



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN UNA URBANIZACIÓN DEL NOROESTE DE MADRID

Autor: Inés Pomar Herraiz

Director: Iñigo Sanz Fernández

Madrid

Junio de 2025

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Estudio de Viabilidad de Energía Solar Fotovoltaica en una Urbanización del Noroeste de
Madrid

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2024/25 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.: Inés Pomar Herraiz

Fecha: 27./ 06/ 2025

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Iñigo Sanz Fernández

Fecha://



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN UNA URBANIZACIÓN DEL NOROESTE DE MADRID

Autor: Inés Pomar Herraiz

Director: Iñigo Sanz Fernández

Madrid

Junio de 2025

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN UNA URBANIZACIÓN DEL NOROESTE DE MADRID

Autor: Pomar Herraiz, Inés.

Director: Sanz Fernández, Iñigo.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto analiza la viabilidad técnica y económica de una instalación fotovoltaica de autoconsumo individual con excedentes acogida a compensación, diseñada para cubrir parte del consumo eléctrico de las zonas comunes en una comunidad de vecinos de Majadahonda, Madrid.

A la hora de diseñar dicha instalación se ha hecho uso del software SAM (System Advisor Model). Se trata de una instalación de 13,2 kWp con 24 módulos JA solar que logra cubrir aproximadamente el 49% del consumo eléctrico anual. El análisis demuestra un payback de casi 4 años, una TIR del 25% y un VAN de 30992,72€.

Palabras clave: autoconsumo, fotovoltaica, SAM, energía solar, rentabilidad, comunidad de vecinos.

1. Introducción

El incremento del precio de la electricidad y la necesidad de avanzar hacia un modelo energético más sostenible han impulsado el interés por instalaciones solares de autoconsumo. En este contexto, se plantea el estudio para evaluar su viabilidad en una comunidad residencial en Majadahonda, Madrid.

2. Definición del proyecto

El objetivo principal del proyecto es proponer una instalación fotovoltaica que optimice el uso de la energía solar en zonas comunes de una urbanización y que sea viable económicamente, capaz de reducir la factura eléctrica asociada a las zonas comunes de la comunidad (iluminación, garaje, ascensores, etc.).

La instalación se plantea como un sistema sin baterías, conectado a red y con excedentes acogido a compensación simplificada. Para su dimensionamiento se han recopilado consumos reales de la comunidad y se han realizado simulaciones con el software SAM [1] para evaluar el diseño óptimo del sistema. Se tienen en cuenta las limitaciones técnicas, normativas y espaciales del entorno, así como el marco legal vigente y las posibles ayudas fiscales. El estudio tiene un enfoque práctico y está alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [4].

3. Descripción sistema

Se ha modelado una instalación de 24 paneles JA Solar JAM72S30-550/MR [3], conectados a un inversor Huawei SUN2000-15KTL-M2 [2], que resulta en una potencia total de 13,2 kWp. El campo fotovoltaico se compone de dos strings de 12 módulos conectados en serie, dispuestos físicamente en tres filas de cuatro módulos cada uno. La orientación es de 148° (sureste) con una inclinación de 10°, y está ubicada sobre la cubierta de la caseta técnica

común, la cual solo cuenta con 80 m² útiles, lo que ha condicionado significativamente el diseño del sistema.

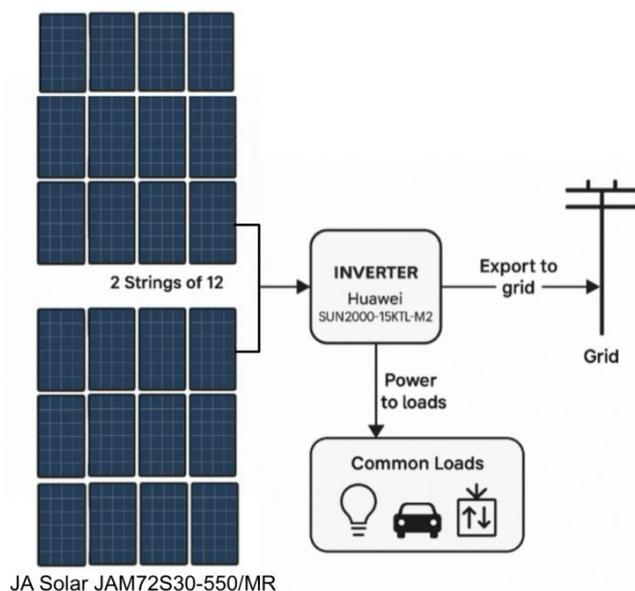


Ilustración 1. Esquema instalación fotovoltaica (Elaboración propia)

4. Resultados

La instalación propuesta alcanza una producción anual de 20.799 kWh, con una cobertura solar del 32,73 % sobre el consumo eléctrico de las zonas comunes. El rendimiento específico es de 1.575,7 kWh/kWp·año, superando la media regional.

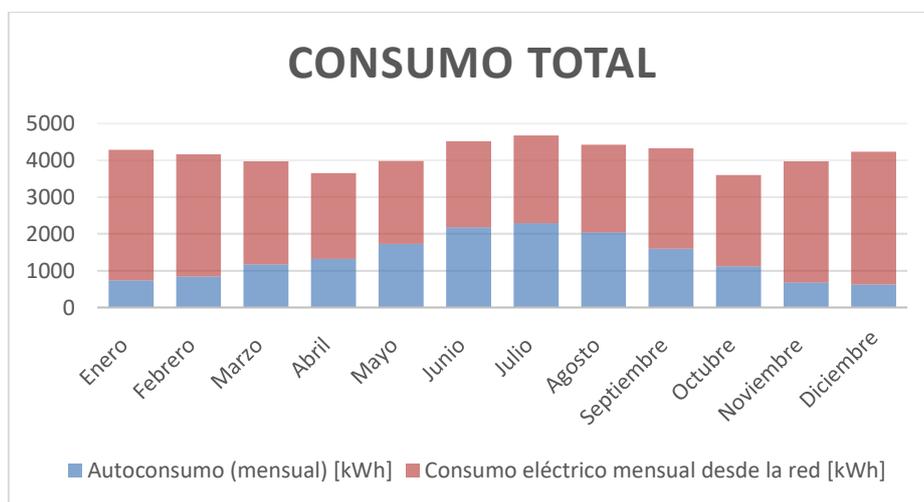


Ilustración 2. Gráfico consumo eléctrico mensual: autoconsumo vs. Red. (Elaboración propia)

Desde el punto de vista económico, se estima un ahorro anual de 2.773 €, con una inversión inicial de 10.928 €. El sistema presenta un periodo de amortización de 3,9 años, un VAN de 30,992.72€ y una TIR del 25 %, lo que confirma su viabilidad y alta rentabilidad. Además, se ha calculado el Coste Nivelado de la Energía (LCOE), obteniendo un valor de 0,0395 €/kWh. Este resultado refleja un coste de generación altamente competitivo, lo que refuerza la viabilidad económica y la eficiencia del sistema fotovoltaico propuesto a lo largo de toda su vida útil.

5. Conclusiones

El estudio demuestra que una instalación fotovoltaica de autoconsumo individual aplicada a los consumos comunes de una comunidad residencial puede ser técnica y económicamente viable, incluso con limitaciones de espacio. La propuesta alcanza una cobertura energética del 32,73 % y ofrece una amortización rápida y rentabilidad elevada. Además, contribuye a reducir emisiones de CO₂ y avanza hacia un modelo energético más sostenible y autosuficiente.

6. Referencias

- [1] Auto Solar. (2025). *Inversor Huawei SUN2000-15KTL-M2 (HC) 15kW Trifásico*. Obtenido de <https://autosolar.es/inversores-de-red-trifasicos/inversor-huawei-sun2000-15ktl-m2-hc-15kw-trifasico>
- [2] Auto Solar. (2025). *Panel Solar 550W JA Solar Mono PERC*. Obtenido de <https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-solar-550w-ja-solar-mono-perc#specification>
- [3] Organización de Naciones Unidas. (s.f.). *Objetivos de desarrollo Sostenible*. Recuperado el 17 de Febrero de 2025, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [4] System Advisor Model™ Version 2024.12.12 (SAM™ 2024.12.12) User Documentation. *Weather File Formats*. National Renewable Energy Laboratory. Golden, CO.

FEASIBILITY STUDY OF PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY IN A HOUSING DEVELOPMENT IN NORTHWEST MADRID

Author: Pomar Herraiz, Inés.

Supervisor: Sanz Fernández, Iñigo.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

This project analyzes the technical and economic feasibility of an individual photovoltaic self-consumption system with surplus energy fed into the grid under the simplified compensation scheme, designed to partially cover the electricity consumption of the common areas in a housing development in Majadahonda, Madrid.

The system design was carried out using the SAM (System Advisor Model) software. It consists of a 13.2 kWp installation with 24 JA Solar modules, capable of covering approximately 33% of the annual electricity demand. The analysis shows a payback period of nearly 4 years, an IRR of 25%, and an NPV of €30,992.72.

Keywords: self-consumption, photovoltaics, SAM, solar energy, profitability, housing development.

1. Introduction

The sustained increase in electricity prices and the need to transition towards a more sustainable energy model have driven interest in solar self-consumption installations. In this context, the study aims to evaluate the feasibility of such a system in a real residential community in Majadahonda, Madrid.

2. Project definition

The main objective of the project is to propose a photovoltaic installation that optimizes the use of solar energy in the common areas of housing development and is economically viable, capable of reducing the electricity bill associated with shared services (lighting, garage, elevators, etc.).

The system is designed as a grid-connected installation without batteries, with surplus energy fed into the grid under the simplified compensation scheme. Real consumption data from the community was collected, and simulations were performed using the SAM software [1] to determine the optimal system configuration. Technical, regulatory, and spatial constraints of the environment have been considered, along with current legislation and potential tax incentives. The study follows a practical approach and aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs) [4].

3. System description

The system has been modeled using 24 JA Solar JAM72S30-550/MR [3] panels connected to a Huawei SUN2000-15KTL-M2 [2] inverter, resulting in a total installed capacity of 13.2 kWp. The photovoltaic field consists of two subarrays of 12 modules connected in series, physically arranged in three rows of four modules each. The array is oriented at 148° southeast with a tilt angle of 10° and is installed on the roof of the shared technical building, which has only 80 m² of usable surface, significantly constraining the system design.

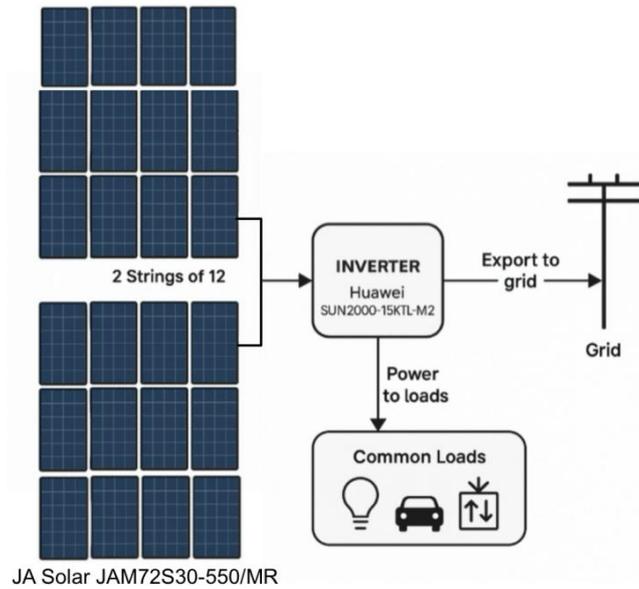


Ilustración 3. Photovoltaic installation layout (Own elaboration)

4. Results

The proposed installation reaches an annual production of 20,799 kWh, with a solar coverage of 32.73% of the electricity demand of the common areas. The specific yield is 1,575.7 kWh/kWp·year, exceeding the regional average.

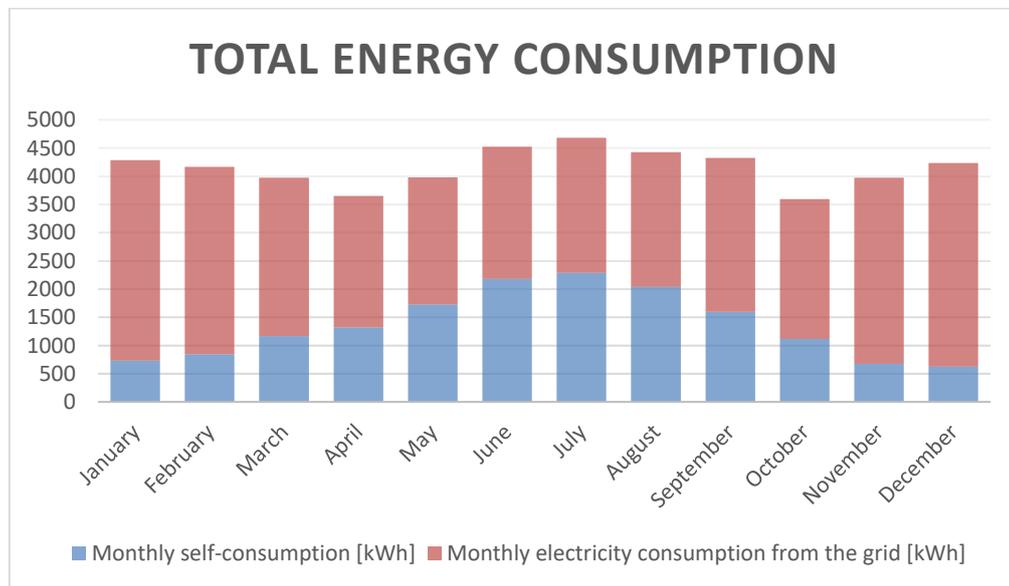


Ilustración 4. Monthly electricity consumption: self-consumption vs. grid. (Own elaboration)

From an economic perspective, annual savings are estimated at €2,773, with an initial investment of €10,928. The system presents a payback period of 3.9 years, an NPV of €30,992.72, and an IRR of 25%, confirming its viability and high profitability. Additionally, the Levelized Cost of Energy (LCOE) was calculated, resulting in a value of €0.0395/kWh. This outcome reflects a highly competitive generation cost, further reinforcing the economic viability and overall efficiency of the proposed photovoltaic system throughout its lifetime.

5. Conclusions

The study demonstrates that an individual photovoltaic self-consumption installation applied to the shared loads of a housing development can be technically and economically viable, even with spatial constraints. The proposed system achieves 32.73% energy coverage and offers fast payback and strong profitability. Additionally, it contributes to reducing CO₂ emissions and supports the transition towards a more sustainable and self-sufficient energy model.

