un 8.5% del total de España [17] y [18].

### 3.2. Principio de funcionamiento de la energía fotovoltaica.

La fuente utilizada para la obtención de energía mediante instalaciones fotovoltaicas es la radiación solar.

La radiación solar es la energía generada por el sol mediante reacciones nucleares de fusión en su núcleo y posteriormente emitida, propagada a través del espacio mediante ondas electromagnéticas [19].

Se distinguen 3 tipos de radiación solar en función de la manera en la que el sol incide sobre la superficie terrestre:

- Directa: es la recibida directamente desde el sol sin desviarse en su paso por la atmósfera. Depende de la posición.
- Difusa: es la que sufre cambios de dirección debido a la dispersión y difusión producidas por la atmósfera. Dependerá del ángulo.
- Reflejada o albedo: es la mezcla de radiaciones directa y difusa que se reflejan en la superficie terrestre hacia el receptor.

La suma de las radiaciones directa, difusa y reflejada forman la radiación global, que es la radiación total final que recibe un receptor y, por tanto, la energía a tener en cuenta en cálculos y diseño de instalaciones fotovoltaicas, como se muestra en la Ilustración 10 [18] y [19].

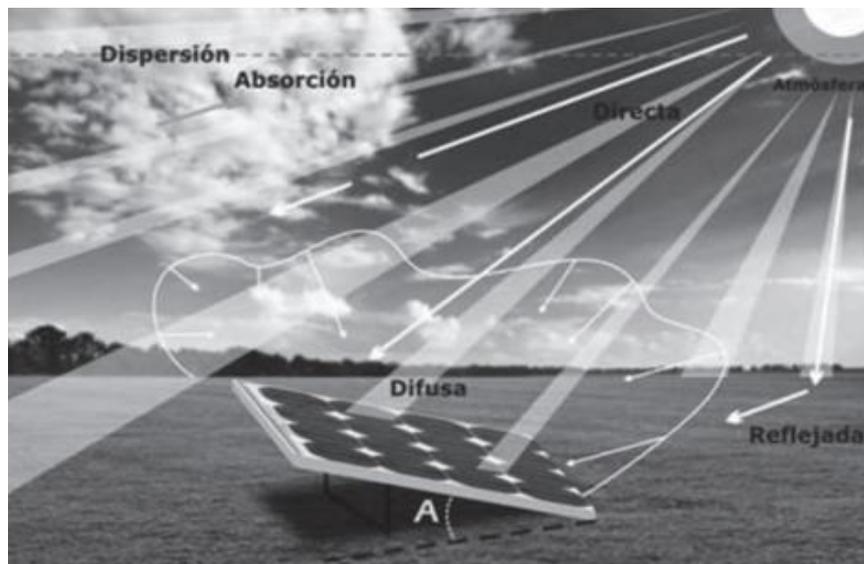


Ilustración 10. Tipos de radiaciones solares.

Fuente: [20]

La manera de cuantificar la radiación solar se lleva a cabo mediante 2 propiedades de la misma, irradiancia e irradiación.

La irradiancia se define como el flujo de radiación solar por unidad de superficie. Indica la intensidad de la radiación solar en  $W/m^2$ .

La irradiación es la energía por unidad de superficie en un periodo de tiempo determinado. Es la potencia de la radiación solar expresada en  $Wh/m^2$  [20].

## 4. Instalaciones fotovoltaicas.

Una instalación fotovoltaica es el conjunto de equipos que producen energía eléctrica a partir de la radiación solar mediante tecnología basada en el efecto fotoeléctrico. Está formada por varios componentes, siendo los módulos fotovoltaicos los que captan la luz solar. Posteriormente, por medio de optimizadores, reguladores, baterías, etc. Se transforma dicha luz en energía eléctrica.

### 4.1. Células fotovoltaicas.

Las células fotovoltaicas son los componentes encargados de captar la energía contenida en la radiación solar para transformarla en energía eléctrica. Se define como un diodo elaborado con material semiconductor. En este diodo, el material semiconductor  $P$  (parte oscura) está separado del semiconductor  $N$  (expuesta a radiación) mediante la región de agotamiento, denominada juntura  $N-P$  en la Ilustración 11 [21].

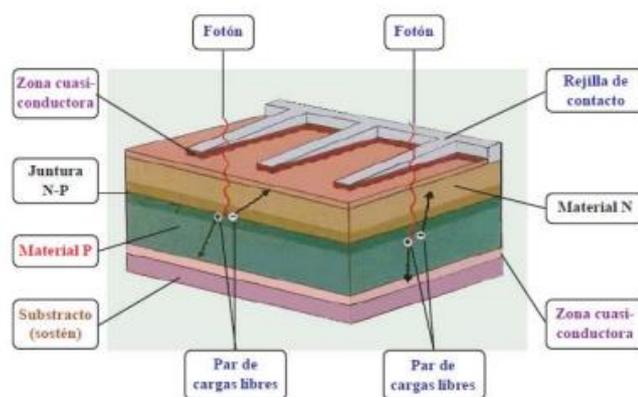


Ilustración 11. Esquema de una célula solar.

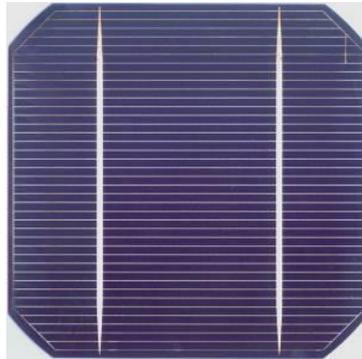
Fuente: [21]

Su diseño se basa en maximizar la eficiencia aumentando la cantidad de luz absorbida por la célula mediante la reducción de contactos metálicos, el uso de antirreflejantes y cambios de textura [22].

Hay varios tipos de células fotovoltaicas, siendo las de silicio las más utilizadas ya que pueden actuar tanto como aislantes como conductores de la energía. Los tipos de silicio mono o policristalino, de película delgada, de multiunión u orgánicas e híbridas [23].

- Células de silicio monocristalino: la célula está constituida únicamente por un cristal con estructura muy uniforme (Ilustración 12). Debido a la perfecta

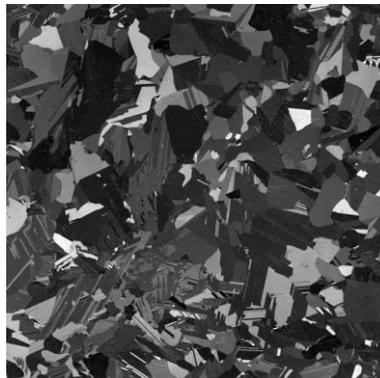
alineación de los átomos de silicio, presentan un mayor rendimiento energético, pero también un precio elevado. Además, su fabricación es más lenta y costosa.



*Ilustración 12. Célula de silicio monocristalino.*

*Fuente: [22]*

- Células de silicio policristalino: debido a su facilidad de fabricación (se dejan solidificar lentamente en un molde obteniéndose muchos cristales), son celdas más económicas, pero con rendimiento inferior. Son las más utilizadas. Sus propiedades se muestran en la Ilustración 13.



*Ilustración 13. Célula de silicio policristalino.*

*Fuente: [22]*

- Células de película delgada: son células más delgadas y esbeltas, por lo tanto, también más flexibles. Se fabrican en forma de bandas continuas, como se observa en la Ilustración 14. Los fotones no chocan con ningún electrón la atraviesan por su pequeño grosor. Hay varios tipos, la más utilizada es la de silicio amorfo, con una eficiencia de aproximadamente la mitad de las células cristalinas. Otros tipos son de Telururo de Cadmio (CdTe), Cobre Indio de Galio o Selenio (CIS o CIGS) o arseniuro de galio (GaAS) [23].



Ilustración 14. Estructura de célula de silicio amorfo.

Fuente: [24]

Según los distintos tipos de material y las disposiciones de las células, tienen una eficiencia de conversión eléctrica, que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Tabla de eficiencias energéticas.

Fuente: [22].

Tipo de material	Eficiencia eléctrica		
	Máximo teórico	Células	Módulos
Silicio monocristalino	27%	25.6%	22.9%
Silicio policristalino	27%	20.8%	18.5%
Arseniuro de Galio	29%	28.8%	24.1%
Teluro de Cadmio	28.5%	21.5%	14.4%
CIGS	26%	23.3%	17.8%
Silicio microamorfo	35%	12.7%	11.9%

#### 4.2. Componentes de una instalación fotovoltaica.

Según el tipo de instalación fotovoltaica que se esté diseñando, existen posibilidad de uso de distintos componentes para su diseño; aun así, hay componentes esenciales de toda instalación fotovoltaica, como se muestran en la Ilustración 15 [24], [26] y [27]:

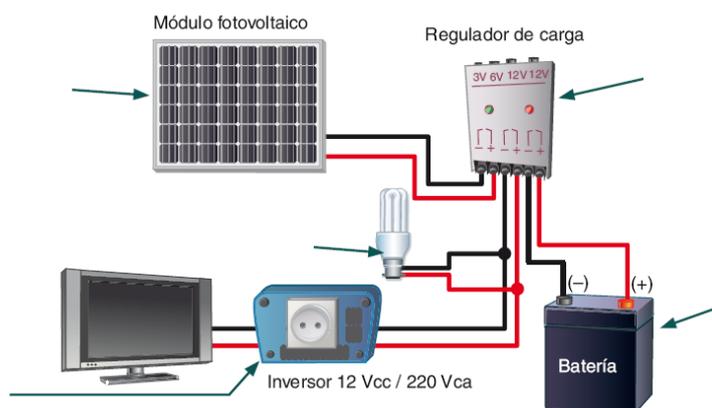


Ilustración 15. Componentes de instalación fotovoltaica.

Fuente: [26]

#### 4.2.1. Módulo fotovoltaico.

Elemento primordial de la instalación, convierte la energía solar en energía eléctrica. Está formado por la unión de diversas células mediante conexiones en serie o en paralelo hasta la obtención de la potencia deseada. Está formado por los siguientes componentes:

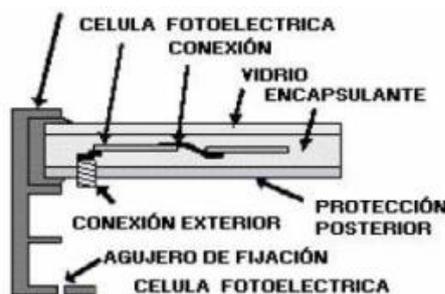


Ilustración 16. Sección transversal de un módulo fotovoltaico.

Fuente: [27]

#### 4.2.2. Regulador de carga.

Nexo de unión entre los paneles solares y los elementos de consumo de la instalación. Protege a los acumuladores de sobrecargas. Fija el valor de la tensión nominal a la que trabaja la tensión.

#### 4.2.3. Inversor.

Convierte la corriente continua del sistema en corriente alterna, a 220 voltios de valor eficaz y frecuencia de 50 hertzios (igual a la red eléctrica). Existen los inversores para sistemas conectados a red eléctrica convencional, que no están asociados a las baterías; o inversores para instalaciones fuera de red o híbridas, que almacenan la energía en baterías para su posterior uso.

#### 4.2.4. Batería.

Solo presentes en instalaciones autónomas. Acumulador de energía que la proporciona durante los periodos sin luz solar o luminosidad suficiente.

#### 4.2.5. Equipos de seguridad.

Se tratan de desconectores de seguridad que protegen la instalación de subidas de tensión y otros posibles fallos del sistema.

### 4.3. Tipos de instalaciones fotovoltaicas.

Los sistemas fotovoltaicos se clasifican actualmente teniendo en cuenta los siguientes criterios (aunque cabe destacar que es necesario ampliar la clasificación debido a la complejidad alcanzada en algunos diseños fotovoltaicos):

- La existencia de una conexión a red eléctrica y la posibilidad de inyectar energía en ella.
- La presencia de baterías.
- La presencia de cargas eléctricas en el mismo lugar donde se localiza la instalación.
- La posibilidad de abastecimiento eléctrico a partir de otras fuentes de energía independientes de la red eléctrica y la generación fotovoltaica [26].

El elemento común indispensable en cualquier instalación fotovoltaica es el módulo fotovoltaico. Los tipos se diferencian según diversos criterios, como se muestra en la Tabla 2:

*Tabla 2. Tipos de instalaciones fotovoltaicas.*

*Fuente: [26].*

	Conexión a red	Inyección a red	Cargas eléctricas	Acumulación eléctrica
Autónomo con acumulación eléctrica	No	No	Sí	Sí
Autónomo sin acumulación eléctrica (Bombeo)	No	No	Sí	No
Centrales fotovoltaicas	Sí	Sí	No	No
Autoconsumo instantáneo	Sí	No	Sí	No
Autoconsumo asistido	Sí	No	Sí	Sí
Autoconsumo sin limitación de energía	Sí	Sí	Sí	No/Sí

#### 4.3.1. Instalaciones fotovoltaicas aisladas.

Instalaciones que cuentan con puntos de consumo cercanos al generador fotovoltaico. Permite el suministro en lugares donde la obtención de energía se plantearía complicada por la dificultad de instalación eléctrica en dicha zona (véase zonas de montaña o pequeños islotes). Suelen ser sistemas de pocos módulos y, en consecuencia, poca potencia. Se dividen a su vez en 2, las que disponen de acumuladores eléctricos y las que no.

- Instalaciones fotovoltaicas aisladas con acumulador eléctrico: entre sus usos se encuentran las instalaciones rurales, de comunicación y de señalización.
- Instalaciones fotovoltaicas aisladas sin acumulador eléctrico: usadas casi exclusivamente para sistemas de bombeo y agua, tanto de riego como de consumo. Es común llamar a estas instalaciones sistemas fotovoltaicos de bombeo [26], [28] y [29].

#### 4.3.2. Instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red.

Desde el punto de vista funcional, pueden contemplarse 3 modalidades diferentes de autoconsumo mediante energía fotovoltaica [26], [28] y [29]:

- Sistemas de autoconsumo instantáneo o inyección cero: sistemas que pueden funcionar de forma autónoma pero que pueden recibir energía eléctrica de la red siempre que sea preciso. La red puede aportar, pero no es posible inyectar a la red. Cuentan con un mecanismo que, en contacto con el inversor, evita que se produzca más energía de la consumida, para que ésta no pase a la red.



Ilustración 17. Esquema de sistema fotovoltaico de inyección cero.

Fuente: [29]

- Sistemas fotovoltaicos semi aislados, sistemas de autoconsumo instantáneo con acumulación o sistemas asistidos: idénticos a los de inyección cero, pero con acumulación gracias a la existencia de baterías. La fuente auxiliar de energía es la propia red. El hecho de añadir baterías aumenta considerablemente la inversión inicial.

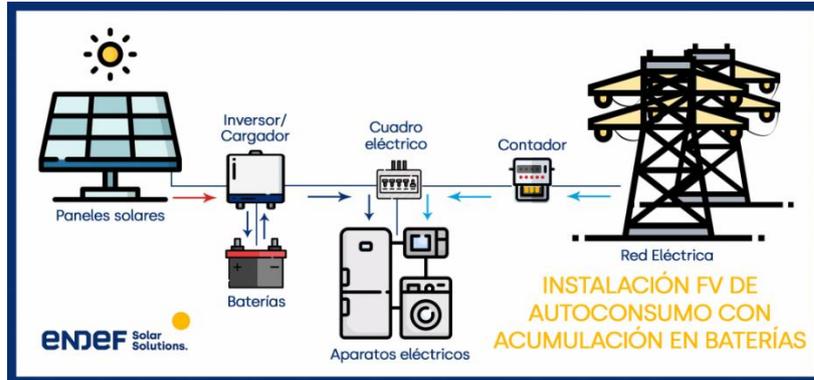


Ilustración 18. Esquema de sistema fotovoltaico asistido.

Fuente: [29]

- Sistemas de autoconsumo ilimitado: sistemas análogos a los de inyección cero, pero habilitados técnica y contractualmente para poder inyectar energía a la red eléctrica, existiendo la posibilidad de percibir por ello un beneficio o compensación económica por parte de la compañía eléctrica.

