



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE UNA VIVIENDA
EN EL NOROESTE DE MADRID

Autor: Gonzalo Mesa Vilallonga

Director: Carlos Fuertes Kronberg

Madrid, Julio 2024

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Optimización energética de una vivienda en el noroeste de Madrid.
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2023/24 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Gonzalo Mesa Vilallonga

Fecha: 29/ 07/ 24

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'CFK', is written over a faint, illegible stamp.

Fdo.: Carlos Fuertes Kronberg

Fecha: 22/ 07/ 24



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE UNA VIVIENDA
EN EL NOROESTE DE MADRID

Autor: Gonzalo Mesa Vilallonga

Director: Carlos Fuertes Kronberg

Madrid, Julio 2024

OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE UNA VIVIENDA EN EL NOROESTE DE MADRID

Autor: Mesa Vilallonga, Gonzalo.

Director: Fuertes Kronberg, Carlos.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Palabras clave: Energía, autoconsumo, vivienda, eficiencia y solar

Este proyecto tiene como objetivo la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica para autoconsumo en una vivienda ubicada en Madrid. La motivación principal es reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables, disminuir los costos energéticos a largo plazo y contribuir al cuidado del medio ambiente. En un contexto donde la transición energética es crucial, las energías renovables, especialmente la solar, juegan un papel fundamental. El análisis se centra en la situación energética en España, caracterizada por una alta dependencia de fuentes no renovables y una creciente necesidad de diversificación energética. La adopción de energías renovables ha aumentado significativamente, impulsada por la necesidad de reducir las emisiones de carbono y mejorar la seguridad energética.

El estudio de la vivienda considera sus necesidades energéticas, identificando picos de consumo estacional y evaluando las características físicas de la propiedad. La ubicación y orientación de la vivienda son óptimas para la instalación de paneles solares, lo que maximiza la captación de energía solar. A lo largo de varios años se ha analizado el consumo energético para dimensionar correctamente el sistema fotovoltaico, asegurando que cubra adecuadamente las demandas de la vivienda.

El diseño de la instalación fotovoltaica incluye la selección de componentes clave como los paneles solares, inversores y baterías. Los paneles captan la energía del sol, los inversores convierten la corriente continua generada en corriente alterna utilizable para el hogar, y las baterías almacenan el excedente de energía para su uso nocturno o en días nublados. La simulación del sistema se basa en datos de radiación solar y patrones de consumo específicos de la vivienda, garantizando la eficiencia y viabilidad del proyecto. Además, se realiza un análisis de costos para evaluar la viabilidad económica, considerando tanto la inversión inicial como los ahorros a largo plazo.

El proyecto debe cumplir con la legislación vigente en España, que incluye la obtención de permisos y la posibilidad de acceder a subvenciones y ayudas económicas, como bonificaciones fiscales y fondos europeos Next Generation. Cumplir con estos requisitos legales es esencial para garantizar la conformidad de la instalación y acceder a los beneficios económicos disponibles. El marco legal facilita la implementación de sistemas de autoconsumo, promoviendo la adopción de energías renovables.

El análisis de resultados demuestra los beneficios económicos y ambientales de la instalación fotovoltaica. Se comparan los costos iniciales con los ahorros generados a largo plazo, confirmando la rentabilidad del proyecto. Además, se destacan las contribuciones a la reducción de emisiones de carbono, subrayando el impacto positivo en el medio ambiente. Se identifican posibles mejoras y optimizaciones futuras, como la incorporación de nuevas tecnologías y la expansión del sistema para cubrir un mayor porcentaje del consumo energético de la vivienda.

En conclusión, la instalación de un sistema fotovoltaico para autoconsumo en una vivienda en Madrid es una inversión técnica y económicamente viable. La correcta planificación y cumplimiento de la normativa vigente son esenciales para maximizar los beneficios del sistema. La adopción de energías renovables no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también ofrece ventajas económicas significativas para los usuarios. La bibliografía utilizada en el proyecto incluye una variedad de fuentes que abordan el mercado energético, las tecnologías fotovoltaicas y las políticas de autoconsumo, proporcionando un fundamento sólido y confiable para el desarrollo del proyecto.

ENERGY OPTIMIZATION OF A HOUSE IN NORTHWEST MADRID

Author: Mesa Vilallonga, Gonzalo..

Supervisor: Fuertes Kronberg, Carlos.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

Keywords: Energy, self-consumption, house, efficiency and solar energy

The aim of this project is to implement a solar photovoltaic system for self-consumption in a house located in Madrid. The primary motivation is to reduce dependence on non-renewable energy sources, lower long-term energy costs, and contribute to environmental conservation. In a context where energy transition is crucial, renewable energies, especially solar, play a fundamental role. The analysis focuses on Spain's energy situation, characterized by high dependence on non-renewable sources and a growing need for energy diversification. The adoption of renewable energies has significantly increased, driven by the need to reduce carbon emissions and improve energy security.

The study of the house considers its energy needs, identifying seasonal consumption peaks and evaluating the physical characteristics of the property. The location and orientation of the house are optimal for the installation of solar panels, maximizing solar energy capture. Over several years, energy consumption has been analyzed to properly size the photovoltaic system, ensuring it adequately meets the demands of the house.

The design of the photovoltaic installation includes the selection of key components such as solar panels, inverters, and batteries. The panels capture solar energy, the inverters convert the generated direct current into usable alternating current for the home, and the batteries store excess energy for nighttime or cloudy days. The system simulation is based on solar radiation data and specific consumption patterns of the house, ensuring the project's efficiency and feasibility. Additionally, a cost analysis is conducted to evaluate economic viability, considering both the initial investment and long-term savings.

The project must comply with current legislation in Spain, which includes obtaining permits and accessing subsidies and economic aid, such as tax incentives and Next Generation European funds. Meeting these legal requirements is essential to ensure the installation's compliance and access to available economic benefits. The legal framework facilitates the implementation of self-consumption systems, promoting the adoption of renewable energies.

The results analysis demonstrates the economic and environmental benefits of the photovoltaic installation. Initial costs are compared with long-term savings, confirming the project's profitability. Additionally, contributions to carbon emissions reduction are highlighted, emphasizing the positive environmental impact. Potential future improvements and optimizations are identified, such as incorporating new technologies and expanding the system to cover a larger percentage of the house's energy consumption.

In conclusion, installing a photovoltaic system for self-consumption in a house in Madrid is a technically and economically viable investment. Proper planning and compliance with current regulations are essential to maximize the benefits of the system. Adopting renewable energies not only contributes to environmental sustainability but also offers significant economic advantages for users. The project's bibliography includes a variety of sources addressing the energy market, photovoltaic technologies, and self-consumption policies, providing a solid and reliable foundation for the project's development.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	6
1.1 Motivación del proyecto	7
Capítulo 2. Situación energética en España	9
2.1 Mercado energético en España.....	9
2.1.1 Mix energético español	9
2.1.2 Energías renovables.....	12
2.1.3 Crisis eléctrica en Europa.....	13
2.1.4 Cierre de Centrales Nucleares	14
2.2 Autoconsumo	18
2.2.1 Modalidades de autoconsumo	20
Capítulo 3. Estudio de la vivienda	23
3.1 Necesidades de la vivienda	23
3.2 Ubicación de la vivienda.....	25
Capítulo 4. Diseño de la instalación	29
4.1 Justificación	29
4.2 Elementos de la instalación.....	29
4.2.1 Módulos fotovoltaicos.....	30
4.2.2 Inversores.....	35
4.2.3 Baterías	40
4.3 Generación total de instalación	43
4.3.1 Evaluación de la Radiación Solar	43
4.3.2 Selección y Caracterización de Equipos	46
4.3.3 Selección y Caracterización de la curva de consumo	49
4.3.4 Simulación.....	50
4.4 Coste de instalación.....	53
Capítulo 5. Legislación y subvenciones	57
5.1 Marco legal del autoconsumo	57
5.2 Subvenciones de autoconsumo y marco regulatorio.....	61
5.2.1 Bonificaciones en el IBI	61

5.2.2 Bonificación del ICIO.....	63
5.2.3 Deducción del IRPF.....	63
5.2.4 Subvenciones de fondos europeos Next Generation al autoconsumo.....	64
Capítulo 6. Análisis de resultados	65
Capítulo 7. Conclusiones	67
Capítulo 8. Bibliografía.....	68
ANEXO I. Simulación PVsyst.....	70
ANEXO II. Fichas técnicas.....	83

Índice de figuras

Figura 1. Ciudades más soleadas de Europa [2]	10
Figura 2: Contribución de cada tecnología al mix energético en España entre 2019 y 2023 Fuente: OMIE	11
Figura 3. Generación eléctrica por tecnología (IEA Renewables 2023).....	12
Figura 4. Precio histórico de la electricidad en España [1]	13
Figura 5. Progresión de las energías renovables [4]	18
Figura 6. Esquema de autoconsumo sin excedentes	20
Figura 7. Esquema de autoconsumo con excedentes [5].....	21
Figura 8. Consumo de los últimos 4 años	23
Figura 9. Promedio del consumo de los últimos 4 años.....	24
Figura 10. Ubicación de la vivienda en Madrid	25
Figura 11. Captura Google Earth de la vivienda	26
Figura 12. Ubicación de la vivienda y alrededores.....	26
Figura 13. Trayectoria solar en las coordenadas del proyecto según PVSyst.....	27
Figura 14. Célula fotovoltaica [7].....	30
Figura 15. Tipos de células fotovoltaica [8].....	32
Figura 16. Inversores String [9].....	35
Figura 17. Microinversor [9]	36
Figura 18. Inversor central [9].....	36
Figura 19. Inversor híbrido [10]	37
Figura 20. Irradiación en las coordenadas de la vivienda (pvSyst)	43
Figura 21. Coordenadas geográficas de la vivienda (PVsyst).....	44
Figura 22. Condiciones ambientales de la localización (PVsyst).....	44
Figura 23. Selección de paneles e inversores (PVsyst).....	46
Figura 24. Generación del panel en función de la irradiación.....	47
Figura 25. Generación del panel en función de la temperatura	47
Figura 26. Parámetros principales de inversor SUN2000-4KTL-L1	48
Figura 27. Curva de consumo (PVsyst)	49

Figura 28. Producción de la instalación (pvSyst)	50
Figura 29. Diagrama de Sankey de la planta.....	51
Figura 30. Costes de la instalación (PVsyst).....	53
Figura 31. Flujos de caja de la instalación (PVsyst).....	54
Figura 32. Resumen de la inversión (PVsyst)	55
Figura 33. Flujos de caja acumulados (PVsyst)	56
Figura 34. VAN y payback period de la inversión	66

Índice de tablas

Tabla 1. Lista de ciudades españolas más soleadas [2].....	10
Tabla 2. Fabricantes de paneles solares [18]	33
Tabla 3. Fabricantes de inversores [10]	38
Tabla 4. Fabricantes de baterías [12]	40
Tabla 5. Subvenciones del IBI e ICIO en Madrid [14].....	62

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de este documento se estudiarán los beneficios de optimizar energéticamente una vivienda en el noroeste de la Comunidad de Madrid mediante la instalación de paneles fotovoltaicos destinados al autoconsumo de la misma.

El trabajo se divide en dos partes. En la primera se estudiará la situación actual del sector energético español. En esta parte se dividirá a su vez en dos temas: el análisis del mercado energético en España; y el estudio de las energías renovables dedicadas al autoconsumo en España.

La segunda parte del documento se centrará en el estudio de las necesidades energéticas de la vivienda. En esta parte podemos dividirla a su vez en tres partes. La primera está centrada en el estudio de la vivienda, donde analizaremos el consumo de los últimos años de la vivienda; la localización y orientación del tejado de la vivienda de cara a maximizar la generación eléctrica. La segunda está enfocada en el desarrollo de la instalación, donde analizaremos el mercado de los elementos de la instalación para elegir los paneles e inversores más adecuado a nuestras necesidades; y estudiaremos la posibilidad de instalar también baterías para almacenar la energía excedente. En la tercera parte analizaremos la rentabilidad de la instalación tomando como referencia el precio de la electricidad en el mercado eléctrico español.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Durante los últimos años han acontecido algunos sucesos que han puesto en jaque a toda Europa. La crisis del COVID-19 y posteriormente la Guerra de Ucrania han llevado a Europa a una crisis energética que nos repercute a todos los ciudadanos. La subida de los precios de la electricidad en España llevó al gobierno español a tomar medidas para mantener un precio asequible. Esta subida se documenta perfectamente en los datos históricos del Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE) donde podemos ver una subida del precio medio de la energía del mercado diario en España de un 300 % entre los años 2020 y 2023 [1]. Esta subida del precio de la electricidad nos lleva a buscar formas de abaratar nuestra factura eléctrica. En este proyecto demostraremos los beneficios del autoconsumo para reducir nuestra dependencia de las subidas del precio de la electricidad y de la misma manera, reducir nuestra huella de carbono con el planeta. Como se comentará en el capítulo 2, los gobiernos español, europeo y del resto del mundo están diseñando unas políticas energéticas de autoconsumo para fomentar la generación distribuida y el uso de energías renovables, proporcionando incentivos económicos y reduciendo las barreras administrativas. En España estas políticas han evolucionado para incluir medidas regulatorias como la compensación de excedentes y el autoconsumo compartido. En Europa se está promoviendo derechos de los consumidores y simplificando los procedimientos. A nivel global se han implantado políticas específicas de que tienen un denominador común que es impulsar la sostenibilidad y la independencia energética.

Por otro lado, la creciente preocupación en el mundo entero por el cambio climático, nos vemos obligados a buscar nuevas fuentes de energía renovables que minimicen nuestra huella de carbono. En 2015 la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible para concienciar a los países de todo el mundo del problema al que nos enfrentamos. En este documento se incluyen 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para fomentar el crecimiento económico y obtener una serie de necesidades sociales a la vez que se combate el cambio climático y se protege el medio ambiente. De cara al compromiso con el planeta y la sociedad mundial, este proyecto se alinea con los varios ODS. Este proyecto busca conseguir una energía asequible y no contaminante (ODS 7) ya que las instalaciones

fotovoltaicas proporcionan una fuente de energía renovable con la que aumentamos la proporción de energía renovable en el mix energético y ayudan a reducir la dependencia de combustibles fósiles y proporcionar una energía limpia y asequible. Por la misma razón, también ayudaría a que las ciudades y comunidades fueran más sostenibles (ODS 11) ya que promueve un modelo de desarrollo urbano más sostenible. Al generar electricidad a partir de una fuente renovable, también cumpliría con el objetivo de producción y consumo responsable (ODS 12).

Capítulo 2. SITUACIÓN ENERGÉTICA EN ESPAÑA

2.1 *MERCADO ENERGÉTICO EN ESPAÑA*

El sistema energético español se caracteriza históricamente por la escasez de recursos energéticos, especialmente de combustibles fósiles. Debido a esta escasez de materia prima, la situación energética actual de España se caracteriza por estar inmersa en una transición energética con el fin de depender menos de estos combustibles fósiles y centrarnos más en los recursos y capacidad que tiene España para explotar energías renovables. Esta transición se ve favorecida por las condiciones geográficas de las que dispone España para aprovechar la energía solar y eólica.

2.1.1 MIX ENERGÉTICO ESPAÑOL

El mix energético de España es muy variado debido a las numerosas tecnologías de generación de las que dispone. Entre ellas se incluye la energía nuclear, la energía hidroeléctrica, las renovables (principalmente eólica y solar), el gas natural y en menor medida el carbón. Esta diversificación hace a España ser muy independiente y de no depender de un solo tipo de energía, lo que mitiga los riesgos asociados a la subida del precio de una energía primaria. Por otro lado, es posible tener un mix energético tan variado por las condiciones geográficas de España. Las condiciones geográficas españolas permiten aprovechar en gran medida la energía proveniente del sol y del viento, sumándolas a otras energías provenientes de otras energías primarias como puede ser la nucleas o el gas. Según un estudio de Holidu, de las 20 ciudades con más horas de sol en Europa, 11 son en España [2]. Lo que nos indica el gran potencial que tiene esta energía en España. En la figura 1 se muestra un mapa de la ubicación de estas ciudades en Europa.

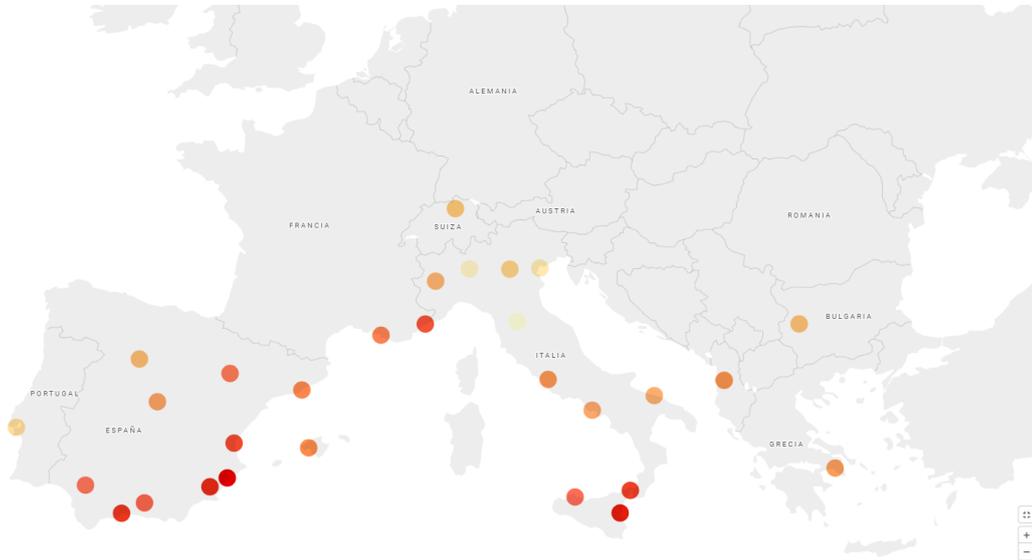


Figura 1. Ciudades más soleadas de Europa [2]

Entre estas 11 ciudades más soleadas se encuentran:

Ciudad	Media mensual de horas de sol	Ciudad	Media mensual de horas de sol
Alicante	349	Sevilla	340
Murcia	346	Zaragoza	340
Málaga	345	Barcelona	339
Valencia	343	Palma de Mallorca	337
Las palmas	341	Madrid	335
Granada	341		

Tabla 1. Lista de ciudades españolas más soleadas [2]

Según datos del OMIE, en el año 2023 el 59,5% de la energía eléctrica total generada en España provenía de fuentes renovables, cogeneración y residuos. Si a este grupo le sumamos el porcentaje proveniente de fuentes hidráulicas (que también es considerada renovable) llegaríamos hasta el 70,22% de la energía eléctrica total generada por renovables, cogeneración y residuos [3]. La figura 2 muestra la contribución de cada tecnología a la generación total de todo un año durante los últimos cinco años.

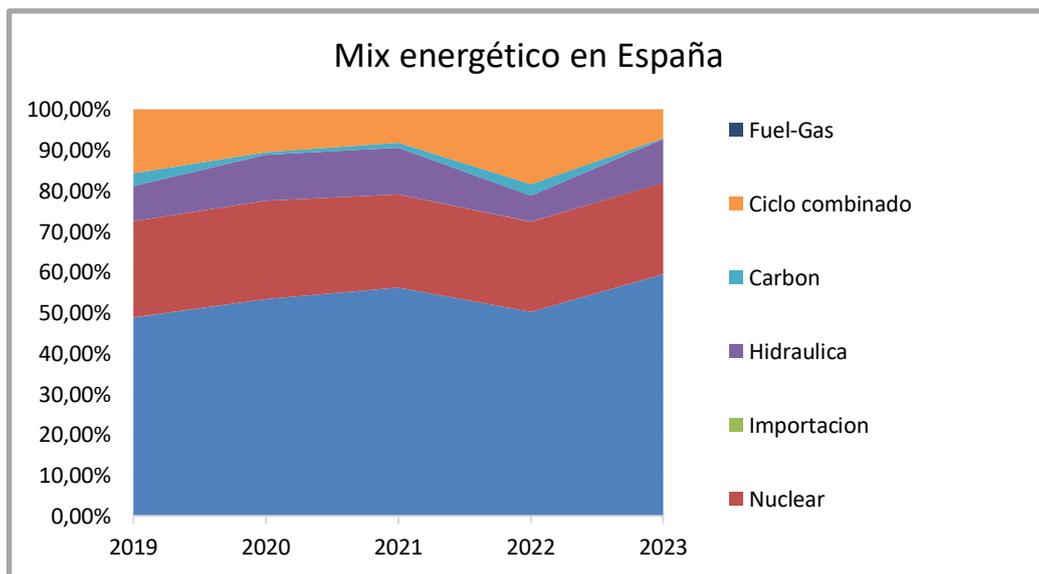


Figura 2: Contribución de cada tecnología al mix energético en España entre 2019 y 2023

Fuente: OMIE

2.1.2 ENERGÍAS RENOVABLES

Por otro lado, la Agencia Internacional de la Energía (IEA) estima los siguientes datos en su “Renewables Annual Report” del año 2023 [4]:

- En 2024 la generación de renovables variables será mayor que la hidroeléctrica.
- En 2025 la generación de renovables superará a la generación de carbón.
- En 2025 La generación de energía eólica superará la generación de nuclear
- En 2026 la generación de solar superará la nuclear.
- En 2028 la generación de solar superará la generación de eólica.

Estos datos son todos referidos a la generación mundial de electricidad de las distintas fuentes de generación. En la siguiente grafica se puede apreciar las estimaciones tomadas por la agencia Internacional de la Energía tomando datos desde el año 2000.