6. References

- [1] Auto Solar. (2025). *Inversor Huawei SUN2000-15KTL-M2 (HC) 15kW Trifásico*. Retrieved from <https://autosolar.es/inversores-de-red-trifasicos/inversor-huawei-sun2000-15ktl-m2-hc-15kw-trifasico>
- [2] Auto Solar. (2025). *Panel Solar 550W JA Solar Mono PERC*. Retrieved from <https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-solar-550w-ja-solar-mono-perc#specification>
- [3] Organización de Naciones Unidas. (s.f.). *Objetivos de desarrollo Sostenible*. Retrieved February 17, 2025, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [4] System Advisor Model™ Version 2024.12.12 (SAM™ 2024.12.12) User Documentation. *Weather File Formats*. National Renewable Energy Laboratory. Golden, CO.

TABLA DE CONTENIDO

<i>Índice de Ilustraciones</i>	IV
<i>Índice de tablas</i>	VI
<i>Índice de ecuaciones</i>	VII
Capítulo 1. Introducción	8
1.1 Estado de la cuestión	10
1.2 Objetivos	11
1.3 Alcance y limitaciones	11
1.3.1 Alcance	11
1.3.2 Limitaciones	12
1.4 Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS)	13
Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías	15
2.1 Energías renovables.....	15
2.1.1 Energía eólica	15
2.1.2 Energía hidroeléctrica.....	16
2.1.3 Energía geotérmica	16
2.1.4 Bioenergía	16
2.2 Energía Solar	17
2.2.1 Energía solar fotovoltaica.....	17
2.2.2 Energía solar térmica.....	19
2.2.3 Sistemas híbridos.....	20
2.3 Autoconsumo fotovoltaico	21
2.3.1 Concepto y beneficios.....	21
2.3.2 Tipos de autoconsumo fotovoltaico	22
2.4 Componentes de una instalación fotovoltaica	24
2.4.1 Paneles solares.....	24
2.4.2 Inversores	25
2.4.3 Baterías y sistemas de almacenamiento	26
2.4.4 Reguladores de carga.....	26

2.5	Legislación y normativa vigente	27
2.5.1	<i>Normativa europea</i>	27
2.5.2	<i>Normativa nacional</i>	28
2.5.3	<i>Normativa técnica aplicable</i>	28
2.5.4	<i>Normativa autonómica y municipal</i>	29
2.5.5	<i>Permisos y procedimientos administrativos</i>	30
Capítulo 3. Metodología y análisis.....		32
3.1	Descripción de la urbanización	32
3.1.1	<i>Localización</i>	32
3.1.2	<i>Recurso solar</i>	32
3.1.3	<i>Superficie disponible</i>	34
3.2	Auditoría energética de la comunidad.....	35
3.3	Diseño de la instalación fotovoltaica.....	37
3.3.1	<i>Cálculo de la potencia necesaria</i>	38
3.3.2	<i>Módulos fotovoltaicos e inversor: selección y dimensionamiento</i>	38
3.3.3	<i>Selección del tipo de instalación</i>	41
3.3.4	<i>Disposición óptima de los paneles</i>	41
3.3.5	<i>Mantenimiento y vida útil del sistema</i>	43
3.3.6	<i>Análisis energético mediante simulación SAM</i>	44
Capítulo 4. Análisis económico y financiero.....		49
4.1	Costes de la instalación fotovoltaica	49
4.2	Posibles fuentes de financiación y ayudas públicas	50
4.3	Análisis de ahorro energético y económico.....	51
4.4	Rentabilidad económica y periodo de amortización del proyecto.....	52
4.5	Coste nivelado de la Energía (LCOE).....	55
Capítulo 5. Impacto ambiental.....		57
5.1	Beneficios ambientales.....	57
5.2	Impactos negativos potenciales	57
5.3	Evaluación global del impacto ambiental.....	58
Capítulo 6. Conclusiones.....		59
6.1	Conclusiones del estudio	59
6.2	Recomendaciones para la comunidad de vecinos.....	60

<i>Capítulo 7. Bibliografía.....</i>	<i>62</i>
<i>ANEXO I. HOJAS DE CARACTERISTICAS.....</i>	<i>69</i>
<i>ANEXO II. Resultados de SAM (System Advisor Model).....</i>	<i>75</i>

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Esquema instalación fotovoltaica (Elaboración propia).....	5
Ilustración 2. Gráfico consumo eléctrico mensual: autoconsumo vs. Red. (Elaboración propia).....	5
Ilustración 3. Photovoltaic installation layout (Own elaboration).....	8
Ilustración 4. Monthly electricity consumption: self-consumption vs. grid. (Own elaboration).....	8
Ilustración 5. Situación en de la urbanización en España (Google maps. Elaboración propia)	8
Ilustración 6. Situación en de la urbanización en Madrid (Google maps. Elaboración propia)	9
Ilustración 7. Objetivos de desarrollo Sostenible (Organización de Naciones Unidas, s.f.)	14
Ilustración 8. Ventajas de la energía solar fotovoltaica. (Iberdrola, 2024)	18
Ilustración 9. Potencia instalada en España a 31 de enero de 2025. (Red eléctrica, 2025).	19
Ilustración 10. Sistema fotovoltaico de autoconsumo. (Bernardo, 2025)	22
Ilustración 11. Tipos de autoconsumo (Actitud Ecológica, s.f.)	23
Ilustración 12. Módulo fotovoltaico.	25
Ilustración 13. Mapa irradiación solar. (European Comission, 2025).....	33
Ilustración 14. Urbanización vista desde arriba. (Google Maps, Elaboración propia).....	34
Ilustración 15. Gráfico consumos de la urbanización. (Elaboración propia)	35
Ilustración 16. Franjas horarias consumo electricidad (kWh). (Endesa, 2022).....	36
Ilustración 17 . Comparativa mensual entre la energía generada y la demanda eléctrica. (Elaboración propia mediante SAM).....	37
Ilustración 18. Esquema instalación fotovoltaica (Elaboración propia).....	40
Ilustración 19. Disposición física de los módulos en orientación portrait y parámetros de separación entre filas. (SAM (System Advisor Model)).	42
Ilustración 20. Ángulos de inclinación (tilt) y orientación (azimut) en una instalación fotovoltaica. ((SAM (System Advisor Model)).....	42

Ilustración 21. Gráfico consumo eléctrico mensual: autoconsumo vs. Red. (Elaboración propia).....	46
Ilustración 22. Gráfica Recuperación de la inversión y beneficios acumulados. (Elaboración propia).....	53

Índice de tablas

Tabla 1. Coordenadas geográficas (Elaboración propia).....	32
Tabla 2. Datos irradiancia. (European Comission, 2025).....	33
Tabla 3. Consumos urbanización en kWh (Elaboración propia).....	35
Tabla 4 Características técnicas del módulo JA Solar JAM72S30-550/MR. (Elaboración propia a partir de la ficha técnica del fabricante)	39
Tabla 5. Características técnicas del inversor Huawei SUN2000-15KTL-M2. (Elaboración propia a partir de la ficha técnica del fabricante)	41
Tabla 6. Comparativa entre consumo energético y producción solar mensual. (Elaboración propia a partir de las simulaciones de SAM).....	45
Tabla 7. Balance energético anual de la instalación fotovoltaica. (Elaboración propia a partir de las simulaciones de SAM)	46
Tabla 8. Presupuesto coste inversión inicial (Fuente: precios obtenidos a través de (Auto Solar, 2025) (Auto Solar, 2025) (Leroy Merlin, 2025) (Leroy Merlin, 2025) (Auto Solar, 2025) (Auto Solar, 2025) a junio de 2025).....	49
Tabla 9. Precios del consumo y la producción (Elaboración propia).....	51
Tabla 10. Detalle económico anual de inversión, ahorro y rentabilidad acumulada (Elaboración propia).....	52
Tabla 11. Indicadores de rentabilidad (Elaboración propia)	55
Tabla 12. Levelized Cost of Energy (LCOE) (Elaboración propia).....	55

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Potencia fotovoltaica necesaria.....	38
Ecuación 2. Estimación teórica de cobertura por potencia instalada.	38
Ecuación 3. Potencia pico total.	39
Ecuación 4. Cobertura solar anual (%).....	46
Ecuación 5. Producción solar total	46
Ecuación 6. Excedente solar (%).....	47
Ecuación 7. Autoconsumo efectivo (%).....	47
Ecuación 8. Rendimiento específico	47
Ecuación 9. Payback simple	53
Ecuación 10. VAN.....	54
Ecuación 11. TIR.....	54
Ecuación 12. Coste nivelado de la energía (LCOE).....	55
Ecuación 13. Energía ajustada.....	56
Ecuación 14. Impacto ambiental	57

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En el contexto energético actual se pretenden optimizar los recursos y producir de manera eficiente y limpia. El objetivo es que la producción energética sea lo más sostenible posible, minimizar su impacto ambiental y reducir los costos asociados a la energía. Por esta razón, las tecnologías que permiten la generación de energía renovable, como la generación fotovoltaica, representan una alternativa eficiente y sostenible con alto potencial.

En el presente Trabajo de Fin de Grado (TFG) se pretende auditar la instalación eléctrica de una comunidad de vecinos en Majadahonda, Madrid, identificando aquellas áreas donde se pueda hacer alguna mejora y plantear la instalación de placas solares fotovoltaicas para reducir el coste energético a medio plazo.



*Ilustración 5. Situación en de la urbanización en España (Google maps.
Elaboración propia)*

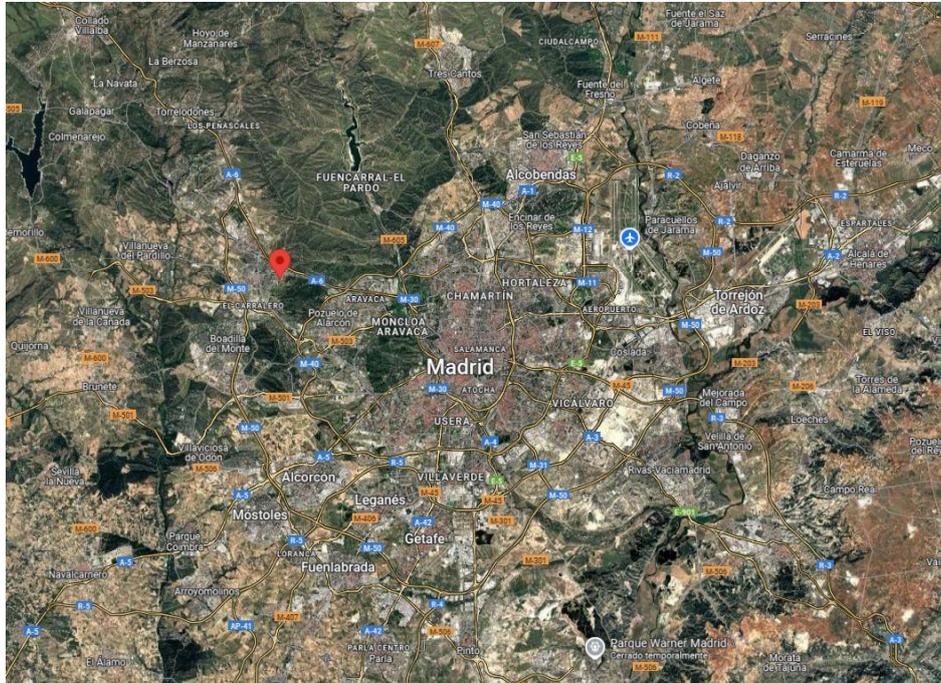


Ilustración 6. Situación en de la urbanización en Madrid (Google maps. Elaboración propia)

Con esta investigación se busca cumplir con los requisitos de seguridad y normativas vigentes, además de promover el uso de energías que contribuyan a los objetivos globales de sostenibilidad (ODS). La implementación de placas solares, además de reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables, ayudará en muchos casos a reducir el gasto económico que la obtención de energía conlleva.

El presente estudio abarcará el análisis del consumo energético de la comunidad, la identificación de oportunidades de optimización, la propuesta de instalación de un sistema fotovoltaico y la evaluación de su viabilidad técnica y económica. Para ello, se realizará una auditoría energética basada en los datos de consumo, se diseñará un modelo de instalación eficiente y se analizarán los beneficios a nivel financiero y ambiental.

1.1 ESTADO DE LA CUESTIÓN

Cada día es más relevante el uso de energías renovables en España, al igual que en el resto del mundo. Esto se debe principalmente a los beneficios que trae su uso. Entre ellos, cabe destacar que se obtienen de recursos inagotables de la naturaleza; la mayoría no producen gases de efecto invernadero, lo que conlleva que se respete el medio ambiente; son más seguras para la salud, ya que no emiten gases perjudiciales para los seres vivos; y por último, y la razón principal por la que he decidido hacer este trabajo, es que favorecen la independencia energética (Iberdrola España, 2023).

En 2024 la energía renovable en España ha supuesto más de un 56% de la producción eléctrica de nuestro país. En concreto, la energía solar fotovoltaica consiguió una cuota del 25,4% en la estructura de generación nacional el 12 de julio de este año, con una aportación de 211,9GWh (Red Eléctrica, 2024).

Como he mencionado anteriormente, el uso de energías renovables reduce la dependencia de fuentes de energía externas, y en un contexto en el que la energía y la electricidad aumenta su precio constantemente, la implementación de placas solares fotovoltaicas es algo que la comunidad de vecinos se ha planteado varias veces a lo largo de los últimos años para reducir gastos. Por ello, el objetivo de este trabajo es formular una propuesta que evalúe esta posibilidad y comprobar si la inversión que debieran realizar los vecinos de la comunidad sale rentable a medio plazo; es decir, es una inversión viable económicamente, y en caso contrario, proponer cambios para hacer más eficiente la presente instalación e intentar aun así reducir los gastos de la comunidad.

Para que el análisis se realice con la mayor exactitud posible, se contactó con el administrador de la comunidad para recabar toda la información necesaria. Entre ellas, las facturas de electricidad del último año, en base a las cuales se pretende hacer el estudio, además de proyectos anteriores que se han realizado.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es analizar la viabilidad técnica y económica de la instalación de paneles solares fotovoltaicos en una comunidad de vecinos en Majadahonda, con el fin de reducir el gasto energético y mejorar la eficiencia de la instalación eléctrica.