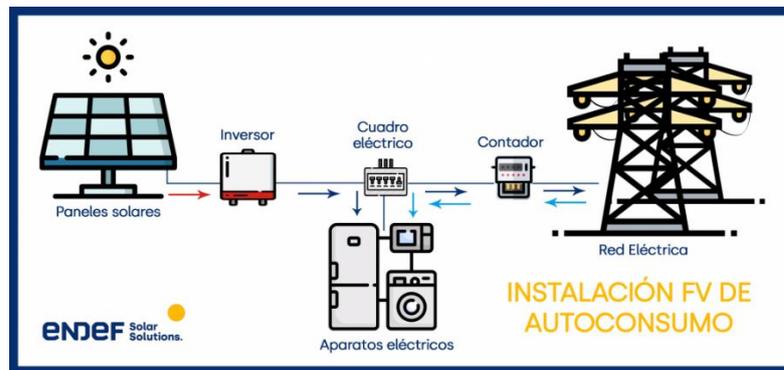


Ilustración 19. Esquema de sistema fotovoltaico de autoconsumo ilimitado.

Fuente: [29]

## 5. Estudio de la instalación fotovoltaica.

### 5.1. Situación geográfica.

La vivienda se encuentra ubicada en la calle Alcalde Parrondo 27, Pola de Siero, población perteneciente a la comunidad autónoma del Principado de Asturias, España.

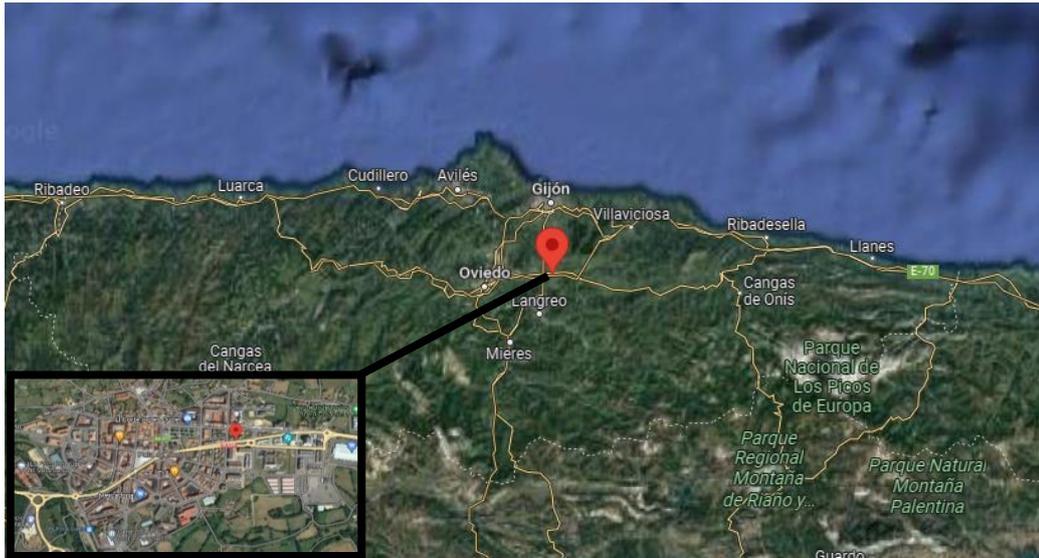


Ilustración 20. Ubicación de la vivienda.

Fuente: [30].

Las coordenadas geográficas de la vivienda son latitud 43,392 Norte y longitud -5,655 Oeste con una altura sobre el nivel del mar de 295 metros. Se sitúa orientada hacia el sur.

### 5.2. Características de la vivienda.

La vivienda unifamiliar es una vivienda con tejado plano, con instalación monofásica y con un total de 102 m<sup>2</sup> aprovechables, divididos de la siguiente manera:



Ilustración 21. Medidas de la vivienda.

Fuente: [30].



*Ilustración 22. Vivienda sobre la que se realiza la instalación.*

*Fuente: Elaboración propia.*

### 5.3. Factores en la disposición de los módulos fotovoltaicos.

La disposición ideal de los módulos fotovoltaicos es un factor crítico para maximizar la producción de energía solar y mejorar la eficiencia de la instalación. La orientación y la inclinación de los paneles solares son los dos factores principales que influyen en la cantidad de energía solar que se puede capturar.

La orientación ideal de los paneles solares debe ser hacia el sur en el hemisferio norte, y viceversa. Los paneles solares capturan la mayor cantidad de energía solar cuanto más directamente estén orientados hacia el sol. En definitiva, los paneles solares deben estar orientados hacia la dirección opuesta al movimiento del sol.

Además de la orientación, la inclinación de los paneles también es un factor importante a considerar. La inclinación va asociada a la latitud de la instalación, nunca en una regla estricta, ya que factores como la época del año y la ubicación geográfica de la instalación y el entorno afectan a la disposición.

Otro factor de vital importancia es la sombra, ya que, en la medida de lo posible, hay que evitar que afecte a los paneles. Es importante instalarlos en zonas sin sombras, lejos de árboles o edificios altos [30] y [31].

### 5.4. Disposición de los módulos fotovoltaicos.

Los soportes posibles en las instalaciones fotovoltaicas se dividen en fijos y móviles.

#### 5.4.1. Soportes fijos.

Los soportes fijos son aquellos que mantienen los paneles solares en una posición fija y estática durante todo el día. Estos soportes son los más comunes en la mayoría de las instalaciones de energía solar, ya que son más sencillos y económicos de instalar y mantener. El ángulo de inclinación de los soportes fijos se elige para adaptarse a la latitud del lugar donde se instalan, y una vez fijado, no se puede ajustar posteriormente. Los soportes fijos son adecuados para lugares donde la radiación solar es constante durante todo el día y no hay obstáculos que puedan causar sombras en los paneles solares [31].

#### 5.4.2. Soportes móviles.

Los soportes móviles son aquellos que permiten ajustar la inclinación y la orientación de los paneles solares a lo largo del día y a lo largo del año. Estos soportes son más complejos y costosos que los soportes fijos, pero pueden aumentar significativamente la producción de energía solar. Los soportes móviles pueden ajustarse para optimizar la captura de energía solar en diferentes momentos del día, y también pueden ajustarse para evitar las sombras en los paneles solares causadas por obstáculos que cambian de posición a lo largo del día. Los soportes móviles son adecuados para lugares donde la radiación solar varía significativamente durante todo el día o donde hay obstáculos que pueden causar sombras en los paneles solares [31].

#### 5.4.3. Opción escogida en la instalación.

Para esta instalación se han escogido soportes fijos, mucho más rentables económicamente que los móviles, ya que su coste de adquisición y mantenimiento es menor; y debido a que, tras el estudio realizado, se determina que no es necesario el giro de los soportes siguiendo al sol.

La orientación de los módulos se define como la desviación de los mismos respecto al ecuador, siendo mostrada en el ángulo de azimut ( $\alpha$ ). El valor del azimut es  $0^\circ$  para los módulos orientados al Sur,  $90^\circ$  negativos para los módulos orientados hacia el Este y  $+90^\circ$  para los módulos orientados hacia el Oeste. En este caso, como se citó en el epígrafe 5.3, los módulos tendrán orientación Sur, por estar en el Hemisferio Norte.

En cuanto a la inclinación, ésta viene medida por el ángulo de inclinación ( $\beta$ ), definido como el ángulo entre la superficie de los módulos y el plano horizontal. Su valor varía entre  $0^\circ$  para los módulos horizontales y  $90^\circ$  para los módulos verticales [33].

El ángulo óptimo de inclinación para la instalación fotovoltaica se puede obtener mediante la web *PVGis* [34]. Finalmente, el ángulo óptimo de inclinación determinado para utilizar en la instalación fue de  $35^\circ$ .

Debido a la superposición general en el tejado plano, habría que calcular la distancia ideal para que no se proyecten sombra entre ellos. Los cálculos y el resultado se desarrollan en el epígrafe 5.5.1.

### 5.5. Disposición y elección de los componentes.

Se diseñan varias opciones para realizar el proyecto de la manera más viable económica y energéticamente.

Se recomienda que la potencia nominal total de los módulos fotovoltaicos instalados sea ligeramente superior a la potencia nominal del inversor. Esto se debe a diversos motivos, como que el inversor puede operar de manera más eficiente cuando se utiliza alrededor del 80% de su capacidad máxima. Además, las condiciones de funcionamiento reales de la instalación disciernen de las mostradas en las fichas de características técnicas, que muestran las condiciones de trabajo del STC (*Standard Test Condition*). También, porque hay que tener en cuenta la degradación anual sufrida por los módulos, que posteriormente se muestra en la Tabla 11. En la práctica, los inversores trabajan la gran parte del tiempo a potencia menor que la nominal. Para ello se utiliza un ratio de sobredimensionamiento que permite que la potencia total de la instalación sea mayor que la producida por el inversor.

#### 5.5.1. Módulo fotovoltaico

Se estudian distintos módulos fotovoltaicos de distintas potencias pico, con intención de encontrar los más rentables económica y energéticamente. Se indican sus características técnicas más importantes en la Tabla 3, la Tabla 4 y la Tabla 5 [35].

El primer módulo es un *Panel Solar 450W 24V Monocristalino ERA*, módulo fotovoltaico con gran rendimiento debido a las células de silicio monocristalino que lo forman. Cuenta con tecnología PERC que proporciona rendimiento aun con condiciones climáticas adversas y controla la temperatura del módulo de mejor forma. Tiene un precio de 158.99€ por cada módulo [35].

*Tabla 3. Características técnicas del panel solar de 450 vatios de potencia.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Panel Solar 450 W Monocristalino ERA	
Dimensiones	2094 x 1038 x 35 mm
Potencia pico	450 W
Voltaje en el punto de máxima potencia	41.5 V
Corriente en el punto de máxima potencia	10.85 A

## DISEÑO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR

Tensión en circuito abierto	49.3 V
Corriente de cortocircuito	11.6 A
Eficiencia	20.70%
Coeficiente de temperatura a corriente de cortocircuito	0.049 %/°C
Coeficiente de temperatura a voltaje en circuito abierto	-0.271 %/°C
Coeficiente de temperatura a potencia pico	-0.352%/°C

El segundo módulo fotovoltaico disponible es un *Panel Solar 500W Deep Blue 3.0 JA Solar Mono*, fabricado íntegramente por el fabricante *JA Solar*. Está formada por células de silicio monocristalino tipo PERC, que generan mayor eficiencia. Su mantenimiento es sencillo y tiene una vida útil estimada duradera. El precio del módulo es de 186.28€ [35].

*Tabla 4. Características técnicas de panel solar de 500 vatios de potencia.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Panel Solar 500W Deep Blue 3.0 JA Solar Mono	
Dimensiones	2093 x 1134 x 30 mm
Potencia pico	500 W
Voltaje en el punto de máxima potencia	38.35 V
Corriente en el punto de máxima potencia	13.04 A
Tensión en circuito abierto	45.59 V
Corriente de cortocircuito	13.93 A
Eficiencia	21.10%
Coeficiente de temperatura a corriente de cortocircuito	0.045 %/°C
Coeficiente de temperatura a voltaje en circuito abierto	-0.275%/°C
Coeficiente de temperatura a potencia pico	-0.35%/°C

El tercer módulo es un *Panel Solar LONGI LR5-66HPH-505M*, módulo fotovoltaico del fabricante *Longi*, formado por células monocristalinas de tipo PERC. Cada uno de los módulos tiene un precio de 209.33€ [35].

*Tabla 5. Características técnicas de panel solar de 505 vatios de potencia.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Panel Solar LONGI LR5-66HPH-505M	
Dimensiones	2093 x 1134 x 35 mm
Potencia pico	505 W
Voltaje en el punto de máxima potencia	38.53 V
Corriente en el punto de máxima potencia	13.11 A
Tensión en circuito abierto	45.7 V
Corriente de cortocircuito	13.97 A
Eficiencia	21.30
Coeficiente de temperatura a corriente de cortocircuito	0.050 %/°C

## DISEÑO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR

Coeficiente de temperatura a voltaje en circuito abierto	-0.265 %/°C
Coeficiente de temperatura a potencia pico	-0.340 %/°C

Como se citó anteriormente en el epígrafe 5.4.3, hay que determinar una separación entre filas de módulos mínima a tener en cuenta en la colocación de los módulos fotovoltaicos para que las pérdidas por sombras se minimicen sin que se den sombra entre ellos. Dicha separación se determina con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{h \cdot \text{sen}(\theta)}{\tan(61 - \text{latitud})} + h \cdot \text{cos}(\theta)$$

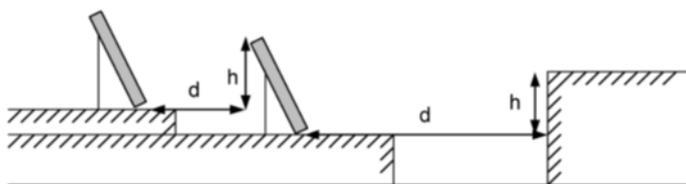


Ilustración 23. Distancia mínima entre la primera cadena y el borde del tejado.

Fuente: [33]

Siendo  $h$  la altura de los módulos fotovoltaicos especificadas en la Tabla 3, la Tabla 4 y la Tabla 5 de los distintos módulos fotovoltaicos. Debido a la limitación de espacio en el tejado de la vivienda unifamiliar de la instalación, como se demostrará posteriormente en los cálculos, los módulos han de colocarse de manera vertical. La distancia calculada es la mínima, podrían, en caso de necesitarse menos módulos, colocarse más separados, siendo mejor esta opción ya que las sombras entre ellos serían menores.

Tabla 6. Cálculos de módulos según espacio disponible.

Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULOS			
	MÓDULO 450 W	MÓDULO 500 W	MÓDULO 505 W
Distancia entre módulos (m)	5.50	5.50	5.50
Número máximo de paneles por fila	12	11	11
Número máximo de filas	2	2	2
Módulos totales que caben en el tejado	24	22	22

Además, para la primera fila inicial, hay que calcular la distancia establecida para que el borde del tejado (al tratarse de un tejado no transitable es un borde de 30 centímetros de alto) no de sombra a esa fila, mediante la siguiente ecuación [33]:

$$d = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})} = \frac{0.3}{\tan(61 - 43.392)}$$

Con la ecuación se determina que la distancia entre la primera cadena de módulos y el borde del tejado ha de ser de 0.96 metros como mínimo.

En este caso se establece 1 metro de distancia para la primera fila. Al establecerse 2 filas de módulos; y teniendo que colocar la última a una distancia de 1.3 metros del borde de atrás del tejado (esto se debe a que no debería sobresalir del mismo por seguridad para evitar peligros de desprendimientos), queda una distancia entre módulos de 5.45 metros, lo que deriva en una cantidad de pérdidas no significativa.

La otra opción valorada es colocar los módulos horizontalmente o en “landscape”, pero surge el problema del número de cadenas por fila, que se reduce, y el número de filas disponibles no aumenta lo suficiente, produciendo menor cantidad de energía de esta manera. Además, el número de módulos a colocar no permitiría el diseño de una longitud de cadenas óptima para la instalación.

Con los cálculos que relacionan las dimensiones de los distintos módulos fotovoltaicos con las dimensiones del tejado, se muestran los módulos totales que el tejado está capacitado para albergar.

### 5.5.2. Inversor

El inversor escogido es un *Inversor Solís S5-EH1P6K-L* (Ilustración 24), fabricado por la empresa *Ginlong Technologies Company*, con almacenamiento de energía y con tecnología de aislamiento que hace que el sistema sea más seguro y tenga una vida útil más larga. Este inversor es escogido debido a su alta potencia pico de trabajo de entrada con un precio más barato que otros comprobados en el mercado.



Ilustración 24. Inversor Solís S5-EH1P6K-L.

Fuente: [36].