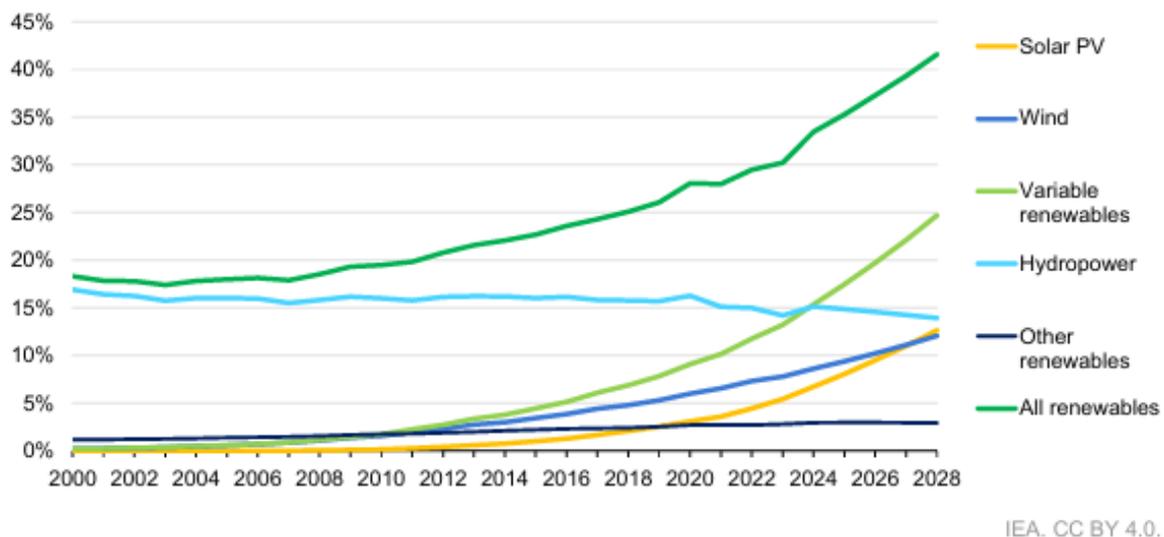


Figura 3. Generación eléctrica por tecnología (IEA Renewables 2023)

Estas estimaciones son de lo más favorable para cumplir con los compromisos que se firmaron en el Acuerdo de París de 2015 donde se concienció a los países de todo el mundo que hay que tomar decisiones de cara a preservar la vida en la tierra tal y como la conocemos. De cara a reducir las emisiones de dióxido de carbono de todo el mundo, las energías renovables fueron señaladas como la solución para este problema y estas estimaciones que

nos muestra la Agencia Internacional de la Energía muestran la progresión que se está viviendo de cara a conseguir ese reto de cero emisiones.

2.1.3 CRISIS ELÉCTRICA EN EUROPA

Europa sigue enfrentándose a una crisis energética debida a una combinación de factores económicos y geopolíticos. La invasión de Ucrania por parte de Rusia en 2022 hizo aumentar las tensiones en el mercado energético ya que muchos países europeos decidieron reducir o eliminar las importaciones de gas ruso, una fuente de energía clave para la región. Para compensar, Europa ha incrementado las importaciones de gas natural licuado (GNL) desde otros países, lo que ha llevado a un aumento del precio por la alta demanda y la oferta limitada. En la figura 4 se puede apreciar este aumento del precio de la electricidad.

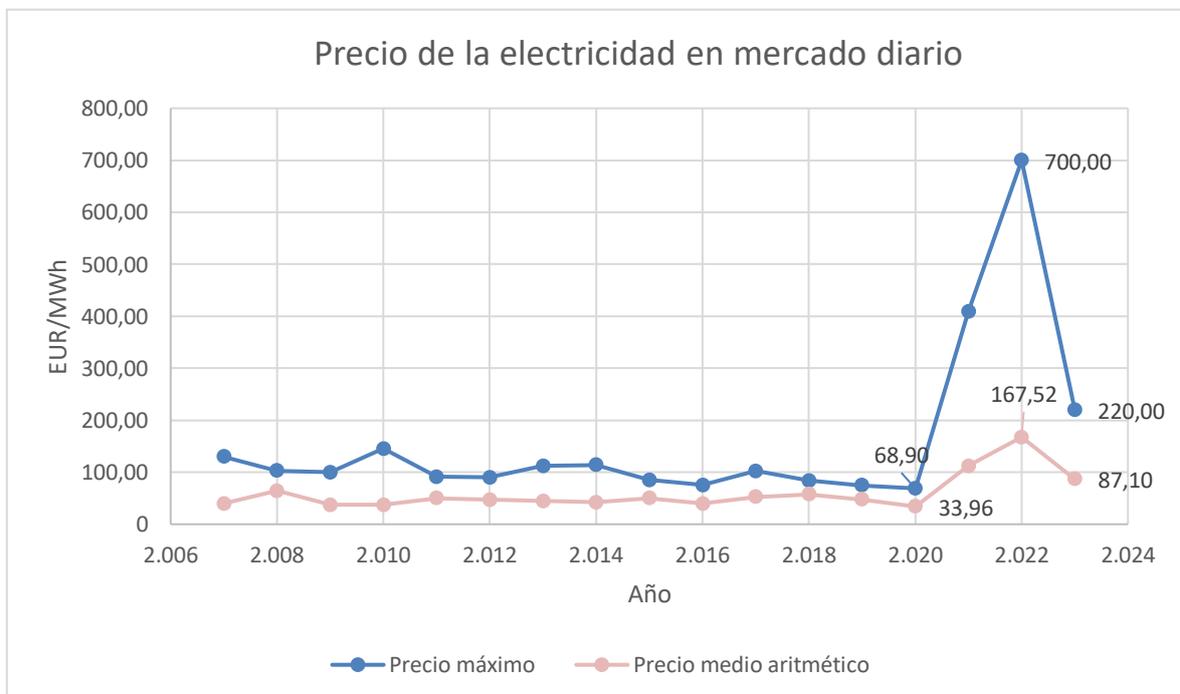


Figura 4. Precio histórico de la electricidad en España [1]

Como se aprecia en la figura 4, el precio comenzó a subir en el año 2021 lo cual se debe al repunte económico que se vivió mundialmente tras la crisis del COVID 19, lo que culminó en una crisis mundial que culminó en el año 2022 con la invasión de Ucrania.

Como respuesta a esta crisis energética, la Unión Europea ha implantado varias medidas, como poner un precio tope al precio del gas para controlar los precios del gas y la electricidad. A nivel europeo también se impulsó el incremento de las energías renovables, se ha retomado el uso de carbón y se ha prolongado la vida útil de algunas centrales nucleares para asegurar el suministro energético.

En España, tras las grandes subidas del precio de la electricidad en el año 2021 con respecto al año anterior (aproximadamente un 300%), el gobierno español intervino en el mercado eléctrico español tomando una serie de medidas de cara a reducir el precio de la electricidad. Se redujo temporalmente el Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA) de la electricidad del 21% al 10%, con la finalidad de reducir el coste para los consumidores; se suspendió el impuesto a la generación eléctrica del 7%; se incrementó la compensación a las renovables con el fin de garantizar un suministro eléctrico más barato (las renovables se venden en el mercado eléctrico a un coste marginal de 0 euros/MWh);

2.1.4 CIERRE DE CENTRALES NUCLEARES

La política energética nuclear en Europa y España refleja una variedad de enfoques que han sido moldeados por factores históricos, económicos y sociales. En Europa, existe una diversidad notable en las estrategias nacionales hacia la energía nuclear. Por ejemplo, Francia es uno de los países más pro-nucleares del mundo, obteniendo aproximadamente el 70% de su electricidad de plantas nucleares. Este enfoque se basa en una larga tradición de inversión en tecnología nuclear, que Francia considera esencial para su seguridad energética y para cumplir con sus objetivos de reducción de emisiones de carbono.

Por otro lado, Alemania presenta un contraste significativo. Tras el desastre de Fukushima en 2011, Alemania decidió eliminar gradualmente la energía nuclear y ha cerrado varias

plantas desde entonces. El país planea cerrar todas sus plantas nucleares para finales de 2022, apostando por una transición energética que prioriza las energías renovables, como la eólica y la solar. Este cambio ha implicado grandes inversiones en infraestructura renovable y un esfuerzo considerable para asegurar la estabilidad de la red eléctrica sin la contribución nuclear.

El Reino Unido adopta una posición intermedia, promoviendo nuevas plantas nucleares como parte de su estrategia para reducir las emisiones de carbono y asegurar una fuente de energía estable. Al mismo tiempo, el Reino Unido también invierte en energías renovables, buscando un equilibrio entre ambas fuentes de energía.

Un aspecto común en toda Europa es la preocupación por la seguridad y la gestión de residuos nucleares. La Comisión Europea ha establecido directrices estrictas para asegurar que los residuos nucleares se manejen de manera segura y que las plantas nucleares operen bajo altos estándares de seguridad. Además, la tecnología de nuevas generaciones de reactores, como los reactores modulares pequeños (SMR), está siendo investigada y desarrollada para mejorar la seguridad y eficiencia de la energía nuclear.

Muchos países europeos consideran la energía nuclear una herramienta crucial para cumplir con los objetivos climáticos del Acuerdo de París. La energía nuclear produce bajas emisiones de carbono en comparación con los combustibles fósiles, y su capacidad para generar electricidad de manera constante y predecible la convierte en una opción atractiva para algunos países.

En España, la política energética nuclear ha tomado un rumbo diferente. Actualmente, alrededor del 20% de la electricidad del país proviene de plantas nucleares, pero no se prevé la construcción de nuevas plantas. En cambio, España ha optado por una política de cierre progresivo de sus plantas nucleares, con planes para dismantelar todos los reactores antes de 2035. La transición energética española se centra en aumentar la capacidad de energías renovables, especialmente la solar y eólica, aprovechando las condiciones climáticas favorables del país.

La política energética nuclear en España está fuertemente regulada. La Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC) y el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) supervisan el sector para asegurar que las operaciones sean seguras y los residuos se gestionen adecuadamente. Las decisiones políticas recientes se han inclinado hacia el desmantelamiento y la gestión de residuos, con un enfoque en la seguridad y la sostenibilidad a largo plazo.

España enfrenta el desafío de gestionar el cierre de sus plantas nucleares sin comprometer la seguridad energética. El incremento en la capacidad de generación de energías renovables es crucial para cubrir la brecha que dejará el cierre de las plantas nucleares. Además, la gestión segura y eficiente de los residuos nucleares a largo plazo sigue siendo un reto importante para el país.

Comparando ambas políticas, es evidente la diversidad de enfoques en Europa. Mientras que Francia sigue comprometida con la energía nuclear, Alemania ha decidido abandonarla, y España se encuentra en un punto intermedio, manteniendo una capacidad nuclear moderada pero con planes de desmantelamiento a largo plazo. Tanto en Europa como en España, hay un fuerte impulso hacia las energías renovables, aunque la velocidad y la escala de esta transición varían. En términos de política y opinión pública, las decisiones energéticas están influenciadas por eventos históricos y la percepción de riesgo, como se vio en Alemania tras Fukushima y en Francia con su cultura técnica y de inversión en tecnología nuclear.

El cierre de las centrales nucleares en España significa una reestructuración muy grande de todo el mercado y por diversos motivos.

- Seguridad energética y suministro

La energía nuclear ha sido básica en el sector energético español, su eliminación significaría la dependencia de otras fuentes como las renovables o el gas. Como ya sabemos las renovables son variables y dependientes de la climatología, lo que implican que a día de hoy no se pueda garantizar el suministro energético solo con estas y depender de otras que

garanticen un suministro constante. Este razonamiento nos lleva, a día de hoy, al uso de combustibles fósiles o al gas natural.

- Económicas

Desde el punto de vista económico, hay que tener en cuenta el coste de desmantelamiento y gestión de residuos que son significativamente costosos. Por otro lado, están todo el personal altamente calificado que trabaja en las centrales nucleares que perdería su puesto de trabajo. El personal de una central nuclear es personal altamente formado lo que en un futuro nos podría llevar a la dependencia futura de otros países para personal y tecnología.

Desde el punto de vista del consumidor, la energía nuclear tiene un coste fijo de funcionamiento muy elevado pero un coste marginal muy bajo, lo que hace que el precio de venta en el mercado diario de electricidad sea bajo. La eliminación de estas fuentes de energía significará un aumento del precio de venta de la electricidad al consumidor.

- Ambientales

La energía nuclear es una fuente de energía baja en carbono. Su eliminación podría reducir las emisiones de gases de efecto invernadero si se sustituye por fuentes fósiles como el gas natural.

- Política y opinión pública

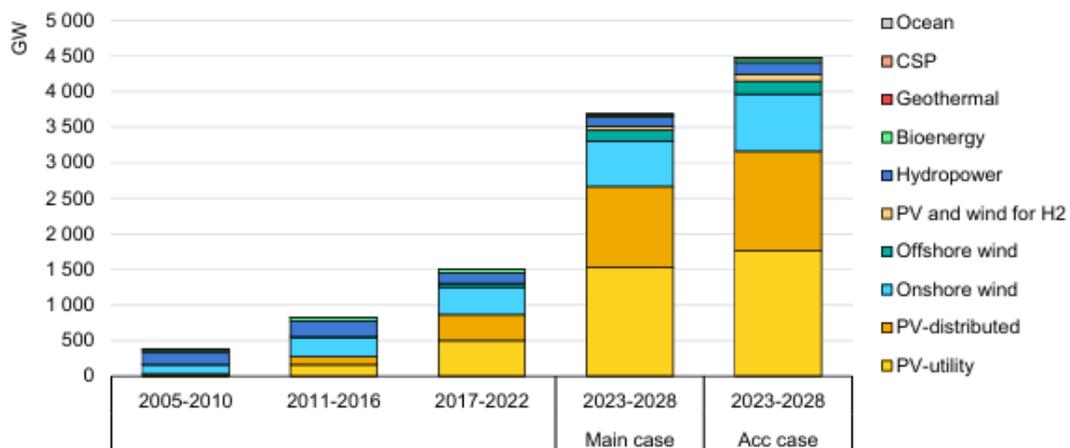
El debate político del cierre de las centrales nucleares es un tema controversial en la política española. Algunos partidos y regiones han perdido que se extienda la vida útil de ciertas plantas argumentando que puede ser una herramienta útil en la transición energética y en la reducción de la dependencia del gas extranjero.

En definitiva, para poder cerrar las centrales nucleares en España se necesita la evolución y el aumento de las fuentes renovables en todo el territorio. De no ser así, estaríamos dependiendo en mayor medida de las importaciones de gas y de agentes externos a nuestra economía como sucedió en Europa en el año 2022.

2.2 AUTOCONSUMO

Las instalaciones de autoconsumo tendrán un impacto muy importante en el futuro. En el último año las instalaciones de autoconsumo han aumentado en un 50 % con respecto al 2022. Esta progresión se espera que continúe aumentando en el futuro hasta llegar a un futuro sin emisión de carbono.

De todas las posibles tecnologías para autoconsumo, la que mayor potencial de crecimiento tiene es la fotovoltaica. Gracias a su rápido crecimiento y escalabilidad en la economía, impulsada por la reducción de costos.



IEA. CC BY 4.0.

Figura 5. Progresión de las energías renovables [4]

Como se puede ver en la figura 5, la evolución de las “PV-distributed” (se refiere a las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo) se espera que sea muy superior comparada con las evoluciones de las otras tecnologías. Para 2028 se espera que la potencia instalada en instalaciones de autoconsumo sea equiparable a la de las centrales solares a gran escala.

Esto en gran medida se debe a los aspectos comentados anteriormente. Según la IEA, del coste de los elementos de una instalación como son los paneles e inversores se ha reducido

drásticamente en la última década y se espera que en los próximos años siga disminuyendo. Esto hará que la energía solar sea más accesible y económica para el autoconsumo.

El informe de La Agencia Internacional de la Energía de 2019 estima que para 2024 la capacidad global de energía fotovoltaica distribuida aumente más de un 250% hasta los 530 GW de potencia. Esto se vería impulsado para la bajada del costo de los elementos de la instalación y la transformación que se está viviendo en los perfiles de consumo. Los comercios e industrias están cambiando hacia un perfil de consumo más diurno, lo que permite mayores ahorros en las facturas de la electricidad.

Por otro lado, muchos países están implementando políticas y regulaciones que favorecen el autoconsumo solar, En Europa y Estados Unidos existen subsidios que hacen que el precio de la inversión sea menor, haciendo el autoconsumo solar más atractivo.

A diferencia de la energía eólica, la energía fotovoltaica es muy flexible para ser instalada en una variedad de lugares, desde techos residenciales hasta instalaciones industriales o comerciales. En cambio los aerogeneradores necesitan de ubicaciones con suficiente viento y espacio suficiente para aerogeneradores.

La energía solar fotovoltaica distribuida destaca como la tecnología de autoconsumo con mayor potencial en el futuro debido a su reducción de costos, rápida escalabilidad, políticas de apoyo, flexibilidad de instalación y avances tecnológicos. Estas características hacen que sea una opción viable y atractiva para una amplia gama de usuarios, desde residenciales hasta comerciales e industriales, en todo el mundo.

2.2.1 MODALIDADES DE AUTOCONSUMO

- Autoconsumo sin excedentes

Son instalaciones de autoconsumo que no tienen la posibilidad de devolver a la red la generación extra realizada por la instalación.

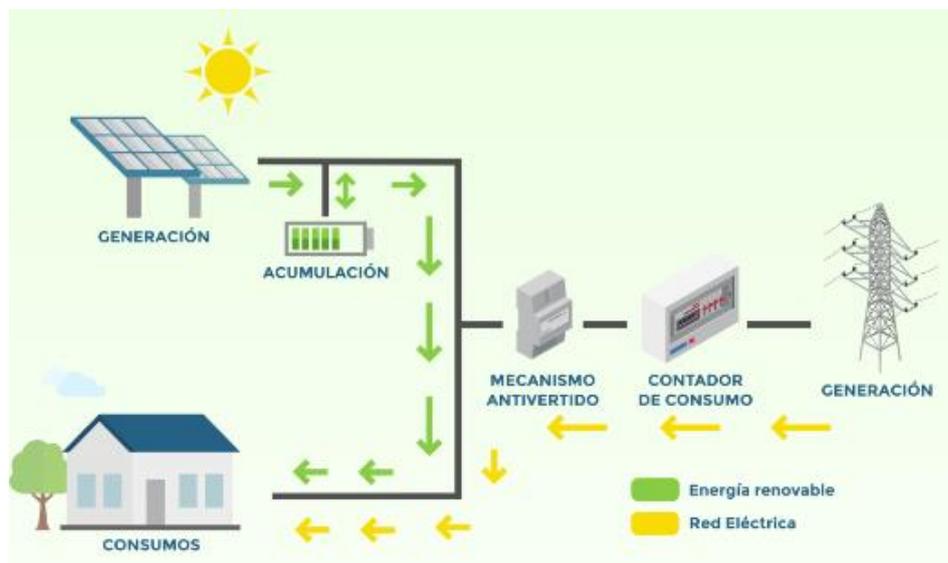


Figura 6. Esquema de autoconsumo sin excedentes

Por tanto, tal y como se muestra en la figura 6, en el momento en el que los paneles generen más potencia de la que se está consumiendo en ese momento en la vivienda, esta energía sobrante no se utilizará ni devolverá a la red.

- Autoconsumo con excedentes

Además de suministrar energía para el autoconsumo pueden inyectar energía a la red con los excedentes de generación.

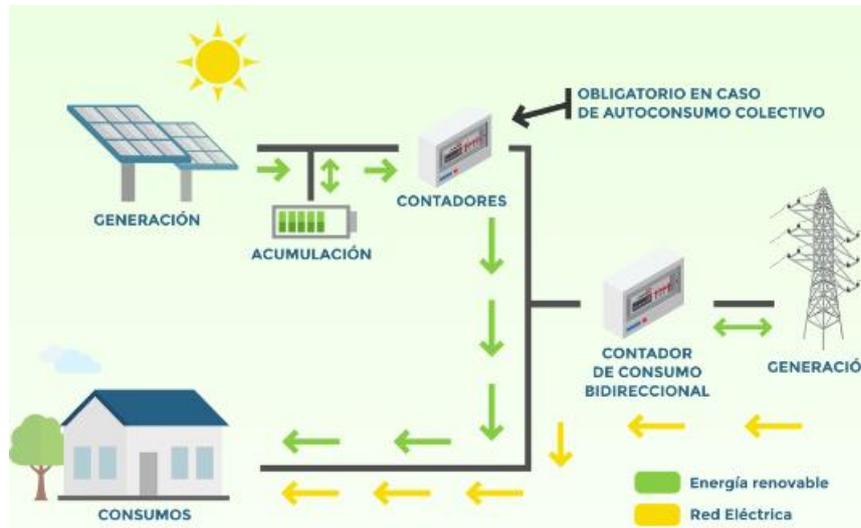


Figura 7. Esquema de autoconsumo con excedentes [5]

El autoconsumo con excedentes puede estar acogido a una compensación o no. El autoconsumo con compensación de excedentes se trata de un acuerdo entre la empresa distribuidora y el cliente con la instalación de autoconsumo en el que el cliente utiliza la energía proveniente del autoconsumo hasta que se gaste y luego usará energía de la red. Posteriormente cuando la generación del autoconsumo sea mayor que el consumo del cliente, se venderá esta energía extra al distribuidor al precio del mercado diario de electricidad. Estos beneficios de la electricidad vendida al distribuidor se materializarán en una reducción de la factura de electricidad en el próximo mes. Para pertenecer a este grupo, la instalación deberá cumplir con todos los siguientes requisitos recogidos en la Guía profesional de Tramitación del Autoconsumo de IDAE [6]:

- a. La fuente de energía de origen ha de ser renovable
- b. La potencia total de la instalación de producción no sea superior a 100 kW
- c. En su caso, el consumidor haya suscrito un único contrato de suministro para el consumo asociado y para consumos auxiliares con una empresa comercializadora.

- d. El consumidor y productor asociado hayan suscrito un contrato de compensación de excedentes de consumo definido en el artículo 14 del Real Decreto 244/2019.
- e. La instalación de producción no esté sujeta a la percepción de un régimen retribuido adicional o específico.

Si no se cumple alguna de estas condiciones, la instalación será categorizada como auto consumo con excedentes no acogida a compensación.

Capítulo 3. ESTUDIO DE LA VIVIENDA

En este capítulo hablaremos de las necesidades históricas de la vivienda para que la instalación sea capaz de satisfacer sus necesidades. Por otro lado hablaremos de las características de la vivienda en cuanto a la ubicación física y la incidencia de luz que recibe.

3.1 NECESIDADES DE LA VIVIENDA

Se han analizado los consumos de la vivienda durante los últimos cuatro años de cara a estimar la potencia necesaria a instalar. A continuación se muestra en la figura 6 los datos ordenados del consumo de la vivienda en kWh.