Objetivos:

- a. Recabar toda la información disponible y analizar los datos obtenidos (Facturas, proyectos anteriores...).
- b. Proponer la implementación de un sistema de placas solares fotovoltaicas.
- c. Evaluar la viabilidad técnica y económica del sistema fotovoltaico, incluyendo costos, ahorros y período de amortización.
- d. Determinar la rentabilidad de la instalación a medio plazo y proponer mejoras en caso de que la inversión no sea viable.

1.3 ALCANCE Y LIMITACIONES

Este estudio se enfoca en el análisis y propuesta de mejora energética en una comunidad de vecinos en Majadahonda, Madrid. El trabajo se limita a una evaluación teórica basada en datos de consumo eléctrico, modelos de simulación y criterios técnicos para determinar la viabilidad de la implementación de un sistema fotovoltaico. A continuación, se detallan los aspectos incluidos y excluidos del análisis.

1.3.1 ALCANCE

El estudio abordará los siguientes aspectos:

- Análisis del consumo eléctrico de la urbanización. Se recopilarán los datos de consumo a partir de las facturas. En este caso, la urbanización tiene una factura mensual para cada portal, otra para las zonas comunes y otra para el garaje. A partir de estas se identificarán los principales puntos de consumo y patrones de uso de la electricidad.

- Propuesta de mejora mediante instalación de paneles solares. Se determinará la potencia óptima de la instalación fotovoltaica en función del consumo y las condiciones climáticas de la zona. Además, se calculará la cantidad de paneles necesarios, su disposición óptima, la superficie necesaria y se considerarán los aspectos técnicos para maximizar su eficiencia (inclinación y orientación de los paneles).
- Evaluación económica y financiera. Se estimarán los costes de instalación del sistema, se calculará el ahorro en la factura eléctrica y se analizará el plazo de amortización y rentabilidad del proyecto. Por último, se analizarán las posibles opciones de financiación y ayudas públicas por la instalación de energías renovables.
- Impacto ambiental y sostenibilidad. Se estimará la reducción de emisiones de CO₂.
- Cumplimiento de la normativa. Se revisará la normativa vigente sobre autoconsumo y energías renovables aplicadas a comunidades de vecinos.

1.3.2 LIMITACIONES

Aunque el análisis que se va a realizar es detallado hay que tener en cuenta que no abarcará los siguientes aspectos:

- No se realizará una instalación real. Es un estudio teórico que basa sus resultados en simulaciones y modelos matemáticos.
- Factores arquitectónicos y estructurales. No se realizará un estudio detallado de la estructura del edificio. Se asume que las superficies seleccionadas son aptas para la instalación de los paneles.
- El análisis se centra exclusivamente en la instalación de energía solar fotovoltaica.
- Variabilidad en los precios y regulaciones. Los costes de los materiales, mano de obra y posibles ayudas económicas varían con el tiempo, por lo que el estudio puede solo ser válido para el momento en el que se realiza.
- Los datos de consumo y las facturas de la comunidad están separadas. Hay una factura por cada uno de los 8 portales, otra para las zonas comunes y otra para el garaje. Con el objetivo de simplificar los cálculos se unificarán los consumos.

1.4 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos globales, se definieron en 2015 por las Naciones Unidas y forman parte de la agenda 2030, que pretende que todas las personas disfruten de paz y prosperidad en este momento. Se trata de 17 objetivos que pretenden equilibrar la sostenibilidad social, económica y ambiental (PNUD, s.f.)

El primer ODS que se alinea con mi TFG es el 7: Energía asequible y no contaminante. Ya que este proyecto pretende implementar energías renovables, como es la solar fotovoltaica, además de mejorar la eficiencia energética de la instalación.

También presenta un claro compromiso con el ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles, ya que fomenta la sostenibilidad urbana y promueve una infraestructura más eficiente desde el punto de vista energético y la reducción de la huella ambiental en este caso de la comunidad, ayudando a construir una comunidad autosuficiente.

Otro ODS presente en el proyecto es el 12: Producción y consumo responsables. Esto se debe principalmente al uso eficiente de los recursos naturales, en este caso la radiación solar. El proyecto implica la optimización del consumo energético de la comunidad de vecinos, fomentando patrones más responsables del consumo de energía.

Y, por último, el ODS 9: Industria, innovación e infraestructura. Este trabajo fomenta la innovación tecnológica de la comunidad al introducir un sistema de energía renovable y analizar la viabilidad de esta tecnología. Además, el proyecto incluye la optimización de la infraestructura eléctrica existente y la implementación de soluciones para la generación de energía.



Ilustración 7. Objetivos de desarrollo Sostenible (Organización de Naciones Unidas, s.f.)

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

2.1 ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables son aquellas que derivan de fuentes naturales y que son capaces de reponerse más rápido de lo que se consumen. Por esta misma razón se está tratando de sustituir los combustibles fósiles por estas. Además de que producen muchas menos emisiones que la quema de combustibles fósiles, lo que es fundamental para hacer frente al cambio climático (Naciones Unidas, s.f.).

Algunas de estas fuentes de energía son la energía solar, la energía eólica, la energía geotérmica, la hidroeléctrica o la bioenergía, las cuales serán comentadas a continuación.

Debido a los notables beneficios de este tipo de energías, frente a los combustibles fósiles y otras fuentes de energía no renovables, su uso está en constante crecimiento. En 2024 la participación de las energías renovables a la producción total de electricidad llegó al 56%, con un incremento de un 11% con respecto al año anterior. Cabe destacar que la energía solar fotovoltaica se encuentra en la tercera posición en esta producción, solo siendo superada por la energía eólica y la nuclear, sosteniendo un 17% de la producción (Red Eléctrica, 2024).

2.1.1 ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica consiste en aprovechar la fuerza del viento para generar electricidad a través de un generador eléctrico. Esta fuente de energía, además de reducir la huella ecológica, tiene una buena integración con la red eléctrica; un impacto positivo en la economía; es flexible y escalable; es compatible con otras energías renovables y sus instalaciones tienen una larga vida útil.

Mediante aerogeneradores la energía cinética del viento se transforma en energía mecánica y esta a su vez en energía eléctrica. Aunque además de para producir electricidad se utiliza para el bombeo de agua y para la producción de hidrógeno renovable (Repsol, 2023).

2.1.2 ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

También conocida como la energía del agua, consiste en aprovechar el agua en movimiento para la producción de electricidad. Es una de las energías renovables más antiguas y eficientes. Las centrales hidroeléctricas transforman la energía mecánica del agua en movimiento en energía eléctrica, lo que supone una reducción significativa de las emisiones de gases contaminantes (Repsol, 2023).

2.1.3 ENERGÍA GEOTÉRMICA

Para la producción de energía geotérmica se aprovecha el calor interno de la Tierra para generar electricidad. Aunque este recurso se encuentra en todos lados, se tienen que cumplir unas condiciones físicas específicas para poder hacer uso de él. Las ubicaciones más favorables son las que se manifiestan de forma natural, por ejemplo, las fuentes termales, géiseres y volcanes. Es una fuente de energía muy importante, ya que satisface las necesidades energéticas a gran escala. Poniéndolo en contexto, una planta geotérmica de aproximadamente 10 MW puede generar cada año la electricidad suficiente para abastecer a más de 23.000 hogares, evitando así la emisión de alrededor de 57.000 toneladas de CO₂ anualmente (Repsol, s.f.).

2.1.4 BIOENERGÍA

Este tipo de energía renovable aprovecha distintos desechos para crear un combustible renovable, neutro en cuanto a emisiones de CO₂ y muy competitivo con respecto a otras fuentes de energía. Según la Directiva Europea de Energías Renovables, la biomasa es «la fracción biodegradable de los productos, residuos y desechos de origen biológico procedentes de actividades agrarias, incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal, de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos, incluidos los residuos industriales y

municipales de origen biológico», lo que hace que esta fuente de energía sea muy accesible, en especial en España, donde la producción agrícola y ganadera es extensa y donde encontramos un gran entorno natural ((Repsol, s.f.).

2.2 ENERGÍA SOLAR

La energía solar es una forma de energía renovable que aprovecha la radiación del sol para obtener electricidad. Esto la convierte en una fuente de energía limpia y sostenible al contrario de las fuentes de energía convencionales.

Algunas de las principales ventajas de esta fuente de energía son su carácter inagotable, lo que permite obtener una energía limpia y abundante; la ausencia de emisiones de gases de efecto invernadero durante su generación; y su contribución a la estabilidad del precio de la energía, al reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Además, su naturaleza descentralizada permite su instalación en diversos puntos, favoreciendo el autoconsumo y la autonomía energética. Por último, una vez implementado el sistema, los costes de mantenimiento son relativamente bajos, lo que hace que la inversión en este tipo de energía resulte en muchos casos rentable tanto para grandes empresas como para el ámbito residencial (Iberdrola España, 2023).

Existen varios tipos de energía solar, la energía solar fotovoltaica y la energía termo solar, también se analizarán los modelos híbridos.

2.2.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad. Esto se realiza empleando una tecnología basada en el efecto fotoeléctrico. Por el efecto fotoeléctrico determinados materiales son capaces de absorber fotones y liberar electrones, generando así una corriente eléctrica.

Algunas ventajas de esta tecnología son las siguientes: (Iberdrola, 2024).

1. Es inagotable y no contaminante. No genera residuos ni consume combustibles fósiles.
2. Alcance universal.
3. Óptimo para zonas rurales. En especial zonas donde el tendido eléctrico no llega o tiene una difícil instalación.
4. Almacenable. Admite el uso de baterías para almacenar la electricidad sobrante.
5. Modulable según la necesidad. Este tipo de energía se puede producir en grandes plantas fotovoltaicas o ser pequeños generadores para, por ejemplo, el auto consumo.
6. Empleos verdes. Fomenta la creación de empleo local y el crecimiento económico.



Ilustración 8. Ventajas de la energía solar fotovoltaica. (Iberdrola, 2024)

Aunque se podría decir que es una fuente de energía muy completa y eficiente, tiene también algunas desventajas a las que hay que hacer frente (Engel Energy, 2023)

1. Dependencia del clima. Aunque los paneles solares funcionan en días nublados, la producción de energía es mucho menos a la generada en días soleados.

2. Alta inversión inicial. A largo plazo suele suponer un ahorro en la factura eléctrica, pero hay que estar dispuesto y poder hacer frente a una costosa inversión inicial. Aun así, la inversión suele recuperarse entre 4 y 7 años.
3. Espacio. Se necesita un espacio amplio y sin sombras para que la instalación sea eficiente.
4. Producción irregular. Por la noche la producción es nula, y por ello a lo largo del año no se produce siempre la misma cantidad de electricidad. Aun así, esto se puede solucionar mediante el uso de baterías.

Debido al potencial que tiene España para desarrollar esta tecnología, se ha posicionado como la tecnología con más MW instalados en España (32.043 MW), por delante de la energía eólica (32.007 MW), también muy potente en nuestro país. Cerrando 2024 contaba con 17% de la producción total nacional y supone casi el 25% de la estructura de potencia instalada en España (Red eléctrica, 2025).

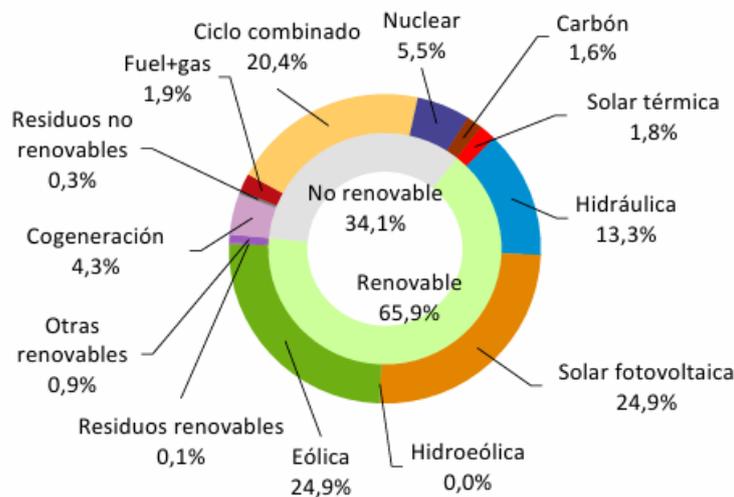


Ilustración 9. Potencia instalada en España a 31 de enero de 2025. (Red eléctrica, 2025)

2.2.2 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La energía solar térmica, también conocida como termosolar, es otra energía renovable que utiliza el sol como recurso para producir electricidad. En este caso, se utilizan espejos que

concentran la radiación del sol para evaporar agua, que posteriormente se utilizará para mover una turbina y así producir electricidad. Se podría decir que la mecánica de esta tecnología se asemeja a la de las fuentes de energía no renovables ya que como he mencionado antes su objetivo es mover una turbina, aunque, en este caso, se hace sin quemar combustibles fósiles.

Resumidamente, la energía termosolar consta de tres mecanismos principales. Los captadores solares (los espejos que reflejan la luz solar y convierten la energía solar en térmica), un medio de almacenamiento (para almacenar el calor, suele ser mediante el vapor), y un generador de energía eléctrica (la turbina).

Algunas de sus ventajas son su alta eficiencia energética, entre el 20% y el 40%; la capacidad de almacenamiento, ya que puede almacenar energía térmica entre 10 y 15 horas, lo que permite un suministro continuo de electricidad, incluso por las noches; y la flexibilidad tecnológica, ya que complementa otras fuentes de energía renovable como puede ser la solar fotovoltaica y la eólica.

También tiene algunos inconvenientes como que su instalación está limitada a ciertas regiones como podría ser el sur de Europa o el norte de África, ya que requiere altos niveles de sol durante largos periodos; y sus altos costes de producción de electricidad (Mártel de la Plaza, 2024)

2.2.3 SISTEMAS HÍBRIDOS

Un sistema híbrido de energía se define como la integración de múltiples fuentes de energía renovable, con o sin apoyo de fuentes convencionales o almacenamiento, que trabajan de forma coordinada para cubrir la demanda energética de una instalación, región o red. Este tipo de sistemas ofrece una solución técnica y sostenible para afrontar la escasez energética en zonas remotas, así como para contribuir a la transición energética global, especialmente gracias a los avances recientes en redes inteligentes y gestión energética (Soleimani, y otros, 2025).