En la Tabla 7, se muestran las características técnicas del inversor escogido. Se probará con los 3 módulos mencionados en el epígrafe 5.5.1, seleccionando la mejor opción según la energía producida y el precio. En el ANEXO I se muestra la hoja de características entregada por el fabricante.

*Tabla 7. Características técnicas del inversor.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Inversor Solís S5-EH1P6K-L	
Datos de entrada (DC)	
Máxima corriente de entrada	15 A/ 15 A
Máxima corriente de cortocircuito	22.5 A/22.5 A
Máximo voltaje de entrada	600 V
Rango de voltaje MPP	90-520 V
Número de MPPT	2
Potencia de entrada máxima	8 kW
Datos de salida (AC)	
Máxima corriente de salida	30 A
Voltaje nominal de la red	230 V
Potencia nominal	6 kW
Frecuencia	60 Hz
Eficiencia	97.10%

### 5.5.3. Contador

El contador escogido, siempre ha de ser compatible con el inversor y, en la medida de lo posible, de la misma marca que el utilizado en la instalación, ya que permitirá un trabajo complementario máximo entre ambos. En este caso, se ha escogido un *Vatímetro Monofásico Solis-1P-Meter*, como el mostrado en la Ilustración 25. Su precio es de 60.49€. Algunas de sus características son [37]:

- Bajo consumo energético.
- Montaje sencillo en Carril DIN 35.
- Pantalla LCD para facilitar configuración y comprobación.
- Comunicación con el inversor a través de RS485.



Ilustración 25. Vatímetro Monofásico Solis-1P-Meter.

Fuente: [38].

#### 5.5.4. Soporte

Para los soportes, se buscan en la web *Autosolar* [35] los que estén capacitados para una instalación de módulos con una altura de hasta 2.15 metros (el rango de los módulos estudiados está entre 2.093 y 2.094 metros, como se puede observar en el epígrafe 5.5.1). Se determina por tanto el uso de los soportes inclinados *Falcat*. En la tabla, se muestran los precios de cada uno de ellos para, tras la realización del dimensionamiento y la elección del módulo a instalar en el epígrafe 6, se determine que soportes son los idóneos para la instalación.

Tabla 8. Precios de distintas unidades de soporte.

Fuente: [35].

Soporte	Precio
Estructura 1 Panel 72c 30° Inclinada Falcat	146.41€
Estructura 2 Paneles 72c 30° Inclinada Falcat	206.87€
Estructura 3 Paneles 72c 30° Inclinada Falcat	284.41€
Estructura 4 Paneles 72c 30° Inclinada Falcat	291.13€
Estructura 5 Paneles 72c 30° Inclinada Falcat	360.98€
Estructura 6 Paneles 72c 30° Inclinada Falcat	427.61€

A continuación, en la Ilustración 26, se muestran los accesorios necesarios para el anclaje de los módulos al soporte, y a su vez al tejado. Los soportes deben estar preparados para el soporte a la corrosión y el viento.

Los 5° de diferencia con la inclinación óptima se consiguen mediante un bloque de hormigón al que se arriestra la estructura.

Cantidad/ paneles	 TRI-bracket	 Rail	 Empalme de rail	 Abrazadera de rail	 Abrazadera intermedia	 Abrazadera final
1 panel	2	2	-	4	-	4
2 paneles	3	4	2	6	2	4
3 paneles	4	6	4	8	4	4
4 paneles	4	8	6	8	6	4
5 paneles	4	10	8	10	8	4
6 paneles	5	12	10	12	10	4

Ilustración 26. Accesorios del soporte.

Fuente: [35].

### 5.6. Dimensionamiento de la instalación.

Una vez conocida la cantidad de módulos máxima según espacio disponible en el tejado, calculadas en epígrafe 5.5.1 y las distintas características de los módulos seleccionados, se realiza el cálculo y dimensionamiento de la instalación con los 3 tipos de paneles, para comprobar la viabilidad de proyecto de cada uno de ellos.

A continuación, se irán detallando las fórmulas utilizadas, explicando paso por paso el método de cálculo, y posteriormente, se mostrarán los resultados en la Tabla 9.

El primer paso es calcular el número de inversores de la instalación, mediante la relación de la potencia instalada en la vivienda y la potencia nominal del inversor.

$$\text{Número de inversores} = \frac{\text{Potencia nominal de la vivienda}}{\text{Potencia nominal del inversor}}$$

Una vez conocido el número de inversores, es necesario determinar el número de módulos que van a trabajar con cada inversor. En este caso, ha de corregirse el resultado contando con las pérdidas producidas por el envejecimiento de los módulos fotovoltaicos, además de las pérdidas producidas debido a que en ocasiones muy puntuales se alcanza la potencia óptima. Por lo que se opta por sobredimensionar el generador, añadiéndole un factor de 1.20 siempre y cuando el rango de voltaje y corriente del inversor cumpla con las especificaciones de la hoja técnica proporcionada por el fabricante.

$$\text{Número de módulos por inversor} = \frac{\text{Potencia nominal del inversor} \cdot 1.2}{\text{Potencia pico del módulo fotovoltaico}}$$

Posteriormente, hay que relacionar el número de módulos que trabajan con cada inversor con el número de inversores que tendrá la instalación fotovoltaica, para determinar el número final de módulos del generador.

$Número\ de\ módulos\ totales = Número\ de\ inversores \cdot Módulos\ de\ cada\ inversor$

Una vez hallado el número de módulos totales,  $y$ , comprobando en la hoja de características de cada tipo de módulo el precio del mismo, se establece el precio total de los módulos.

Por otro lado, es necesaria una corrección de los parámetros de intensidad y tensión máximas y de cortocircuito que se establecen en las hojas de características, ya que estas vienen determinadas por las condiciones estándares de medida *STC* (Standard Test Conditions):

- 1000 W/m<sup>2</sup> de irradiancia.
- 25°C de temperatura de la célula.
- Masa de aire 1.5 del espectro.

Este tipo de estudio es utilizado por los fabricantes por norma establecida para demostrar que todos los módulos han sido ensayados bajo las mismas condiciones. Sin embargo, estas condiciones no son representativas, ya que el nivel de radiación y la temperatura de la célula varían en función de las condiciones del entorno [39].

Se toman, por tanto, 2 temperaturas significativas del lugar de estudio. En el caso de Pola de Siero, según la *AEMET* [40], la temperaturas más baja y más alta registradas en la historia desde que recogen datos son -11.6 y 38.8°C, respectivamente. Estas temperaturas se tratan de las más extremas, que extrañamente ocurren y no pueden ser consideradas en una regla general de diseño, por lo que en los cálculos se utilizan las temperaturas medias más extremas según que serían normal registrar, es decir:

- Temperatura más baja en invierno, en el momento de máxima irradiancia del día; se determina una temperatura de 0°C.
- Temperatura más alta en verano, en el momento de máxima irradiancia del día; se determina una temperatura de 30°C.

Una vez establecidas estas temperaturas, se realiza la corrección de las mismas, para, mediante la siguiente expresión, conocer la temperatura de trabajo que alcanzan las células.

$$T_{Célula} = T_{ambiente} + \left( \frac{NOCT - 25}{1000} \right) \cdot Irradiancia$$

La irradiancia cambia de valor dependiendo del periodo. Para verano se utiliza una irradiancia media igual a 1000 W/m<sup>2</sup>, debido a las temperaturas más elevadas; mientras que, en invierno, por las temperaturas más bajas, se utiliza un valor para irradiancia de 100 W/m<sup>2</sup>.

Una vez se calcule el rango de temperaturas, éste ha de estar dentro del rango de temperaturas permitido por el módulo fotovoltaico, que, en este caso, para los 3 módulos oscila entre los -40 y los 85 °C.

Con la variación de temperatura realizada, se realiza la corrección de distintos valores característicos de los módulos, importantes en el diseño, como la de tensión en MPP ( $V_{MPP}$ ), la de tensión en circuito abierto ( $V_{OC}$ ) y la de corriente de cortocircuito ( $I_{SC}$ ). Todas ellas son corregidas para la temperatura más alta y la temperatura más baja mediante las siguientes fórmulas:

$$I_{SC \text{ corregido}} = I_{SC} + \frac{k_{I_{SC}}}{100} \cdot I_{SC} \cdot (T_{célula} - 25)$$

$$V_{MPP \text{ corregido}} = V_{MPP} + \frac{k_{V_{MPP}}}{100} \cdot V_{MPP} \cdot (T_{célula} - 25)$$

$$V_{OC \text{ corregido}} = V_{OC} + \frac{k_{V_{OC}}}{100} \cdot V_{OC} \cdot (T_{célula} - 25)$$

Siendo  $k$  el coeficiente de temperatura de cortocircuito, tensión en MPP y circuito abierto de cada uno de los módulos, especificado en las hojas de características del fabricante.

Al conocer los números totales de módulos que se podrían establecer en la instalación, y corregidos los voltajes según las temperaturas más adversas, se puede calcular rango de módulos en cadena que pueden diseñarse en el proyecto, directamente relacionado con el rango de voltaje MPP del inversor (90-520 V).

$$\text{Número de módulos máximo} = \frac{520 \text{ V}}{V_{MPP \text{ máxima del módulo}}}$$

$$\text{Número de módulos mínimo} = \frac{90 \text{ V}}{V_{MPP \text{ mínima del módulo}}}$$

Una vez conocidos todos los datos, se diseña la configuración que permita la mayor eficiencia energética del generador fotovoltaico. Se establece el número de canales, que en este proyecto únicamente puede tomar valores de 1 o de 2, ya que es el número de canales disponibles del inversor escogido. Posteriormente, se establecerá el número de cadenas que constituyen cada canal, y la longitud de éstas.

$$\text{Longitud de la cadena} = \frac{\text{Número de módulos por inversor}}{\text{Número de canales}}$$

Finalmente, hay que realizar las comprobaciones de que los valores de tensión y corriente están dentro de los baremos correctos especificados por los fabricantes en las hojas de características de los módulos.

$$\text{Tensión en MPP} = \text{Longitud de cadena} \cdot V_{MPP \text{ corregido}} \text{ a } T^a \text{ más baja}$$

## DISEÑO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR

$$\text{Máxima corriente por canal MPPT} = \text{Número cadenas} \cdot I_{MPP}$$

$$\text{Ratio } DC/AC = \frac{\text{Número de canales} \cdot \text{Longitud de cadena} \cdot \text{Potencia pico del módulo}}{\text{Potencia nominal del inversor}}$$

Todos los cálculos se recogen en una tabla realizada mediante Excel (Tabla 9), lo que permite ordenar los datos de manera más efectiva para la elección del módulo fotovoltaico.

*Tabla 9. Dimensionamiento de la instalación fotovoltaica.*

*Fuente: Elaboración propia.*

CÁLCULOS			
	MÓDULO 450 W	MÓDULO 500 W	MÓDULO 505 W
Número de inversores	1	1	1
Número de módulos por inversor	16	14	14
Precio de los módulos	2587.52	2607.92	2930.62
Corrección Temperatura más baja	2	2	2
Corrección Temperatura más alta	50	50	50
Corrección de tensión en el punto de máx potencia y temperatura más baja	41.45	44.84	41.54
Corrección de tensión en el punto de máx potencia y temperatura más alta	34.98	34.99	32.65
Corrección de tensión en circuito abierto y temperatura más baja	49.73	45.91	42.67
Corrección de tensión en circuito abierto y temperatura más alta	40.05	43.22	40.27
Corrección corriente cortocircuito y temperatura más baja	13.77	11.48	13.81
Corrección corriente cortocircuito y temperatura más alta	14.10	11.73	14.14
Número módulos máximo en cadena	12	11	12
Número módulos mínimo en cadena	3	3	3
CONFIGURACIÓN ELEGIDA			
Numero canales	2	2	2
Numero cadenas/canal	1	1	1
Longitud de la cadena (módulos en serie)	8	7	7
COMPROBACIONES			
Tensión en el punto de máxima potencia	331.64	313.89	290.80
Máxima Corriente por canal MPPT	10.85	13.04	13.11
Ratio DC/AC	1.20	1.17	1.18

## 6. Elección del conjunto fotovoltaico.

### 6.1. Simulación con SAM y resultados.

Una vez realizados los cálculos, se introducen los datos de los módulos y el inversor en el software SAM, que vierte resultados de generación eléctrica de cada uno de los módulos.

Previamente a escoger el tipo de módulo a utilizar en la instalación, mediante el SAM se puede comprobar si los cálculos realizados previamente son correctos. Para ello, se introducen los datos de cada uno de los módulos, y el ratio DC/AC devuelto por el programa ha de ser igual al calculado previamente. En este caso así sucede, considerándose correctos los cálculos.

En la Tabla 10 se muestran los datos más importantes proporcionados por SAM a la hora de escoger el dimensionado idóneo de la instalación fotovoltaica.

Tabla 10. Resultados de simulación con SAM.

Fuente: Elaboración propia.

SIMULACIÓN			
AÑO 1	MÓDULO 450 W	MÓDULO 500 W	MÓDULO 505 W
Energía AC anual	7907 kWh	7722 kWh	7798 kWh
Factor de capacidad de DC	12.5%	12.6%	12.6%
Energía producida por kW de potencia	1098 kWh/kW	1103 kWh/kW	1103 kWh/kW
Ratio de conversión	0.80	0.81	0.81

Como se puede observar, los módulos de 500 W y 505 W tienen un rendimiento superior a los de 450 W, (aunque genere más energía AC anualmente, es debido a que existe 1 módulo más por cada fila de módulos). Los 3 módulos se asemejan en las características, por lo que habría que calcular el LCOE para determinar el más óptimo.

### 6.2. Degradación anual sufrida por los módulos.

Todos los módulos fotovoltaicos sufren una degradación anual por el uso durante su vida en servicio. Esta degradación afecta directamente a la eficiencia máxima de los mismos a lo largo de los 25 años establecidos predeterminadamente.

En el caso de los módulos fotovoltaicos estudiados en esta instalación, la degradación durante el primer año alcanza en los 3 tipos un 2%. Posteriormente, con valores cercanos a una degradación anual media de 0.55% por año, cada módulo tiene una degradación distinta, ya que

los fabricantes buscan, en la medida de lo posible, atenuar esta degradación, permitiendo una mayor eficiencia a los módulos a lo largo de su vida útil en servicio.

*Tabla 11. Eficiencia máxima de los módulos según la degradación sufrida.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Eficiencia máxima de cada módulo [%]	Panel Solar 450 W Monocristalino ERA	Panel Solar 500W Deep Blue 3.0 JA Solar Mono	Panel Solar LONGI LR5-66HPH-505M
Año 0	100	100	100
Año 1	98	98	98
Año 10	92.5	92.95	93.05
Año 15	89.75	91.4	90.3
Año 20	87	86.25	87.85
Año 25	84.25	84.8	84.8

En la tabla se resumen los años más característicos. Es necesaria la degradación anual para el posterior cálculo del LCOE.

### 6.3. Cálculo del LCOE.

El LCOE (Coste de Nivelado de la Energía), es el calculo de la media neta del coste de la generación de energía de un sistema durante su vida útil en €/kWh [41].

El LCOE se calcula con la siguiente fórmula [42]:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{E_t(1-d)}{(1+r)^t}}$$

Siendo:

- $I_t$ : Inversión inicial de instalación.
- $M_t$  y  $F_t$ : gastos de operación y mantenimiento en los años de vida útil de la instalación fotovoltaica.
- $E_t$ : energía eléctrica neta generada cada año de vida útil, aplicando la degradación anual sufrida por los módulos.
- $n$ : vida útil prevista.
- $r$ : tasa de descuento del 3%.

En la Tabla 12 se muestra el cálculo del LCOE para los 3 conjuntos de módulos fotovoltaicos disponibles en la instalación.