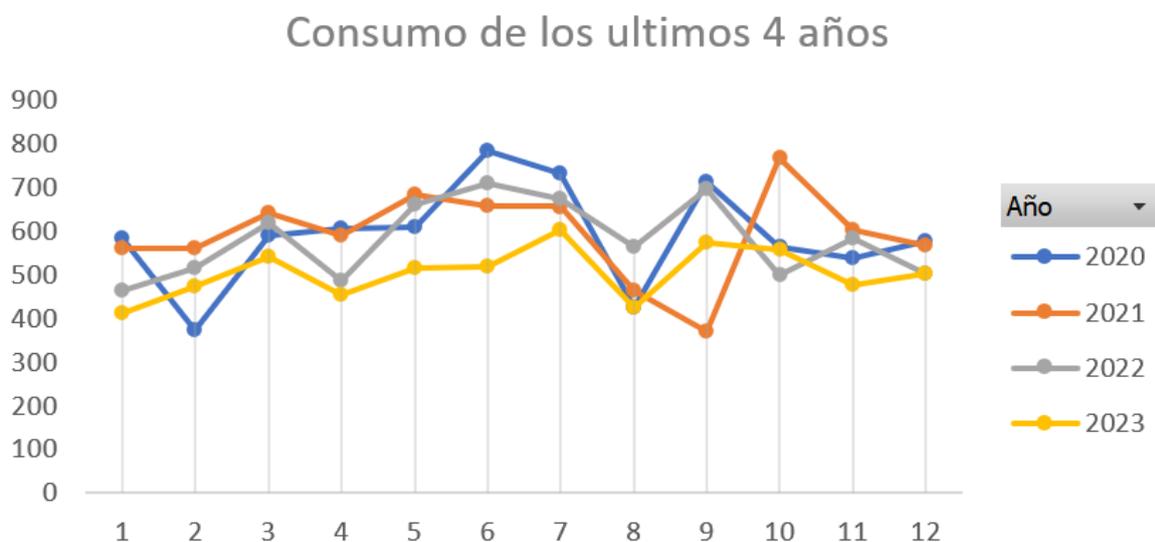


Figura 8. Consumo de los últimos 4 años

Como se puede apreciar en la figura 8, el consumo de la vivienda sigue la misma distribución a lo largo de los años. En la figura 7 analizamos el consumo en promedio de los últimos 4 años.

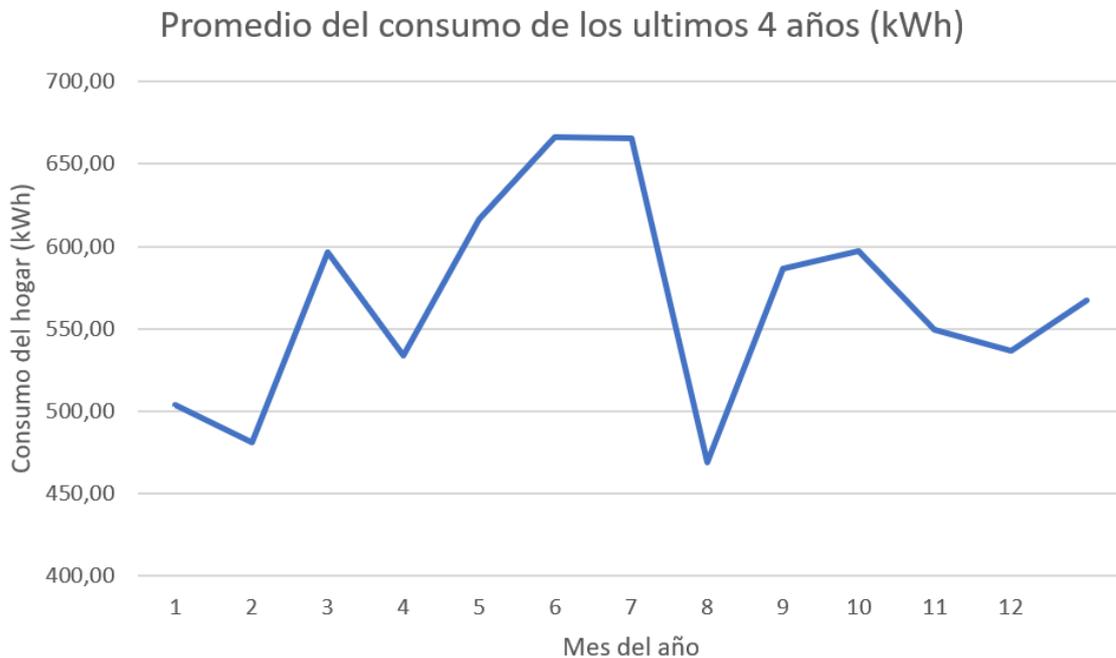


Figura 9. Promedio del consumo de los últimos 4 años

Como se muestra en la figura 9, el consumo de la vivienda alcanza sus máximos anuales en los meses de mayo, junio y julio. La razón de estos máximos se debe al uso de la depuradora, ventiladores y riego del jardín, ya que al ser hemisferio norte, durante estos meses nos encontramos en el verano. Cabe también destacar el mínimo que nos encontramos en el mes de agosto debido a las vacaciones de verano. A pesar de que la familia no esté, el consumo no llega a ser nulo por el uso de ciertos electrodomésticos que se mantienen operativos durante las vacaciones.

Estos resultados son de lo más prometedores a la hora de instalar paneles fotovoltaicos en la vivienda, ya que los meses de mayor generación (más horas de sol al día) son estos meses de verano (desde mayo hasta septiembre).

Por otro lado, analizando la potencia que deberíamos instalar de paneles, sería el equivalente a la media anual de consumo, la cual se encuentra en torno a los 5 kW.

3.2 UBICACIÓN DE LA VIVIENDA

La vivienda se encuentra en el noroeste de Madrid. A 10 kilómetros del centro de la ciudad en un barrio residencial. La orientación de la fachada es sur y sin ningún obstáculo que impide la directa incidencia de los rayos solares. Estas son características idóneas a la hora de planificar la instalación de paneles solares en el hemisferio norte (orientación sur y sin obstáculo que genere sombra sobre la superficie).

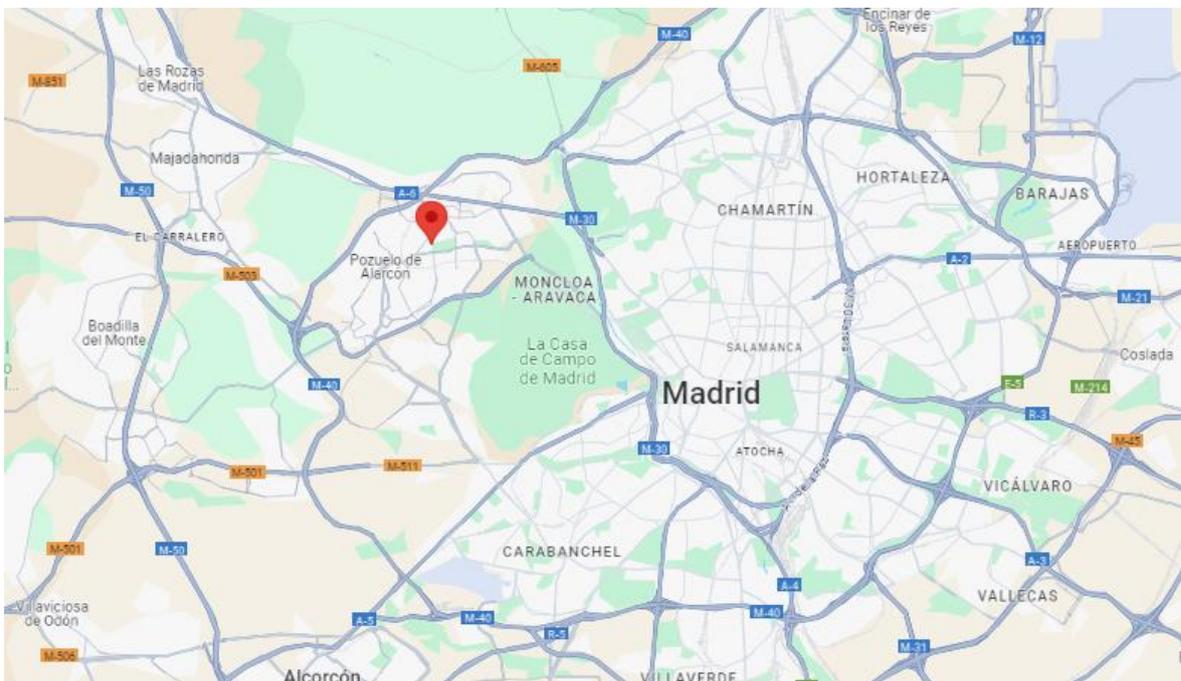


Figura 10. Ubicación de la vivienda en Madrid

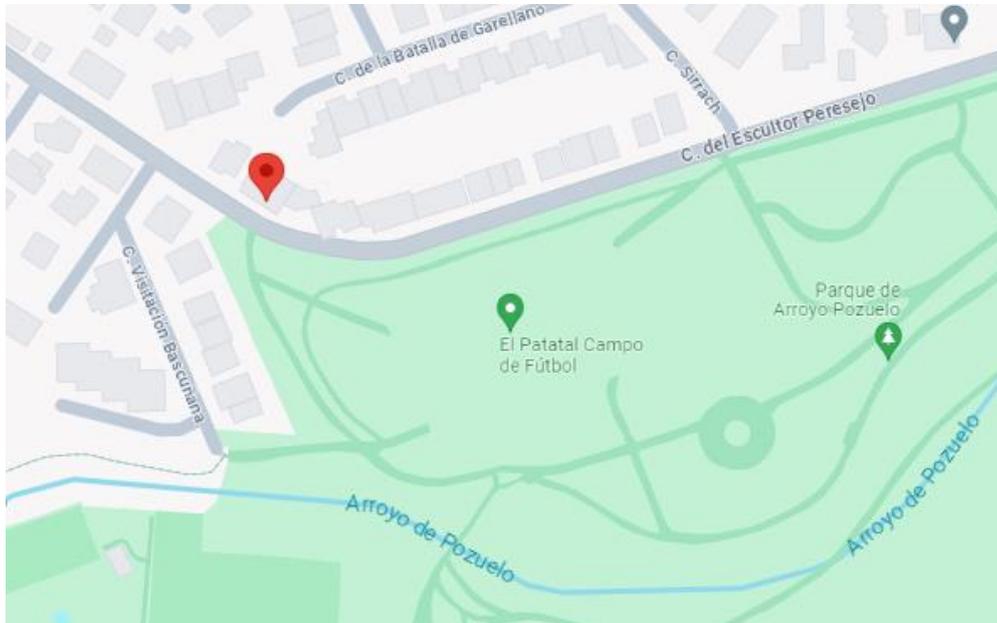


Figura 12. Ubicación de la vivienda y alrededores



Figura 11. Captura Google Earth de la vivienda

Como se puede observar en la figura 9, el tejado (que es el lugar donde se instalarán los paneles solares) se encuentra en orientación sur y sin obstáculos. Condiciones idóneas para la instalación.

En la figura 13 podemos apreciar como varía la inclinación del sol durante el año en las coordenadas de la instalación.

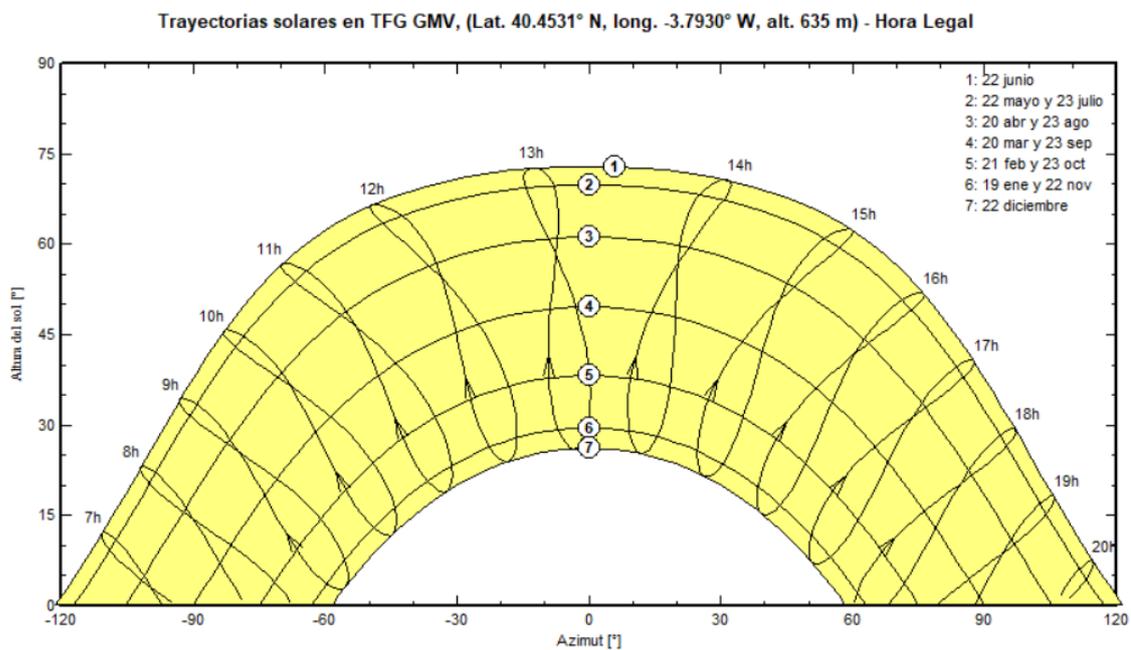


Figura 13. Trayectoria solar en las coordenadas del proyecto según PVSystem

En la figura se aprecian 7 curvas, cada una referida a una temporada del año. Por las condiciones geográficas de la instalación, el sol no llega en ningún periodo del año a una inclinación de 90° con respecto a la instalación. Estas características geográficas de Madrid habrá que tenerlas en cuenta a la hora de diseñar la instalación, y en especial a la hora de diseñar la inclinación de los módulos fotovoltaicos.

Es de gran importancia diseñar adecuadamente la inclinación de los paneles, ya que si no se orientan adecuadamente, se podrían desaprovechar muchas horas de sol que son vitales cuando se trata de una instalación de autoconsumo con un espacio reducido de la instalación.

Capítulo 4. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

4.1 JUSTIFICACIÓN

En este capítulo analizaremos los diferentes elementos necesarios en la instalación. Como se ha comentado en los capítulos anteriores, el proyecto consiste en la implementación de una instalación fotovoltaica en el techo de la vivienda. Con esta instalación se buscará la reducción de la energía eléctrica consumida de la red, sustituyéndola por energía renovable proveniente de la instalación fotovoltaica.

A continuación comenzaremos describiendo los elementos necesarios en la instalación solar fotovoltaica destinada al autoconsumo.

4.2 ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

Generalmente las instalaciones fotovoltaicas para el autoconsumo están formadas por dos elementos los módulos o paneles fotovoltaicos y los inversores. Dependiendo de las necesidades de consumo de la vivienda, se pueden añadir un tercer elemento a la instalación que serían las baterías para almacenar la energía y usarla en los momentos en los que no sea posible generar la energía (ya sea porque es de noche o porque es un día nublado).

Una instalación fotovoltaica tiene diferentes partes. Por un lado tenemos las dos partes que toda instalación fotovoltaica debe tener. Ya sea con excedentes o sin excedentes, todas las instalaciones deben tener los módulos fotovoltaicos y los inversores. Por otro lado, se puede añadir otro elemento que son las baterías. Dependiendo del consumo del hogar pueden ser rentables o no. En el siguiente capítulo analizaremos la rentabilidad de las diferentes casuísticas a las que nos enfrentamos.

4.2.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Los módulos o paneles fotovoltaicos son dispositivos diseñados para transformar la energía proveniente de la luz solar en electricidad. Esta transformación se consigue en las células fotovoltaicas a través del efecto fotovoltaico. Los paneles solares están formados por células fotovoltaicas, que captan y transforman la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica.

Las células fotovoltaicas están formadas por dos semiconductores con cargas opuestas. En cuanto los fotones provenientes del sol entran en contacto con el semiconductor cargado positivamente, este libera electrones que son captados por el lado negativo del otro semiconductor. De esta forma se crea una diferencia de potencial entre los semiconductores que se transforma en energía eléctrica.

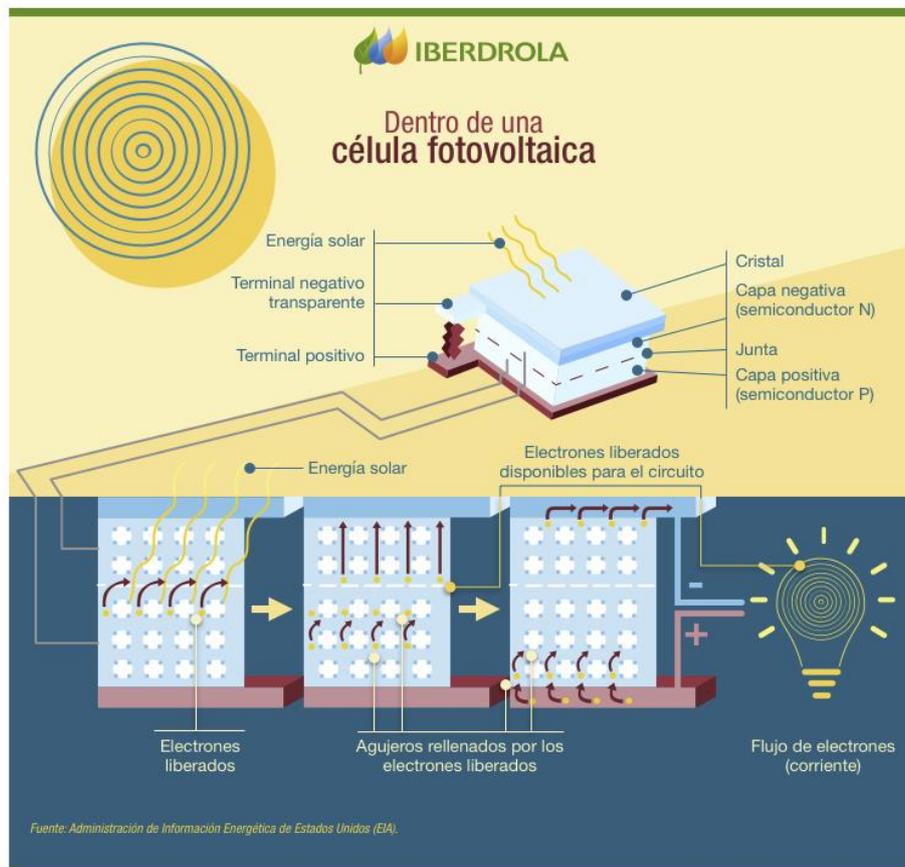


Figura 14. Célula fotovoltaica [7]

Una de las características más importantes por las que se diferencian los tipos de paneles es la eficiencia de conversión de la energía solar. Esta eficiencia se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia} = \left(\frac{\text{Energía generada}}{\text{Irradiación}} \right) * 100$$

Donde:

$$\text{Energía generada} \left[\frac{W}{m^2} \right] = \frac{W[\text{Watts}]}{A[m^2]} = \frac{V * I}{A[m^2]}$$

$$\text{Irradiación} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Siendo A el área del panel y V la tensión nominal del panel.

La mayoría de las células fotovoltaicas son de silicio, debido a su abundancia en la naturaleza y a su capacidad de absorber luz solar. La mayoría de los paneles que nos encontramos en el mercado están formados por células de tres tipos: células de silicio amorfo, policristalino y monocristalino.

➤ Paneles de silicio amorfo.

Los paneles están formados por una fina capa de silicio no cristalino que se deposita en superficies delgadas. Sus características permiten ser construidas en superficies flexibles y ligeras como pueden ser el vidrio o el plástico. Tienen una baja eficiencia (6-10%). Debido a estas características, se suelen usar para calculadoras, relojes y algunas aplicaciones integradas en la edificación.

➤ Paneles de silicio policristalino

Cada célula fotovoltaica está formada por múltiples cristales de silicio. Este tipo de panel es menos costoso de producir pero tiene una eficiencia menor que la de los paneles de silicio monocristalino (13-17%).

➤ Paneles de silicio monocristalino

Estas células fotovoltaicas están hechas de un solo cristal de silicio. Se caracterizan por ser más eficientes (15-20%) y con una mayor vida útil que los anteriores pero con un precio mayor. Estos paneles se suelen utilizar para instalaciones residenciales y comerciales de alta eficiencia.

**TIPOS DE
PANELES SOLARES**



Figura 15. Tipos de células fotovoltaica [8]

4.2.1.1 Fabricantes de paneles

A continuación se enumeran cinco fabricantes de paneles solares con distintas características de cara a elegir el más adecuado para la instalación en cuestión.

Fabricante	Tipos de paneles	Eficiencia (%)	Costo (€/W)	Vida útil (años)	Potencias disponibles (W)
First Solar	Teluro de cadmio (CdTe)	14-18	0,3-0,5	25-30	50-450
SunPower	Monocristalinos	20-22	2,8-3,5	25-40	320-450
Canadian Solar	Monocristalinos y policristalinos	15-20	0,7-1,1	25-30	280-400
JinkoSolar	Monocristalinos y policristalinos	16-21	0,5-0,8	25-30	270-450
Trina Solar	Monocristalinos y policristalinos	15-21	0,6-1	25-30	280-450

Tabla 2. Fabricantes de paneles solares [18]

Los paneles con alta eficiencia son preferidos para maximizar la producción de energía, especialmente en áreas de espacios limitados. El balance entre el costo inicial de la instalación y el costo a largo plazo también es crucial. En este aspecto también entra la vida útil de los paneles.

Analizando los datos de la tabla 2 sacamos las siguientes conclusiones:

- ❖ SunPower es ideal para instalaciones que buscan la máxima eficiencia y durabilidad. Perfecto para instalaciones con espacio limitado.
- ❖ Canadian Solar y JinkoSolar son dos de los fabricantes más extendidos en el mundo. Ambas son excelentes opciones para quienes buscan un equilibrio entre costo y rendimiento. Son las opciones más populares y confiables.
- ❖ Por último Trina Solar también es una opción fuerte, con buenos precios y eficiencia pero con menos experiencia en el mercado.