Según la combinación de tecnologías que se use pueden distinguirse varios sistemas de energía híbridos. Sistema fotovoltaico (FV) aislado con batería, FV conectado a red con batería, FV más eólica o diésel y FV con almacenamiento térmico. Estos sistemas, normalmente se utilizan en zonas aisladas o sin conexión a red, instalaciones que requieren de un suministro continuo como hospitales o centros de datos y viviendas o industrias con altos niveles de autoconsumo y picos nocturnos.

Algunas de sus principales ventajas son una mayor autonomía energética, incremento del autoconsumo y una estabilidad del suministro. Aunque, requieren de una inversión inicial mayor, su mantenimiento es más complejo, y la vida útil de las baterías es limitada.

2.3 AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO

2.3.1 CONCEPTO Y BENEFICIOS

El autoconsumo fotovoltaico consiste en el consumo de la energía producida en instalaciones de producción fotovoltaica que se tiene en propiedad. Debido a este “autoconsumo” se reduce la dependencia energética de fuentes externas (BBVA, s.f.).

El autoconsumo tiene múltiples beneficios en distintos campos. Afecta positivamente a la economía, al sistema eléctrico, al medio ambiente y a los consumidores.

Para empezar, fomenta la transición hacia un modelo energético basado en la electricidad en vez de en la producción a base de combustibles fósiles. Además, se crea riqueza y beneficios económicos gracias a la inversión en energías renovables e incrementa la actividad económica de la zona mediante la creación de empleo local para la instalación y mantenimiento de este tipo de sistemas. También mejora la eficiencia energética del sistema eléctrico ya que ayuda a reducir las pérdidas de energía. En términos de medioambiente, favorece la reducción de gases de efecto invernadero, su impacto medioambiental es mínimo ya que por lo general se instalan en zonas ya habitadas, y acelera el ritmo de instalación de energías renovables. Por último, impulsa el consumo energético sostenible ya que permite monitorizar el consumo y producción de la instalación (Repsol, 2023)



Ilustración 10. Sistema fotovoltaico de autoconsumo. (Bernardo, 2025)

2.3.2 TIPOS DE AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO

Dependiendo de la relación que tenga la instalación fotovoltaica con la red se pueden distinguir varios tipos de autoconsumo. Según el artículo 4 del Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, se dividen de la siguiente forma. (España, 2019)

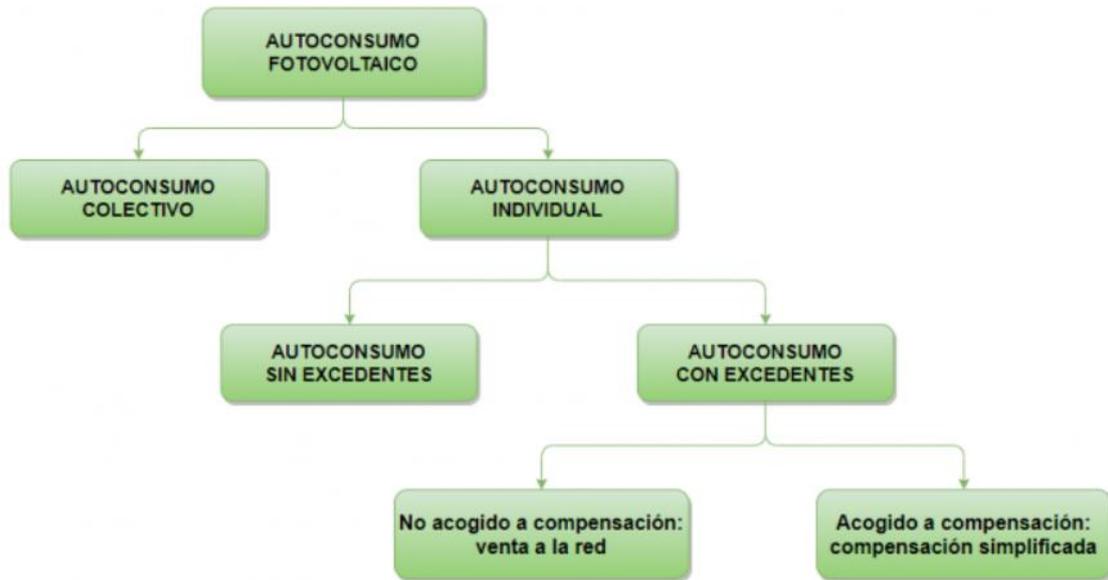


Ilustración 11. Tipos de autoconsumo (Actitud Ecológica, s.f.)

2.3.2.1 Autoconsumo sin excedentes

Este tipo de instalación cuenta con un mecanismo anti vertido que evita que la energía sobrante producida se inyecte en la red. En este caso el único implicado en la instalación es el consumidor.

2.3.2.2 Autoconsumo con excedentes

En este caso las instalaciones sí pueden verter la energía sobrante a la red. Aquí existen dos sujetos, el consumidor y el productor. El autoconsumo con excedentes se divide a su vez en dos tipos.

- a) Con excedentes acogido a compensación: En este caso la potencia de la instalación no puede superar los 100kW, la energía debe provenir de fuentes renovables y no puede contar con un régimen retributivo adicional. Si se cumplen estas condiciones se establece un mecanismo de compensación en la factura eléctrica.

- b) Con excedentes no acogido a compensación: No se acoge a la compensación por no cumplir los requisitos o por decisión del usuario. En este caso los excedentes se venden al mercado eléctrico bajo regulación específica.

2.3.2.3 Autoconsumo colectivo

El autoconsumo puede ser individual o colectivo, dependiendo de si hay uno o más consumidores asociados a la misma instalación. En el caso de que sea colectivo todos los participantes tienen que estar de acuerdo en el reparto de energía y bajo la misma modalidad de autoconsumo.

2.4 COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

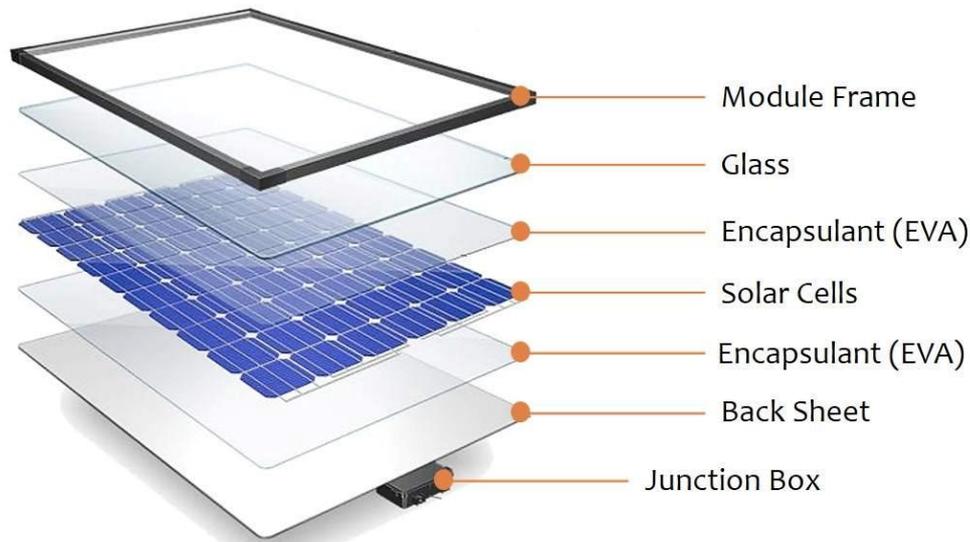
2.4.1 PANELES SOLARES

Un módulo fotovoltaico es el conjunto de varias células solares conectadas eléctricamente para aumentar su potencia y protegerlas del entorno y las condiciones climáticas. Estas células, compuestas por materiales semiconductores, generan electricidad en corriente continua cuando se exponen a la radiación solar, gracias al efecto fotoeléctrico. En este proceso, los fotones excitan electrones en la unión p-n, produciendo una corriente de luz (IL). En circuito abierto, la acumulación de electrones y huecos crea un campo eléctrico que equilibra la corriente de difusión, generando un voltaje conocido como voltaje de circuito abierto (V_{oc}). Este equilibrio entre corriente y voltaje es fundamental para la producción de energía en una celda solar.

Existen varios tipos de células fotovoltaicas, estos se diferencian principalmente debido al material utilizado. Para empezar, las células de silicio cristalino. Estas son las más comunes, abarcan entre un 85 y un 90% del mercado, además, ofrecen una alta eficiencia y una larga vida útil (SBC Energy Institute, 2013). Estas se dividen en las compuestas por silicio monocristalino y silicio policristalino, siendo el primero más eficiente, pero con un coste de producción más elevado. También es muy común utilizar células solares de película fina

que, aunque es menos eficiente su coste de producción es bajo, lo que la convierte atractiva para proyectos de gran escala. Estas están hechas muchas veces de silicio amorfo.

En la siguiente ilustración se puede ver la composición de un módulo fotovoltaico.



© EU-India TCP, 2020

Ilustración 12. Módulo fotovoltaico.

2.4.2 INVERSORES

Los inversores garantizan que la electricidad producida pueda ser utilizada o vendida a la red. Convierten la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA) a un voltaje y frecuencia determinados.

Dependiendo de donde se encuentren tienen se comportan de forma diferente ya que como mencionado anteriormente dependen del voltaje y la frecuencia a la que se operen. En España, la frecuencia de red es de 50Hz y la tensión de corriente alterna de 230V en monofásica.

2.4.3 BATERÍAS Y SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Una de las principales características de la energía solar fotovoltaica es que solo se produce energía cuando se dispone de luz solar, lo cual limita mucho la producción. Por esta razón, y para obtener una mayor autonomía de las condiciones meteorológicas, muchas veces se hace uso de baterías u otros sistemas de almacenamiento.

Cuando se hace uso de baterías en un sistema fotovoltaico, este se convierte en el elemento principal del sistema. Esto es debido a que su uso aumenta en coste de la instalación, implica un mayor mantenimiento, y modifica el diseño general del sistema.

Los parámetros a tener en cuenta a la hora de elegir una batería son el mantenimiento necesario, su vida útil, la potencia a la que opera y su eficiencia.

Además de como un medio de almacenamiento de energía, las baterías tienen más usos cuando se instalan en sistemas fotovoltaicos. Por ejemplo, en sistemas más pequeños actúa como un sistema de adaptación de carga. También, en sistemas fotovoltaicos en los que la demanda de carga inicial es muy grande, la batería puede proporcionar la corriente inicial de arranque. Y, por último, en sistemas conectados a la red, el almacenamiento en baterías se usa para el desplazamiento de picos, es decir, la energía se almacena el tiempo necesario para ajustarse al momento en el que ocurre la carga máxima.

2.4.4 REGULADORES DE CARGA

Los reguladores de carga son los dispositivos encargados de regular la intensidad de carga y controlar el estado de las baterías en las instalaciones fotovoltaicas. Sus principales funciones son las siguientes: proteger las baterías solares frente a sobrecargas y descargas profundas, proteger las baterías frente a sobretensiones y evitar que estas se descarguen durante la noche (Lorenzo Martín, 2024).

Existen dos tipos de reguladores de carga, los reguladores Pulse-Width Modulation (PWM) y los Maximum Power Point Tracking (MPPT).

Los reguladores PWM son reguladores sencillos con una larga vida útil. Son adecuados para instalaciones con estructuras más complejas y con cierta distancia entre el regulador y las placas. Funcionan ajustando la tensión del panel a la batería, lo que puede provocar pérdidas de potencia de hasta un 30%; su mayor inconveniente es que reducen el voltaje del panel a la tensión de la batería, desaprovechando parte de la energía generada (Lorenzo Martín, 2024).

Mientras tanto, los MPPT aprovechan toda la energía de los paneles solares, estos ajustan la tensión y la corriente para mantener la máxima potencia del panel; su eficiencia ronda el 95%. Sin embargo, como inconveniente tienen su precio, que es mucho más elevado que el de los PWM, con una diferencia media de alrededor de 150 euros (Lorenzo Martín, 2024).

2.5 LEGISLACIÓN Y NORMATIVA VIGENTE

La implantación de sistemas fotovoltaicos conectados a red, como el propuesto en esta urbanización de Majadahonda, requiere el cumplimiento de un conjunto amplio de normas jurídicas y técnicas de diferentes niveles territoriales.

Estas regulaciones establecen las condiciones legales, administrativas y técnicas necesarias para garantizar una instalación segura, eficiente y acorde con la ley vigente.

A continuación, se expone el marco normativo aplicable, ordenado de forma descendente desde la normativa europea hasta los procedimientos locales.

2.5.1 NORMATIVA EUROPEA

El marco normativo europeo en materia de energías renovables se articula principalmente a través de la Directiva (UE) 2018/2001, también conocida como RED II, la cual promueve el uso de energía procedente de fuentes renovables en todos los Estados miembros. Esta directiva reconoce explícitamente el derecho de los ciudadanos a generar, consumir, almacenar y vender energía renovable. Además, favorece la simplificación de trámites administrativos diciendo que los Estados deben garantizar procedimientos de autorización

rápidos y proporcionados, especialmente para instalaciones pequeñas. Y garantiza el acceso a la red para autoconsumidores y que se establezca una compensación justa por los excedentes vertidos a la red (Parlamento Europeo, 2018)

En este contexto se inscribe también el Pacto Verde Europeo (European Green Deal), cuyo objetivo es alcanzar la neutralidad climática en 2050, es decir que la emisión neta de gases de efecto invernadero sea 0. Y promueve la reducción de consumo energético mediante generación solar en cubiertas y fachadas (Comisión Europea, 2019).

2.5.2 NORMATIVA NACIONAL

En España, la principal norma que regula el sistema eléctrico es la Ley 24/2013, del Sector Eléctrico, la cual reconoce expresamente el autoconsumo como una modalidad de generación eléctrica (Boletín Oficial del Estado, 2013). A partir de esta ley se han desarrollado reglamentos específicos, entre los cuales destaca el Real Decreto 244/2019, que regula las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Esta norma introduce y regula las distintas modalidades de autoconsumo, con y sin excedentes, incluyendo la posibilidad de compensación simplificada de los excedentes vertidos a la red, lo que permite al consumidor reducir su factura eléctrica en función de la energía generada y no autoconsumida (Boletín Oficial del Estado, 2019).

Además, el Real Decreto 1183/2020 establece el procedimiento de acceso y conexión a la red eléctrica, introduciendo un sistema único y digitalizado que simplifica significativamente la tramitación. En el caso de instalaciones de autoconsumo con excedentes de hasta 15 kW en suelo urbanizado, como la analizada en este trabajo, se contempla la exención de estos permisos (Boletín Oficial del Estado, 2020).