*Tabla 12. Comparación del LCOE.*

*Fuente: [Elaboración propia].*

	Conjunto 1	Conjunto 2	Conjunto 3
Módulo	Panel Solar 450 W Monocristalino ERA	Panel Solar 500W Deep Blue 3.0 JA Solar Mono	Panel Solar LONGI LR5-66HPH-505M
Número de módulos	16	14	14
Inversor	Inversor Solís S5-EH1P6K-L		
Número de inversores	1	1	1
Energía generada anual en kW	7907	7722	7798
Presupuesto	12476.91	12550.97	13015.63
Presupuesto con subvención	7676.91	7750.97	8215.63
LCOE [€/kW]	0.069	0.071	0.074

La subvención de 4800€ añadida al presupuesto se encuentra desglosada en el epígrafe 7.4. El LCOE será el indicativo que finalmente permitirá escoger cual de los 3 conjuntos es más idóneo, ya que indica la cantidad de dinero que necesitará la instalación para producir cada kW de energía. En este caso, para esta instalación, se opta por el módulo de 450W (se añade su ficha técnica al ANEXO II), que produce cada kW de energía con 6.9 céntimos de euro.



*Ilustración 27. Panel Solar 450W Monocristalino ERA.*

*Fuente: [35].*

En la Tabla 13 se desglosa la fórmula del LCOE utilizada en *Excel* para el cálculo de cada uno de los módulos.

**DISEÑO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR**

*Tabla 13. Explicación del cálculo del LCOE.*

*Fuente: Elaboración propia*

450							
	Inversión inicial	Gastos de mantenimiento y operación	Tasa de descuento	Años	Energía producida en vida útil	Inversión total en vida útil	Energía con la tasa de descuento
Año 0	7676.91	0	0.03	0	7907	7676.91	7907
Año 1	0	100	0.03	1	7863.512	97.087	7634.477
Año 2	0	100	0.03	2	7820.023	94.260	7371.122
Año 3	0	100	0.03	3	7776.535	91.514	7116.631
Año 4	0	100	0.03	4	7733.046	88.849	6870.711
Año 5	0	100	0.03	5	7689.558	86.261	6633.080
Año 6	0	100	0.03	6	7646.069	83.748	6403.462
Año 7	0	100	0.03	7	7602.581	81.309	6181.594
Año 8	0	100	0.03	8	7559.092	78.941	5967.217
Año 9	0	100	0.03	9	7515.604	76.642	5760.084
Año 10	0	100	0.03	10	7472.115	74.409	5559.955
Año 11	0	100	0.03	11	7428.627	72.242	5366.598
Año 12	0	100	0.03	12	7385.138	70.138	5179.787
Año 13	0	100	0.03	13	7341.649	68.095	4999.306
Año 14	0	100	0.03	14	7298.161	66.112	4824.944
Año 15	0	100	0.03	15	7254.672	64.186	4656.498
Año 16	0	100	0.03	16	7211.184	62.317	4493.771
Año 17	0	100	0.03	17	7167.695	60.502	4336.574
Año 18	0	100	0.03	18	7124.207	58.739	4184.721
Año 19	0	100	0.03	19	7080.718	57.029	4038.035
Año 20	0	100	0.03	20	7037.230	55.368	3896.344
Año 21	0	100	0.03	21	6993.741	53.755	3759.481
Año 22	0	100	0.03	22	6950.253	52.189	3627.285
Año 23	0	100	0.03	23	6906.764	50.669	3499.601
Año 24	0	100	0.03	24	6863.276	49.193	3376.277
Año 25	0	100	0.03	25	6819.787	47.761	3257.168
						9418.225	136901.723
0.069							

## DISEÑO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR

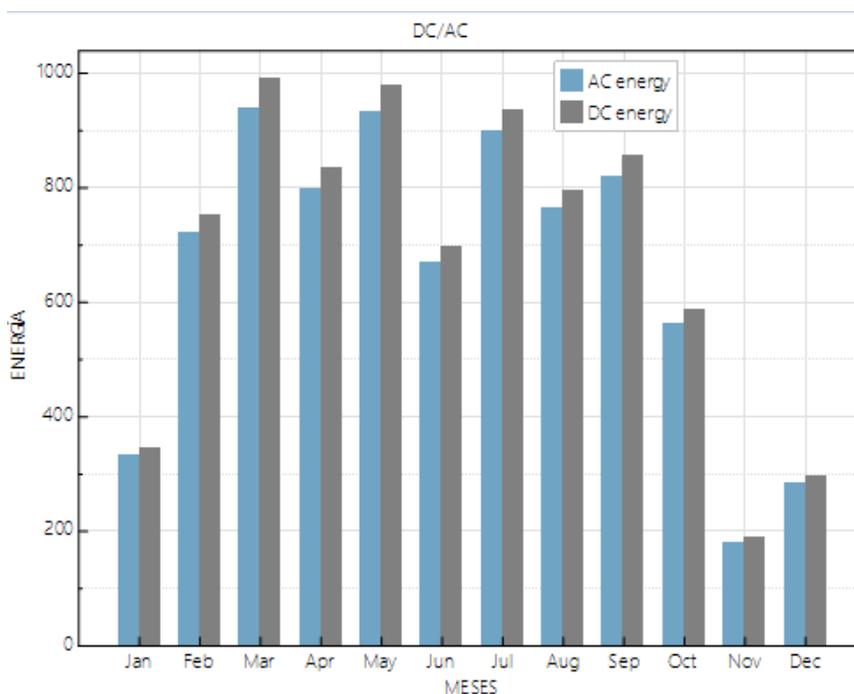
Los últimos datos que hay que indicar al programa para poder realizar la simulación son los datos que le permiten calcular las posibles sombras que se van a producir en el sistema por superposición entre ellos.

Module orientation	Portrait	▼
Number of modules along side of row	<input type="text" value="1"/>	
Number of modules along bottom of row	<input type="text" value="8"/>	
<b>- Calculated System Layout -</b>		
Number of rows	<input type="text" value="2"/>	
Modules in subarray from System Design page	<input type="text" value="16"/>	
Length of side (m)	<input type="text" value="2.094"/>	
GCR from System Design page	<input type="text" value="0.3842201"/>	
Row spacing estimate (m)	<input type="text" value="5.450"/>	

Ilustración 32. Posición de módulos en SAM.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez establecidos todos los datos, se procede a realizar la simulación del programa que otorga una gran serie de resultados, como los mostrados en la Tabla 10.



Gráfica 2. Comparación mensual de producción energética.

Fuente: Elaboración propia.

#### 6.4. Uso del software SAM con la opción escogida.

A continuación, se muestra el trabajo realizado en el software SAM con el módulo de 450 W, añadiendo capturas de los distintos pasos realizados para llegar a la “simulación” que otorga los datos finales.

Inicialmente, se establecen en el programa los datos de la localización de la vivienda unifamiliar. Únicamente hay que establecer las coordenadas geográficas, y el programa devuelve gran cantidad de datos como la temperatura media, o el albedo.

-Header Data from Weather File-				
Latitude	43.41	degrees	Location	180568
Longitude	-5.66	degrees	Data Source	NSRDB
Time zone	GMT 1		For NSRDB data, the latitude and longitude shown here from the weather file header are the coordinates of the NSRDB grid cell and may be different from the values in the file name, which are the coordinates of the requested location.	
Elevation	295	m		
Time step	15	minutes		
-Annual Averages Calculated from Weather File Data-				
Global horizontal	3.22	kWh/m <sup>2</sup> /day	-Optional Data-	
Direct normal (beam)	3.61	kWh/m <sup>2</sup> /day	Maximum snow depth	NaN cm
Diffuse horizontal	1.28	kWh/m <sup>2</sup> /day	Annual albedo	0.182
Average temperature	14.0	°C		
Average wind speed	3.0	m/s		*NaN indicates missing data.

Ilustración 28. Datos de localización en SAM.

Fuente: Elaboración propia.

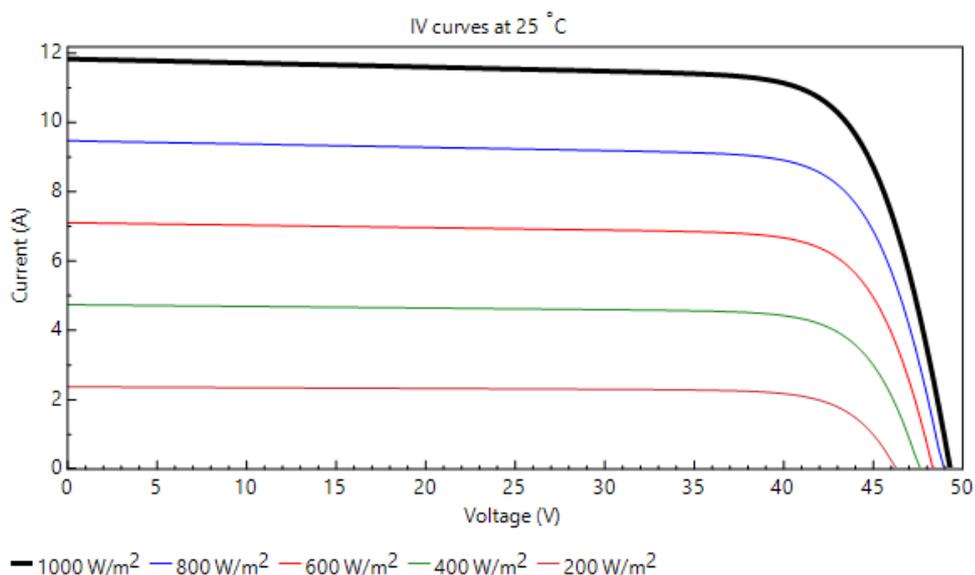
Posteriormente, se establecen los datos más característicos del módulo, que permitan al programa devolver datos de potencia y eficiencia, con los que se puede comprobar si los cálculos realizados previamente son correctos.

General Information	
Module name	Panel Solar 450W Monocristalino ERA
Cell type	monoSi
Module area	2.173572 m <sup>2</sup>
Nominal operating cell temperature	46 °C
Electrical Specifications	
Maximum power point voltage (Vmp)	41.5 V
Maximum power point current (Imp)	10.85 A
Open circuit voltage (Voc)	49.3 V
Short circuit current (Isc)	11.6 A
Temperature coefficient of Voc	-0.271 %/°C
Temperature coefficient of Isc	0.049 %/°C
Temperature coefficient of max. power point	-0.352 %/°C
Number of cells in series	144
The model assumes a reference bandgap voltage $E_{g\_ref} = 1.121$ eV, and temperature coefficient for bandgap of $-0.0002677$ eV/K.	

Ilustración 29. Información general del módulo en SAM.

Fuente: Elaboración propia.

Además, el programa devuelve la curva IV a 25°C en el *Standard Test Condition*:



Gráfica 1. Curva I-V en STC.

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso es similar al anterior, pero esta vez estableciendo los datos más característicos del inversor.

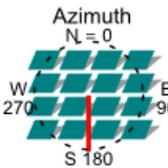
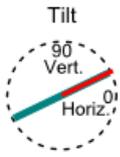
## DISEÑO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR

- Power Ratings					
Maximum AC output power	6000	Wac	You can specify either a weighted or nominal efficiency. The weighted efficiency can be either CEC or European. The manufacturer efficiency can be either peak or nominal. See Help for details.		
<input checked="" type="radio"/> Weighted efficiency	97.1	%			
<input type="radio"/> Manufacturer efficiency	96	%			
Maximum DC input power	6179.197	Wdc			
- Operating Ranges					
Nominal AC voltage	230	Vac	Minimum MPPT DC voltage	90	Vdc
Maximum DC voltage	600	Vdc	Nominal DC voltage	310	Vdc
Maximum DC current	15	Adc	Maximum MPPT DC voltage	520	Vdc
			Number of MPPT inputs	1	

*Ilustración 30. Información característica del inversor en SAM.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Por último, se integran los datos del número de cadenas y la longitud de éstas que fueron previamente calculados, como el azimut y la inclinación óptima de los paneles, anteriormente sacados del programa *PVGis*, para que el programa diseñe la instalación final que será óptima energéticamente.

- Electrical Configuration		Subarray 1
(always enabled)		
Modules per string in subarray	8	
Strings in parallel in subarray	2	
Number of modules in subarray	16	
String Voc at reference conditions (V)	394.4	
String Vmp at reference conditions (V)	332.0	
- Tracking & Orientation		
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p style="text-align: center;">Azimuth</p>  </div> <div> <p style="text-align: center;">Tilt</p>  </div> <div style="margin-left: 20px;"> <p><input checked="" type="radio"/> Fixed</p> <p><input type="radio"/> 1 Axis</p> <p><input type="radio"/> 2 Axis</p> <p><input type="radio"/> Azimuth Axis</p> <p><input type="radio"/> Seasonal Tilt</p> <p><input type="checkbox"/> Tilt=latitude</p> </div> </div>		
Tilt (deg)	35	
Azimuth (deg)	180	
Ground coverage ratio (GCR)	0.3842201	
Tracker rotation limit (deg)	45	
Backtracking	<input type="checkbox"/> Enable	
Terrain slope (deg)	0	
Terrain azimuth (deg)	0	

*Ilustración 31. Diseño del sistema en SAM.*

*Fuente: Elaboración propia.*

## 7. Análisis económico de la instalación.

El análisis económico de la instalación consiste en la elaboración del presupuesto de ejecución del proyecto, relacionándolo directamente con la energía producida.

Este método de análisis permite estudiar con exactitud el coste de la energía generada, comparándola con el precio de la energía en el mercado, y permitiendo escoger la tarifa más adecuada para la instalación, lo que lleva a conocer el ahorro conseguido por la vivienda tras la instalación del sistema generador fotovoltaico.

### 7.1. Presupuesto de la instalación

Una vez escogidos los componentes de la instalación fotovoltaica, se realiza el presupuesto de ejecución del proyecto.

El presupuesto de ejecución material se divide en 3 partes:

- **Materiales.** Incluye la adquisición de todos los materiales y componentes que van a conformar la instalación, sin contar con su mantenimiento. El proceso de elección se lleva a cabo mediante el estudio de la energía generada y del rendimiento.
- **Personal.** Incluye la mano de obra de la instalación del proyecto, tanto en el exterior de la vivienda, como en el interior, englobando la conexión de la nueva instalación. En la mano de obra incluye electricistas, operarios, oficiales de obra, etc.
- **Documentación.** Incluye la gestión de la documentación, legalización de la instalación y registro en el organismo público competente.

Posteriormente, al presupuesto de ejecución material hay que sumarle los porcentajes correspondientes a la ejecución de la misma por parte de la empresa o contratista, y cuenta con 3 porcentajes [43]:

- **Gastos generales (13%).** Gastos que la empresa tiene para su correcta actividad, como gastos de mantenimiento, seguros, o tasas.
- **Beneficio industrial (6%).** Porcentaje de rentabilidad que el contratista consigue realizando la obra.
- **IVA (21%).** Impuesto de valor añadido. Es el porcentaje de la obra que va destinado al Estado

**DISEÑO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR**

*Tabla 14. Presupuesto de ejecución material.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Presupuesto de ejecución material				
Presupuesto de materiales				
Ref	Unidades	Concepto	Precio por unidad (€)	Importes totales (€)
M01	16	Panel Solar 450W Monocristalino ERA	158.99	2543.84
M02	1	Inversor Solís S5-EH1P6K-L	1520	1520
M03	1	Vatimétrico Monofásico Solis-1P-Meter	60.89	60.89
M04	4	Estructura 4 paneles 72c 30º inclinada Falcat	291.13	1164.52
M06	1	Cuadro de corriente alterna	198.95	198.95
M07	1	Cuadro de corriente continua	326.92	326.92
<b>TM</b>	<b>Presupuesto total de materiales</b>			<b>5815.12</b>
Presupuesto de personal				
P01	3	Mano de obra de instalación exterior	300	900
P02	1	Mano de obra de instalación interior	1450	1450
<b>TP</b>	<b>Presupuesto total de personal</b>			<b>2350</b>
Presupuesto de documentación				
D01	1	Documentación, legalización y registro	500	500
<b>TP</b>	<b>Presupuesto total de documentación</b>			<b>500</b>
<b>TEM</b>	<b>Presupuesto total de ejecución material</b>			<b>8665.12</b>

*Tabla 15. Presupuesto final de la instalación.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Presupuesto		
Ref	Designación	Importes totales (€)
TM	Presupuesto de materiales	5815.12
TP	Presupuesto de personal	2350.00
TD	Presupuesto de documentación	500.00
<b>Total presupuesto ejecución</b>		<b>8665.12</b>
Gastos generales (6%)		519.91
Beneficio (13%)		1126.47
<b>Total presupuesto parcial</b>		<b>10311.49</b>
IVA (21%)		2165.41
<b>Presupuesto total del proyecto</b>		<b>12476.91</b>
Subvención		4800
<b>Presupuesto final del proyecto</b>		<b>7676.91</b>

El presupuesto total del proyecto asciende a DOCE MIL CUATROCIENTOS SETENTA Y SEIS EUROS CON NOVENTA Y UN CÉNTIMOS (12476.91€). Al contar con una subvención para los proyectos de instalación de energías renovables en sistemas de autoconsumo, el precio final a pagar por el consumidor será de SIETE MIL SEISCIENTOS SETENTA Y SEIS EUROS CON NOVENTA Y UN CÉNTIMOS (7676.91€).