En el siguiente capítulo analizaremos las opciones de Canadian Solar y JinkoSolar para elegir la más adecuada para nuestra instalación. En la simulación que se ha realizado, el módulo fotovoltaico que se ha utilizado es el JKM-440N-54HL4R-BDV del fabricante Jinkosolar.

4.2.2 INVERSORES

Los inversores solares son dispositivos cruciales en los sistemas fotovoltaicos, ya que convierten la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA), que es la forma de electricidad utilizada en la mayoría de los hogares y empresas. Existen varios tipos de inversores solares en el mercado, cada uno adecuado para diferentes aplicaciones y necesidades. A continuación, se describen los principales tipos de inversores solares:

➤ Inversores de Cadena (String Inverters)

Son los más comunes y económicos. Conectan múltiples paneles solares en serie para formar una cadena. Son principalmente usados en instalaciones de tamaño medio. Tienen una eficiencia alta ideales para instalaciones residenciales y comerciales con un sombreado y orientación uniforme, ya que pierde eficiencia si un panel esta parcialmente sombreado o sucio.

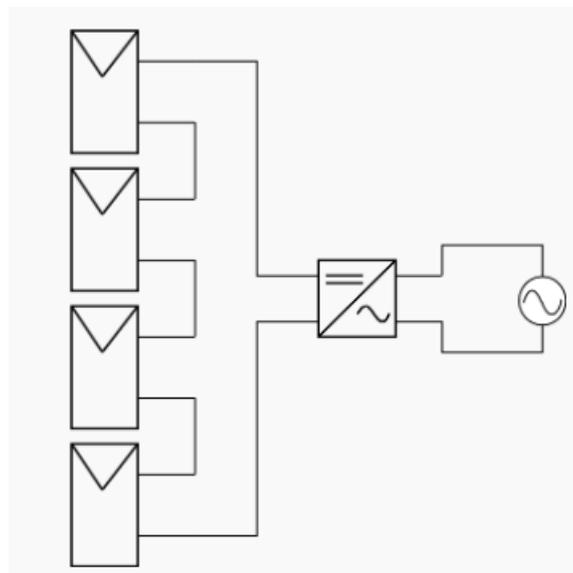


Figura 16. Inversores String [9]

➤ Microinversores

Cada panel solar tiene su propio inversor, lo que permite la transformación de CC a CA en el propio panel. Permite monitorizar y optimizar individualmente cada panel. Al contrario del inversor anterior, es ideal para instalaciones con sombras parciales o diferentes orientaciones.



Figura 17. Microinversor [9]

➤ Inversor Central

Utilizados en grandes instalaciones solares, permiten conectar múltiples cadenas de paneles solares. Tienen una alta capacidad y eficiencia y no son los más adecuados para sistemas pequeños.

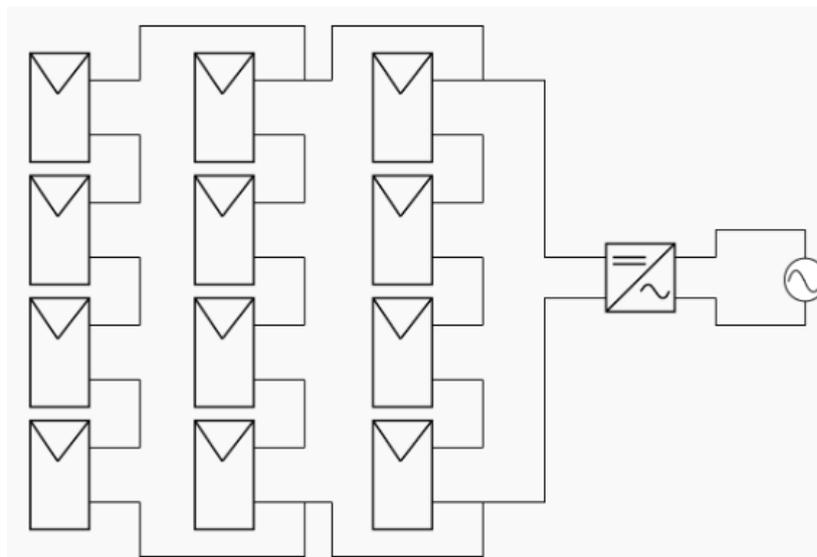


Figura 18. Inversor central [9]

➤ Inversores híbridos

Estos inversores combinan las funciones de inversor solar e inversor de batería. Son capaces de gestionar la energía de paneles solares, baterías y la red eléctrica. Esta característica hace posible el almacenamiento de energía y su uso posterior en periodo de baja generación solar. La principal desventaja es el mayor costo inicial de la instalación.

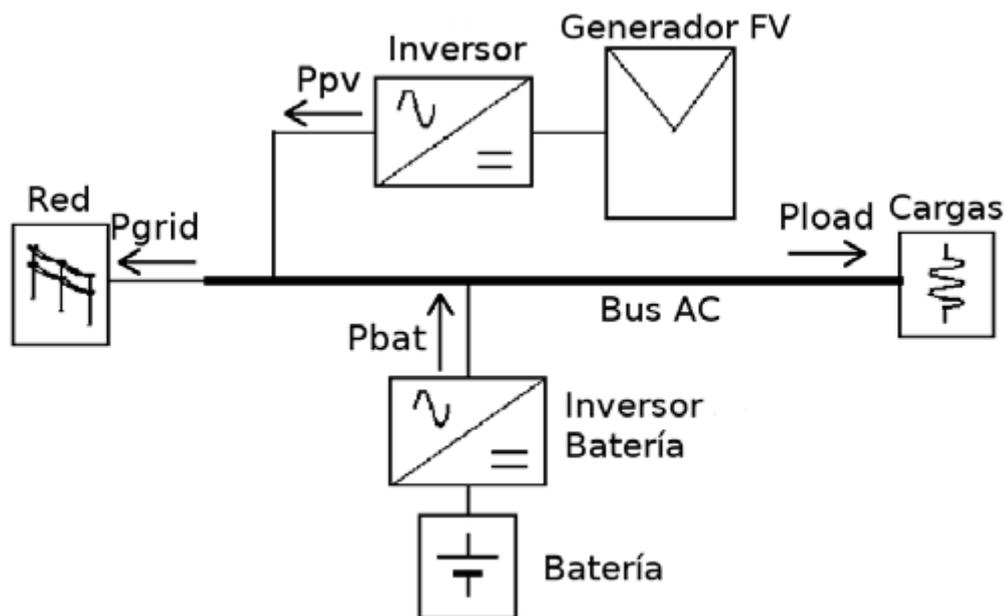


Figura 19. Inversor híbrido [10]

4.2.2.1 Fabricantes de inversores

A continuación se analizarán los fabricantes de inversores solares más extendidos en el mercado mundial. Nos centraremos en una serie de rasgos que se consideran de gran importancia a la hora de elegir el inversor adecuado para nuestra instalación como puede ser la relación calidad-precio, tecnología y rango de potencia que permiten.

Fabricante	Tipos de inversores	Costo (€/W)	Vida útil (años)	Potencias disponibles (kW)
Huawei	De cadena (String)	0,2-0,3	20-25	2-100
	Híbridos	0,25-0,35		
Sungrow	De cadena (String)	0,15-0,25	20-25	2-125
	Centrales	0,1-0,2		
	Híbridos	0,2-0,3		
Growatt	De cadena (String)	0,12-0,22	15-20	1-80
	Híbridos	0,18-0,28		

Tabla 3. Fabricantes de inversores [10]

Lo primero que hay que elegir es el tipo de inversor que elegimos. Si nuestra intención es añadir baterías a nuestra instalación tenemos que elegir un inversor híbrido. Este inversor nos permite combinar las dos formas de inversor (solar y batería). Por otro lado, si no se busca instalar baterías en la instalación, al ser de autoconsumo y tener un tamaño reducido, lo más aconsejable sería un inversor de cadena (String) antes que uno central que está más pensado para plantas fotovoltaicas de mayor tamaño. Por tanto lo primero que hay que analizar es si usaremos o no baterías.

Por otro lado, el rango de potencias disponibles de los tres fabricantes se encuentran en el rango que estamos buscando, por lo que no será un factor determinante. En cambio, la vida útil del inversor sí que nos afecta. En este aspecto el fabricante Growatt nos marca una vida útil 5 años menor que los otros dos fabricantes.

El costo y la fiabilidad de los inversores es otro aspecto a tener en cuenta [11]. Como hemos comentado, el inversor es un elemento clave en la instalación fotovoltaica. Si el inversor

falla o funciona mal, hará que toda la instalación funcione mal, y al solo haber uno en la instalación la fiabilidad toma especial importancia. En términos de calidad destacan dos fabricantes por su experiencia en el mercado: Huawei y Sungrow. Entre los dos acumulan el 44% del mercado global de inversores solares [10].

Por último cabe destacar la avanzada tecnología de los inversores Huawei y sus funciones de AI que integran en los mismos, estudiando y aprendiendo del consumo de la vivienda y de esta manera optimizando el uso de la instalación. El inversor que se ha empleado en la simulación de la instalación es el inversor SUN2000-4KTL-L1 de Huawei Technologies.

4.2.3 BATERÍAS

En cuanto a la posibilidad de instalar baterías vamos a analizar los precios, potencias y vida útil de los principales fabricantes a nivel mundial de baterías de iones de litio. Se ha elegido esta batería por ser la más adecuada para el uso residencial debido a su alta eficiencia, vida útil y menor necesidad de mantenimiento. Analizando el mercado encontramos los siguientes fabricantes de baterías [12]:

Fabricante	Tipos de batería	Eficiencia (%)	Costo (€)	Vida útil (años)	Energía (kWh)
Tesla	NMC	90-92	6500-7000	10-15	13,5
LG Chem	NMC	95-97	5000-7000	10-15	3,3-13,1
BYD	LiFePO ₄	95-98	4000-8000	10-15	3,5-14
Huawei	LiFePO ₄	95-98	3000-5000	10-15	5-15

Tabla 4. Fabricantes de baterías [12]

De las baterías anteriores por precio y rangos de potencia la más adecuada sería la batería de Huawei. La eficiencia de todas las baterías es muy similar, lo que no nos condiciona esta decisión.

Por otro lado, el material del que está hecha la batería condiciona bastante la elección. Las baterías NMC están en desarrollo con unas expectativas a futuro muy buenas, pero a día de hoy son menos fiables que las de litio.

Por lo que la elección de la batería se ha hecho teniendo en cuenta el costo de la compra y el material del que está hecho la batería.

Por otro lado, los últimos años ha surgido un concepto nuevo de batería: la batería virtual. Es un concepto innovador que permite a los propietarios de sistemas solares aprovechar al máximo la energía generada por sus paneles sin la necesidad de instalar una batería física en su hogar. En una instalación solar tradicional, los paneles solares generan electricidad a partir de la luz solar, y esta energía se puede usar inmediatamente para satisfacer las necesidades eléctricas del hogar. Sin embargo, durante el día, cuando la generación es máxima y el consumo del hogar puede ser menor, se produce un excedente de energía.

En lugar de desperdiciar este excedente, en una configuración con batería virtual, la energía sobrante se envía a la red eléctrica. Aquí es donde entra en juego la batería virtual: la energía excedente que se envía a la red se convierte en créditos de energía para el propietario del sistema solar. Estos créditos son esencialmente un valor económico registrado por la compañía eléctrica, que se pueden utilizar más adelante para compensar el consumo de energía del hogar.

Por ejemplo, durante la noche o en días nublados, cuando los paneles solares no generan suficiente energía, el hogar necesita consumir electricidad de la red. En lugar de pagar por esta electricidad, el hogar puede utilizar los créditos acumulados previamente. Al final del período de facturación, la compañía eléctrica calcula el balance entre la energía consumida de la red y los créditos por la energía excedente enviada a la red. Si los créditos acumulados son suficientes para cubrir el consumo, la factura de electricidad puede ser muy baja o incluso nula.

Una de las principales ventajas de la batería virtual es que elimina la necesidad de adquirir e instalar baterías físicas, que suelen ser costosas y requieren mantenimiento. Además, las baterías físicas tienen una vida útil limitada, mientras que una batería virtual no enfrenta estos problemas. Otra ventaja significativa es la flexibilidad que ofrece, permitiendo a los usuarios beneficiarse de la energía solar generada durante el día, incluso si no están en casa para usarla inmediatamente.

En el caso concreto de nuestra instalación fotovoltaica, se utilizará este concepto de batería para realizar la simulación. Gracias a su flexibilidad de usos sin necesidad de ningún desembolso económico lo hace ideal para instalaciones de autoconsumo.

4.3 GENERACIÓN TOTAL DE INSTALACIÓN

Para simular la generación total de la planta teniendo en cuenta todo lo hablado en los apartados anteriores, vamos a utilizar el software PVsyst para realizar un análisis de la viabilidad y el rendimiento de un sistema fotovoltaico en una vivienda especificada. PVsyst es una herramienta líder en el sector de la energía solar, conocida por su capacidad para proporcionar simulaciones precisas y detalladas que abarcan diversos aspectos técnicos y económicos de las instalaciones solares fotovoltaicas. A través de este análisis, buscaremos optimizar el diseño y la implementación del sistema fotovoltaico, asegurando su máxima eficiencia y rentabilidad. Para lograr esto debemos abordar varios aspectos clave.

4.3.1 EVALUACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

Utilizaremos bases de datos meteorológicas para obtener información precisa sobre la radiación solar disponible en la ubicación específica de la vivienda. Analizaremos la variabilidad estacional de la radiación para comprender mejor los patrones de producción de energía solar a lo largo del año.,

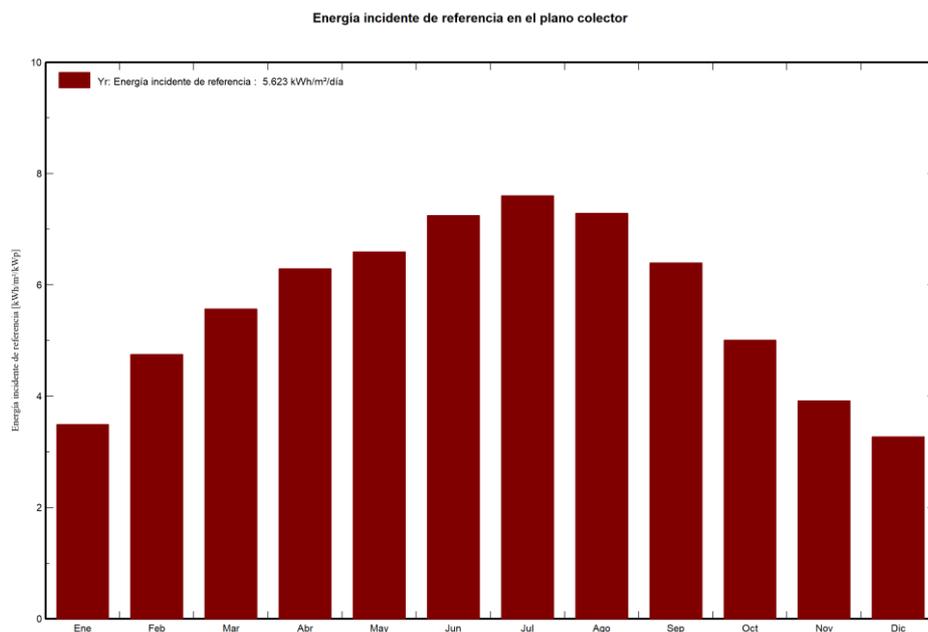


Figura 20. Irradiación en las coordenadas de la vivienda (pvSyst)

En la figura 20 se muestra la energía incidente en las coordenadas de la instalación. Como era de esperar, la radiación que recibe la instalación es mucho mayor en los meses de verano que en los del resto del año. En este caso, al estar ubicada en el hemisferio norte, los meses de mayor radiación son de mayo a septiembre.

Coordenadas geográficas

☀ Recorridos solares

Decimal Grad. Min. Seg.
 Latitud 40.4531 [°] 40 27 11 (+ = Norte, - = Hemisferio Sur)
 Longitud -3.7930 [°] -3 47 34 (+ = Este, - = Oeste de Greenwich)

Altitud 635 M por encima del nivel del mar

Zona horaria 1.0 Corresponde a una diferencia promedio
 Hora Legal - Hora Solar = 1h 15m

Obtener del nombre ?

Figura 21. Coordenadas geográficas de la vivienda (PVsyst)

Sito: **Colonia Alta (España)**

Fuente de datos: Meteonorm 8.1 (1996-2015)

	Irradiación horizontal global	Irradiación difusa horizontal	Temperatura	Velocidad del viento	Turbidez Linke	Humedad relativa
	<small>kWh/m²/mes</small>	<small>kWh/m²/mes</small>	<small>°C</small>	<small>m/s</small>	<small>[]</small>	<small>%</small>
Enero	65.9	29.2	5.7	2.70	2.441	72.1
Febrero	89.5	30.9	7.2	3.20	2.586	64.7
Marzo	137.9	45.1	10.8	3.50	2.949	56.4
Abril	171.2	63.3	13.3	3.39	2.979	55.3
Mayo	207.0	64.7	18.3	2.99	3.106	48.6
Junio	230.0	59.5	23.8	3.10	3.096	38.3
Julio	243.4	55.7	27.2	3.11	2.876	32.3
Agosto	212.9	50.1	26.6	3.00	2.952	35.0
Septiembre	158.2	47.9	21.6	2.60	2.890	44.2
Octubre	111.9	38.2	16.3	2.49	2.799	57.5
Noviembre	73.1	28.0	9.6	2.80	2.565	68.4
Diciembre	58.2	23.2	6.4	2.39	2.464	73.1
Año	1759.2	535.8	15.6	2.9	2.809	53.8

Irradiación horizontal global variabilidad año a año 4.5%

Datos requeridos

Irradiación horizontal global

Temperatura ext. promedio

Datos adicionales

Irradiación difusa horizontal

Velocidad del viento

Turbidez Linke

Humedad relativa

Unidades de irradiación

kWh/m²/día

kWh/m²/mes

MJ/m²/día

MJ/m²/mes

W/m²

Índice de claridad KT

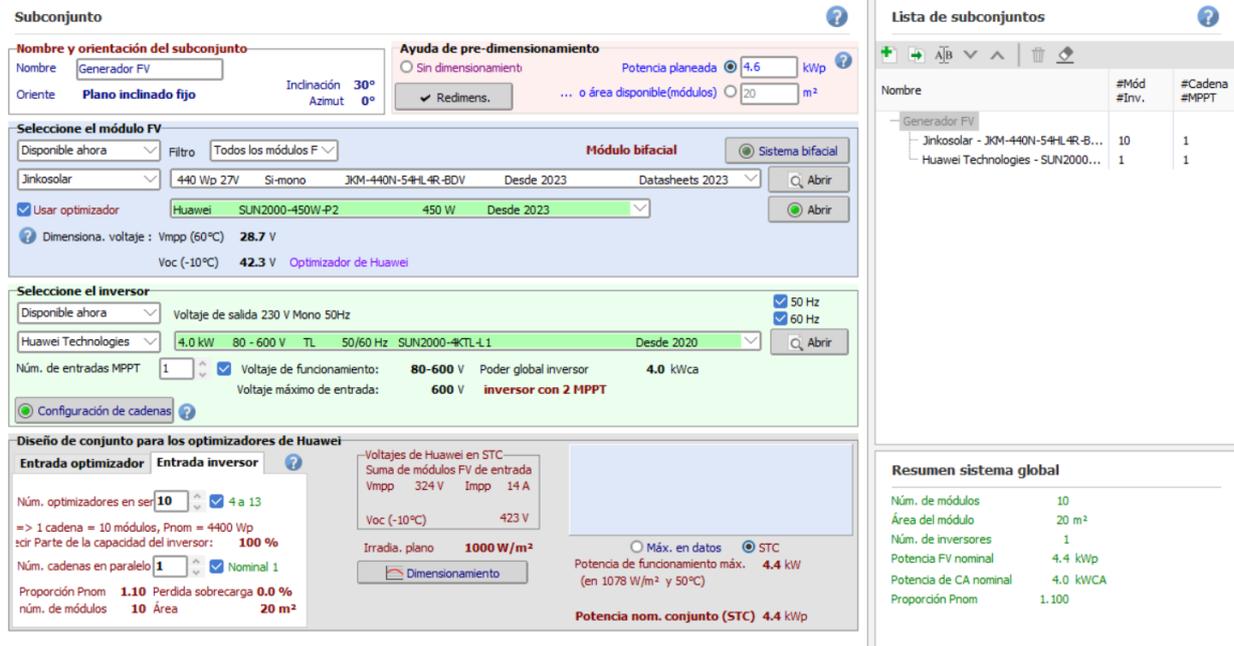
📁 Importar
📄 Exportar línea
📄 Exportar tabla
➕ Nuevo sitio
🖨 Imprimir
✖ Cancelar
🏠 OK

Figura 22. Condiciones ambientales de la localización (PVsyst)

Tras introducir las coordenadas de la instalación, PVsyst nos proporciona datos de la irradiación, temperatura y otros aspectos a tener en cuenta como la turbidez del ambiente y la humedad relativa. Estos datos se muestran en la figura 22 y nos dan una primera impresión de las características de la zona.

4.3.2 SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE EQUIPOS

Seleccionaremos módulos fotovoltaicos e inversores adecuados, basándonos en las características técnicas y la eficiencia de estos equipos. PVsyst nos permitirá simular diferentes configuraciones de paneles e inversores para identificar la combinación óptima.