2.5.3 NORMATIVA TÉCNICA APLICABLE

Desde el punto de vista técnico, el diseño, instalación y legalización del sistema debe ajustarse al Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), aprobado por el Real Decreto 842/2002. De especial relevancia resulta la ITC-BT-40, que regula las condiciones de las instalaciones generadoras conectadas en baja tensión (Boletín Oficial del Estado,

2002). El sistema propuesto, conectado a red y con potencia inferior a 100 kW, se ajusta a estos requisitos, incluyendo protecciones eléctricas adecuadas y ejecución por un instalador autorizado.

También, existen diversas normas UNE que establecen requisitos para el dimensionamiento, ensayo, seguridad y puesta en marcha de instalaciones fotovoltaicas. Entre las más relevantes se encuentran:

UNE-EN IEC 61215-1-1:2022: Módulos fotovoltaicos (FV) para uso terrestre. Cualificación del diseño y homologación.

UNE-EN IEC 61730-1:2019: Cualificación de la seguridad de los módulos fotovoltaicos (FV).

UNE-EN 62446-1:2019: Sistemas fotovoltaicos (FV). Requisitos para ensayos, documentación y mantenimiento. Parte 1: Sistemas conectados a la red.

UNE-EN 50583-1:2016: Sistemas fotovoltaicos en edificios. Parte 1: Módulos BIPV (módulos fotovoltaicos integrados en edificios).

2.5.4 NORMATIVA AUTONÓMICA Y MUNICIPAL

En el ámbito autonómico, la Comunidad de Madrid promueve activamente el autoconsumo energético mediante un marco normativo que simplifica su tramitación, especialmente para instalaciones de pequeña potencia. Según la Guía Profesional de Tramitación de Autoconsumo publicada por la Dirección General de Transición Energética y Economía Circular, las instalaciones conectadas en baja tensión con una potencia ≤ 15 kW, ubicadas en suelo urbanizado y acogidas a la modalidad de autoconsumo con excedentes acogido a compensación, están exentas de solicitar permisos de acceso y conexión a la red, así como de presentar garantías económicas (IDAE y ENERAGEN, 2024).

Para completar el marco autonómico, el Ayuntamiento de Majadahonda propone una política de incentivos fiscales orientada a fomentar la sostenibilidad energética. Entre ellos se

encuentra una bonificación del 50% en la cuota íntegra del Impuesto sobre Bienes Inmuebles (IBI) durante los 8 años siguientes a la finalización de la instalación fotovoltaica de autoconsumo, además de una bonificación del 75% en el impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras (ICIO) (Ayuntamiento de Majadahonda, 2023). Estas medidas permiten reducir significativamente la inversión inicial neta del sistema

2.5.5 PERMISOS Y PROCEDIMIENTOS ADMINISTRATIVOS

La instalación de un sistema fotovoltaico requiere múltiples trámites y permisos. En el caso de la instalación planteada en este proyecto, una instalación de aproximadamente 15kW en Majadahonda, los procedimientos necesarios se acogen al régimen simplificado en la normativa vigente (Comunidad de Madrid) (Boletín Oficial del Estado, 2019) (Boletín Oficial del Estado, 2020).

Lo primero es contactar con una compañía instaladora autorizada en baja tensión y que esté debidamente registrada en la Comunidad de Madrid. Seguidamente hay que presentar en el Ayuntamiento de Majadahonda una declaración responsable de obra, en la que se comunica el inicio de la obra sin necesidad de esperar una licencia urbanística previa, esto aplica debido a que no se alterará ni la estructura ni la estética del edificio.

Una vez finalizada la instalación conforme al Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), el instalador debe emitir el correspondiente certificado de instalación eléctrica (boletín eléctrico), que se registrará de forma telemática en el portal de Industria de la Comunidad de Madrid. A continuación, se procede a la inscripción en el registro autonómico de autoconsumo, el cual es obligatorio incluso para instalaciones de pequeña potencia, aunque estas se benefician de un procedimiento abreviado sin exigencia de garantías económicas, según lo establecido en el artículo 17 del Real Decreto 1183/2020 (Boletín Oficial del Estado, 2020).

Además, la empresa instaladora debe comunicar la puesta en marcha de la instalación a la empresa distribuidora eléctrica (i-DE, perteneciente al grupo Iberdrola), aunque para instalaciones con potencia ≤ 15 kW en suelo urbanizado y con excedentes acogidos a

compensación, no se requiere solicitar permisos de acceso y conexión (Boletín Oficial del Estado, 2020). Finalmente, se debe formalizar con la comercializadora eléctrica, en este caso Naturgy, un contrato de compensación de excedentes, mediante el cual la energía no autoconsumida se valorará mensualmente como descuento en la factura.

Capítulo 3. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA URBANIZACIÓN

La urbanización consta de 8 portales, zonas de uso común y el garaje. Lo que se pretende con esta instalación es reducir el gasto debido a su uso.

3.1.1 LOCALIZACIÓN

La urbanización en la que se pretende instalar el sistema fotovoltaico se encuentra en Majadahonda, Madrid, España.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
Latitud	40° 28' N
Longitud	3° 51' O
Altitud	707 m

Tabla 1. Coordenadas geográficas (Elaboración propia)

3.1.2 RECURSO SOLAR

Se extraerán datos de irradiación directa, difusa y global. Para ello se ha utilizado la base de datos de PVGIS. Se ha usado el año meteorológico típico (TMY), ya que es el que mejor representa las condiciones meteorológicas medias durante un periodo de años.

Irradiación Global: Es la cantidad total de energía solar recibida por una superficie horizontal durante un tiempo determinado. Incluye tanto la radiación directa como la difusa.

Irradiación directa: Es la parte de la radiación solar que llega directamente desde el sol sin ser dispersada por la atmósfera. Solo se recibe en superficies orientadas hacia el sol (perpendiculares a los rayos solares).

Irradiación difusa: Es la parte de la radiación solar que ha sido dispersada por moléculas y partículas en la atmósfera (nubes, polvo, aire). Llega desde múltiples direcciones, no solo del sol directamente.

En la tabla 2 se pueden observar los datos de irradiancia mes a mes.

MES	G(h)	Gb(n)	Gd(h)
enero	65435	114800,43	25672
febrero	77438	99442,22	35379
marzo	141956	172443,63	47258
abril	146348	128401,88	68473
mayo	206585	192406,67	76812
junio	216924	205754,59	75646
julio	256797	296399,11	54196
agosto	222321	257898,77	55156
septiembre	160177	190893,59	49290
octubre	113351	151035,86	41676
noviembre	70495	104983,81	30850
diciembre	68526	147602,83	20706
TOTAL	1746353	2062063,39	581114

G(h): Irradiancia global sobre el plano horizontal (W/m^2)

Gb(n): Irradiancia directa (o del haz) sobre un plano siempre perpendicular a los rayos solares (W/m^2)

Gd(h): Irradiancia difusa sobre el plano horizontal (W/m^2)

Tabla 2. Datos irradiancia. (European Comission, 2025)

En la siguiente ilustración también se puede ver la irradiación solar en forma de mapa, para que sea más fácil comparar la situación de España con el resto de Europa.

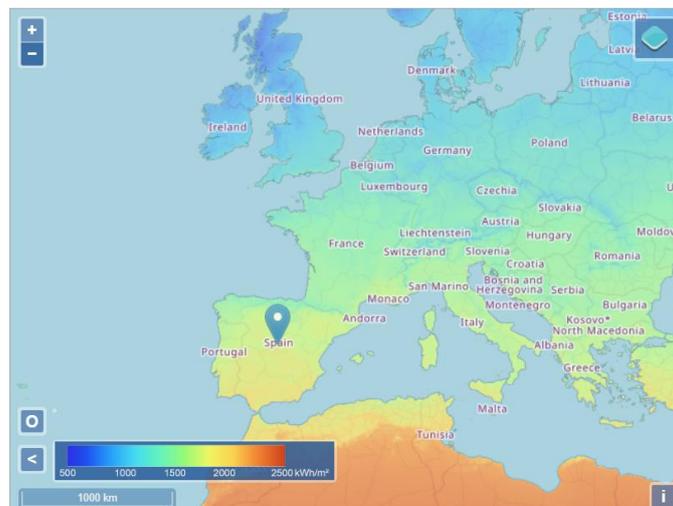


Ilustración 13. Mapa irradiación solar. (European Comission, 2025)

3.1.3 SUPERFICIE DISPONIBLE

La urbanización cuenta con diversas superficies en las que se podría instalar la instalación de paneles solares. Entre ellas destacan los tejados de los edificios residenciales, varias zonas comunes ajardinadas y una caseta técnica ubicada junto a la piscina comunitaria.

Aunque los tejados de los edificios residenciales serían una superficie potencialmente útil, se han descartado por las dificultades tanto técnicas como administrativas con las que nos podemos encontrar. Entre ellas, las diferencias de inclinación y dirección entre bloques y las posibles sombras.

En su lugar, se ha optado por utilizar la cubierta plana de la caseta técnica. Se trata de una superficie de unos 80 m² que reúne una serie de ventajas que la convierten en la alternativa más adecuada para dicha instalación. Para empezar, es una zona común de fácil acceso, está bien orientado, no tiene sombras relevantes y se encuentra cerca de los consumos eléctricos comunitarios más importantes, ahorrando así la necesidad de instalaciones distribuidas y cableados complejos entre edificios.

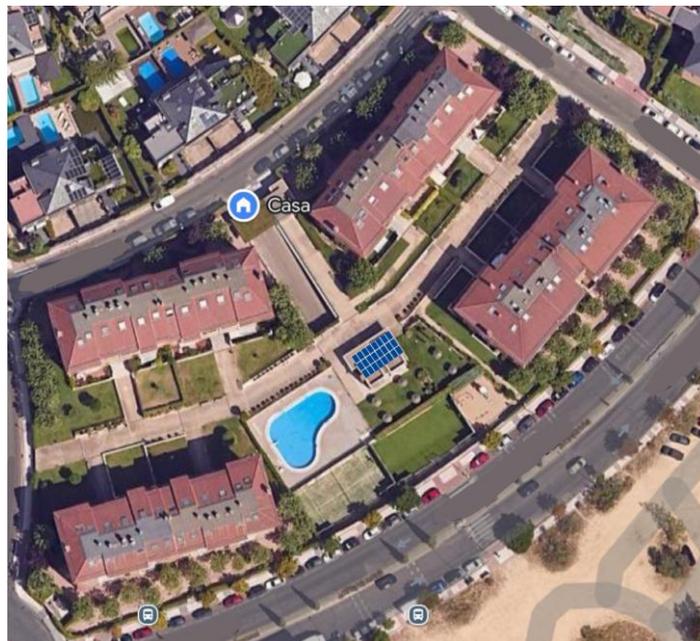


Ilustración 14. Urbanización vista desde arriba. (Google Maps, Elaboración propia)

3.2 AUDITORÍA ENERGÉTICA DE LA COMUNIDAD

El consumo de esta comunidad está dividido en 10 facturas. Una para cada uno de los 8 portales, una para el garaje, y otra para el resto de las zonas comunes. Con el objetivo de simplificar los cálculos estas se unificarán en un solo consumo. Además, se hará una media para que todos los meses sean considerados de igual longitud, 30 días.

Después de adaptar toda la información, se muestran los datos finales de consumo de la urbanización en la siguiente tabla y gráfica:

Mes	consumo punta	consumo llano	consumo valle	consumo total
dic-23	1048,28	903,13	2283,15	4234,56
ene-24	1127,60	999,64	2160,60	4287,84
feb-24	1089,31	967,76	2111,25	4168,32
mar-24	1076,90	970,34	1929,31	3976,55
abr-24	962,07	919,66	1773,10	3654,83
may-24	1055,60	980,93	1946,14	3982,66
jun-24	1535,99	1131,57	1855,49	4523,05
jul-24	1581,72	1195,86	1903,45	4681,03
ago-24	1339,52	1037,16	2100,22	4427,76
sep-24	1411,32	1104,29	1811,18	4326,79
oct-24	915,69	819,54	1862,52	3597,75
nov-24	1055,39	901,73	2015,91	3975,94

Tabla 3. Consumos urbanización en kWh (Elaboración propia)

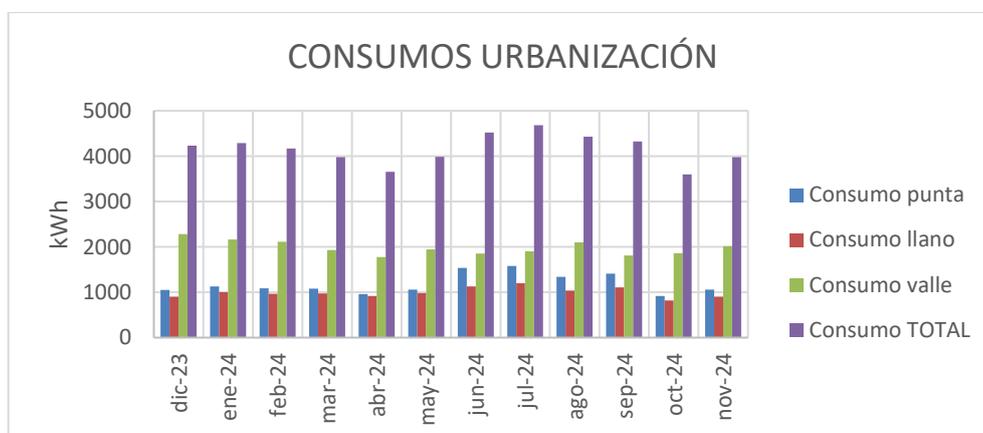


Ilustración 15. Gráfico consumos de la urbanización. (Elaboración propia)

Los consumos se dividen en valle, llano o punta. Dependiendo de la hora del día que sea el precio de la electricidad es diferente, siendo las horas valle las más bajas, el llano las intermedias y las punta las horas con la electricidad más cara. En la siguiente imagen se puede observar cómo se reparten estos horarios.