El presupuesto calculado es el presupuesto para la obra *in situ*, sin contar el mantenimiento posterior.

### 7.2. Sistemas de autoconsumo.

Los sistemas de autoconsumo son los capaces de generar energía eléctrica en instalaciones próximas a los lugares donde se va a consumir la energía y están asociados a los mismos.

En España, según el artículo 4 del Real Decreto 244/2019, existen 2 modalidades de autoconsumo [44]:

#### 7.2.1. Modalidad de autoconsumo sin excedentes.

Es la forma de autogestionar el consumo eléctrico con un sistema que impide devolver los excedentes nuevamente a la red de distribución.

En este caso existirá un único tipo de sujeto de los previstos en el artículo 6 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, que será el sujeto consumidor, por lo que se les exime los requerimientos en la obtención de permisos de acceso y conexiones en los circuitos generadores [42][43].

#### 7.2.2. Modalidades de autoconsumo con excedentes.

Es el modelo establecido cuando los circuitos de generación proveen de energía sobrante a la red de distribución.

En estos casos existirán dos tipos de sujetos de los previstos en el artículo 6 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, el sujeto consumidor y el productor. Existen dos tipos de autoconsumo con excedentes según si están acogidos o no a compensación [44][45]:

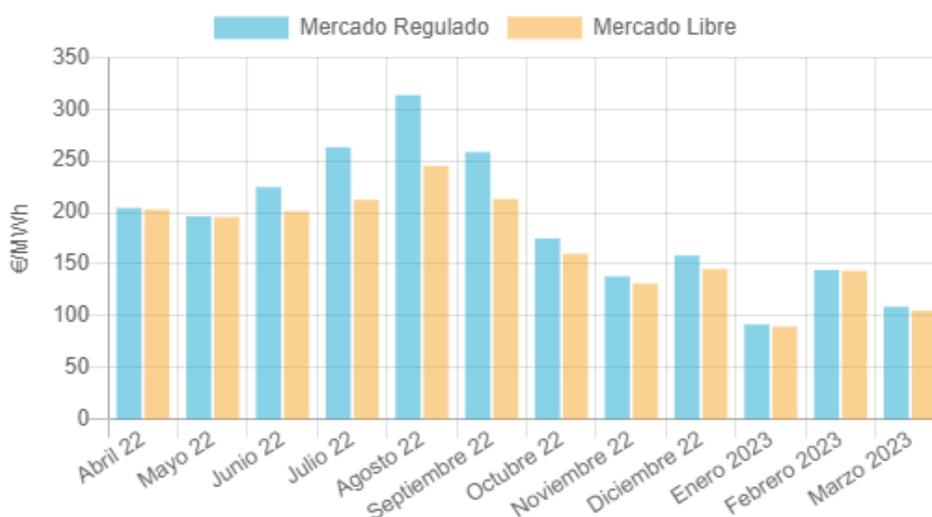
- Autoconsumo con excedentes acogido a compensación. La energía que no es consumida instantáneamente se devuelve a la red y se compensa en la factura eléctrica del consumidor. Ha de cumplir una serie de requisitos, como que la

fuente de energía ha de ser renovable, no superar los 100 kW de potencia y que la instalación no esté sujeta a un régimen adicional retributivo.

- Autoconsumo con excedentes no acogido a compensación. La energía no consumida se devuelve a la red y se puede vender para obtener beneficios acudiendo al precio del mercado de la electricidad.

### 7.3. Mercados eléctricos españoles.

En España existen dos mercados eléctricos diferenciados, el mercado libre y regulado, originados a partir de 1997 en un proceso de liberación, ya que anteriormente era únicamente el Gobierno quien fijaba los precios de la energía. De los 3 componentes de una factura, ambos mercados aún comparten los peajes de acceso fijados por el Gobierno, y los impuestos sobre la electricidad [46].



Gráfica 3. Comparativa de precio entre mercados en España.

Fuente: [47].

#### 7.3.1. Mercado regulado.

El mercado regulado es el más antiguo. Es la tarifa PVPC (Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor). El precio cambia según la hora y el día a la que la energía sea consumida, según la oferta-demanda existente en ese momento [46]. El precio de la energía es establecido el día anterior de su salida a mercado a las 20.15 horas.

España es el único país europeo en el que la tarifa regulada traslada al consumidor directamente el precio de la energía del mercado diario. Pueden solicitarla todos los

consumidores cuya potencia contratada no supere los 10 kW pero pueden ofrecerla solamente las Comercializadoras de Referencia (COR). Actualmente son 8 autorizadas por el gobierno [48]:

- Baser Comercializadora de Referencia, S.A.
- Comercializador de Referencia Energético, S.L.U.
- Comercializadora Regulada, Gas&Power, S.A.
- Curenergía Comercializador de Último Recurso, S.A.U.
- Energía Ceuta XXI Comercializadora de Referencia, S.A.U.
- Energía XXI Comercializadora de Referencia, S.L.
- Régsiti Comercializadora Regulada, S.L.U.
- Teramelcor, S.L. (Melilla).

### 7.3.2. Mercado libre.

Es el mercado compuesto por 300 comercializadoras en el que cada una establece de antemano un precio fijo a pagar por la electricidad. Existe la posibilidad de ofrecer la tarifa que mejor se adapta a cada consumidor mediante la aplicación de descuentos, combinación de suministros de luz y gas. Es un mercado mucho más estable. Son revisadas cada un determinado período para incorporar o deducir los costes regulatorios, actualizaciones del IPC y otros conceptos.

Sus ventajas son la estabilidad del precio y conocimiento de la factura exacto por cada kWh; las distintas posibilidades según tarifas con o sin discriminación horaria, tarifas con horas promocionadas o con precios indexados (aquella en la que el usuario abonará la energía consumida al mismo precio al que la comercializadora la ha comprado en el Mercado Ibérico de Electricidad, mercado mayorista o 'Pool'. Este establece un precio por cada hora del día, es decir, un total de 24 precios diferentes a lo largo de la jornada); las promociones y ofertas aplicadas y la posibilidad de obtener la luz 100% mediante fuentes renovables. Los problemas que origina en el consumidor son la imposibilidad de obtención del Bono Social, que algunas tarifas tienen permanencia (con penalización en caso de cambio anterior a la finalización de la misma), y si el precio del mercado cae, no repercutirá en la tarifa [48].

### 7.3.3. Estudio de tarifas.

El estudio de las tarifas se realiza para el último año natural completo previo al diseño de la instalación fotovoltaica, siendo este año el 2022.

## DISEÑO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR



*Gráfica 4. Término de facturación de energía activa del PCPV.*

*Fuente: [49].*

Esta curva de precios horarios es el resultado de sumar el coste de producción de la energía, los pagos por los peajes de transporte y distribución y por los cargos que corresponden por la energía consumida.

En la Tabla 16 se muestran los precios de mercado mensuales en España durante el año 2022. El precio obtenido en la tabla se realiza calculando el precio diario de venta de la energía para cada día del mes, y realizando la media para el precio medio, como precio máximo y mínimo se escogen los más restrictivos del mes [50]. Este proceso se realiza para los 12 meses del año. En el ANEXO V se incluye una hoja de *Excel* con todos los datos de precio de la energía diarios durante el año 2022.

*Tabla 16. Rango de precios mensuales en el mercado regulado.*

*Fuente: [50].*

Mes	Precio mínimo [€/kWh]	Precio medio [€/kWh]	Precio máximo [€/kWh]
Enero	0.014	0.201	0.297
Febrero	0.07	0.138	0.35
Marzo	0.145	0.283	0.7
Abril	0.001	0.192	0.319
Mayo	0.001	0.187	0.226
Junio	0.05	0.17	0.263
Julio	0.069	0.143	0.221
Agosto	0.025	0.155	0.253
Septiembre	0.001	0.141	0.3
Octubre	0.004	0.127	0.28
Noviembre	0.004	0.116	0.237
Diciembre	0	0.096	0.256
Media	0.032	0.168	0.309

En el mercado libre, durante 2022, las principales comercializadoras de energía, que en esta instalación fueron consideradas *Endesa*, *Repsol* y *Naturgy*, fijaron los precios medios del kWh en:

- Endesa: 0.150 €/kWh [51].
- Repsol: 0.158 €/kWh [52].
- Naturgy: 0.159 €/kWh [53].

Actualmente, con el auge provocado por los sistemas de autoconsumo ilimitado, en los que los sistemas están preparados para verter de vuelta la energía a la red, las comercializadoras tanto del mercado libre como del mercado regulado han instaurado, como hicieron en su día con el precio de la energía, un precio de compra de los excedentes.

En el mercado regulado, durante 2022, el gobierno estableció los precios a los excedentes de la energía generada en:

*Tabla 17. Precio de los excedentes en mercado regulado en 2022.*

*Fuente: [50].*

Precio excedentes [€/kWh]	
Mes	Mercado regulado
Enero	0.060
Febrero	0.028
Marzo	0.045
Abril	0.065
Mayo	0.067
Junio	0.083
Julio	0.092
Agosto	0.106
Septiembre	0.155
Octubre	0.199
Noviembre	0.193
Diciembre	0.239
Media	0.111

Por su parte, las empresas del mercado libre ofrecieron la compra de los excedentes con unos precios establecidos de:

- Endesa: 0.100 €/kWh [51].
- Repsol: 0.106 €/kWh [52].
- Naturgy: 0.110 €/kWh [53].

#### 7.4. Subvenciones.

Las subvenciones actuales en España vienen marcadas por el Real Decreto 477/2021, gestionadas por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. La ayuda final percibida total se divide en:

- Ayuda Base. Seleccionada para cada programa de incentivos, siendo porcentaje del coste subvencionable total de generación.
- Ayuda Adicional. Depende del programa y del tipo de actuación según el reto demográfico.

Las subvenciones en caso de instalaciones de autoconsumo con fuentes de energía renovables para el sector residencial se establecen mediante el programa de incentivos número 4, otorgándose las ayudas como importes fijos o módulos [54].

Los particulares podrán beneficiarse de ayudas de hasta un 40% del coste subvencionable en instalaciones individuales y hasta un 50% en autoconsumo colectivo. Además, se reserva una partida para los municipios con menos de 5000 habitantes con el objeto de afrontar el reto demográfico, de tal manera que todos los conceptos anteriores se incrementarán en un 5% adicional en estos concejos.

*Tabla 18. Programa de incentivos en el sector residencial.*

*Fuente: [54].*

Actuaciones de generación	Módulo generación [Ayuda (€/kW)]	Módulo generación Autoconsumo colectivo [Ayuda (€/kW)]
Instalación Fotovoltaica autoconsumo (1.000 kWp < P ≤ 5.000 kWp).	300	355
Instalación Fotovoltaica autoconsumo (100 kWp < P ≤ 1.000 kWp).	350	420
Instalación Fotovoltaica autoconsumo (10 kWp < P ≤ 100 kWp).	450	535
Instalación Fotovoltaica autoconsumo (P ≤ 10 kWp).	600	710
Instalación eólica (500 kW < P ≤ 5.000 kW) para autoconsumo.	650	775
Instalación eólica (20 kW < P ≤ 500 kW) para autoconsumo.	1.950	2.250
Instalación eólica (P ≤ 20 kW) para autoconsumo.	2.900	3.350

En este caso, al tratarse de una instalación de 8 kW de potencia, se establece un precio de 600€ por cada kW.

$$8 \text{ kWp} \cdot \frac{600\text{€}}{\text{kWp}} = 4800\text{€}$$

Estas serían las únicas ayudas que recibe la instalación, ya que Pola de Siero no se encuentra entre los concejos afectados por el Reto Demográfico, superando los 5000 habitantes.

En caso de elección del sistema de autoconsumo ilimitado, en el que se añaden baterías para el almacenamiento, para una instalación como la diseñada, con sistemas de almacenamiento de menos de 10 kWh, corresponderían 490€/kWh [55].

### 7.5. Cálculo del retorno de la inversión y viabilidad económica.

Para el estudio el periodo de retorno de la inversión y la viabilidad económica hay que tener en cuenta que tarifa se escoge para la vivienda.

Es necesario destacar que el siguiente estudio tarifario se realizó para el último año completo del que se tienen datos de precios, es decir, 2022; siendo este el año con la energía más cara, sobre todo en el mercado regulado (como se puede observar en la Gráfica 3, los mercados se están igualando). Este aumento de precio se debió a los problemas geopolíticos acontecidos durante ese año.

#### 7.5.1. Elección de tarifa de la vivienda.

Para el estudio de la tarifa idónea de la vivienda, se estudia la tarifa previamente a la instalación, desglosándose en la Tabla 19 el precio de la tarifa mensual.

Tabla 19. Factura anual de la vivienda en 2022, previo a la instalación.

Fuente: Elaboración propia.

Factura anual sin instalación fotovoltaica			
Meses	Demanda kWh en 2022	Precio de la factura	
		Regulado	Libre
Enero	190	38.190	28.500
Febrero	183	36.600	27.450
Marzo	140	39.620	21.000
Abril	140	26.880	21.000
Mayo	121	22.627	18.150
Junio	113	19.210	16.950
Julio	98	14.014	14.700
Agosto	130	20.150	19.500
Septiembre	142	20.022	21.300
Octubre	159	20.193	23.850

## DISEÑO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR

Noviembre	178	20.648	26.700
Diciembre	225	21.600	33.750
Factura anual		299.754	272.850

Para el estudio de la tarifa libre, se ha escogido de entre las 3 opciones a la empresa comercializadora *Endesa*, que cobra a menor precio el kWh.

Tras estos cálculos, se determina que la mejor tarifa para la vivienda se trata de la tarifa libre, con un ahorro anual de 27 euros respecto a la regulada.

Posteriormente se calcula la nueva factura una vez instalado el sistema fotovoltaico, se puede calcular el ahorro anual según la energía producida por el sistema y la demanda.

Como se puede observar en la Tabla 20, la demanda siempre es menor que la generación, por lo que la empresa comercializadora no va a pagar los excedentes, ya que las comercializadoras pagan los excedentes siempre y cuando en algún mes de la tarifa la demanda supere a la generación y haya un coste de energía, nunca van a pagar a una vivienda cuyo consumo sea nulo (es decir, el término de energía de una vivienda nunca puede ser negativo), únicamente se conseguirá un ahorro total de la tarifa.