Subconjunto

Nombre y orientación del subconjunto
Nombre: Generador FV
Orientación: Plano inclinado fijo
Inclinación: 30°
Azimut: 0°

Ayuda de pre-dimensionamiento
Potencia planeada: 4.6 kWp
... o área disponible (módulos): 20 m²

Seleccione el módulo FV
Filtro: Todos los módulos FV
Módulo bifacial
Sistema bifacial
Jinkosolar 440 Wp 27V Si-mono JKM-440N-54HL4R-BDV Desde 2023 Datasheets 2023
Usar optimizador Huawei SUN2000-450W-P2 450 W Desde 2023
Dimensiona. voltaje: Vmpp (50°C) 28.7 V
Voc (-10°C) 42.3 V Optimizador de Huawei

Seleccione el inversor
Voltaje de salida 230 V Mono 50Hz
Huawei Technologies 4.0 kW 80 - 600 V TL 50/60 Hz SUN2000-4KTL-L1 Desde 2020
Núm. de entradas MPPT 1 Voltaje de funcionamiento: 80-600 V Poder global inversor 4.0 kWca
Voltaje máximo de entrada: 600 V **inversor con 2 MPPT**

Diseño de conjunto para los optimizadores de Huawei
Entrada optimizador Entrada inversor
Núm. optimizadores en serie 10 4 a 13
=> 1 cadena = 10 módulos, Pnom = 4400 Wp
Porcentaje de la capacidad del inversor: 100 %
Núm. cadenas en paralelo 1 Nominal 1
Proporción Pnom 1.10 Pérdida sobrecarga 0.0 %
núm. de módulos 10 Área 20 m²

Voltajes de Huawei en STC
Suma de módulos FV de entrada
Vmpp 324 V Imp 14 A
Voc (-10°C) 423 V
Irradia. plano 1000 W/m²
Potencia de funcionamiento máx. 4.4 kW (en 1078 W/m² y 50°C)
Potencia nom. conjunto (STC) 4.4 kWp

Lista de subconjuntos

Nombre	#Mód #Inv.	#Cadena #MPPT
Generador FV		
Jinkosolar - JKM-440N-54HL4R-B...	10	1
Huawei Technologies - SUN2000...	1	1

Resumen sistema global

Núm. de módulos	10
Área del módulo	20 m²
Núm. de inversores	1
Potencia FV nominal	4.4 kWp
Potencia de CA nominal	4.0 kWCA
Proporción Pnom	1.100

Figura 23. Selección de paneles e inversores (PVsyst)

Como se muestra en la figura 21, los módulos fotovoltaicos escogidos son los: JKM-440N-54HL4R-BDV del fabricante Jinkosolar. Como se puede ver en la figura 23, se emplearán 10 paneles solares de este modelo y 1 inversor que se comentara más adelante.

La potencia total de la instalación será de 4,4 kWp y se cubrirá un área aproximada de 20 m². Como veremos más adelante, esta potencia es suficiente para abastecer las necesidades de la vivienda.

Módulo FV: Jinkosolar, JKM-440N-54HL4R-BDV

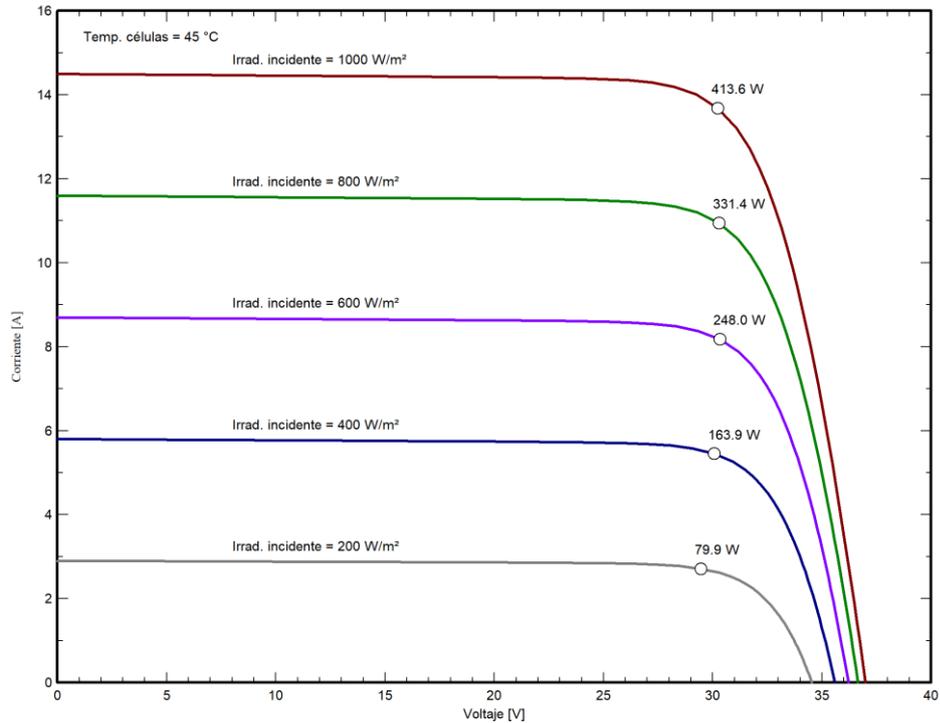


Figura 24. Generación del panel en función de la irradiación

Módulo FV: Jinkosolar, JKM-440N-54HL4R-BDV

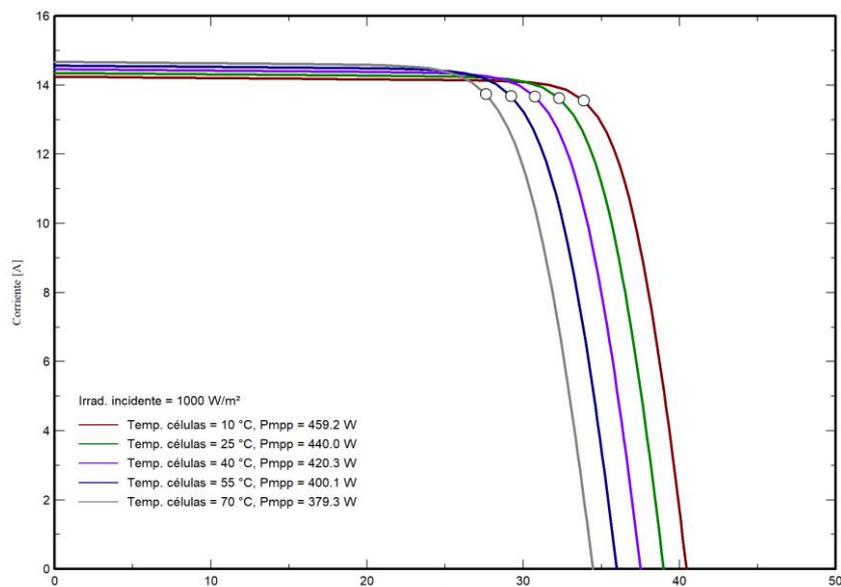
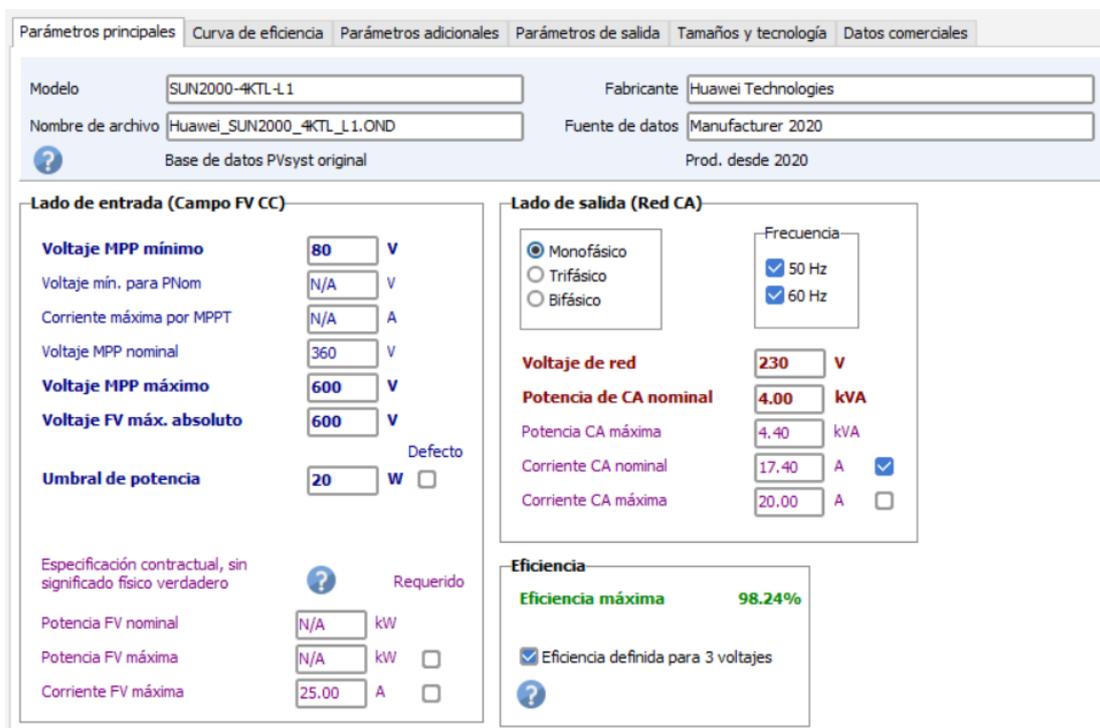


Figura 25. Generación del panel en función de la temperatura

Como se puede apreciar en las figuras 24 y 25, cuanto mayor irradiación llegue al panel más potencia generará. En cambio, la temperatura es contraproducente con la generación. Cuando más se calienten los paneles, menor generación de energía habrá.

Por otro lado, el inversor seleccionado es el SUN2000-4KTL-L1 de Huawei Technologies.



Parámetros principales | Curva de eficiencia | Parámetros adicionales | Parámetros de salida | Tamaños y tecnología | Datos comerciales

Modelo: SUN2000-4KTL-L1 Fabricante: Huawei Technologies
Nombre de archivo: Huawei_SUN2000_4KTL_L1.OND Fuente de datos: Manufacturer 2020
Base de datos PVsyst original Prod. desde 2020

Lado de entrada (Campo FV CC)

Voltaje MPP mínimo: 80 V
Voltaje mín. para PNom: N/A V
Corriente máxima por MPPT: N/A A
Voltaje MPP nominal: 360 V
Voltaje MPP máximo: 600 V
Voltaje FV máx. absoluto: 600 V
Umbral de potencia: 20 W Defecto

Especificación contractual, sin significado físico verdadero: Requerido

Potencia FV nominal: N/A kW
Potencia FV máxima: N/A kW
Corriente FV máxima: 25.00 A

Lado de salida (Red CA)

Monofásico
 Trifásico
 Bifásico

Frecuencia:
 50 Hz
 60 Hz

Voltaje de red: 230 V
Potencia de CA nominal: 4.00 kVA
Potencia CA máxima: 4.40 kVA
Corriente CA nominal: 17.40 A
Corriente CA máxima: 20.00 A

Eficiencia

Eficiencia máxima: 98.24%
 Eficiencia definida para 3 voltajes

Figura 26. Parámetros principales de inversor SUN2000-4KTL-L1

4.3.3 SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA CURVA DE CONSUMO

Como se ha comentado en el capítulo 3, se ha analizado la curva de consumo de la vivienda mensualmente y se ha añadido en la simulación de PVsyst. Para poder suministrar los datos al programa se ha hecho una media de los ultimo 4 años de cada mes y el resultado ha sido el siguiente.

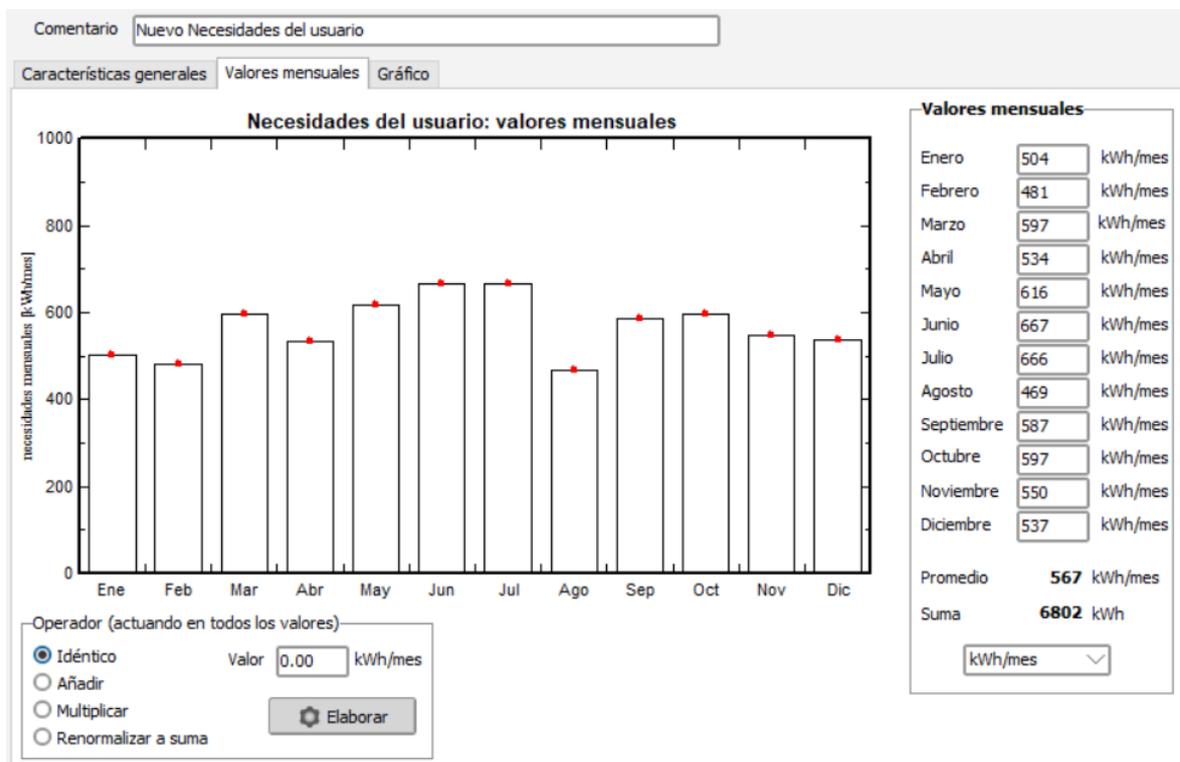


Figura 27. Curva de consumo (PVsyst)

4.3.4 SIMULACIÓN

Una vez añadidas todas las características de la instalación el programa nos da todos los resultados que buscamos. En cuanto a la generación de electricidad los resultados son los de la figura 28.

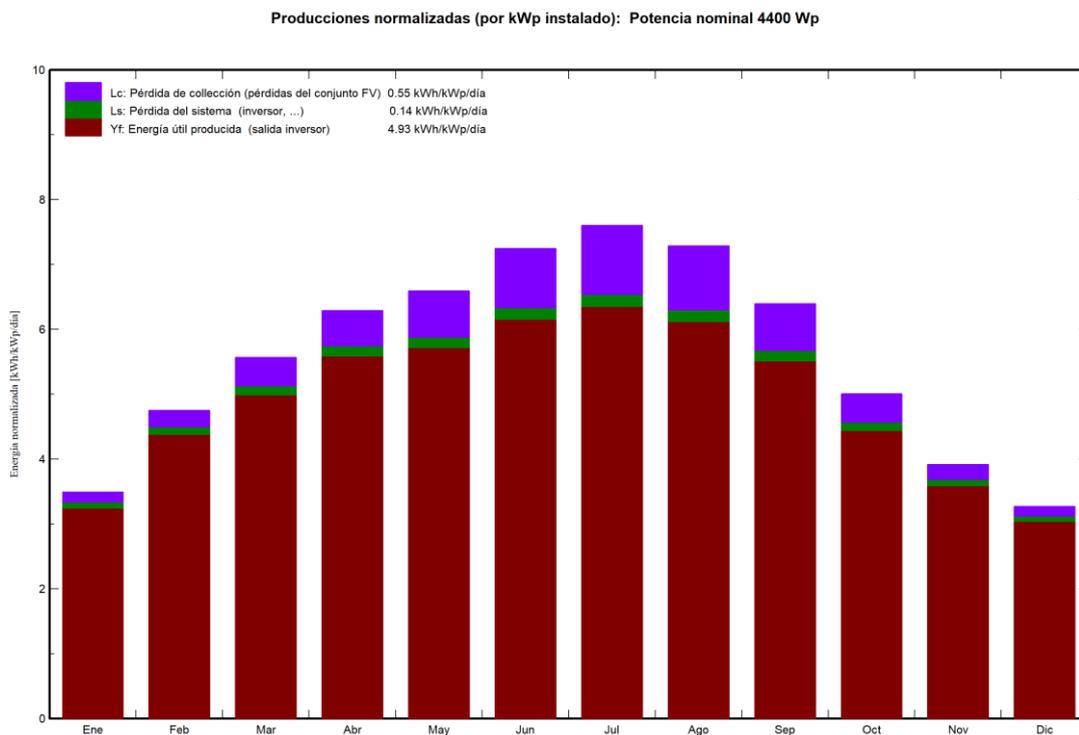


Figura 28. Producción de la instalación (pvSyst)

La figura 28 nos muestra también las pérdidas del sistema en cada mes. Claramente son mayores en los meses de verano, porque la temperatura es mayor y como se ha comentado en la figura 25, a medida que aumenta la temperatura del módulo fotovoltaico, disminuye la eficiencia y por ello, aumentan las pérdidas del sistema.

Otro aspecto interesante de comentar es que, tal y como se esperaba, la generación de energía es mayor en los meses de verano que en los meses de invierno. Esto se debe a la irradiación y a la cantidad de horas de sol que se recibe estos meses.



Project: TFG GMV

Variant: Jinko con Huawei perfil de consumo

PVsyst V7.4.7

VC3. Simulation date:
06/07/24 14:11
with V7.4.7

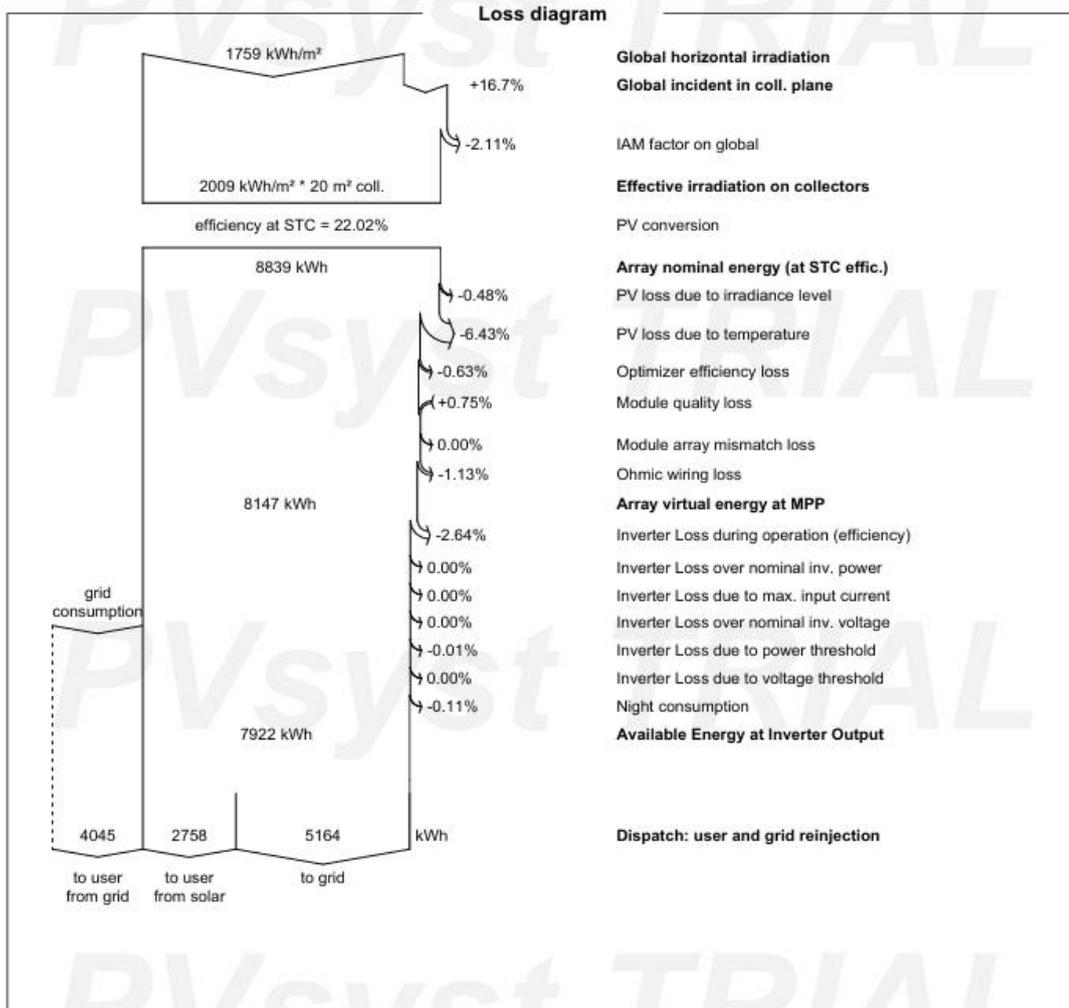


Figura 29. Diagrama de Sankey de la planta

En la figura 29 podemos apreciar las pérdidas de la instalación. La mayor pérdida se encuentra en la conversión de la energía proveniente de la radiación a energía eléctrica. Al ser la eficiencia de los paneles del 22,02%. Una vez que consideramos como referencia la energía eléctrica que se genera, cabe destacar las pérdidas de los módulos por temperatura (6,43%) y las pérdidas del inversor por su baja eficiencia (2,64%).

El resto de la energía tiene dos caminos posibles, usarse por el dueño de la planta o verterla a la red. La primera de estas dos opciones es la que menor porción de energía recibe, ya que se genera mucha energía durante el día, pero no por la noche, lo que hace que se tenga que suministrar energía de la red. El excedente de energía que se genera y no se consume, se vierte a la red. Esta parte de la producción es la mayor de las dos, pero el distribuidor de electricidad nos la compra a un precio de 0,15 €/kWh, por lo que no se pierde del todo.

4.4 COSTE DE INSTALACIÓN

El programa también nos hace un análisis del coste de la instalación. Primero tenemos que estimar el precio de los módulos y del inversor, a esto le sumamos el coste de la instalación y de los anclajes. Para acabar añadimos la vida útil de la instalación en 25 años y nos calcula el LCOE (Levelized Cost Of Electricity), los años de recuperación, el TIR, el ROI y el VAN.

El coste de la instalación es de 7.025€. teniendo en cuenta que se ha puesto un precio de los módulos de 150€ y del inversor de 2.000€. En la figura 28 se detallan todos los costes.