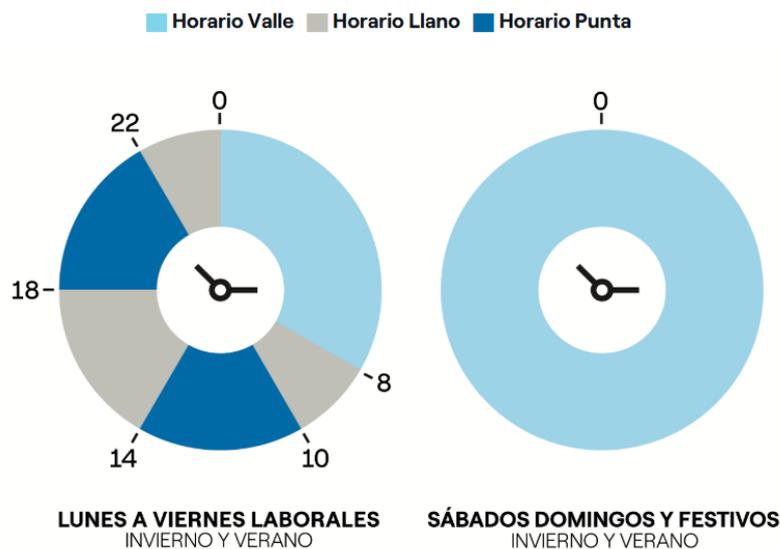


Ilustración 16. Franjas horarias consumo electricidad (kWh). (Endesa, 2022)

Analizando el consumo eléctrico mensual por franjas (tabla 3), se observa que el consumo energético de la comunidad de vecinos es relativamente constante a lo largo del año, con ligeros aumentos en los meses de verano. En cuanto a la distribución horaria, los consumos se reparten entre las tres franjas (horario valle, horario llano y horario punta), pero son mayoritarios los valle y punta, lo que sugiere que gran parte del consumo ocurre fuera de las horas de máxima producción solar. Por tanto, se prevé que no todo el consumo podrá cubrirse con la energía generada a tiempo real. Para maximizar el aprovechamiento económico, se opta por un modelo de autoconsumo con excedentes acogido a compensación, que permite inyectar la energía sobrante a la red y reducir la factura eléctrica.

3.3 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Como se ha mencionado anteriormente, hay una limitación de espacio a la hora de diseñar la instalación fotovoltaica. Por esta razón, su diseño girará en torno a producir la energía necesaria para cubrir el máximo consumo posible. Una vez dicho esto, se ha realizado una simulación completa utilizando el software SAM (System Advisor Model). En ella se introducido la configuración exacta de la instalación, 24 módulos JA Solar JAM72S30-550/MR conectados a un inversor Huawei SUN2000-15KTL-M2, con una potencia pico instalada de 13,2 kW_p, orientación sur e inclinación de 10°. Los resultados indican que la instalación logra cubrir aproximadamente el 35% del consumo anual de la comunidad, lo que se puede observar en la siguiente figura.

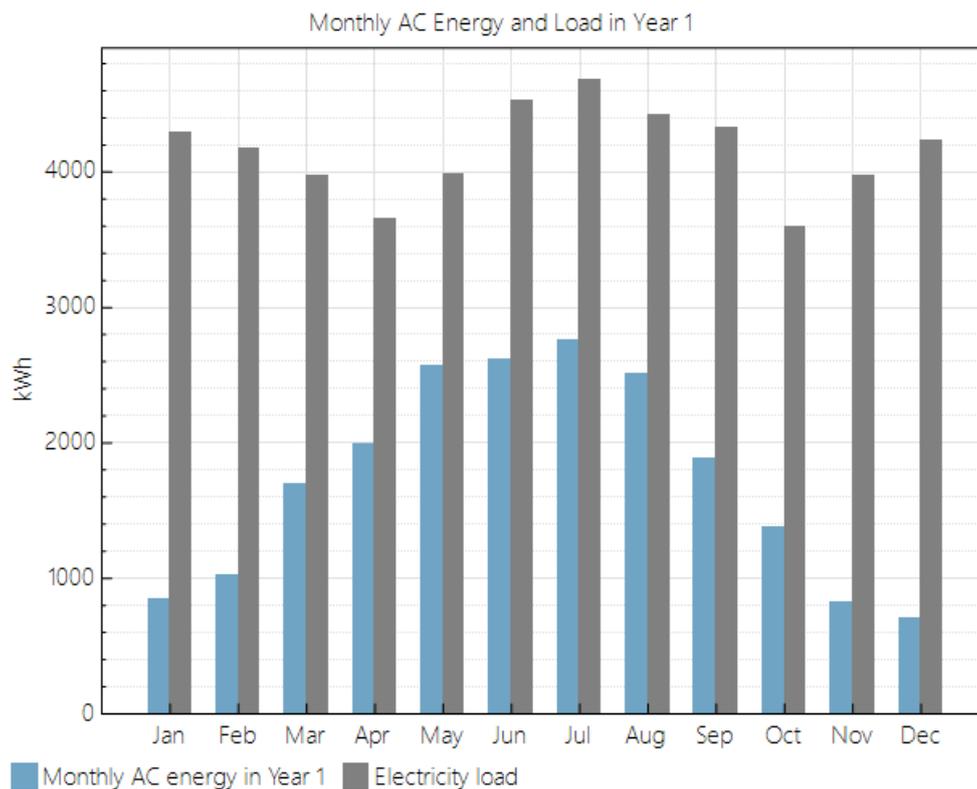


Ilustración 17. Comparativa mensual entre la energía generada y la demanda eléctrica. (Elaboración propia mediante SAM).

3.3.1 CÁLCULO DE LA POTENCIA NECESARIA

Para cubrir completamente el consumo eléctrico anual de la comunidad (49.830 kWh), se ha estimado la potencia fotovoltaica necesaria mediante la siguiente expresión:

$$P_{inst} = \frac{E}{Gt * \eta} = 33,18 \text{ kWp}$$

Ecuación 1. Potencia fotovoltaica necesaria.

donde E es el consumo eléctrico anual, Gt la irradiación media anual sobre el plano inclinado (1.746 kWh/m²·año) y η la eficiencia global del sistema aproximada (86%, (PVGIS, s.f.)).

Esto resulta en una potencia necesaria de 33,18 kWp. Dado que el espacio disponible no permite instalar dicha potencia, se ha dimensionado una instalación de 13,2 kWp, que cubre aproximadamente el 39,8% del consumo anual.

$$\text{Cobertura teórica} = \frac{\text{potencia instalada}}{\text{potencia necesaria}} = 39,8\%$$

Ecuación 2. Estimación teórica de cobertura por potencia instalada.

3.3.2 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS E INVERSOR: SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO

Para maximizar la energía generada en la superficie limitada disponible, se ha seleccionado un módulo fotovoltaico con una elevada potencia unitaria y buena eficiencia. El modelo elegido ha sido el JA Solar JAM72S30-550/MR, un panel con tecnología mono PERC, potencia nominal de 550 Wp y eficiencia del 21,29%. Estas características lo convierten en una buena alternativa para una instalación en la que el espacio es reducido, ya que permiten instalar más potencia en menos superficie.

La potencia pico total seleccionada para esta instalación es de 13,2 kWp, que corresponde al máximo número de módulos que se pueden ubicar en la cubierta plana de la caseta técnica, con una superficie útil aproximada de 80 m².

Las principales características técnicas del módulo JA Solar JAM72S30-550/MR se resumen en la siguiente tabla, con datos extraídos de la ficha técnica del fabricante.

Parámetro	Valor
Potencia nominal (Pmax)	550 Wp
Eficiencia del módulo	21,29%
Tensión en el punto de máxima potencia	41,86V
Corriente en el punto de máxima potencia	13,15A
Tensión en circuito abierto (Voc)	49,8V
Corriente de cortocircuito (Isc)	13,91A
Dimensiones (LxAxH)	2,279x1,134x30 mm
Tipo de célula	Monocristalino PERC

Tabla 4 Características técnicas del módulo JA Solar JAM72S30-550/MR. (Elaboración propia a partir de la ficha técnica del fabricante)

El número de paneles que es posible instalar es 24. A partir de ahí y teniendo en cuenta que la potencia de un módulo son 550Wp se deduce que la potencia pico total es 13,2kWp.

$$P \text{ diseño} = N \text{ paneles} * P \text{ panel}$$

Ecuación 3. Potencia pico total.

Cada módulo tiene unas dimensiones de 2,279 m × 1,134 m, lo que supone una superficie unitaria de 2,58 m². Teniendo en cuenta las distancias mínimas necesarias entre filas para evitar sombras y facilitar el mantenimiento, se ha diseñado una disposición de dos subarreglos de 12 paneles cada uno, organizados en 3 filas de 4 módulos en disposición portrait para aprovechar el espacio disponible.

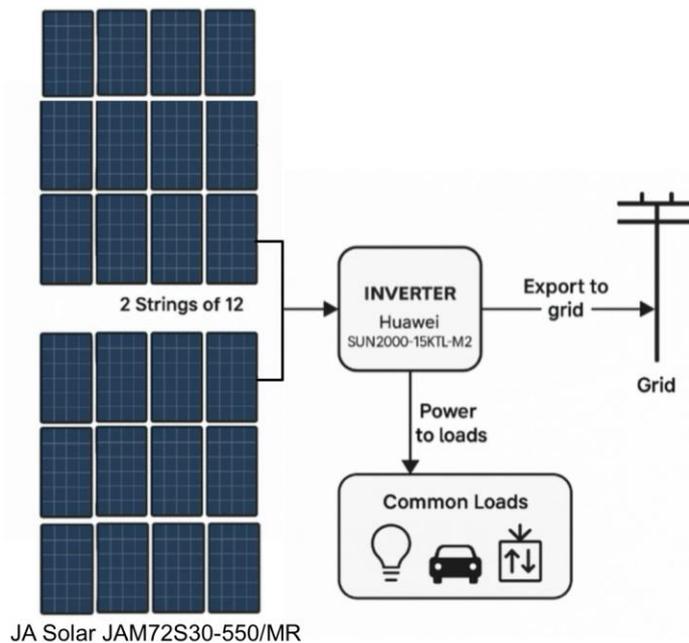


Ilustración 18. Esquema instalación fotovoltaica (Elaboración propia)

El software SAM estima una ocupación total del sistema de 62,02 m², lo que permite que el conjunto se ubique adecuadamente en la superficie disponible de la caseta. La separación entre filas se ha ajustado automáticamente en función del Ground Coverage Ratio (GCR) y la inclinación de 10°, con el objetivo de mantener un equilibrio entre rendimiento y ocupación del espacio.

Desde el punto de vista eléctrico, los 24 paneles se han conectado en dos cadenas (strings) de 12 paneles en serie, cada una conectada a una de las dos entradas MPPT del inversor Huawei SUN2000-15KTL-M2. Esta configuración permite mantener tanto la tensión como la corriente dentro del rango óptimo de funcionamiento del inversor ($V_{mp} \approx 503,5 \text{ V}$), asegurando así un funcionamiento eficiente del sistema.

Las especificaciones técnicas del inversor seleccionado, fundamentales para garantizar la compatibilidad con la configuración eléctrica propuesta, se recogen en la siguiente tabla:

Parámetro	Valor
Potencia nominal de salida AC	15.000 W
Número de seguidores MPPT	2
Rango de tensión MPPT	200 – 1.000 V
Tensión máxima de entrada DC	1.100 V
Corriente máxima por MPPT	22 A
Eficiencia máxima	98,6 %
Dimensiones (L × A × h)	546 × 460 × 228 mm
Peso	25 kg

Tabla 5. Características técnicas del inversor Huawei SUN2000-15KTL-M2. (Elaboración propia a partir de la ficha técnica del fabricante)

3.3.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE INSTALACIÓN

En este apartado se presentarán los diferentes componentes de la instalación fotovoltaica y los dispositivos elegidos tras un estudio del mercado y algunos distribuidores.

La instalación propuesta es un sistema de autoconsumo individual conectado a la red, orientado a abastecer exclusivamente los consumos eléctricos de las zonas comunes de la comunidad de vecinos: iluminación, garaje, ascensores, etc.

Se tratará de una instalación con excedentes acogida a compensación, de acuerdo con el Real Decreto 244/2019, dado que no se prevé almacenamiento en baterías y se desea optimizar el ahorro económico inyectando el excedente energético a la red. Este esquema es sencillo de implementar, no requiere darse de alta como productor, y permite una amortización más rápida mediante la reducción directa de la factura eléctrica comunitaria.

3.3.4 DISPOSICIÓN ÓPTIMA DE LOS PANELES

La disposición de los paneles solares ha sido diseñada para maximizar la captación solar en la cubierta plana de la caseta técnica, teniendo en cuenta las limitaciones físicas del espacio y la necesidad de evitar sombras entre filas.

Se han instalado 24 módulos fotovoltaicos en dos subarreglos de 12 paneles cada uno, dispuestos en tres filas de cuatro paneles en formato “portrait”.

La siguiente figura muestra el esquema general de distribución de los paneles en orientación “portrait”, así como los parámetros geométricos utilizados para definir la separación entre filas, como el número de módulos, el GCR y el “row spacing”.

Debido a la orientación física de la caseta técnica, los paneles han sido dispuestos con un azimut de 148°, lo que supone una desviación de 32° hacia el este respecto al sur geográfico. Esta orientación ligeramente sureste supone una reducción de la producción anual, pero es asumible teniendo en cuenta las limitaciones físicas del emplazamiento. Además, cuenta con una inclinación fija de 10°, valor que ha sido definido como óptimo según la simulación realizada en SAM para equilibrar producción anual y reducción de sombras.

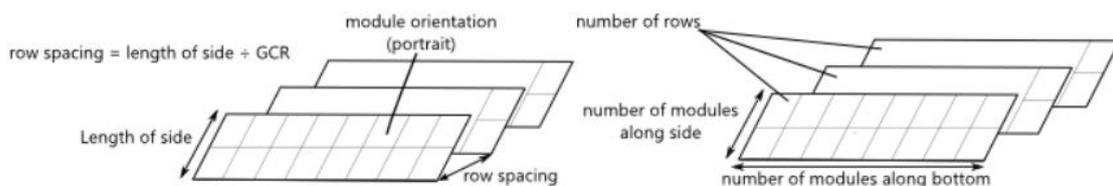


Ilustración 19. Disposición física de los módulos en orientación portrait y parámetros de separación entre filas. (SAM (System Advisor Model)).

La siguiente ilustración representa gráficamente ambos ángulos, facilitando la comprensión de su significado en el contexto de una instalación fotovoltaica:

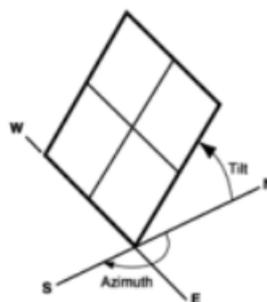


Ilustración 20. Ángulos de inclinación (tilt) y orientación (azimuth) en una instalación fotovoltaica. (SAM (System Advisor Model))

El software SAM recomendó inicialmente una separación entre filas de 11,4 m para evitar sombras completamente, pero dicha separación resulta inviable en la cubierta disponible.