*Tabla 20. Factura anual de la vivienda con la instalación.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Factura anual con la instalación				
Meses	Demanda kWh en 2022	Generación kWh en 2022	Precio de la factura	
			Libre	Regulado
Enero	190	332.25	0	18.26
Febrero	183	721.34	0	16.40
Marzo	140	937.36	0	0
Abril	140	799.13	0	0
Mayo	121	933.82	0	0
Junio	113	669.08	0	0
Julio	98	899.61	0	0
Agosto	130	764.91	0	0
Septiembre	142	820.63	0	0
Octubre	159	562.81	0	0
Noviembre	178	181.33	8.57	0
Diciembre	225	285.15	5.24	0
Factura anual			13.81	34.66

Según los cálculos de las últimas 2 tablas se comprueba que, una vez instalado el sistema fotovoltaico, la tarifa más conveniente sigue siendo la tarifa libre, cuya factura sigue siendo menor, produciéndose un ahorro de:

$$\text{Ahorro factura} = 272.85\text{€} - 13.81\text{€} = 259.04\text{€}$$

Pero el beneficio neto por la instalación no es el ahorro anual final, ya que habría que contar con los 100 euros anuales de mantenimiento y operación establecidos.

$$\text{Ahorro anual} = 259.04\text{€ (instalación)} - 100\text{€ (mantenimiento)} = 159.04\text{€}$$

### 7.5.2. Periodo de retorno.

El PRI es el tiempo que necesita un inversor para recuperar todo el dinero que necesitó para llevar a cabo el proyecto.

Se puede calcular de dos maneras, mediante el método payback o método ajustado; y el método simple, que toma en consideración las fluctuaciones del valor del dinero. Suele variar entre los 8 y los 15 años [56].

$$PR = \frac{I_0}{B_a \cdot k}$$

Las variables son:

- $I_0$ : inversión inicial de la instalación.
- $k$ : tasa de interés anual (5%)
- $B_a$ : beneficio anual (ahorro en la factura que permite la instalación quitando los costes de mantenimiento y operación, que han sido fijados en 100 euros anuales).

*Tabla 21. Cálculo del periodo de retorno.*

*Fuente: Elaboración propia.*

TIR	
Presupuesto de la instalación [€]	12476.91
Subvenciones [€]	4800
Inversión inicial de la instalación [€]	7676.91
Beneficio anual [€/año]	291.94
PR [años]	26.3

### 7.5.3. Valor actual neto.

El VAN es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto para determinar su viabilidad. Cuanto mayor sea más rentable resultará. Si fuese inferior a 0 el proyecto no sería viable. Se calcula mediante la siguiente fórmula [57]:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

Con las siguientes variables:

- $I_0$ : inversión inicial de la instalación.
- $F_t$ : flujo de caja en el año  $t$ .
- $n$ : número de años de vida considerada.
- $k$ : tasa de interés anual.

Tabla 22. VAN de la instalación.

Fuente: Elaboración propia.

Valor Actual Neto (VAN)	
$I_0$ [€]	7676.91
$F_t$ [€]	159.04
$n$ [año]	25
$k$ [%]	5%
Año	Flujo de Caja
0	-7676.91
1	159.04
2	166.992
3	175.342
4	184.109
5	193.314
6	202.980
7	213.129
8	223.785
9	234.975
10	246.723
11	259.059
12	272.012
13	285.613
14	299.894
15	314.888
16	330.633
17	347.164
18	364.522
19	382.749
20	401.886
21	421.980
22	443.080
23	465.233
24	488.495

25	512.920
Total	-86.392

#### 7.5.4. Conclusiones sobre el VAN y el TIR

Como se observa en la Tabla 21 y en la Tabla 22, la instalación no resulta rentable, por lo que han de llevarse a cabo una serie de rediseños que permitan obtener rentabilidad, como se explicará en el epígrafe 8.

## 8. Conclusiones.

El diseño de la instalación no resulta rentable, al tener un periodo de retorno de 48 años, a los 25/30 años para los que se diseña el valor actual neto, no será positivo, y conllevará pérdidas para la vivienda en la que se realiza la instalación.

Esto se debe al sobredimensionamiento de la instalación, como se muestra en la Tabla 23, en la que se puede observar que siempre se genera mucha más energía de la necesaria, llegándose a superar los 800 kWh de desfase en meses como mayo o julio. Este desfase produce que, además de no ser económicamente rentable, la instalación tampoco es energéticamente rentable, debido a la gran cantidad de energía que se pierde por la sobreproducción masiva.

*Tabla 23. Relación Demanda-Generación.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Meses	Demanda kWh en 2022	Generación kWh en 2022	Relación de energía
Enero	190	332.25	-142.25
Febrero	183	721.34	-538.34
Marzo	140	937.36	-797.36
Abril	140	799.13	-659.13
Mayo	121	933.82	-812.82
Junio	113	669.08	-556.08
Julio	98	899.61	-801.61
Agosto	130	764.91	-634.91
Septiembre	142	820.63	-678.63
Octubre	159	562.81	-403.81
Noviembre	178	181.33	-3.33
Diciembre	225	285.15	-60.15

Se trata de buscar soluciones que produzcan que el proyecto se convierta en un proyecto tanto económica como energéticamente rentable.

### 8.1. Solución 1.

La primera solución pasaría por no realizar ningún cambio en la instalación, sino buscar otro tipo de soluciones que conllevarían más gastos, pero que podrían conllevar más ahorro en un futuro, como pueden ser:

## DISEÑO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR

- Cambiar el sistema de calefacción y caldera, pasando a sistemas eléctricos que permitan la utilización de la energía conseguida por los módulos fotovoltaicos, aumentando por tanto la demanda de energía de la vivienda.
- Cumplimentar la energía conseguida, con una instalación aerotérmica que consiga la autosuficiencia total de la casa, juntando el uso de energías limpias para la electricidad y la calefacción.
- En caso de la necesidad de adquirir un nuevo coche, por fin del ciclo de vida del coche actual en propiedad, se recomendaría la adquisición de coche eléctrico, con instalación de carga en la vivienda, lo que derivaría en un importante ahorro anual de combustible.

En la Tabla 24 se muestra la nueva demanda en caso de adquirir un coche eléctrico y cambiar la actual caldera de gas de la vivienda por una eléctrica que funcione con la producción de los módulos fotovoltaicos. En este nuevo suceso, la generación nunca superará a la demanda, ya que se añaden las necesidades del coche eléctrico y de la caldera eléctrica.

- Un coche eléctrico normal, para una persona que realiza desplazamientos de unos 1250 km a final de mes, requerirá de cargas de 250 kWh mensuales [58].
- La caldera eléctrica tiene un consumo menor que la de gas natural, siendo este consumo de unos 13552 kWh las más utilizadas en el mercado [59].

*Tabla 24. Nueva demanda de energía aplicando la solución 1.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Meses	Demanda de la vivienda en kWh				Generación en kWh	Relación de energía
	Energía	Caldera eléctrica	Coche eléctrico	Final		
Enero	190	13552	3000	1569	332.25	1237.08
Febrero	183			1562	721.34	840.99
Marzo	140			1519	937.36	581.97
Abril	140			1519	799.13	720.20
Mayo	121			1500	933.82	566.51
Junio	113			1492	669.08	823.25
Julio	98			1477	899.61	577.72
Agosto	130			1509	764.91	744.42
Septiembre	142			1521	820.63	700.70
Octubre	159			1538	562.81	975.52
Noviembre	178			1557	181.33	1376.00
Diciembre	225			1604	285.15	1319.18

Esta nueva relación de energía se ve en la factura anual, ya que nunca habrá excedentes, y siempre habrá que pagar parte de la energía que se adquiere a la empresa comercializadora.

*Tabla 25. Precio de la factura con la nueva demanda.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Meses	Relación de energía	Precio de factura
Enero	1237.08	185.56
Febrero	840.99	126.15
Marzo	581.97	87.30
Abril	720.20	108.03
Mayo	566.51	84.98
Junio	823.25	123.49
Julio	577.72	86.66
Agosto	744.42	111.66
Septiembre	700.70	105.11
Octubre	975.52	146.33
Noviembre	1376.00	206.40
Diciembre	1319.18	197.88
Factura eléctrica anual		1569.54

Además, la inversión inicial será mayor, ya que será necesario adquirir un coche eléctrico con su respectivo punto de recarga y la nueva caldera eléctrica (no se cuentan los posibles beneficios de la venta de los antiguos elementos).

- Un coche eléctrico de segunda mano en España tiene un precio medio de entre 15000 y 25000€ [60].
- Un cargador eléctrico para coches en viviendas puede rondar los 2000€ [61].
- El precio de la instalación de una caldera depende mucho del uso que se le quiera dar a la misma, pero tiene un precio aproximado de entre 2000 y 4000€ [62].

*Tabla 26. Inversión para adquisición de los nuevos elementos.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Inversión	
Coche eléctrico	20000
Caldera eléctrica	2500
Cargador eléctrico	2000
Módulos	7676.91
<b>Total</b>	<b>32176.91</b>

Pese a la inversión inicial total, que asciende mucho sobre la inversión de los módulos que se calcularon inicialmente, se puede calcular ahorro muy grande en cuanto a combustible y precio de calefacción y ACS, como se puede observar en la Tabla 27 [63] y [64].

$$\text{Ahorro mensual} = (\text{Ahorro combustible} + \text{Ahorro de gas}) - \text{Factura eléctrica}$$

Tabla 27. Ahorro conseguido con los nuevos elementos.

Fuente: Elaboración propia.

Meses	Ahorro combustible	Ahorro tarifa de gas	Ahorro
Enero	1588.43	1015.22	31.41
Febrero			90.82
Marzo			129.67
Abril			108.94
Mayo			131.99
Junio			93.48
Julio			130.31
Agosto			105.31
Septiembre			111.87
Octubre			70.64
Noviembre			10.57
Diciembre			19.09
Ahorro total anual			1034.11
Ahorro contando mantenimiento			834.11

Una vez conocido el ahorro anual que otorgan los nuevos elementos (que además son menos contaminantes, por lo que se puede considerar que en un futuro llegarán a ser obligatorios), se calcula el VAN y el periodo de retorno de la instalación.

Tabla 28. VAN de la instalación con los nuevos elementos.

Fuente: Elaboración propia.

Valor Actual Neto (VAN)	
$I_0$ [€]	32176.91
$F_t$ [€]	834.11
$n$ [año]	25
$k$ [%]	5%
Año	Flujo de Caja

0	-32176.91
1	834.11
2	875.82
3	919.61
4	965.59
5	1013.87
6	1064.56
7	1117.79
8	1173.68
9	1232.36
10	1293.98
11	1358.68
12	1426.61
13	1497.94
14	1572.84
15	1651.48
16	1734.05
17	1820.76
18	1911.80
19	2007.39
20	2107.75
21	2213.14
22	2323.80
23	2439.99
24	2561.99
25	2690.09
Total	7632.74
PR	22 años

Como se puede observar, aún con una inversión inicial mayor, y unos gastos de generación mayores; al evitar el sobredimensionamiento de la instalación, ahorrar con los nuevos elementos, que funcionan exclusivamente con energía, el VAN pasa a ser positivo, recuperando la inversión en 22 años, menor tiempo que la vida útil del sistema fotovoltaico, que se estima en 30 años.

## 8.2. Solución 2.

Esta solución se basa en la disminución de la potencia fotovoltaica instalada, que está sobredimensionada y resulta en la necesidad de mayor número de módulos fotovoltaicos necesarios, en este caso, se bajará la potencia de la vivienda a 5 kW, por lo que el inversor se

cambiará al “hermano pequeño” del utilizado anteriormente, un Inversor Solís S5-EH1P3.6K-L, con 3.6 kW de salida, por los 6 kW que tenía anteriormente.

Este cambio produce un cambio en la inversión inicial, a la que hay que restarle la diferencia entre los distintos inversores, como se muestra en la Tabla 29.

*Tabla 29. Cambio de inversor en la instalación.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Inversor	Precio	Presupuesto
S5-EH1P6K-L	1520	7676.91
S5-EH1P3.6K-L	1392.09	7492.73

Con el nuevo inversor, hay que realizar los cálculos similares a los de la Tabla 9 y la simulación en SAM de la Tabla 10, que se van a juntar en la Tabla 30.

*Tabla 30. Dimensionamiento para inversor de 3.6 kW.*

*Fuente: Elaboración propia.*

CÁLCULOS	
	<b>MÓDULO 450 W</b>
Número de inversores	1
Número de módulos por inversor	10
Precio de los módulos	1617.20
Número módulos máximo en cadena	10
Número módulos mínimo en cadena	2
CONFIGURACION ELEGIDA	
Numero canales	2
Numero cadenas/canal	1
Longitud de la cadena (módulos en serie)	5
COMPROBACIONES	
Tensión en el punto de máxima potencia	198.96
Máxima Corriente por canal MPPT	10.85
SIMULACIÓN	
Energía AC anual	4929 kWh
Factor de capacidad de DC	12.5%
Energía producida por kW de potencia	1095 kWh/kW
Ratio de actuación	0.80

## DISEÑO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR

El número de módulos será también menor, por lo que habría que ajustar el presupuesto final, que será menor, para el cálculo de la nueva factura.

*Tabla 31. Presupuesto de la solución 2.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Presupuesto		
Ref	Designación	Importes totales (€)
TM	Presupuesto de materiales	4290.71
TP	Presupuesto de personal	235000
TD	Presupuesto de documentación	50000
<b>Total presupuesto ejecución</b>		<b>7140.71</b>
Gastos generales (6%)		428.44
Beneficio (13%)		928.29
<b>Total presupuesto parcial</b>		<b>8497.44</b>
IVA (21%)		1784.46
<b>Presupuesto total del proyecto</b>		<b>10281.91</b>
Subvención		4800
<b>Presupuesto final del proyecto</b>		<b>5481.91</b>

Además, previo al cálculo del VAN y el periodo de retorno, son necesarios los cálculos de la nueva factura eléctrica que va a tener la instalación, que sube con respecto a la anterior, pero en muy poca cantidad, por lo que compensa el ahorro de los elementos para el precio de la factura.

*Tabla 32. Factura anual de la solución 2.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Meses	Demanda kWh en 2022	Generación kWh en 2022	Factura
Enero	190	211.99	0
Febrero	183	449.55	0
Marzo	140	579.34	0
Abril	140	496.54	0
Mayo	121	579.35	0
Junio	113	417.79	0
Julio	98	561.23	0

**DISEÑO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR**

Agosto	130	477.14	0
Septiembre	142	510.24	0
Octubre	159	350.74	0
Noviembre	178	113.87	9.6195
Diciembre	225	181.235	6.56475
Factura anual			16.18
Factura + Mantenimiento			116.18
Pago antes de instalación			272.85
Ahorro anual			156.67

El último paso es calcular el VAN y el periodo de retorno, una vez conocido el ahorro anual que produce la nueva instalación (beneficios anuales que va a otorgar).

*Tabla 33. VAN y PR de la solución 2.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Valor Actual Neto (VAN)	
$I_0$ [€]	5481.91
$F_t$ [€]	156.67
$n$ [año]	25
$k$ [%]	5%
Año	Flujo de Caja
0	-5481.91
1	156.666
2	164.499
3	172.724
4	181.360
5	190.428
6	199.950
7	209.947
8	220.444
9	231.467
10	243.040
11	255.192
12	267.952
13	281.349
14	295.417

15	310.187
16	325.697
17	341.982
18	359.081
19	377.035
20	395.887
21	415.681
22	436.465
23	458.288
24	481.203
25	505.263
Total	1995.292
PR	21 años

En este caso, a los 21 años ya se habrá recuperado la inversión, consiguiendo ganancias a partir de esa fecha.

### 8.3. Aplicaciones futuras.

Existen numerosas aplicaciones futuras que diseñar para la instalación, correspondientes al ahorro energético y económico, y a la consecución del uso de energías renovables.

- Evaluación de sistemas de acumulación, como baterías, que permitan convertir la instalación en un sistema aislado.
- Realizar estudios de la contaminación producida por la vivienda con la intención de mitigarla en su totalidad.

## 9. Planificación.

La elaboración de este TFG se inició el 4 de enero, y se alargó hasta el 3 de julio, con una duración de 143 naturales, contando con vacaciones de Semana Santa y fines de semana de por medio.