Costes de instalación

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total	
Módulos FV			1.725.00	EUR
JKM-440N-54HL4R-BDV	10.00	150.00	1.500.00	EUR
Soportes para módulos	9.00	25.00	225.00	EUR
Inversores			2.000.00	EUR
SUN2000-4KTL-L1	1.00	2.000.00	2.000.00	EUR
Otros componentes			0.00	EUR
Estudios y análisis			0.00	EUR
Instalación			3.300.00	EUR
Costo de instalación global p...	10.00	300.00	3.000.00	EUR
Costo de instalación global p...	1.00	300.00	300.00	EUR
Transporte	0.00	0.00	0.00	EUR
Ajustes	0.00	0.00	0.00	EUR
Conexión a la red	0.00	0.00	0.00	EUR
Seguro			0.00	EUR
Costos del terreno			0.00	EUR
Cargos bancarios del préstamo	0.00	0.00	0.00	EUR
Impuestos			0.00	EUR
Costo total de instalación			7.025.00	EUR
Activo amortizable			3.725.00	EUR

Figura 30. Costes de la instalación (PVsyst)

Se ha puesto un precio de venta de electricidad a la red de 0,15€/kWh. Esta electricidad se venderá a la red cuando no se pueda consumir en la vivienda. Este será el precio que se ha pactado con la distribuidora de electricidad.

Con esto datos se calculan los flujos de caja que tendría la inversión y la rentabilidad que se vería al finalizar la vida útil de la instalación. En la figura 31, vemos como cada año sacamos una rentabilidad de 376 € habiendo tenido en cuenta ya un OPEX de 400€ anuales, este valor del OPEX ha sido estimado por la simulación.

Año	Venta de electricidad	Fondos propios	Costos de func.	Subsidio de amortización	Ingreso imponible	Impuestos	Beneficio después de impuestos	Ahorro de autoconsumo	Cumul lucro	% amorti
0	0	7.025	0	0	0	0	0	0	-7.025	0.0%
1	776	0	400	186	190	0	376	414	-6.235	11.2%
2	776	0	400	186	190	0	376	414	-5.448	22.5%
3	776	0	400	186	190	0	376	414	-4.656	33.7%
4	776	0	400	186	190	0	376	414	-3.867	45.0%
5	776	0	400	186	190	0	376	414	-3.077	56.2%
6	776	0	400	186	190	0	376	414	-2.287	67.4%
7	776	0	400	186	190	0	376	414	-1.498	78.7%
8	776	0	400	186	190	0	376	414	-708	89.9%
9	776	0	400	186	190	0	376	414	81	101.2%
10	776	0	400	186	190	0	376	414	871	112.4%
11	776	0	400	186	190	0	376	414	1.601	123.6%
12	776	0	400	186	190	0	376	414	2.450	134.9%
13	776	0	400	186	190	0	376	414	3.240	146.1%
14	776	0	400	186	190	0	376	414	4.029	157.4%
15	776	0	400	186	190	0	376	414	4.819	168.6%
16	776	0	400	186	190	0	376	414	5.609	179.8%
17	776	0	400	186	190	0	376	414	6.398	191.1%
18	776	0	400	186	190	0	376	414	7.188	202.3%
19	776	0	400	186	190	0	376	414	7.977	213.6%
20	776	0	400	186	190	0	376	414	8.767	224.8%
21	776	0	400	0	376	0	376	414	9.556	236.0%
22	776	0	400	0	376	0	376	414	10.346	247.3%
23	776	0	400	0	376	0	376	414	11.136	258.5%
24	776	0	400	0	376	0	376	414	11.925	269.8%
25	776	0	400	0	376	0	376	414	12.715	281.0%
Total	19.399	7.025	10.000	3.725	5.674	0	9.399	10.341	12.715	281.0%

Figura 31. Flujos de caja de la instalación (PVsyst)

En la figura 32 se ven los datos que se han mencionado antes. La inversión es rentable tal y como muestran estos valores. El periodo de recuperación de la inversión es de 8,9 años. Esto quiere decir que entre la electricidad vertida a la red y la energía ahorrada por el autoconsumo, el retorno de nuestra inversión sería positivo a los 9 años.

Costes de instalación (CAPEX)	
Costo total de instalación	7.025.00 EUR
Activo amortizable	3.725.00 EUR

Financiamiento	
Fondos propios	7.025.00 EUR
Subsidios	0.00 EUR
Préstamos	0.00 EUR
Total	7.025.00 EUR

Gastos	
Costos de operación(OPEX)	400.00 EUR/año
Anualidades del préstamo	0.00 EUR/año
Total	400.00 EUR/año
LCOE	0.0860 EUR/kWh

Retorno de la inversión	
Valor presente neto (VPN)	12.714.87 EUR
Tasa de rendimiento interno (TRI)	10.27 %
Período de recuperación	8.9 años
Retorno de la inversión (ROI)	181.0 %

Figura 32. Resumen de la inversión (PVsyst)

A lo largo de la vida útil de la instalación no solo recuperaríamos la inversión, sino que acabaríamos sacando mucha rentabilidad de la inversión. Hasta 12.715€ habríamos sacado de beneficio al final de la vida útil.

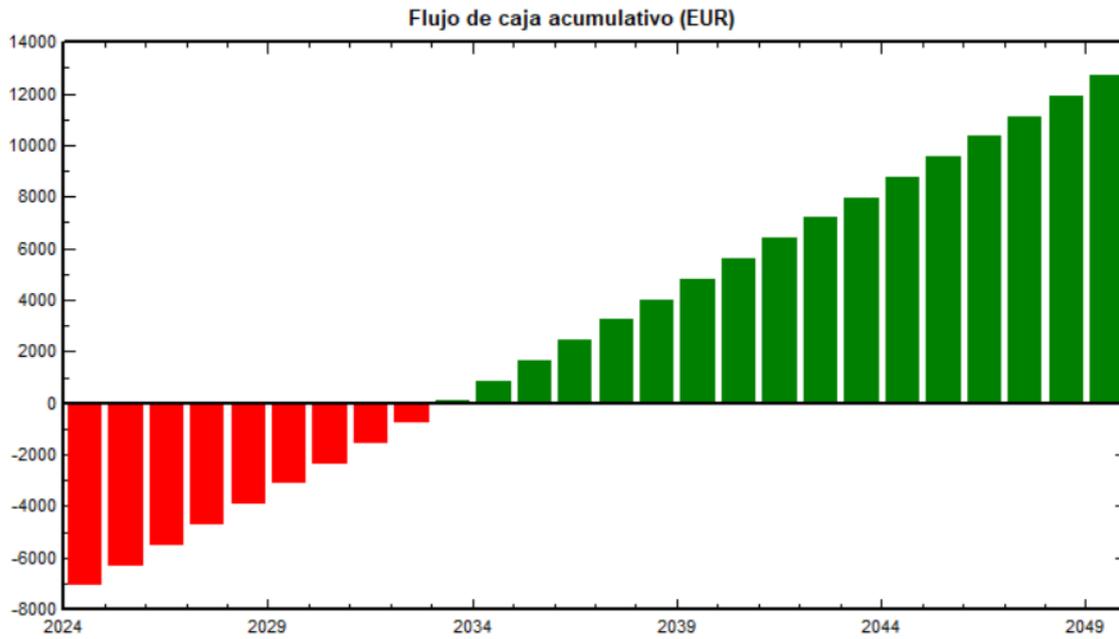


Figura 33. Flujos de caja acumulados (PVsyst)

Capítulo 5. LEGISLACIÓN Y SUBVENCIONES

5.1 MARCO LEGAL DEL AUTOCONSUMO

A la hora de llevar a cabo el proyecto es importante tener en cuenta la normativa de aplicación en las instalaciones de autoconsumo. [6]

- **Ley 24/2013**, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico (texto consolidado). BOE nº 310 de 27 de diciembre de 2013.
- **Ley 49/1960**, de 21 de julio, sobre propiedad horizontal (texto consolidado). BOE nº 177 de 23 de julio de 1970.
- **Real Decreto-ley 15/2018**, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. BOE nº 242 de 6 de octubre de 2018.
- **Real Decreto-ley 23/2020**, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica. BOE núm. 340, de 30/12/2020.
- **Real Decreto-ley 12/2021**, de 24 de junio, por el que se adoptan medidas urgentes en el ámbito de la fiscalidad energética y en materia de generación de energía, y sobre gestión del canon de regulación y de la tarifa de utilización del agua. BOE nº 151 de 25 de junio de 2021.
- **Real Decreto-ley 19/2021**, de 5 de octubre, de medidas urgentes para impulsar la actividad de rehabilitación edificatoria en el contexto del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. BOE nº 239 de 06 de octubre de 2021.
- **Real Decreto-ley 29/2021**, de 21 de diciembre, por el que se adoptan medidas urgentes en el ámbito energético para el fomento de la movilidad eléctrica, el autoconsumo y el despliegue de energías renovables. (texto consolidado). BOE nº 305, de 22/12/2021.
- **Real Decreto-ley 6/2022**, de 29 de marzo, por el que se adoptan medidas urgentes en el marco del Plan Nacional de respuesta a las consecuencias económicas y sociales de la guerra en Ucrania. BOE nº 76, de 30 de marzo de 2022

- **Real Decreto-ley 11/2022**, de 25 de junio, por el que se adoptan y se prorrogan determinadas medidas para responder a las consecuencias económicas y sociales de la guerra en Ucrania, para hacer frente a situaciones de vulnerabilidad social y económica, y para la recuperación económica y social de la isla de La Palma. BOE nº 152, de 26 de junio de 2022.
- **Real Decreto-ley 14/2022** de 1 de agosto, de medidas de sostenibilidad económica en el ámbito del transporte, en materia de becas y ayudas al estudio, así como de medidas de ahorro, eficiencia energética y de reducción de la dependencia energética del gas natural. BOE nº 184, de 02 de agosto de 2022.
- **Real Decreto-ley 18/2022**, de 18 de octubre, por el que se aprueban medidas de refuerzo de la protección de los consumidores de energía y de contribución a la reducción del consumo de gas natural en aplicación del «Plan + seguridad para tu energía (+SE)», así como medidas en materia de retribuciones del personal al servicio del sector público y de protección de las personas trabajadoras agrarias eventuales afectadas por la sequía. BOE nº 251, de 19 de octubre de 2022.
- **Real Decreto-ley 20/2022**, de 27 de diciembre, de medidas de respuesta a las consecuencias económicas y sociales de la Guerra de Ucrania y de apoyo a la reconstrucción de la isla de La Palma y a otras situaciones de vulnerabilidad. BOE nº 311, de 28 de diciembre de 2022.
- **Real Decreto-ley 8/2023**, de 27 de diciembre, por el que se adoptan medidas para afrontar las consecuencias económicas y sociales derivadas de los conflictos en Ucrania y Oriente Próximo, así como para paliar los efectos de la sequía. BOE nº 310, de 28 de diciembre de 2023.
- **Real Decreto 900/2015**, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo. BOE nº 423 de 10 de octubre de 2015.
- **Real Decreto 244/2019**, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. BOE nº 83 de 6 de abril de 2019.

- **Real Decreto 1955/2000**, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica (texto consolidado). BOE nº 310 de 27 de diciembre de 2000.
- **Real Decreto 842/2002**, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión (texto consolidado). BOE nº 224 de 18 de septiembre de 2002.
- **Real Decreto 1110/2007**, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico (texto consolidado). BOE nº 224 de 18 de septiembre de 2007.
- **Real Decreto 1699/2011**, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia. BOE nº 3295 de 8 de diciembre de 2011.
- **Real Decreto 1048/2013**, de 27 de diciembre, por el que se establece la metodología para el cálculo de la retribución de la actividad de distribución de energía eléctrica. BOE nº 312 de 30 de diciembre de 2013.
- **Real Decreto 337/2014**, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23. BOE nº 139 de 9 de junio de 2014.
- **Real Decreto 413/2014**, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. BOE nº 140 de 10 de junio de 2014.
- **Real Decreto 647/2020**, de 7 de julio, por el que se regulan aspectos necesarios para la implementación de los códigos de red de conexión de determinadas instalaciones eléctricas. BOE nº 187, de 08 de julio de 2020.
- **Real Decreto 1183/2020**, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica. BOE nº 187, de 08 de julio de 2020.
- **Real Decreto 446/2023**, de 13 de junio, por el que se modifica el Real Decreto 216/2014, de 28 de marzo, por el que se establece la metodología de cálculo de los

precios voluntarios para el pequeño consumidor de energía eléctrica y su régimen jurídico de contratación, para la indexación de los precios voluntarios para el pequeño consumidor de energía eléctrica a señales a plazo y reducción de su volatilidad. BOE nº 141, de 14 de junio de 2023.

- **Real Decreto Legislativo 2/2004** de 5 de marzo por el que se aprueba el texto refundido de la Ley Reguladora de las Haciendas Locales. BOE nº 59 de 9 de marzo de 2004.
- **Orden TED/749/2020**, de 16 de julio, por la que se establecen los requisitos técnicos para la conexión a la red necesarios para la implementación de los códigos de red de conexión (texto consolidado). BOE nº 208 de 01 de agosto de 2020
- **Orden TED/1247/2021**, de 15 de noviembre, por la que se modifica, para la implementación de coeficientes de reparto variables en autoconsumo colectivo, el anexo I del Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. BOE nº 274 de 16 de noviembre de 2021.
- **Circular 1/2021**, de 20 de enero, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, por la que se establece la metodología y condiciones del acceso y de la conexión a las redes de transporte y distribución de las instalaciones de producción de energía eléctrica. BOE nº 19, de 22 de enero de 2021.
- **Reglamento (UE) 2016/631 DE LA COMISIÓN** de 14 de abril de 2016 que establece un código de red sobre requisitos de conexión de generadores a la red y su Corrección de errores.
- **Norma técnica** de supervisión de la conformidad de los módulos de generación de electricidad según el Reglamento UE 2016/631. Versión 2.1

5.2 SUBVENCIONES DE AUTOCONSUMO Y MARCO REGULATORIO

Además de las ayudas y subvenciones europeas al autoconsumo, hay muchos municipios que contribuyen a estas ayudas.

5.2.1 BONIFICACIONES EN EL IBI

En municipios como Madrid, Sevilla o Barcelona, las ayudas al IBI pueden oscilar entre el 30% y el 50% durante 3 años.

Lo primero es saber cómo solicitar la subvención. Los requisitos van desde tener una instalación de potencia mínima superior o igual a 5kWp/100m², que el suministro de energía represente un 70 % del total del consumo del inmueble y que la instalación tenga una inversión mínima de 6000 €. [13]

En la siguiente tabla se aprecia la bonificación del IBI en Madrid dependiendo del ayuntamiento.

Ayuntamiento	IBI	Años	Uso aplicable	ICIO
Valdemoro	30-50%	10	Todos	-
Getafe	30%	10	Todos	95%
Las Rozas de Madrid	40-50%	5	Residencial	80%
Móstoles	50%	4	Residencial	-
Madrid	50%	3	Todos	95%
Majadahonda	50%	3	Residencial	75%
Alcobendas	40-50%	3	Todos	50%

Tabla 5. Subvenciones del IBI e ICIO en Madrid [14]

Nuestra instalación se ubica en el ayuntamiento de Madrid, por lo que las ayudas en el IBI por realizar la instalación serían de en torno al 50% durante 3 años.

5.2.2 BONIFICACIÓN DEL ICIO.

El ICIO es el Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras. Es un impuesto indirecto regulado por el Real Decreto Legislativo 2/2004.

Por instalar módulos fotovoltaicos se accederá a la bonificación del ICIO de hasta el 95 %. Esta bonificación depende del ayuntamiento. En Madrid la bonificación puede ir desde el 30 hasta el 95%. [14]

5.2.3 DEDUCCIÓN DEL IRPF

Para poder solicitar una deducción del 20% deberá demostrar que, tras realizar la instalación el consumo de demanda de calefacción y refrigeración de la vivienda se ha reducido en un 7%, Si esta reducción es de un 30% nos podremos deducir un 40%.

En Madrid, hay tres grupos de esta deducción. [15]

- Deducción del 20%

Para viviendas unifamiliares que hayan reducido su consumo de energía no renovable en un 7%. La base máxima anual para deducir es de 5000€

- Deducción del 40%

Para viviendas unifamiliares que han conseguido reducir su consumo de energía no renovable en un 30% o que hayan conseguido una mejora de la calificación de la vivienda a “A” o “B”. La base máxima anual para deducir es de 7500€.

- Deducción del 60%

Está destinado a edificios de viviendas que han conseguido reducir su consumo de energía no renovable en un 30% o que hayan conseguido una mejora de la calificación de la vivienda a “A” o “B”. La base máxima anual para deducir es de 5000€.

Los requisitos en Madrid para beneficiarse de esta bonificación son los siguientes: [16]

- La persona solicitante deberá estar en propiedad de la vivienda.
- La realización de la instalación deberá ser posterior el 6 de octubre de 2021
- La empresa que ha realizado la instalación deberá haber sido una empresa autorizada
- Es imprescindible contar con un certificado energético
- Ninguna parte de la vivienda podrá estar siendo utilizada para ningún tipo de actividad económica
- El Certificado de Eficiencia Energética deberá solicitarse antes del 1 de enero de 2025.

5.2.4 SUBVENCIONES DE FONDOS EUROPEOS NEXT GENERATION AL AUTOCONSUMO.

La Comunidad de Madrid ha contado con una dotación extra por parte de la Comisión Europea de 91 millones de euros tras el agotamiento de los primeros 87 millones.

“Las ayudas llegaban hasta el 40% en viviendas particulares y hasta el 45% para empresas. En el caso del autoconsumo podían llegar a ser 600€/kWp. La incorporación de sistemas de almacenamiento estaba subvencionada con ayudas de hasta 490€/kWp.” [17]

Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El proyecto que hemos tratado es una instalación fotovoltaica destinada al autoconsumo de 4400 Wp en el noroeste de Madrid. A continuación se analizará el informe llevado a cabo por el programa PVSyst de la viabilidad económica de la instalación de autoconsumo.

El costo total de instalación del sistema fotovoltaico es de 7.025 €. Este costo incluye los módulos fotovoltaicos, soportes, inversores, y los costos de instalación globales para cada componente. La inversión específica es de 1,60 €/Wp, lo cual es competitivo considerando los estándares del mercado actual. El sistema está diseñado para producir 7.921,57 kWh/año, de los cuales 6802,49 kWh/año serán utilizados directamente, resultando en una fracción solar del 40,54%. La producción específica es de 1800 kWh/kWp/año, y el rendimiento del sistema es del 87,72%, lo cual refleja una alta eficiencia en la conversión de la energía solar.

La evaluación económica del proyecto muestra un periodo de recuperación (payback) de 8.9 años, con un costo nivelado de la energía (LCOE) de 0,09 €/kWh. Esto sugiere que la inversión inicial se recuperará en menos de una década, haciendo el proyecto financieramente viable a largo plazo. Además, los costos anuales operativos, principalmente asociados al mantenimiento y provisión para la sustitución del inversor, son de 400 €/año.

Tal y como se ve en la figura 34, el análisis financiero detallado proyecta un valor actual neto (NPV) de 12.714,87 € a los 25 años (2049) y una tasa interna de retorno (IRR) del 10,27%. Estos indicadores son positivos y sugieren un retorno robusto sobre la inversión inicial. La rentabilidad del proyecto (ROI) es del 181%, lo que demuestra un alto potencial de beneficios a lo largo de la vida útil del sistema, estimada en 25 años.

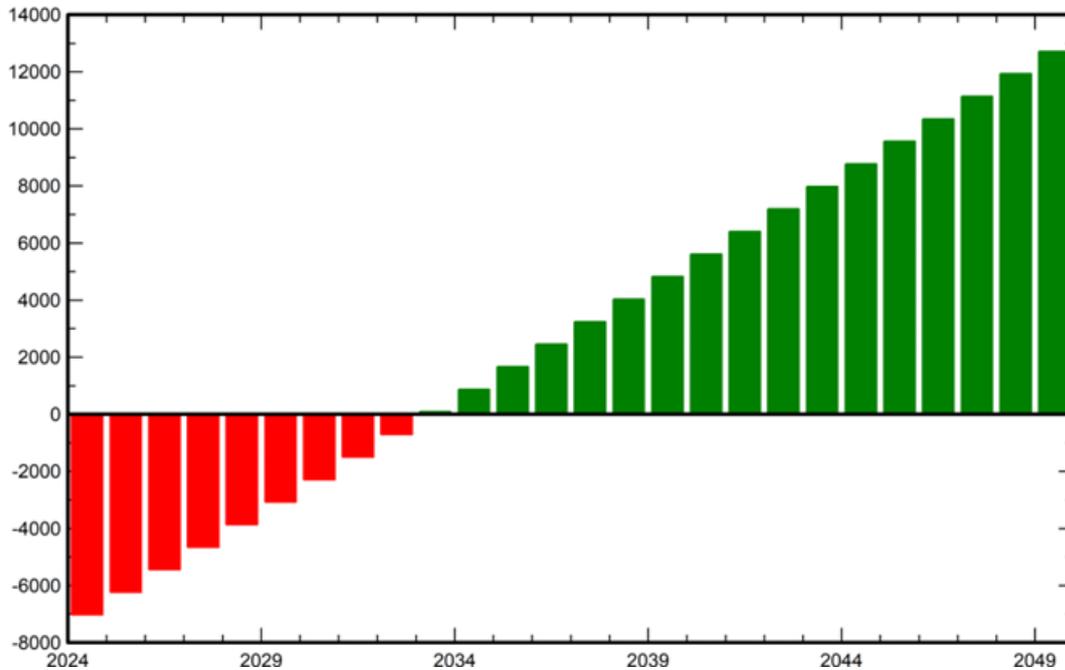


Figura 34. VAN y *payback period* de la inversión

Desde una perspectiva macroeconómica, la implementación de este sistema fotovoltaico contribuirá a la reducción de la dependencia de fuentes de energía no renovables, disminuyendo los costos energéticos a largo plazo y promoviendo la sostenibilidad.