Por ello, se ha priorizado una disposición compacta, ajustando el Ground Coverage Ratio (GCR) a 0,8 en el simulador para que la instalación quepa completamente en el espacio disponible, asumiendo pequeñas pérdidas por sombreado parcial.

La estructura utilizada es del tipo “rack mounted”, adecuada para cubiertas planas, permitiendo fijar los módulos con la inclinación deseada sin necesidad de perforar la superficie. Esta disposición también facilita las tareas de mantenimiento y limpieza.

3.3.5 MANTENIMIENTO Y VIDA ÚTIL DEL SISTEMA

La instalación fotovoltaica diseñada requiere un bajo nivel de mantenimiento, al no contar con componentes móviles ni sistemas de almacenamiento. No obstante, para garantizar su buen funcionamiento y maximizar la producción a lo largo del tiempo, se recomienda establecer un plan de mantenimiento preventivo.

En el caso de los módulos fotovoltaicos JA Solar JAM72S30-550/MR, el fabricante ofrece una garantía de 12 años contra defectos de fabricación y una garantía de producción de 25 años, que asegura al menos el 80% de la potencia nominal al final del periodo. Estos módulos están fabricados con un marco de aluminio anodizado y cristal de alta resistencia, y cuentan con conexiones protegidas en cajas traseras para facilitar su instalación y revisión (Auto Solar, 2025).

Se recomienda realizar:

- Una limpieza superficial de los paneles de 1 a 2 veces al año, preferentemente en primavera y otoño, especialmente si hay acumulación de polvo, polen o residuos. Ya que esto puede reducir la producción energética entre un 3 y un 4% anual.
- Revisiones visuales periódicas para detectar suciedad persistente, grietas o daños mecánicos.
- Verificación anual del estado del cableado, estructuras de soporte y conexiones, especialmente en zonas de clima variable.

En cuanto al inversor Huawei SUN2000-15KTL-M2, tiene una vida útil estimada de 10 a 15 años. Incorpora protecciones integradas (contra sobretensiones, inversión de polaridad, fallos de arco) y un sistema de comunicación inteligente mediante WLAN o Ethernet, compatible con la app FusionSolar para monitorización remota. Su carcasa con protección IP65 y refrigeración por convección natural permite su instalación en exteriores, sin necesidad de ventilación forzada ni mantenimiento mecánico. Además, gracias al sistema de seguimiento MPPT independiente para cada subarreglo y su capacidad de diagnóstico de curvas IV (Smart IV Curve Diagnosis), el inversor permite detectar automáticamente caídas de rendimiento o fallos en los módulos, facilitando las tareas de operación y mantenimiento (Auto Solar, 2025).

En conjunto, se espera una vida útil de la instalación de 25 años, con una sustitución del inversor prevista a mitad de ciclo ya que su vida útil es menor que la de los módulos. Esta longevidad, combinada con un mantenimiento sencillo, contribuye a la rentabilidad y fiabilidad del sistema a lo largo del tiempo.

3.3.6 ANÁLISIS ENERGÉTICO MEDIANTE SIMULACIÓN SAM

En este apartado se pretende analizar los resultados obtenidos tras simular la instalación fotovoltaica propuesta.

La siguiente tabla se ha realizado a partir de la simulación de SAM con los parámetros descritos en los apartados anteriores del capítulo. Una vez simulado se han extraído el conjunto de datos “Hourly Data” para el primer año de operación del sistema fotovoltaico. A partir de estos se han agrupado mensualmente los distintos consumos y producciones de energía para tener una visión más clara de los resultados.

Comparativa entre consumo energético y producción solar mensual				
Mes	Consumo eléctrico mensual desde la red [kWh]	Autoconsumo (mensual) [kWh]	Excedente vertido a la red (mensual) [kWh]	Producción mensual de energía solar [kWh]
Enero	3552.742497	734.2575946	116.2881375	850.5457321
Febrero	3324.472168	843.5278842	178.5020989	1022.029983
Marzo	2809.629917	1166.369996	528.6994396	1695.069435
Abril	2336.406065	1317.593948	679.1201423	1996.71409
Mayo	2253.733924	1728.266021	839.4671539	2567.733175
Junio	2343.932559	2179.067211	438.1292743	2617.196485
Julio	2392.969555	2288.030698	472.5615772	2760.592275
Agosto	2389.044648	2037.955448	468.7249715	2506.680419
Septiembre	2729.66776	1596.3324	284.3107095	1880.64311
Octubre	2480.253937	1116.746055	258.4160723	1375.162128
Noviembre	3299.641171	675.3595349	143.167273	818.5268079
Diciembre	3608.567191	625.432496	82.9040102	708.3365062

Tabla 6. Comparativa entre consumo energético y producción solar mensual. (Elaboración propia a partir de las simulaciones de SAM)

El análisis del consumo eléctrico mensual indica una clara estacionalidad en la cobertura del sistema fotovoltaico, con una mayor aportación del autoconsumo durante los meses de verano (especialmente entre mayo y agosto), coincidiendo con los picos de irradiación solar. En estos meses, la energía generada cubre una parte significativa de la demanda, lo que se traduce en una notable reducción del consumo desde la red y, por tanto, en un mayor ahorro económico. En cambio, durante los meses de invierno y otoño, la menor disponibilidad solar incrementa la dependencia de la red eléctrica. A pesar de no contar con baterías, el sistema demuestra un buen aprovechamiento de la energía generada en tiempo real, lo que confirma la viabilidad de la instalación bajo el esquema de autoconsumo con excedentes acogido a compensación.

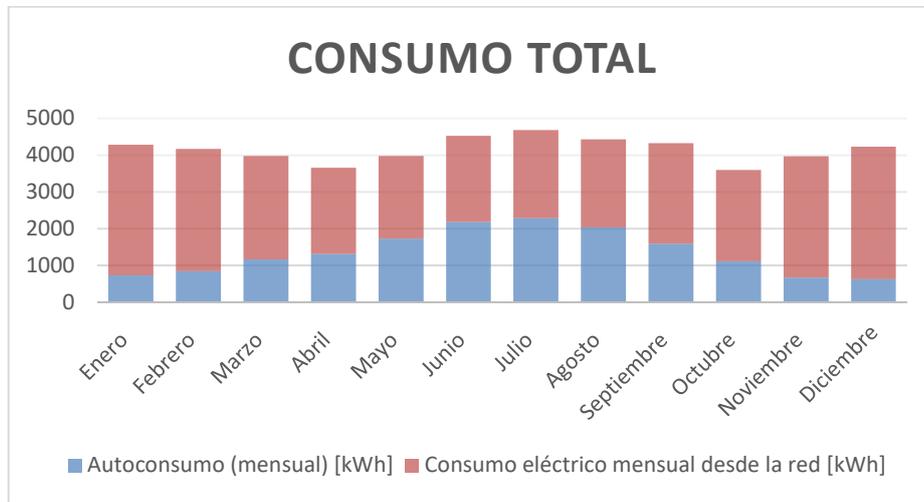


Ilustración 21. Gráfico consumo eléctrico mensual: autoconsumo vs. Red. (Elaboración propia)

En la siguiente tabla se resumen los consumos y producciones anuales.

Consumo eléctrico anual desde la red [kWh]	Autoconsumo (anual) [kWh]	Excedente vertido a la red (anual) [kWh]	Producción anual de energía solar [kWh]
33521.06139	16308.93929	4490.29086	20799.23015

Tabla 7. Balance energético anual de la instalación fotovoltaica. (Elaboración propia a partir de las simulaciones de SAM)

A partir de estos valores, se han calculado los siguientes indicadores:

- Cobertura solar anual: indica el porcentaje del consumo eléctrico total que ha sido cubierto mediante energía solar generada y consumida directamente (autoconsumo).

$$\text{Cobertura solar anual (\%)} = \frac{\text{Energía autoconsumida}}{\text{Consumo total}} * 100 = 32,73\%$$

Ecuación 4. Cobertura solar anual (%)

- Porcentaje de excedente solar: fracción de energía solar generada que no ha sido consumida de forma directa y se ha vertido a la red.

$$\text{Producción solar total} = \text{Autoconsumo} + \text{Excedente} = 20799,23\text{kWh}$$

Ecuación 5. Producción solar total

$$\text{Excedente solar (\%)} = \frac{\text{Excedente}}{\text{Producción solar total}} * 100 = 21,59\%$$

Ecuación 6. Excedente solar (%)

- Autoconsumo efectivo: Es la energía que realmente se ha aprovechado de la producida.

$$\text{Autoconsumo efectivo(\%)} = 100 - \text{Excedente solar} = 78,41\%$$

$$\text{Autoconsumo efectivo(\%)} = \frac{\text{Autoconsumo}}{\text{Producción solar total}} * 100 = 78,41\%$$

Ecuación 7. Autoconsumo efectivo (%)

- Rendimiento específico: indicador que expresa la cantidad de energía eléctrica generada por cada kilovatio pico (kWp) instalado a lo largo de un periodo determinado, normalmente un año. Se expresa en kWh/kWp·año y permite evaluar la eficiencia global del sistema en función del recurso solar disponible, las condiciones de operación y las pérdidas del sistema.

$$\text{Rendimiento específico anual} = \frac{\text{Producción solar total}}{\text{Potencia pico instalada}} = 1575,7 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp}}$$

Ecuación 8. Rendimiento específico

A partir de estos resultados, se puede realizar la siguiente evaluación de la instalación:

La cobertura solar anual, del 32,73 %, indica que aproximadamente un tercio del consumo total de la comunidad ha sido cubierto mediante energía solar consumida en tiempo real, lo cual es destacable teniendo en cuenta la ausencia de almacenamiento y las limitaciones de espacio. Por otro lado, el 21,59 % de la energía generada se ha vertido a la red, lo que refuerza la utilidad del modelo con excedentes acogido a compensación. . Y, por último, el rendimiento específico anual obtenido (1575,7 kWh/kWp) está por encima del valor el referencia estimado para instalaciones fotovoltaicas de la comunidad de Madrid, el cual es aproximadamente 1383kWh/kWp por año (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2018). Esta diferencia puede deberse a la consideración de condiciones óptimas en el modelo, que es habitual en estudios de simulación. Por tanto, aunque los resultados son

técnicamente consistentes, podrían sobreestimar ligeramente la producción real esperada, especialmente en escenarios menos favorables.

Capítulo 4. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

En este capítulo se analiza la viabilidad económica del sistema fotovoltaico propuesto, evaluando los costes de la instalación y su rentabilidad a lo largo del tiempo. Asimismo, se estiman los principales indicadores financieros y se identifican las posibles ayudas públicas aplicables a esta instalación en concreto en el contexto de la Comunidad de Madrid.

4.1 COSTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

A continuación, se desglosan los costes iniciales de la instalación, incluyendo la adquisición de módulos, inversor, estructura de soporte, cableado, protecciones eléctricas, mano de obra y legalización. Los precios han sido obtenidos de proveedores reales como AutoSolar y Leroy Merlin, y representan una estimación fiable del coste total del sistema.

PRESUPUESTO				
Componentes de la instalación	Descripción	Unidades	Costes por unidad	Coste (€)
Módulos fotovoltaicos	JA Solar JAM72S30-550/MR	24	118.5921	2846.2104
Inversores	Huawei SUN2000-15KTL-M2	1	1859	1859
Estructura Soporte	Triángulo pre-montado STFS FISCHER	10	146.28	1462.8
Estructura Soporte	Perfil de aluminio de 2350mm para guía de paneles solares	16	14.04	224.64
Cableado y pequeño material		1	220	220
Cuadro de protección trifásico		1	200	200
Contadores	Vatímetro Trifásico Tensite SDM630-Modbus	1	168.87	168.87
Otros				
Legalización y Proyecto		1	550	550
Mano de Obra		1	1500	1500
TOTAL (sin IVA)				9031.5204
IVA (21%)				1896.61928
TOTAL (con IVA)				10928.1397

Tabla 8. Presupuesto coste inversión inicial (Fuente: precios obtenidos a través de (Auto Solar, 2025) (Auto Solar, 2025) (Leroy Merlin, 2025) (Leroy Merlin, 2025) (Auto Solar, 2025) (Auto Solar, 2025) a junio de 2025)

Para instalaciones con potencia superior a 10 kW es obligatorio contar con un proyecto técnico visado, así como con su legalización ante el órgano competente de la comunidad autónoma. En este caso, se estima un coste total de 550 €, que incluye tanto la redacción del proyecto como los trámites administrativos y tasas asociadas. En cuanto a la mano de obra, se estima que el precio es de entre 100 y 130€/kWp por tanto se ha aproximado un precio total de 1500€.

4.2 POSIBLES FUENTES DE FINANCIACIÓN Y AYUDAS PÚBLICAS

A día de hoy la comunidad de Madrid no ofrece subvenciones por la instalación de placas solares. Sin embargo, hay una serie de ayudas para placas solares disponibles. Entre ellas, la bonificación del ICIO (Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras), la cual es una ayuda municipal, es decir, competencia del ayuntamiento de Majadahonda (Selectra, 2025).

Esta bonificación es la única aplicable a esta instalación concreta por tratarse de una instalación destinada al autoconsumo de una comunidad de vecinos y no de autoconsumo individual.

Majadahonda ofrece una bonificación del 75%. El ICIO es un impuesto que se aplica al realizar una obra o instalación. En el caso de una instalación fotovoltaica, como es el caso, el impuesto es de un 4% sobre el presupuesto de ejecución material (PEM), que en este caso sería de 10340€, ya que incluye el coste de materiales y mano de obra, sin incluir tasas, legalización, licencias, etc.

$$\text{Ahorro ICIO} = \text{PEM} * 0,04 * 0,75 = 254\text{€}$$

Debido a que este ahorro es menor a lo que la instaladora pide por gestión de ayudas y subvenciones, que asciende a 485€ (Auto Solar, 2025), no interesa acogerse a ello.

Cabe señalar que si en el futuro se habilitan nuevas convocatorias de ayudas públicas a nivel regional, estatal o europeo (por ejemplo, a través de fondos Next Generation), la rentabilidad del proyecto podría mejorar significativamente.