Finalmente, con jornadas de trabajo medias de entre 3 y 4 horas, la elaboración de este TFG se alargó hasta las 350 horas, desglosadas en los siguientes apartados, que posteriormente se explicarán en el Anexo IV:

- Primeras decisiones, elección de tema y formas de trabajo.
- Investigación previa.
- Redacción de la introducción teórica.
- Estudio de conjuntos de módulos.
- Estudio económico.
- Análisis de resultados.
- Redacción del documento.
- Revisión.

## 10. Bibliografía

- [1] “System Advisor Model (SAM), diseño y análisis económico de instalaciones.”, doi: 10.4/FONT/BOOTSTRAP-ICONS.MIN.CSS.
- [2] M. B. Folgueras Díaz, *Tema 1. Contexto Energético Mundial. Asignatura de Recursos Energéticos. Universidad de Oviedo*. 2022.
- [3] “Proyecto”, Accessed: Mar. 12, 2023. [Online]. Available: [www.iter.es](http://www.iter.es)
- [4] E. V. Font, “Energías renovables y no renovables Ventajas y desventajas de ambos tipos de energía Autor”, Accessed: Mar. 14, 2023. [Online]. Available: <http://bcn.cl/29cx7>
- [5] “HOME Revista ESPACIOS !”.
- [6] “Energía eólica: cómo funciona y sus ventajas | factorenergia.” <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/> (accessed Mar. 14, 2023).
- [7] “LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN LA EDIFICACIÓN .” <http://geotermiaenergia.blogspot.com/2014/07/la-energia-geotermica-en-la-edificacion.html> (accessed Mar. 14, 2023).
- [8] “¿Cómo funciona una central hidroeléctrica? | Ingeoexpert.” <https://ingeoexpert.com/2018/03/22/como-funciona-una-central-hidroelectrica/> (accessed Mar. 14, 2023).
- [9] “La biomasa, el almacén de la energía solar - Energías.” <https://www.interempresas.net/Energia/Articulos/51220-La-biomasa-el-almacen-de-la-energia-solar.html> (accessed Mar. 14, 2023).
- [10] “Energía Mareomotriz. Generador, Central Mareomotriz y Tipos.” <https://www.areatecnologia.com/electricidad/energia-mareomotriz.html> (accessed Mar. 14, 2023).
- [11] “¿Qué es la energía solar térmica? Tipos de instalaciones.” <https://solar-energia.net/energia-solar-termica> (accessed Mar. 14, 2023).
- [12] “Esquema de una instalación fotovoltaica - Medioambiente y naturaleza.” <https://medioambienteynaturaleza.com/esquema-instalacion-fotovoltaica/> (accessed Mar. 14, 2023).
- [13] M. Badii, A. Guillen, and O. Lugo Serrato, “Historia y Uso de Energías Renovables History and Use of Renewable Energies,” *Daena Int. J. Good Conscienc.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–18,

- 2015.
- [14] “La transición energética, imparable en España”, Accessed: Mar. 12, 2023. [Online]. Available: [gabinetedeprensa@ree.es](mailto:gabinetedeprensa@ree.es)
- [15] “¿De dónde proviene la energía? | Energía y Minería | Junta de Castilla y León.” <https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/donde-proviene-energia.html> (accessed Mar. 12, 2023).
- [16] Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación Grupo de Nuevas Actividades Profesionales, “Energía solar fotovoltaica,” 2007.
- [17] C. E. Marín, “LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA”.
- [18] “La potencia instalada de solar fotovoltaica en España aumenta casi un 30% en 2021 | Red Eléctrica.” <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2022/03/potencia-instalada-solar-fotovoltaica-en-espana-aumenta-casi-un-30-por-ciento-en-2021> (accessed Mar. 12, 2023).
- [19] “RADIACIÓN SOLAR - IDEAM.” <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta> (accessed Mar. 21, 2023).
- [20] “Radiación solar y su aprovechamiento energético - Miguel Pareja Aparicio - Google Libros.” [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=YkxOEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=radiación+solar&ots=r8\\_f5Clmej&sig=ABmKMySNQstcpo0CwHti57rvLWo#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=YkxOEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=radiación+solar&ots=r8_f5Clmej&sig=ABmKMySNQstcpo0CwHti57rvLWo#v=onepage&q&f=false) (accessed Mar. 21, 2023).
- [21] D. A. Pilco, P. #1, J. L. Jaramillo, and P. #2, “Sistemas fotovoltaicos para iluminación: paneles fotovoltaicos”.
- [22] M. del P. Castro García, “TEMA 9. Energía Solar Fotovoltaica.” Accessed: Mar. 09, 2023. [Online]. Available: [https://es.slideshare.net/COIT\\_AEIT/energia-solar-fotovoltaica2e5c69a6](https://es.slideshare.net/COIT_AEIT/energia-solar-fotovoltaica2e5c69a6)
- [23] “Tipos de celdas solares: células en placas fotovoltaicas.” <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica/tipos#celdas-solares-monocristalinas> (accessed Mar. 21, 2023).
- [24] “Silicio amorfo (aSi) .” <https://casassolares.org/panel-solar/silicio-amorfo-asi/> (accessed Mar. 22, 2023).
- [25] “Elementos de la instalación fotovoltaica.” <https://www.e4e-soluciones.com/blog-eficiencia-energetica/8-elementos-que-componen-una-instalacion-fotovoltaica>

- (accessed Mar. 21, 2023).
- [26] M. del P. Castro García, "Tema 10. Tipos de Instalaciones Fotovoltaicas. Tecnología Energética Sosstenible y Eficiencia Energética. Universidad de Oviedo," no. 2016, 2017.
- [27] P. J. Débora and J. F. Ferichola, "Caracterización de los módulos fotovoltaicos."
- [28] "TIPOS INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS | Web Oficial." <https://www.euroinnova.us/blog/tipos-instalaciones-solares-fotovoltaicas> (accessed Mar. 24, 2023).
- [29] "Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas - Endef." <https://endef.com/tipos-de-instalaciones-solares-fotovoltaicas-como-encontrar-la-ideal-para-mi/> (accessed Mar. 24, 2023).
- [30] "Google Maps." <https://www.google.es/maps/@43.3580451,-5.8638536,14z?hl=es> (accessed Mar. 24, 2023).
- [31] "IDAE Instituto para la Diversificación", Accessed: Apr. 16, 2023. [Online]. Available: [www.idae.es](http://www.idae.es)
- [32] "YUBASOLAR: ORIENTACIÓN DE PLACAS EN UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA." <http://www.yubasolar.net/2015/03/orientacion-de-placas-en-una.html> (accessed Apr. 16, 2023).
- [33] C. Blanco, "Tema 3. Cálculo de pérdidas solares. Máster en Ingeniería Industrial. Universidad de Oviedo."
- [34] "JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission." [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/) (accessed Apr. 16, 2023).
- [35] "Autosolar.es | La Tienda de la Energía Solar." <https://autosolar.es>
- [36] "Atersa Shop-Inversor Solís." [https://atersa.shop/inversor-hibrido-solis-s5-eh1p6k-6kw-wifi/#tab-link-downloads\\_tab%0A](https://atersa.shop/inversor-hibrido-solis-s5-eh1p6k-6kw-wifi/#tab-link-downloads_tab%0A)
- [37] "Vatímetro Trifásico Solis-3P-Meter." [https://suministrodelsol.com/es/accesorios-fotovoltaica/1629-vatimetro-trifasico-solis-3p-meter.html?gclid=CjwKCAjwge2iBhBBEiwAfXDBRxbcCShr8o2r4hCYcr6KqkIWoc33dIXHjdmPj2xAV76tj8xR1LIF1hoC8\\_sQAvD\\_BwE](https://suministrodelsol.com/es/accesorios-fotovoltaica/1629-vatimetro-trifasico-solis-3p-meter.html?gclid=CjwKCAjwge2iBhBBEiwAfXDBRxbcCShr8o2r4hCYcr6KqkIWoc33dIXHjdmPj2xAV76tj8xR1LIF1hoC8_sQAvD_BwE) (accessed May 10, 2023).
- [38] "Vatímetro Monofásico Solis-1P-Meter." <https://suministrodelsol.com/es/accesorios-fotovoltaica/1628-vatimetro-monofasico-solis-1p-meter.html> (accessed May 20, 2023).
- [39] "DEPENDENCIA DE LA TEMPERATURA Y LA IRRADIANCIA SOBRE EL MÓDULO

- FOTOVOLTAICO.” <https://www.helioesfera.com/dependencia-de-la-temperatura-y-la-irradiancia-sobre-el-modulo-fotovoltaico/> (accessed May 06, 2023).
- [40] “Aemet Open Data.” <https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio>
- [41] “¿Cómo calcular cuánto cuesta generar la energía eléctrica? | IDB Invest.” <https://www.idbinvest.org/en/node/52786> (accessed May 25, 2023).
- [42] C. Blanco, “Tema 5. Análisis Económico de la Instalación. Máster en Ingeniería Industrial. Universidad de Oviedo.”.
- [43] “Gastos generales y Beneficio industrial: definición y porcentajes.” <https://www.seguroconstruccion.es/gastos-generales-y-beneficio-industrial-de-una-obra-que-son-y-que-porcentajes-se-utilizan/> (accessed May 12, 2023).
- [44] “Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - Autoconsumo.” <https://energia.gob.es/electricidad/autoconsumo-electrico/Paginas/preguntas-frecuentes-autoconsumo.aspx> (accessed May 23, 2023).
- [45] “Autoconsumo Con Excedentes Y Sin Excedentes Guía 2023.” <https://gruposuroeste.es/blog/autoconsumo-con-excedentes-y-sin-excedentes-guia-2019/> (accessed May 23, 2023).
- [46] Endesa, “¿Qué tipos de mercado eléctrico existen y cómo les afectan las subidas de la luz?” <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/sector-energetico/mercado-libre-mercado-regulado-pvpc> (accessed May 23, 2023).
- [47] “Mercado Libre o Mercado Regulado, ¿cuál es mejor?” <https://comparadorluz.com/faq/mercado-libre-o-regulado> (accessed May 23, 2023).
- [48] P. Izquierdo, “‘Tarifas de baja tensión en España’. Generación, Transporte y Distribución de Energía. Universidad de Oviedo.,” 2022.
- [49] “TÉRMINO DE FACTURACIÓN DE ENERGÍA ACTIVA DEL PVPC.” <https://www.esios.ree.es/es/pvpc>
- [50] “Mínimo, medio y máximo precio de la casación del mercado diario | OMIE.” <https://www.omie.es/es/market-results/annual/daily-market/daily-prices?scope=annual&year=2022&system=1> (accessed May 25, 2023).
- [51] “Solar Simply: mejor tarifa de autoconsumo fotovoltaico con excedentes | Endesa.” <https://www.endesa.com/es/luz-y-gas/luz/tempo/tarifa-autoconsumo-con-excedentes-solar-simply> (accessed May 31, 2023).

- [52] “Tarifa Solar Precio Fijo de Repsol ¿tiene precio fijo? .”  
<https://energia.roams.es/luz/repsol/tarifa-solar-precio-fijo-repsol/> (accessed May 31, 2023).
- [53] Naturgy, “Guía fácil del autoconsumo solar”.
- [54] M. Para, L. A. Transición, and Y. E. L. R. Demográfico, “Boletín Oficial del Estado (BOE) Gobierno de España. Real Decreto 377/2022, de 17 de mayo, por el que se amplía la tipología de beneficiarios del Real Decreto 477/2021, de 29 de junio.,” pp. 68508–68534, 2022, [Online]. Available: <https://www.boe.es>
- [55] “SUBVENCIONES fondos europeos: AUTOCONSUMO en Asturias.”  
<https://www.cambioenergetico.com/blog/subvenciones/fondos-europeos-autoconsumo-asturias/> (accessed May 28, 2023).
- [56] “Una clave del éxito: descubrir qué es el periodo de recuperación de la inversión.”  
<https://www.euroinnova.edu.es/blog/que-es-periodo-de-recuperacion-de-la-inversion>
- [57] “Valor Actual Neto.” <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html> (accessed Jun. 01, 2023).
- [58] “¿Cuánto consume un cargador de coche eléctrico?” <https://puntoycarga.com/>
- [59] Selectra, “Calderas eléctricas: funcionamiento, precio y ventajas.”  
<https://comparadorluz.com/faq/calderas-electricas>
- [60] “Coche de segunda mano.”, [Online]. Available: <http://www.segundamano.es/>
- [61] CargaTuCoche, “Si buscas el mejor servicio de instalación de puntos de recarga estás en el punto perfecto.” <https://instalacion.cargatucoche.com>
- [62] CronoShare, “¿Cuánto cuesta instalar una caldera eléctrica?”, [Online]. Available: <https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/instalar-caldera-electrica>
- [63] “Calcular gasto en gasolina y consumo en un viaje en coche.”  
<https://www.dieselogasolina.com/calculadora-de-trayecto-y-coste-de-viaje-en-coche.html>
- [64] S. Villasur, “¿Cuál es el gasto medio de gas natural de una vivienda en España?”  
<https://energia.roams.es>



Universidad de  
Oviedo



GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS MINEROS Y ENERGÉTICOS

# ANEXO I

## HOJA DE CARACTERÍSTICAS

## TÉCNICAS DEL INVERSOR

DISEÑO, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE  
GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA

UNIFAMILIAR

## Inversores Solis con almacenamiento de energía

### » S5-EH1P(3-6)K-L



360 grados

### Características:

- ▶ Corriente de rama hasta **15A**
- ▶ Fuente de alimentación ininterrumpida, reacción de 20 ms
- ▶ Energía de respaldo de 5kW para soportar cargas más importantes
- ▶ Con capacidades de cambio y afeitado de picos amigables con la cuadrícula
- ▶ Múltiples modos de trabajo para maximizar el autoconsumo, aumentar el beneficio
- ▶ Mayor eficiencia de carga-descarga, mejorando los beneficios económicos
- ▶ Compatible con baterías de litio y plomo-ácido, más opciones en diferentes mercados
- ▶ Diseño sin ventilador, larga vida útil
- ▶ Protección AFCL, reduce activamente el riesgo de incendio
- ▶ Función inteligente EMS, mejorando la confiabilidad de la batería
- ▶ Con tecnología de aislamiento de alta frecuencia, lo que hace que el sistema sea más seguro y tenga una vida útil más larga
- ▶ Gestión de energía totalmente inteligente las 24 horas, comprensión en tiempo real del estado de la planta fotovoltaica
- ▶ Función de control y actualización de forma remota, lo que hace que el mantenimiento de la planta de energía digital esté al alcance de su mano