En resumen, el proyecto de energía solar fotovoltaica el noroeste de Madrid es económicamente viable y prometedor. Los costos de instalación son competitivos, y los indicadores financieros sugieren un retorno de la inversión significativo. Además, el proyecto no solo es rentable desde el punto de vista financiero, sino que también contribuye a la sostenibilidad y la reducción de la huella de carbono, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible y las políticas energéticas de España.

Capítulo 7. CONCLUSIONES

Como conclusión podemos decir que los indicadores del VAN y del TIR de la simulación demuestran que se trata de un proyecto económicamente favorable. Con un VAN de 12.714,87€ y un TIR de 10,27% los números son completamente favorables para llevar a cabo el proyecto.

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] OMIE: Datos históricos del precio medio de la electricidad en el mercado diario en España. <https://www.omie.es/es/market-results/interannual/daily-market/daily-prices?scope=interannual&system=1>
- [2] Holidu: Ciudades más soleadas de Europa. <https://www.holidu.es/magazine/ciudades-europeas-mas-soleadas>
- [3] OMIE: Datos de energía anual por tecnología en España. <https://www.omie.es/es/market-results/interannual/daily-market/annual-power?scope=interannual&system=1>
- [4] IEA (2024), Renewables 2023, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>, Licence: CC BY 4.0
- [5] Inel: Esquemas de autoconsumo con excedentes y sin excedentes: <https://www.sainel.es/autoconsumo/>
- [6] IDAE: Guía profesional de tramitación del autoconsumo. Enero 2023 <https://www.idae.es/publicaciones/guia-profesional-de-tramitacion-del-autoconsumo>
- [7] Iberdrola: Dentro de una célula fotovoltaica: <https://www.iberdrola.com/innovacion/celulas-fotovoltaicas-fotoelectronica>
- [8] Autosolar: Ilustración de tipos de células fotovoltaicas: <https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/diferencias-entre-el-silicio-monocristalino-y-silicio-policristalino-en-el-sector-de-la-energia-solar>
- [9] Inversores: https://seslab.org/fotovoltaico/15_inversores_conectados_a_red_tipos.html
- [10] Fabricantes de inversores en el mundo: <https://elperiodicodelaenergia.com/los-10-principales-fabricantes-de-inversores-solares-controlan-el-82-del-mercado-mundial/>
- [11] Precio de inversores: <https://suministrosdelsol.com/es/137-inversores-huawei>
- [12] Baterías de litio: <https://tienda-solar.es/es/1941-baterias-de-litio>
- [13] Sotysolar: Subvenciones IBI en Madrid: https://sotysolar.es/blog/ayudas-ibi-espana?_gl=1*_1p1g8cr*_up*MQ..*_ga*MTk1OTMyNjk5My4xNzIwMjU5Mzc3*_ga_6R6527871R*MTcyMDI1OTM3Ny4xLjAuMTcyMDI1OTM3Ny4wLjAuMA..*_ga_CR64C033QR*MTcyMDI1OTM3Ny4xLjAuMTcyMDI1OTM3Ny4wLjAuNzg1MDI3MDE4

- [14] Sotysolar: Subvenciones ICIO en Madrid: <https://sotysolar.es/placas-solares/subvenciones#:~:text=Todas%20las%20instalaciones%20realizadas%20en,su%20instalaci%C3%B3n%20de%20placas%20solares.>
- [15] Sotysolar: deducción del IRPF: https://sotysolar.es/placas-solares/subvenciones?_gl=1*77ifxb*_up*MQ..*_ga*MTk1OTMyNjk5My4xNzIwMjU5Mzc3*_ga_6R6527871R*MTcyMDI1OTM3Ny4xLjEuMTcyMDI1OTQxOC4wLjAuMA..*_ga_CR64C033QR*MTcyMDI1OTM3Ny4xLjEuMTcyMDI1OTQxOC4wLjAuNzg1MDI3MDE4#mcetoc_1hlfo8ekdi
- [16] Sotysolar: requisitos para deducirse IRPF en Madrid: https://sotysolar.es/blog/irpf-paneles-solares-madrid?_gl=1*p8r9xq*_up*MQ..*_ga*MTk1OTMyNjk5My4xNzIwMjU5Mzc3*_ga_6R6527871R*MTcyMDI1OTM3Ny4xLjEuMTcyMDI1OTc0Mi4wLjAuMA..*_ga_CR64C033QR*MTcyMDI1OTM3Ny4xLjEuMTcyMDI1OTc0Mi4wLjAuNzg1MDI3MDE4
- [17] Sotysolar: subvenciones Next Generation: https://sotysolar.es/blog/subvenciones-placas-solares-madrid?_gl=1*stwj3o*_up*MQ..*_ga*MTk1OTMyNjk5My4xNzIwMjU5Mzc3*_ga_6R6527871R*MTcyMDI1OTM3Ny4xLjEuMTcyMDI1OTUyNC4wLjAuMA..*_ga_CR64C033QR*MTcyMDI1OTM3Ny4xLjEuMTcyMDI1OTUyNC4wLjAuNzg1MDI3MDE4
- [18] AutoSolar: Precio paneles solares: <https://autosolar.es/paneles-solares>

ANEXO I. SIMULACIÓN PVSYST



Version 7.4.7

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: TFG GMV

Variant: Jinko con Huawei perfil de consumo

No 3D scene defined, no shadings

System power: 4400 Wp

Colonia Alta - Spain

Author



Project: TFG GMV

Variant: Jinko con Huawei perfil de consumo

PVsyst V7.4.7

VC3, Simulation date:
06/07/24 14:11
with V7.4.7

Project summary

Geographical Site Colonia Alta Spain	Situation Latitude 40.45 °N Longitude -3.79 °W Altitude 635 m Time zone UTC+1	Project settings Albedo 0.20
Weather data Colonia Alta Meteonorm 8.1 (1996-2015) - Sintético		

System summary

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings		
PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 29.8 / 0 *	Near Shadings No Shadings	User's needs Monthly values	
System information		Inverters	
PV Array			
Nb. of modules 10 units		Nb. of units 1 unit	
Pnom total 4400 Wp		Pnom total 4000 W	
		Pnom ratio 1.100	

Results summary

Produced Energy 7921.57 kWh/year	Specific production 1800 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 87.72 %
Used Energy 6802.49 kWh/year		Solar Fraction SF 40.54 %

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	5
Loss diagram	6
Predef. graphs	7
Single-line diagram	8
Cost of the system	9
Financial analysis	10
CO ₂ Emission Balance	13



Project: TFG GMV

Variant: Jinko con Huawei perfil de consumo

PVsyst V7.4.7

VC3, Simulation date:
06/07/24 14:11
with V7.4.7

General parameters

Grid-Connected System				No 3D scene defined, no shadings									
PV Field Orientation				Sheds configuration				Models used					
Orientation				No 3D scene defined				Transposition Perez					
Fixed plane								Diffuse Perez, Meteonom					
Tilt/Azimuth				29.8 / 0 *				Circumsolar separate					
Horizon				Near Shadings				User's needs					
Free Horizon				No Shadings				Monthly values					
Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
504	481	597	534	616	667	665	469	587	597	550	537	6802	kWh/mth

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	JKM-440N-54HL4R-BDV	Model	SUN2000-4KTL-L1
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	440 Wp	Unit Nom. Power	4.00 kWac
Number of PV modules	10 units	Number of inverters	1 unit
Nominal (STC)	4400 Wp	Total power	4.0 kWac
Optimizer Array	1 strings x 10 In series	Operating voltage	80-600 V
At operating cond. (50°C)		Max. power (=>50°C)	4.40 kWac
Pmpp	4068 Wp	Pnom ratio (DC:AC)	1.10
U mpp (sum of input PV modules)	297 V		
U opt (optimizer string)	297 V		
I opt (optimizer string)	14 A		
Huawei Optimizer			
Model	SUN2000-450W-P2		
Unit Nom. Power	450 W		
Input modules	One module		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	4.40 kWp	Total power	4 kWac
Total	10 modules	Max. power	4.4 kWac
Module area	20.0 m²	Number of inverters	1 unit
		Pnom ratio	1.10

Array losses

Thermal Loss factor		DC wiring losses		Module Quality Loss	
Module temperature according to irradiance		Global array res.	356 mΩ	Loss Fraction	-0.8 %
Uc (const)	20.0 W/m²K	Loss Fraction	1.5 % at STC		
Uv (wind)	0.0 W/m²K/m/s				
Module mismatch losses					
Loss Fraction	0.0 % at MPP				



Project: TFG GMV

Variant: Jinko con Huawei perfil de consumo

PVsyst V7.4.7

VC3, Simulation date:
06/07/24 14:11
with V7.4.7

Array losses

IAM loss factor

Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000



PVsyst V7.4.7

VC3, Simulation date:
07/07/24 12:14
with V7.4.7

Project: TFG GMV

Variant: Jinko con Huawei perfil de consumo

Main results

System Production

Produced Energy 7921.57 kWh/year
Used Energy 6802.49 kWh/year

Specific production 1800 kWh/kWp/year
Perf. Ratio PR 87.72 %
Solar Fraction SF 40.54 %

Economic evaluation

Investment

Global 7.025.00 EUR
Specific 1.60 EUR/Wp

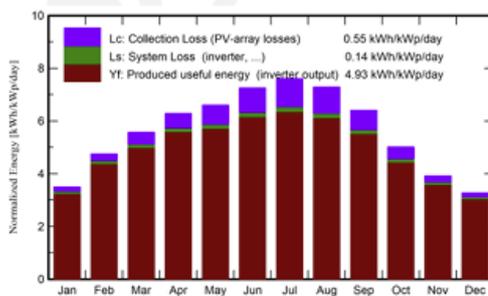
Yearly cost

Annuities
Run. costs
Payback period

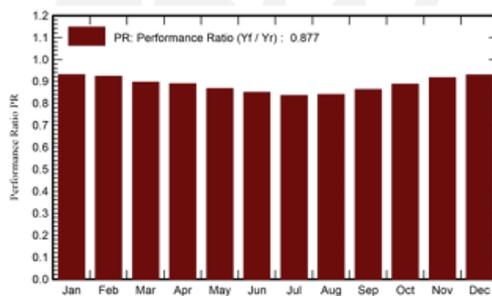
LCOE

Energy cost 0.09 EUR/kWh

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
January	65.9	29.19	5.72	108.3	106.3	455.5	504.0	163.4	279.9	340.6
February	89.5	30.87	7.15	133.0	131.0	554.9	480.7	172.6	367.9	308.2
March	137.9	45.09	10.77	172.7	169.1	699.7	596.8	243.2	437.7	353.5
April	171.2	63.30	13.31	188.7	184.3	758.7	533.8	240.7	497.7	293.1
May	207.0	64.74	18.27	204.5	199.5	802.6	616.2	284.8	495.2	331.5
June	230.0	59.53	23.81	217.5	212.1	836.9	666.5	311.5	501.6	355.0
July	243.4	55.67	27.19	235.7	229.8	892.4	665.5	315.7	551.0	349.8
August	212.9	50.15	26.61	225.9	220.8	859.8	468.8	220.9	614.5	247.9
September	158.2	47.91	21.64	191.9	188.1	749.3	586.7	248.9	479.5	337.9
October	111.9	38.22	16.28	155.3	152.5	623.3	597.2	226.3	379.9	371.0
November	73.1	27.95	9.56	117.5	115.7	487.3	549.8	172.9	301.0	376.9
December	58.2	23.18	6.36	101.4	99.7	426.5	536.5	156.9	258.0	379.6
Year	1759.2	535.79	15.61	2052.3	2009.0	8147.0	6802.5	2757.5	5164.0	4045.0

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_User	Energy supplied to the user
T_Amb	Ambient Temperature	E_Solar	Energy from the sun
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Grid	Energy injected into grid
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EFrGrid	Energy from the grid

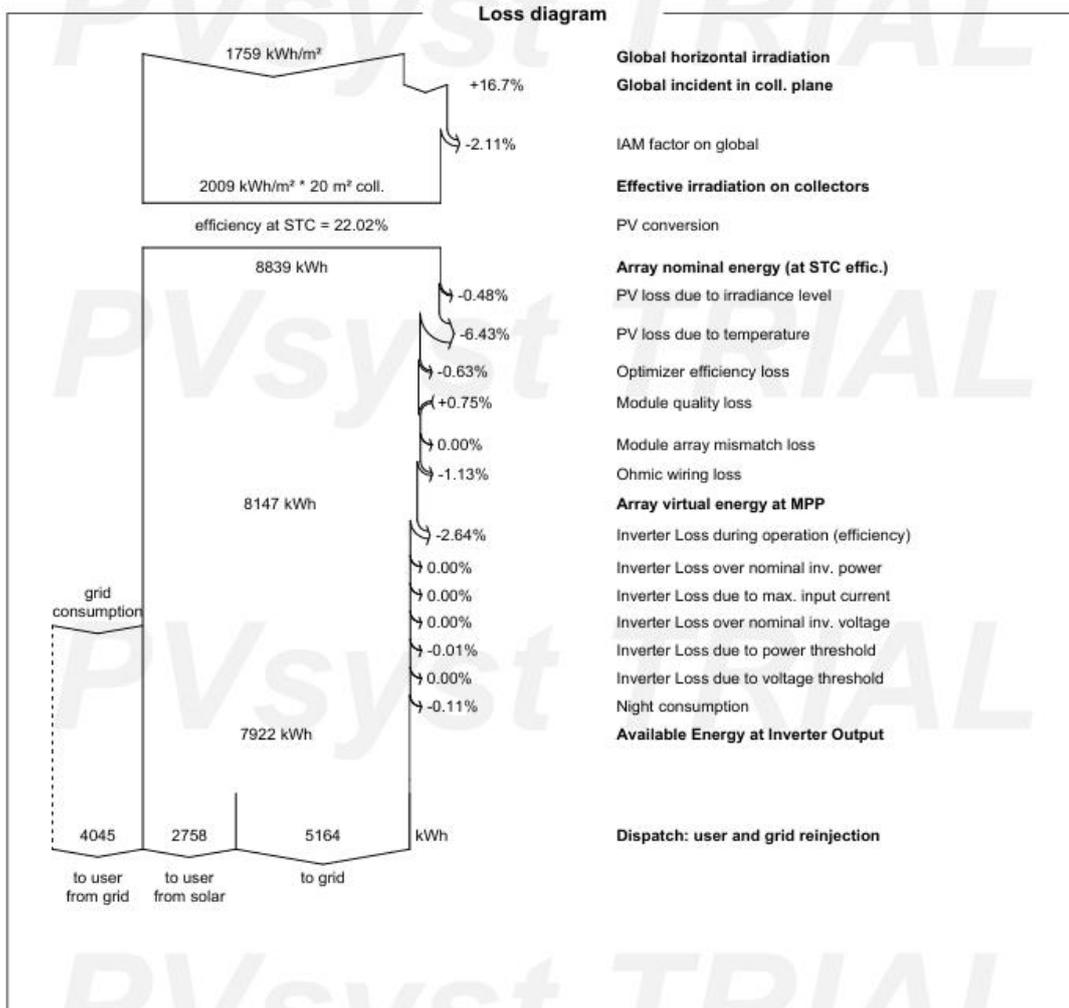


Project: TFG GMV

Variant: Jinko con Huawei perfil de consumo

PVsyst V7.4.7

VC3. Simulation date:
06/07/24 14:11
with V7.4.7



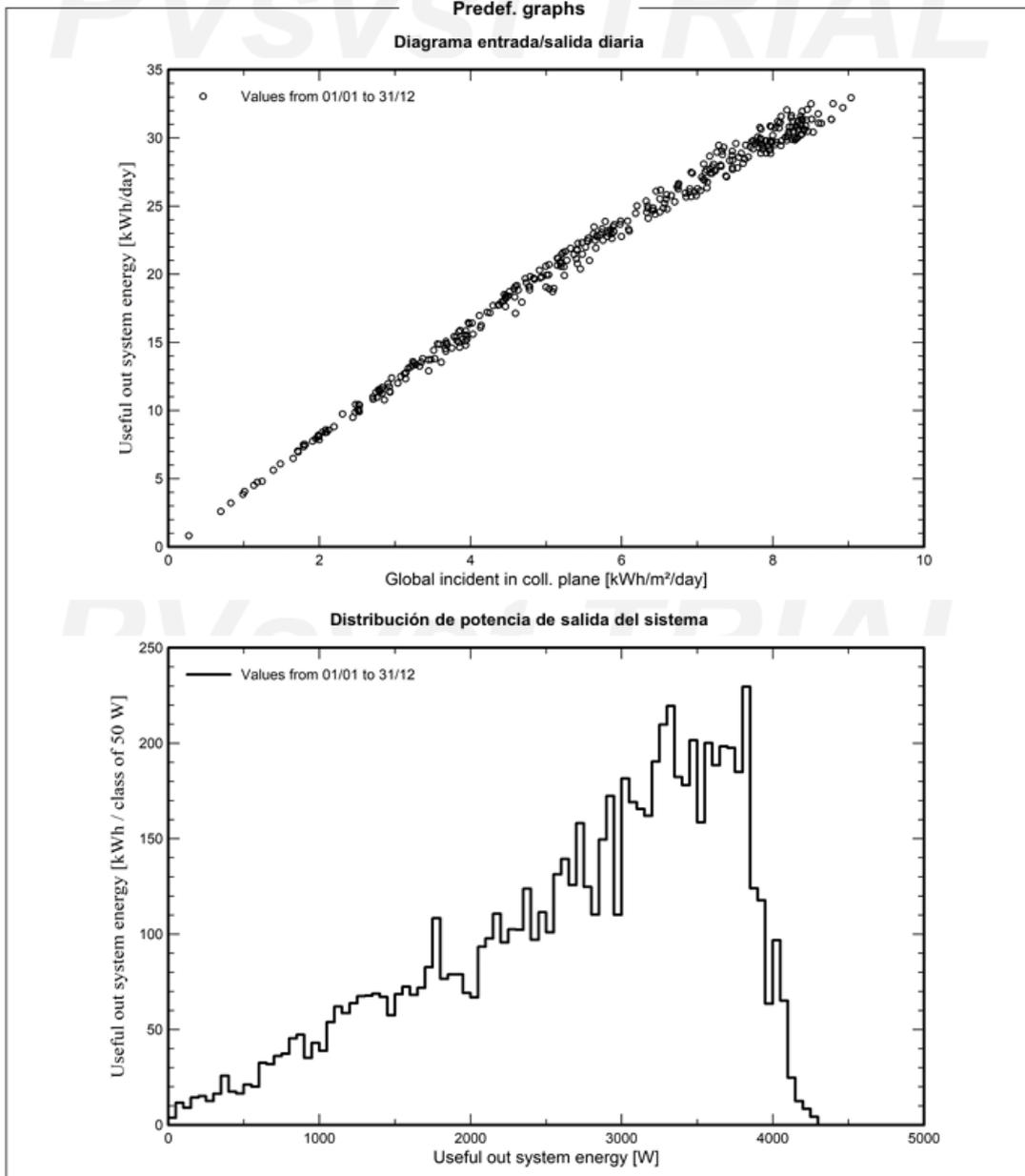


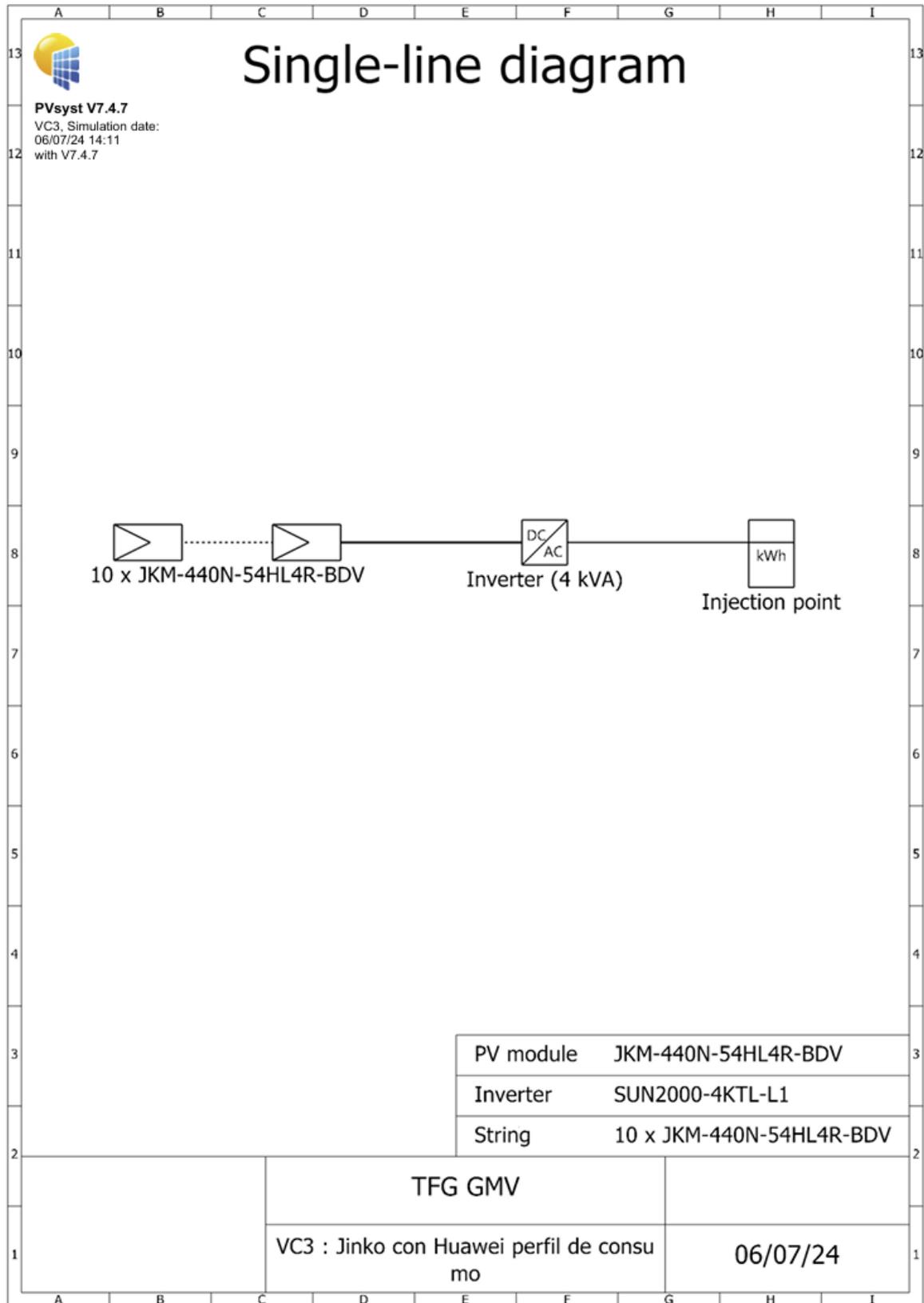
Project: TFG GMV

Variant: Jinko con Huawei perfil de consumo

PVsyst V7.4.7

VC3, Simulation date:
06/07/24 14:11
with V7.4.7







Project: TFG GMV

Variant: Jinko con Huawei perfil de consumo

PVsyst V7.4.7

VC3, Simulation date:
07/07/24 12:14
with V7.4.7

Cost of the system

Installation costs			
Item	Quantity units	Cost EUR	Total EUR
PV modules			
JKM-440N-54HL4R-BDV	10	150.00	1.500.00
Supports for modules	9	25.00	225.00
Inverters			
SUN2000-4KTL-L1	1	2.000.00	2.000.00
Installation			
Global installation cost per module	10	300.00	3.000.00
Global installation cost per inverter	1	300.00	300.00
		Total	7.025.00
		Depreciable asset	3.725.00
Operating costs			
Item			Total EUR/year
Maintenance			
Provision for inverter replacement			400.00
Total (OPEX)			400.00
System summary			
Total installation cost		7.025.00 EUR	
Operating costs		400.00 EUR/year	
Useful energy from solar		2758 kWh/year	
Energy sold to the grid		5164 kWh/year	
Cost of produced energy (LCOE)		0.0860 EUR/kWh	