### Modelo:

S5-EH1P3K-L      S5-EH1P3.6K-L  
 S5-EH1P4.6K-L      S5-EH1P5K-L  
 S5-EH1P6K-L

## Tabla de datos

Modelo	S5-EH1P3K-L	S5-EH1P3.6K-L	S5-EH1P4.6K-L	S5-EH1P5K-L	S5-EH1P6K-L
<b>Entrada CC (lado PV)</b>					
Potencia de entrada máxima recomendada	4.8 kW	5.7 kW	8 kW	8 kW	8 kW
Voltaje máxima de entrada	600 V				
Voltaje de nominal	330 V				
Voltaje de arranque	120 V				
Rango de voltaje MPPT	90-520 V				
Corriente máxima de entrada	15 A / 15 A				
Corriente máxima de cortocircuito	22.5 A / 22.5 A				
Número de MPPT/Número máxima de cadenas de entrada	2/2				
<b>Batería</b>					
Tipo de Batería	Lana de litio / Plomo-ácido				
Rango de voltaje de la batería	42 - 58 V				
Capacidad de la batería	50 - 2000 Ah				
Potencia máxima de carga / descarga	3 kW			5 kW	
Corriente máxima de carga / descarga	62.5 A			100 A	
Comunicación	CAN				
<b>Salida CA (backup)</b>					
Potencia nominal de salida	3 kW			5 kW	
Potencia máxima de salida aparente	4.5 kVA, 10SEC			7 kVA, 10SEC	
Tiempo de respuesta en respaldo	<20 ms				
Voltaje nominal de la red	1/N/PE, 220 V / 230 V				
Frecuencia nominal	50 Hz / 60 Hz				
Corriente nominal de salida	14 A / 13.5 A			23 A / 22 A	
THDv (@carga lineal)	<2%				
<b>Entrada CA (Red)</b>					
Rango de voltaje de entrada	187-265 V				
Corriente máxima de entrada	20.5 A / 20 A	25 A / 23.5 A	31.5 A / 30 A	34.5 A / 33 A	34.5 A / 33 A
Rango de frecuencia	45-55 Hz / 55-65 Hz				
<b>Salida CA (Red)</b>					
Potencia nominal de salida	3 kW	3.6 kW	4.6 kW	5 kW	6 kW
Potencia máxima de salida aparente	3.3 kVA	4 kVA	4.6 kVA	5.5 kVA	6.6 kVA
Fases de operación	1/N/PE				
Voltaje nominal de la red	220 V / 230 V				
Frecuencia nominal de la red	50 Hz / 60 Hz				
Corriente nominal de salida de red	13.7 A / 13.1 A	16.4 A / 15.7 A	20.9 A / 20 A	22.8 A / 21.7 A	27.3 A / 26.1 A
Corriente máxima de salida	15 A	18.5 A	21 A	25 A	30 A
Factor de potencia	>0.99 (0.8 que lleva a 0.8 de retraso)				
THDi	<2%				
<b>Eficiencia</b>					
Eficiencia máxima	>97.1%				
Eficiencia EU	>96.5%				
<b>Protección</b>					
Protección contra polaridad inversa DC	Sí				
Protección contra cortocircuito	Sí				
Protección de sobrecorriente de salida	Sí				
Protección contra sobretensiones	Tipo II CC/ Tipo II CA				
Monitoreo de fallas a tierra	Sí				
AFCI integrado (Protección de circuito de falla de arco CC)	Sí <sup>(1)</sup>				
Clase de protección / Categoría de sobrevoltaje	I/II				
<b>Datos generales</b>					
Dimensiones (longitud*altura*ancho)	333*505*249 mm				
Peso	18.3 kg				
Topología	Aislamiento de alta frecuencia (para batería)				
Rango de temperatura de funcionamiento	-25 ~ +60°C				
Nivel de protección	IP65				
Enfriamiento	Convección natural				
Altitud máxima de funcionamiento	3000 m				
Estándar de conexión de red	G98 or G99, VDE-AR-N 4105/VDE V 0124, EN 50549-1, VDE 0126/UTE C 15/VFR:2019, RD 1699/RD 244/UNE 206006/UNE 206007-1, CEI 0-21, C10/11, NRS 097-2-1, TOR, EIFS 2018.2, IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683, EN 50530, MEA, PEA				
Estándar de seguridad / EMC	IEC/EN 62109-1/-2, EN 61000-6-2/-3				
<b>Características</b>					
Conexión de CC	Conector MC4				
Conexión de CA	Enchufe de conexión rápida				
Pantalla	7.0" pantalla a color LCD				
Comunicación	RS485, Opcional: Wi-Fi, GPRS				

(1) Activación necesaria.



Universidad de  
Oviedo



GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS MINEROS Y ENERGÉTICOS

# **ANEXO II**

## **HOJA DE CARACTERÍSTICAS**

### **TÉCNICAS DEL MÓDULO**

#### **FOTOVOLTAICO**

DISEÑO, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE

GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA

UNIFAMILIAR



# ESPHSC

## Monocrystalline Half-Cut Solar Module

### KEY FEATURES



**MBB Half-Cut Solar Cell:**  
144 cells (6X24); 9 busbar solar cell.



**Higher Module Conversion Efficiency:**  
Higher module output up to 455W with module efficiency up to 20.9%.



**Low-light Performance:**  
Advanced glass and surface texturing allow for excellent performance in low-light environments.



**Light-weight design**  
Light-weight design using transparent backsheets for easy installation and low BOS cost.



**Higher Power Output**  
Module power increases 5-25% generally, bringing significantly lower LCOE and higher IRR.

166



**+** WATTS POSITIVE TOLERANCE

**12** YEARS PRODUCT WARRANTY

**25** YEARS LINEAR POWER WARRANTY

### 166mm SERIES, 72-CELL HALF-CUT SERIES

#### ELECTRICAL PERFORMANCE

Module type: ESPHSC	450M
Maximum Power(Wp)	450W
Open circuit Voltage(Voc)	49.30V
Short circuit Current(Isc)	11.60A
Maximum Power Voltage(Vm)	41.50V
Maximum Power Current(Im)	10.85A
Module efficiency	20.70%
Maximum Series Fuse	20A
Watts positive tolerance	0~+3%
Number of Diode	3
Standard Test Conditions	1000W/M <sup>2</sup> , 25°C, AM1.5
Maximum System Voltage	1000/1500V/DC
Temperature-Coefficient Isc	+0.049%/°C
Temperature-Coefficient Voc	-0.271%/°C
Temperature-Coefficient Pmpp	-0.352%/°C
Normal Operating Cell Temperature	-40°C...+85°C
Load Capacity for the cover of the module (glass)	5400Pa(IEC61215)(snow)
Load Capacity for the front & back of the module	2400Pa(IEC61215)(wind)

#### ELECTRICAL PERFORMANCE (NOCT)

Module type: ESPHSC	430M	435M	440M	445M	450M	455M
Maximum Power(Wp)	325W	329W	332.5W	336.5W	340W	344W
Open circuit Voltage(Voc)	45.55V	44.75V	45.95V	46.15V	46.35V	46.55V
Short circuit Current(Isc)	8.99A	9.06A	9.11A	9.17A	9.22A	9.27A
Maximum Power Voltage(Vm)	38.40V	38.60V	38.80V	39.00V	39.20V	39.40V
Maximum Power Current(Im)	8.46A	8.51A	8.57A	8.62A	8.68A	8.74A

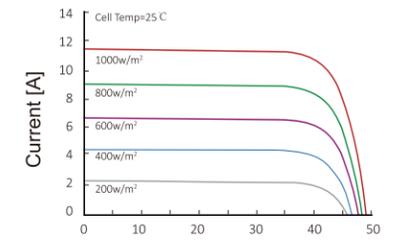
#### MECHANICAL CHARACTERISTICS

Front cover (material / thickness)	low-iron tempered glass / 3.2mm
Backsheet (color)	TPT in white
Cell (quantity / material / dimensions)	144(6x24) / monocrystalline silicon
Frame (material / color)	aluminum hollow-chamber frame on each side anodized aluminum alloy / silver
Junction box (protection degree)	≥ IP68
Cables & Plug connectors	4mm <sup>2</sup> , 300mm in length, length can be customized
Module Dimensions (L / W / H)	2094x1038x35mm
Module Weight	24kg
Application class	Class A
Electrical protection class	Class II
Fire safety class	Class C

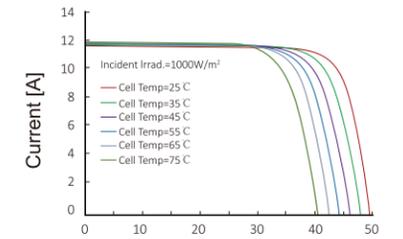
#### PACKING

Container Size	Units/Pallet (PCS)	Weight/Pallet (KG)	Pallet Measurement (mm)	Units/Container (PCS)
20GP	58(31+27)	1422	2150x1130x2220	290
40HQ	31	735	2150x1130x1170	726
	35	855	2150x1130x1345	

#### CURRENT-VOLTAGE CURVES:

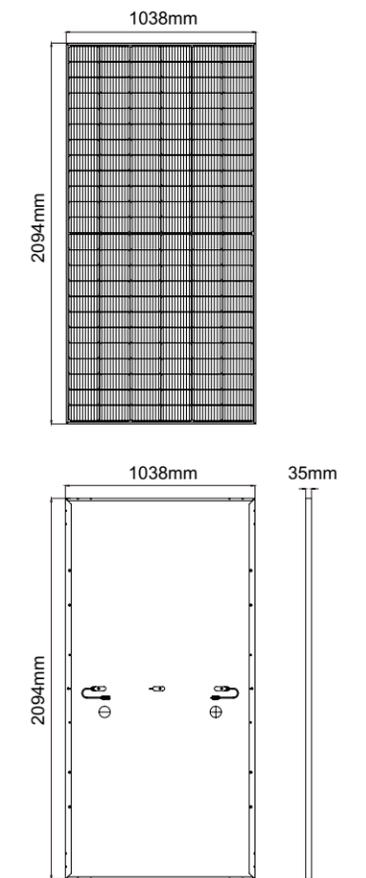


Module characteristics at constant module temperatures of 25°C and variable levels of irradiance



Module characteristics at variable module temperatures and constant module irradiance of 1.000 W/m<sup>2</sup>

#### MODULE DIAGRAM:





Universidad de  
Oviedo



GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS MINEROS Y ENERGÉTICOS

# ANEXO III

## INFORME DEL PROGRAMA *PVGIS*

DISEÑO, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE  
GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA  
UNIFAMILIAR

# Rendimiento de un sistema FV conectado a red

PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar:

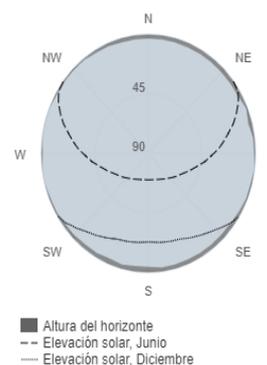
## Datos proporcionados:

Latitud/Longitud: 43.392,-5.657  
 Horizonte: Calculado  
 Base de datos: PVGIS-SARAH2  
 Tecnología FV: Silicio cristalino  
 FV instalado: 8 kWp  
 Pérdidas sistema: 14 %

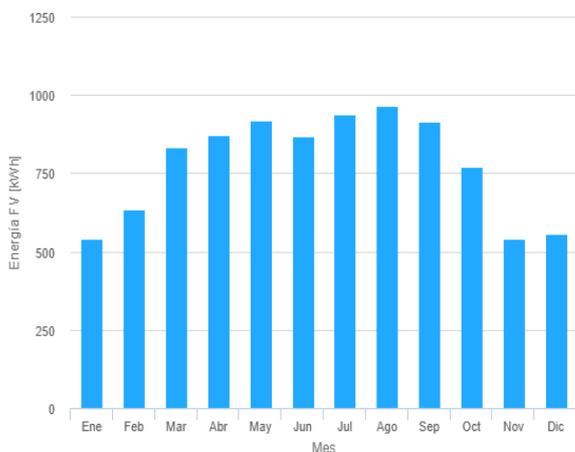
## Resultados de la simulación

Ángulo de inclinación: 35 °  
 Ángulo de azimut: 0 °  
 Producción anual FV: 9351.38 kWh  
 Irradiación anual: 1502.21 kWh/m<sup>2</sup>  
 Variación interanual: 290.73 kWh  
 Cambios en la producción debido a:  
 Ángulo de incidencia: -2.83 %  
 Efectos espectrales: 1.56 %  
 Temperatura y baja irradiancia: -8.32 %  
 Pérdidas totales: -22.19 %

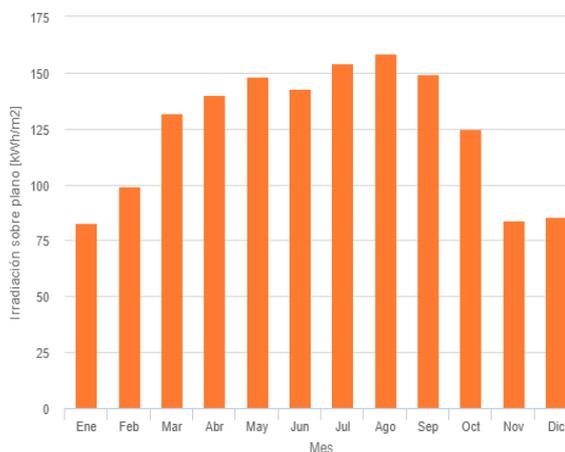
## Perfil del horizonte en la localización seleccionada



## Producción de energía mensual del sistema FV fijo:



## Irradiación mensual sobre plano fijo:



## Energía FV y radiación solar mensual

Mes	E_m	H(i)_m	SD_m
Enero	540.2	83.0	75.2
Febrero	636.4	99.1	146.4
Marzo	832.9	131.8	157.6
Abril	871.0	140.4	122.1
Mayo	917.7	148.3	118.0
Junio	868.3	142.9	92.9
Julio	938.4	154.3	73.9
Agosto	966.1	158.8	78.2
Septiembre	913.8	149.5	62.8
Octubre	771.4	124.6	74.0
Noviembre	539.5	84.1	106.3
Diciembre	555.6	85.5	90.0

E\_m: Producción eléctrica media mensual del sistema definido [kWh].

H(i)\_m: Suma media mensual de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado [kWh/m²].

SD\_m: Desviación estándar de la producción eléctrica mensual debida a la variación interanual [kWh].



Universidad de  
Oviedo



GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS MINEROS Y ENERGÉTICOS

# ANEXO IV

## PLANIFICACIÓN MEDIANTE DIAGRAMA DE GANTT

DISEÑO, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE  
GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA  
UNIFAMILIAR

Id	EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras EDT	enero 2023							febrero 2023			marzo 2023			abril 2023			mayo 2023			junio 2023			julio 2023	
							01	08	15	22	29	05	12	19	26	05	12	19	26	02	09	16	23	30	07	14	21	28	04	11
1	1	<b>Primera reunión y decisiones.</b>	4 días	mié 04/01/23	lun 09/01/23																									
2	1.1	Elección de tema.	2 días	dom 08/01/23	lun 09/01/23																									
3	2	<b>Investigación previa.</b>	40 días	lun 09/01/23	lun 06/03/23	1																								
4	2.1	Estudio sobre instalaciones.	20 días	lun 09/01/23	vie 03/02/23																									
5	2.2	Tutoriales de uso de programas	20 días	vie 03/02/23	jue 02/03/23																									
6	3	<b>Redacción introducción.</b>	12 días	lun 06/03/23	mié 22/03/23	2																								
7	4	<b>Estudio de conjuntos de módulos.</b>	37 días	lun 06/03/23	mié 26/04/23	2																								
8	4.1	Elección de componentes.	11 días	lun 06/03/23	lun 20/03/23																									
9	4.2	Cálculo de opciones.	15 días	lun 20/03/23	vie 07/04/23	4.1																								
10	4.3	Elección de conjunto a instalar.	4 días	vie 07/04/23	mié 12/04/23																									
11	4.4	Simulaciones en SAM.	27 días	mar 21/03/23	mié 26/04/23																									
12	5	<b>Estudio económico.</b>	22 días	mié 26/04/23	vie 26/05/23	4																								
13	5.1	Cálculo presupuesto.	8 días	mié 26/04/23	vie 05/05/23																									
14	5.2	Estudio de mercados.	12 días	vie 05/05/23	lun 22/05/23																									
15	5.3	Estudio de tarifas.	9 días	mar 16/05/23	vie 26/05/23																									
16	6	<b>Análisis de resultados</b>	5 días	vie 26/05/23	vie 02/06/23	5																								
17	7	<b>Redacción documento</b>	16 días	lun 05/06/23	lun 26/06/23	6																								
18	7.1	Elaboración Anexos	5 días	mié 14/06/23	mar 20/06/23																									
19	8	<b>Revisión</b>	5 días	lun 26/06/23	lun 03/07/23	7																								

Tarea		Tareas externas		Tarea manual		Sólo fin	
División		Hito externo		Sólo duración		Fecha límite	
Hito		Tarea inactiva		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen		Hito inactivo		Resumen manual		Progreso manual	
Resumen del proyecto		Resumen inactivo		Sólo el comienzo			