Project: TFG GMV

Variant: Jinko con Huawei perfil de consumo

PVsyst V7.4.7

VC3. Simulation date:
07/07/24 12:14
with V7.4.7

Financial analysis

Financial analysis				
Simulation period				
Project lifetime	25 years	Start year	2025	
Income variation over time				
Inflation			0.00 %/year	
Production variation (aging)		Aging tool results		
Discount rate			0.00 %/year	
Income dependent expenses				
Income tax rate			0.00 %/year	
Other income tax			0.00 %/year	
Dividends			0.00 %/year	
Depreciable assets				
Asset	Depreciation method	Depreciation period (years)	Salvage value (EUR)	Depreciable (EUR)
PV modules				
JKM-440N-54HL4R-BDV	Straight-line	20	0.00	1.500.00
Supports for modules	Straight-line	20	0.00	225.00
Inverters				
SUN2000-4KTL-L1	Straight-line	20	0.00	2.000.00
		Total	0.00	3.725.00
Financing				
Own funds			7.025.00 EUR	
Electricity sale				
Feed-in tariff			0.15000 EUR/kWh	
Duration of tariff warranty		20 years		
Annual connection tax			0.00 EUR/kWh	
Annual tariff variation			0.0 %/year	
Feed-in tariff decrease after warranty			0.00 %	
Self-consumption				
Consumption tariff			0.15000 EUR/kWh	
Tariff evolution			0.0 %/year	
Return on investment				
Payback period			8.9 years	
Net present value (NPV)			12.714.87 EUR	
Internal rate of return (IRR)			10.27 %	
Return on investment (ROI)			181.0 %	



Project: TFG GMV

Variant: Jinko con Huawei perfil de consumo

PVsyst V7.4.7

VC3, Simulation date:
07/07/24 12:14
with V7.4.7

Financial analysis

Detailed economic results (EUR)

Year	Electricity sale	Own funds	Run. costs	Deprec. allow.	Taxable income	Taxes	After-tax profit	Self-cons. saving	Cumul. profit	% amorti.
0	0	7.025	0	0	0	0	0	0	-7.025	0.0%
1	776	0	400	186	190	0	376	414	-6.235	11.2%
2	776	0	400	186	190	0	376	414	-5.446	22.5%
3	776	0	400	186	190	0	376	414	-4.656	33.7%
4	776	0	400	186	190	0	376	414	-3.867	45.0%
5	776	0	400	186	190	0	376	414	-3.077	56.2%
6	776	0	400	186	190	0	376	414	-2.287	67.4%
7	776	0	400	186	190	0	376	414	-1.498	78.7%
8	776	0	400	186	190	0	376	414	-708	89.9%
9	776	0	400	186	190	0	376	414	81	101.2%
10	776	0	400	186	190	0	376	414	871	112.4%
11	776	0	400	186	190	0	376	414	1.661	123.6%
12	776	0	400	186	190	0	376	414	2.450	134.9%
13	776	0	400	186	190	0	376	414	3.240	146.1%
14	776	0	400	186	190	0	376	414	4.029	157.4%
15	776	0	400	186	190	0	376	414	4.819	168.6%
16	776	0	400	186	190	0	376	414	5.609	179.8%
17	776	0	400	186	190	0	376	414	6.398	191.1%
18	776	0	400	186	190	0	376	414	7.188	202.3%
19	776	0	400	186	190	0	376	414	7.977	213.6%
20	776	0	400	186	190	0	376	414	8.767	224.8%
21	776	0	400	0	376	0	376	414	9.556	236.0%
22	776	0	400	0	376	0	376	414	10.346	247.3%
23	776	0	400	0	376	0	376	414	11.136	258.5%
24	776	0	400	0	376	0	376	414	11.925	269.8%
25	776	0	400	0	376	0	376	414	12.715	281.0%
Total	19.399	7.025	10.000	3.725	5.674	0	9.399	10.341	12.715	281.0%

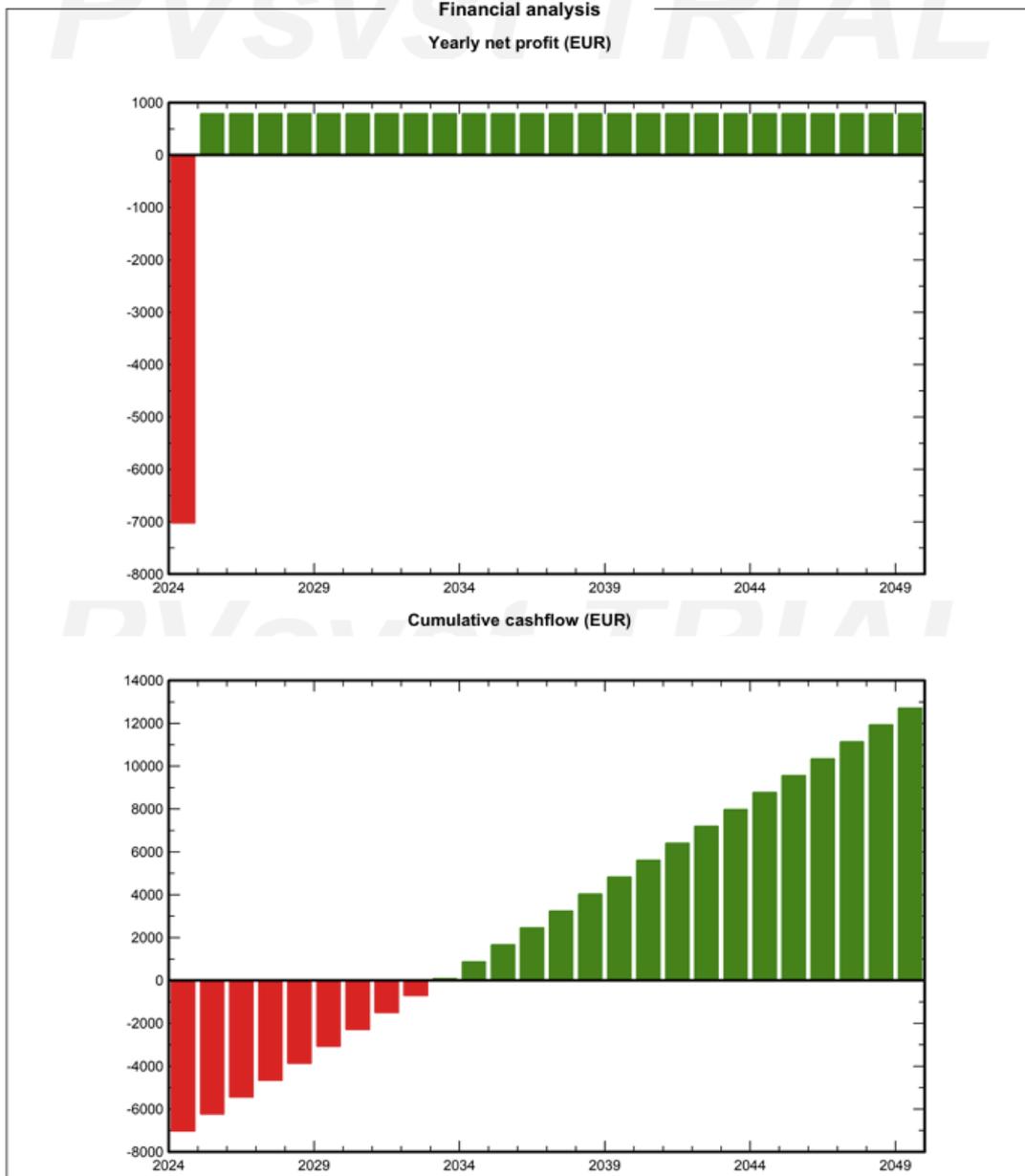


Project: TFG GMV

Variant: Jinko con Huawei perfil de consumo

PVsyst V7.4.7

VC3, Simulation date:
07/07/24 12:14
with V7.4.7





Project: TFG GMV

Variant: Jinko con Huawei perfil de consumo

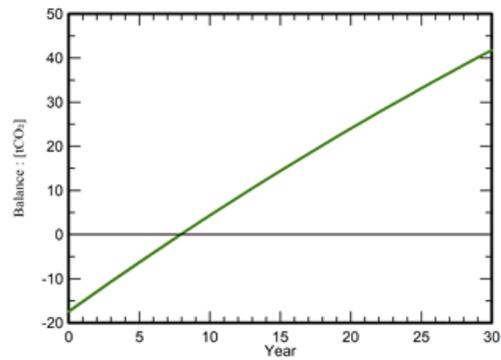
PVsyst V7.4.7

VC3, Simulation date:
06/07/24 14:11
with V7.4.7

CO₂ Emission Balance

Total: 41.8 tCO₂
Generated emissions
 Total: 17.43 tCO₂
 Source: Detailed calculation from table below
Replaced Emissions
 Total: 68.3 tCO₂
 System production: 7930.62 kWh/yr
 Grid Lifecycle Emissions: 287 gCO₂/kWh
 Source: IEA List
 Country: Spain
 Lifetime: 30 years
 Annual degradation: 1.0 %

Saved CO₂ Emission vs. Time



System Lifecycle Emissions Details

Item	LCE	Quantity	Subtotal [kgCO ₂]
Modules	1713 kgCO ₂ /kWp	10.00 kWp	17127
Supports	1.91 kgCO ₂ /kg	60.0 kg	115
Inverters	190 kgCO ₂ /units	1.00 units	190

ANEXO II. FICHAS TÉCNICAS

www.jinkosolar.com



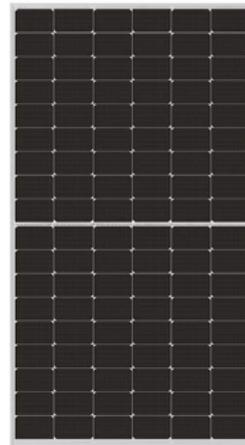
Tiger Neo N-type 54HL4R-BDV 420-440 Watt

BIFACIAL MODULE WITH
DUAL GLASS

N-Type

Positive power tolerance of 0~+3%

IEC 61215(2016), IEC 61730(2016)
ISO 9001:2015: Quality Management System
ISO 14001:2015: Environment Management System
ISO 45001:2018
Occupational health and safety management systems



Key Features



SMBB Technology

Better light trapping and current collection to improve module power output and reliability.



PID Resistance

Excellent Anti-PID performance guarantee via optimized mass-production process and materials control.



Durability Against Extreme Environmental Conditions

High salt mist and ammonia resistance.



Hot 2.0 Technology

The N-type module with Hot 2.0 technology has better reliability and lower LID/LeTID.

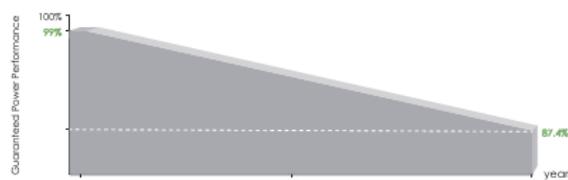


Enhanced Mechanical Load

Certified to withstand: wind load (4000 Pascal) and snow load (6000 Pascal).



LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

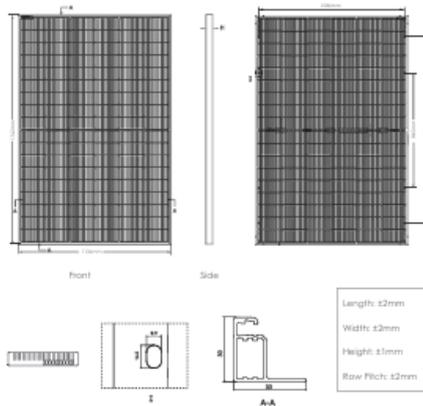


15 Year Product Warranty

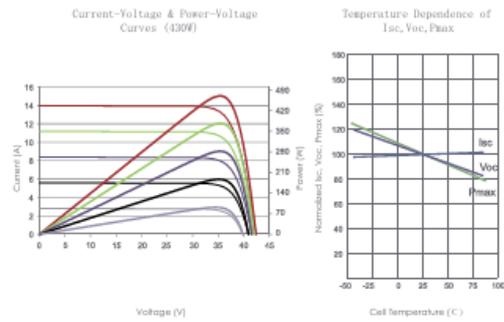
30 Year Linear Power Warranty

0.40% Annual Degradation Over 30 years

Engineering Drawings



Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	N type Mono-crystalline
No. of cells	108 (2×54)
Dimensions	1762×1134×30mm (69.37×44.65×1.18 inch)
Weight	22.0 kg (48.50 lbs)
Front Glass	1.6mm, Anti-Reflection Coating
Back Glass	1.6mm, Heat Strengthened Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² (+): 400mm, (-): 200mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM420N-54HL4R-BDV		JKM425N-54HL4R-BDV		JKM430N-54HL4R-BDV		JKM435N-54HL4R-BDV		JKM440N-54HL4R-BDV	
	STC	NOCT								
Maximum Power [Pmax]	420Wp	316Wp	425Wp	320Wp	430Wp	323Wp	435Wp	327Wp	440Wp	331Wp
Maximum Power Voltage [Vmp]	31.68V	29.57V	31.86V	29.73V	32.04V	29.94V	32.23V	30.12V	32.40V	30.27V
Maximum Power Current [Imp]	13.26A	10.68A	13.34A	10.75A	13.42A	10.80A	13.50A	10.86A	13.58A	10.93A
Open-circuit Voltage [Voc]	38.18V	36.26V	38.38V	36.45V	38.58V	36.64V	38.79V	36.84V	38.98V	37.02V
Short-circuit Current [Isc]	14.03A	11.33A	14.11A	11.39A	14.19A	11.46A	14.27A	11.52A	14.35A	11.59A
Module Efficiency STC (%)	21.02%		21.27%		21.52%		21.77%		22.02%	
Operating Temperature [°C]	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	30A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficient of Pmax	-0.29%/°C									
Temperature coefficient of Voc	-0.25%/°C									
Temperature coefficient of Isc	0.045%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2									
Bifacial Factor	80±5%									

BIFACIAL OUTPUT-REAR SIDE POWER GAIN

		441Wp	446Wp	452Wp	457Wp	462Wp
5%	Maximum Power (Pmax)	441Wp	446Wp	452Wp	457Wp	462Wp
	Module Efficiency STC (%)	22.07%	22.33%	22.60%	22.86%	23.12%
15%	Maximum Power (Pmax)	483Wp	489Wp	495Wp	500Wp	506Wp
	Module Efficiency STC (%)	24.17%	24.46%	24.75%	25.04%	25.32%
25%	Maximum Power (Pmax)	525Wp	531Wp	538Wp	544Wp	550Wp
	Module Efficiency STC (%)	26.27%	26.59%	26.90%	27.21%	27.53%

*STC:  Irradiance 1000W/m²  Cell Temperature 25°C  AM=1.5
NOCT:  Irradiance 800W/m²  Ambient Temperature 20°C  AM=1.5  Wind Speed 1m/s

Smart Energy Center



Active Safety

AI Powered
Active Arcing Protection



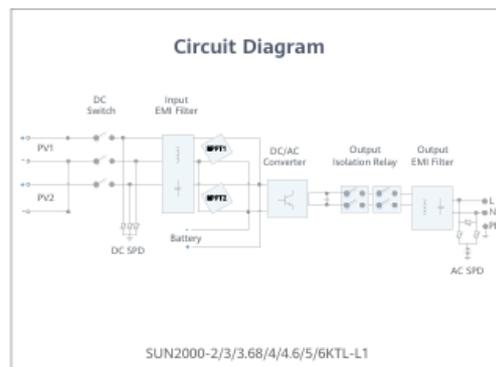
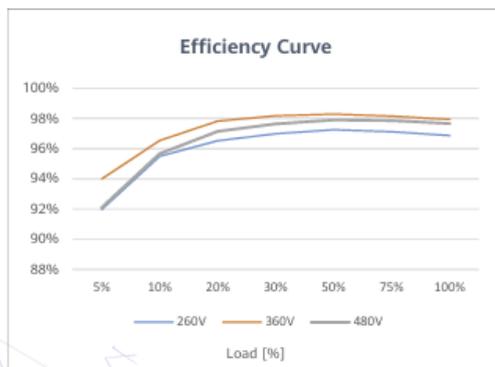
Higher Yields

Up to 30% More
Energy with Optimizer



2x POWER Battery Ready

5KW AC Output plus
5KW Battery Charge



SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1
Technical Specification

Technical Specification	SUN2000 -2KTL-L1	SUN2000 -3KTL-L1	SUN2000 -3.68KTL-L1	SUN2000 -4KTL-L1	SUN2000 -4.6KTL-L1	SUN2000 -5KTL-L1	SUN2000 -6KTL-L1 ¹
Efficiency							
Max. efficiency	98.2 %	98.3 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %
European weighted efficiency	96.7 %	97.3 %	97.3 %	97.5 %	97.7 %	97.8 %	97.8 %
Input (PV)							
Recommended max. PV power ²	3,000 Wp	4,500 Wp	5,520 Wp	6,000 Wp	6,900 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp
Max. input voltage	600 V ³						
Start-up voltage	100 V						
MPPT operating voltage range	90 V – 560 V ³						
Rated input voltage	360 V						
Max. input current per MPPT	12.5 A						
Max. short-circuit current	18 A						
Number of MPP trackers	2						
Max. number of inputs	2						
Input (DC Battery)							
Compatible Battery	LG Chem RESU 7H_R / 10H_R						
Operating voltage range	350 ~ 450 Vdc						
Max operating current	10 A @7H_R / 15 A @10H_R						
Max charge power	3,500 W @7H_R / 5,000 W @10H_R						
Max discharge Power @7H_R	2,200 W	3,300 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W
Max discharge Power @10H_R	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W
Compatible Battery	HUAWEI Smart ESS Battery 5kWh – 30kWh ¹						
Operating voltage range	350 ~ 560 Vdc						
Max operating current	15 A						
Max charge Power	5,000 W ⁴						
Max discharge Power	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W
Output							
Grid connection	Single phase						
Rated output power	2,000 W	3,000 W	3,680 W	4,000 W	4,600 W	5,000 W ⁵	6,000 W
Max. apparent power	2,200 VA	3,300 VA	3,680 VA	4,400 VA	5,000 VA ⁶	5,500 VA ⁷	6,000 VA
Rated output voltage	220 Vac / 230 Vac / 240 Vac						
Rated AC grid frequency	50 Hz / 60 Hz						
Max. output current	10 A	15 A	16 A	20 A	23 A ⁸	25 A ⁸	27.3 A
Adjustable power factor	0.8 leading ... 0.8 lagging						
Max. total harmonic distortion	≤ 3 %						
Backup power output	Yes (via Backup Box-5000 ¹)						
Protection & Feature							
Anti-Islanding protection	Yes						
DC reverse polarity protection	Yes						
Insulation monitoring	Yes						
DC surge protection	Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11						
AC surge protection	Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11						
Residual current monitoring	Yes						
AC overcurrent protection	Yes						
AC short-circuit protection	Yes						
AC overvoltage protection	Yes						
Over-heat protection	Yes						
Arc fault protection	Yes						
Battery reverse charging from grid	Yes						
General Data							
Operating temperature range	-25 ~ +60 °C (Derating above 45°C @ Rated output power)						
Relative operating humidity	0 %RH ~ 100 %RH						
Operating altitude	0 ~ 4,000 m (Derating above 2,000 m)						
Cooling	Natural convection						
Display	LED indicators; Integrated WLAN + FusionSolar APP						
Communication	RS485, WLAN via inverter built-in WLAN module						
Weight (incl. mounting bracket)	Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE (Optional); 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Optional)						
Dimension (incl. mounting bracket)	12.0 kg (26.5 lb)						
Degree of protection	365mm * 365mm * 156 mm (14.4 x 14.4 x 6.1 inch)						
	IP65						
Optimizer Compatibility							
DC MBUS compatible optimizer	SUN2000-450W-P						
Standard Compliance (more available upon request)							
Safety	EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2						
Grid connection standards	G98, G99, EN 50549-1, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777.2, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, IEC61727, IEC62116						

¹ Available in 2020 Q3.

² Inverter max input PV power is 10,000 Wp when long strings are designed and fully connected with SUN2000-450W-P power optimizers.

³ The maximum input voltage and operating voltage upper limit will be reduced to 495 V when inverter connects and works with LG battery.

⁴ 2,500 W @ 5kWh HUAWEI ESS battery

⁵ AS4777.2: 4999W. ⁶ VDE-AR-N-4105: 4600VA / AS4777.2: 4999VA. ⁷ AS4777.2: 4999VA. ⁸ AS4777.2: 21.7A.

Version No.:03-(20200409)

SOLAR.HUAWEI.COM/EU/