4.3 ANÁLISIS DE AHORRO ENERGÉTICO Y ECONÓMICO

Para determinar el ahorro energético y económico que se tiene gracias a la instalación fotovoltaica hay que tener en cuenta tanto el precio medio actual de la electricidad, como el valor estimado de los excedentes. Se ha tenido en cuenta un precio de compra de 0,16851 €/kWh, calculado como precio medio de la energía en el último año (Iberdrola, 2025), un precio de venta de excedentes de 0,05905 €/kWh (Red eléctrica española, 2025), y un precio de la electricidad consumida directamente por la carga, que a efectos prácticos es el mismo que el de compra a la red. A partir de estos precios y los consumos y producciones obtenidos mediante la simulación de SAM se han obtenido los siguientes valores:

Coste consumo eléctrico total sin FV (año 1) (€)	Valor autoconsumo (año 1) (€)	Coste electricidad suministrada por la red (año 1) (€)	Valor de la electricidad vertida a la red (año1) (€)
8396.853388	2748.219359	5648.634055	265.1516753

Tabla 9. Precios del consumo y la producción (Elaboración propia)

Además, se ha tenido en cuenta el coste de mantenimiento anual, el cual se ha determinado debido al tamaño del sistema y el coste que ofrece Auto Solar por cada panel instalado (Auto Solar, 2025) resultando en 240€ anuales.

Teniendo todo esto en cuenta, el ahorro se calcula de la siguiente forma:

Ahorro anual

$$\begin{aligned}
 &= \text{Coste consumo eléctrico anual sin FV} \\
 &- \text{Coste electricidad suministrada por la red} \\
 &+ \text{valor electricidad vertida a la red} - \text{Coste de mantenimiento}
 \end{aligned}$$

$$\text{Ahorro anual} = 8396,85 - 5648,63 + 265,15 - 240 = 2773,37€$$

4.4 RENTABILIDAD ECONÓMICA Y PERIODO DE AMORTIZACIÓN DEL PROYECTO

Este apartado analiza la rentabilidad económica del sistema fotovoltaico propuesto a 25 años, debido a que esta es la vida útil del sistema fotovoltaico, así como el tiempo estimado necesario para recuperar la inversión inicial. Para ello, se calculan indicadores financieros clave como el periodo de amortización (payback), el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), considerando los ahorros anuales, los costes de mantenimiento y la posible sustitución del inversor a mitad de la vida útil. Para ello se usará la siguiente tabla:

AÑO	INVERSIÓN	AHORRO	FLUJO DE CAJA	ACUMULADO	ACUMULADO VAN
año 0	-10928.13968		-10928.13968	-10928.13968	-10928.13968
año 1		2773.371034	2773.371034	-8154.76865	-8261.436766
año 2		2773.371034	2773.371034	-5381.397615	-5697.299346
año 3		2773.371034	2773.371034	-2608.026581	-3231.782595
año 4		2773.371034	2773.371034	165.3444535	-861.0934113
año 5		2773.371034	2773.371034	2938.715488	1418.415419
año 6		2773.371034	2773.371034	5712.086522	3610.250833
año 7		2773.371034	2773.371034	8485.457557	5717.784884
año 8		2773.371034	2773.371034	11258.82859	7744.259934
año 9		2773.371034	2773.371034	14032.19963	9692.793636
año 10		2773.371034	2773.371034	16805.57066	11566.38373
año 11		2773.371034	2773.371034	19578.94169	13367.91267
año 12	-2249.39	2773.371034	523.9810344	20102.92273	13695.18968
año 13		2773.371034	2773.371034	22876.29376	15360.80446
año 14		2773.371034	2773.371034	25649.6648	16962.35712
año 15		2773.371034	2773.371034	28423.03583	18502.31161
año 16		2773.371034	2773.371034	31196.40687	19983.03708
año 17		2773.371034	2773.371034	33969.7779	21406.81157
año 18		2773.371034	2773.371034	36743.14893	22775.8255
año 19		2773.371034	2773.371034	39516.51997	24092.18505
año 20		2773.371034	2773.371034	42289.891	25357.91539
año 21		2773.371034	2773.371034	45063.26204	26574.96379
año 22		2773.371034	2773.371034	47836.63307	27745.20264
año 23		2773.371034	2773.371034	50610.00411	28870.4323
año 24		2773.371034	2773.371034	53383.37514	29952.3839
año 25		2773.371034	2773.371034	56156.74618	30992.72197

Tabla 10. Detalle económico anual de inversión, ahorro y rentabilidad acumulada (Elaboración propia)

A la hora de realizar los cálculos se ha tenido en cuenta un ahorro anual constante a lo largo de los 25 años. Además, se ha tenido en cuenta un cambio de inversor a la mitad de la vida útil del sistema debido a que la vida útil de este es menor que la de los módulos solares.

El payback se calcula para responder a la siguiente pregunta: ¿Cuánto tiempo tardaré en recuperar la inversión inicial del proyecto? Cuanto más bajo el periodo de recuperación, menor es el riesgo de la inversión.

$$\text{Payback simple} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Ahorro neto anual}} = 3.94 \text{ años}$$

Ecuación 9. Payback simple

Es decir, a partir de aproximadamente el cuarto año se estarían obteniendo beneficios. Esto se ve perfectamente reflejado en la siguiente gráfica.

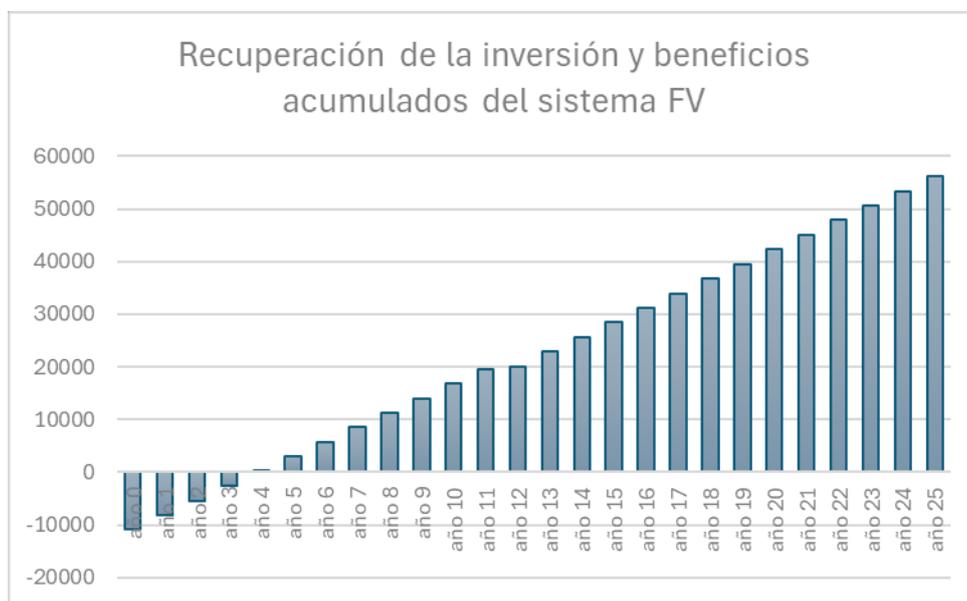


Ilustración 22. Gráfica Recuperación de la inversión y beneficios acumulados. (Elaboración propia)

Además del payback, son muy útiles los indicadores VAN y TIR.

El VAN es un indicador financiero que permite saber si un proyecto es rentable teniendo en cuenta todos los ingresos y gastos esperados en el tiempo, actualizados a su valor presente.

Para saber si una inversión genera beneficios netos después de recuperar la inversión se tendría que obtener un VAN positivo.

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

Ecuación 10. VAN

Donde:

Ft = flujo de caja neto en el año t

r = tasa de descuento (%)

n = años de vida del proyecto

I₀ = Inversión inicial

Para realizar el cálculo se ha tenido en cuenta una tasa de descuento del 4%, este es un valor de referencia común en estudios de viabilidad de energías renovables en España. Tiene en cuenta factores como la inflación, el riesgo y la rentabilidad de inversiones alternativas de bajo riesgo. Este porcentaje es bastante conservador teniendo en cuenta que la inflación se estima entorno a un 2% y el rendimiento del bono español a 25 años ronda el 3,82% (investing.com, 2025).

Teniendo todo esto en cuenta, el VAN es igual a 30992,72€.

La TIR permite conocer la rentabilidad porcentual de una inversión. Más concretamente, es la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+TIR)^t} - I_0$$

Ecuación 11. TIR

La TIR de esta inversión es del 25%.

En la siguiente tabla observamos un resumen de los parámetros obtenidos.

VAN	30,992.72 €
TIR	25%
PAYBACK	3.94038142

Tabla 11. Indicadores de rentabilidad (Elaboración propia)

4.5 COSTE NIVELADO DE LA ENERGÍA (LCOE)

El LCOE (Levelized Cost of Energy) es un indicador que permite estimar el coste unitario por kilovatio hora (€/kWh) generado a lo largo de la vida útil de una instalación, en este caso 25 años, considerando tanto la inversión inicial como los costes de operación y mantenimiento. Este parámetro resulta especialmente útil para comparar la competitividad de diferentes tecnologías de generación eléctrica.

$$LCOE = \frac{\text{Coste total durante la vida útil}}{\text{Producción total de energía (kWh)}}$$

Ecuación 12. Coste nivelado de la energía (LCOE)

LCOE	
Nombre	Valor para la vida útil del sistema
Coste inversión inicial [€]	10928,13
Coste nuevo inversor [€]	2249,39
Coste de mantenimiento [€]	5968,91
Valor residual [€]	0
Coste inversión total [€]	19146,44
Energía producida total [kWh]	484598,25
LCOE [€/kWh]	0,0395

Tabla 12. Levelized Cost of Energy (LCOE) (Elaboración propia)

El coste total del sistema se calcula sumando la inversión inicial, el cambio de inversor y el coste de mantenimiento total, que además está actualizado con una tasa de interés del 4%. Y la producción de total de energía no es la bruta si no la generada durante la vida útil, ajustada por degradación que según la ficha técnica de los módulos es del 0,55%, y actualizada al valor presente.

$$\text{Energía ajustada (kWh)} = \sum_{t=1}^N \left(E_0 * (1 - d)^{t-1} * \frac{1}{(1 + r)^t} \right)$$

Ecuación 13. Energía ajustada

Donde:

E_0 = producción en el primer año (kWh) (20799,23 kWh)

d = tasa de degradación anual de los módulos (0,55 %)

r = tasa de descuento anual (4 %)

t = año (de 1 a 25)

N = vida útil de la instalación (25 años)

Además, se ha considerado un valor residual nulo al final de la vida útil del sistema (25 años). Se asume que, tras este periodo, los módulos estarán completamente amortizados y el inversor ya habrá sido reemplazado, por lo que no se asigna ningún valor económico recuperable. Esta decisión evita incertidumbres asociadas a estimaciones futuras y garantiza un análisis económico prudente y realista.

Teniendo todo esto en cuenta, el LCOE es 0,0395 €/kWh, refleja un coste de generación eléctrica muy competitivo, especialmente si se compara con el precio medio de la electricidad en el mercado, 0,168€/kWh (Iberdrola, 2025). Este valor demuestra que la instalación propuesta no solo es técnica y económicamente viable, sino que también ofrece una generación energética a bajo coste durante toda su vida útil. En consecuencia, este valor respalda lo deducido con el cálculo del payback, VAN y TIR, que la inversión es rentable y sostenible a medio y largo plazo.

Capítulo 5. IMPACTO AMBIENTAL

5.1 BENEFICIOS AMBIENTALES

La instalación de un sistema fotovoltaico en una comunidad de vecinos no solo supone un potencial beneficio económico, sino que también representa una contribución a la sostenibilidad y el medio ambiente.

El principal beneficio ambiental es la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, en especial, emisiones de CO₂. Esto se debe principalmente a la producción de energía renovable que se da cuando se utiliza una instalación fotovoltaica.

Según los datos obtenidos mediante la simulación de SAM, la instalación genera 20799 kWh/año de electricidad. Considerando que el factor de emisión medio del mix eléctrico español es de 283 gCO₂ eq/kWh (gencat, 2025) se estima una reducción del 5886,12 kg CO₂/año.

$$20799 \frac{kWh}{año} * 0,283 \text{ kg} \frac{CO2eq}{kWh} = 5886,12 \frac{kgCO2}{año}$$

Ecuación 14. Impacto ambiental

Además, este tipo de instalación tiene otros beneficios como la reducción de la dependencia de fuentes contaminantes, como el gas natural o el carbón. Ofrece un uso más eficiente de la energía, ya que se reducen las pérdidas en transporte autoconsumir la energía producida. Y al aprovechar un espacio ya existente, en el caso de este proyecto, la caseta técnica de la piscina, no genera impacto sobre ningún hábitat natural.

5.2 IMPACTOS NEGATIVOS POTENCIALES

Las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo tienen un impacto ambiental muy bajo, aun así, existen algunos efectos que se deberían tener en cuenta.

Para empezar, el impacto visual, aunque en el caso de esta instalación es relativamente reducido debido a la baja inclinación propuesta, 10°. También es importante tener en cuenta la huella ecológica de fabricación, es decir lo que contamina producir las distintas partes de la instalación, paneles, inversor, etc. Y, por último, la gestión de los residuos al final de la vida útil. Es importante tratarlos de forma que se puedan reciclar una vez nos sean prescindibles.

Para que estos efectos negativos se vean lo más reducidos posible es importante realizar un mantenimiento periódico que permita asegurar la eficiencia del sistema, tener un plan de reciclaje, y seleccionar proveedores con certificados ambientales.

5.3 EVALUACIÓN GLOBAL DEL IMPACTO AMBIENTAL

En conjunto, la instalación fotovoltaica propuesta presenta un balance ambiental claramente positivo. Gracias a la generación de energía limpia, se evita la emisión de casi 6 toneladas de CO₂ al año, al tiempo que se reduce la dependencia de fuentes fósiles y se optimiza el uso del espacio urbano sin afectar al entorno natural. Aunque existen algunos impactos menores, como el visual o los derivados de la fabricación y fin de vida útil de los equipos, estos pueden minimizarse mediante un diseño adecuado, mantenimiento regular y una correcta gestión de residuos. Por tanto, el sistema contribuye de forma efectiva a la lucha contra el cambio climático y a la sostenibilidad local.

Capítulo 6. CONCLUSIONES

6.1 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

El estudio realizado ha demostrado que la implementación de un sistema de autoconsumo fotovoltaico en una comunidad de vecinos del municipio de Majadahonda no es solo técnicamente viable, sino que también representa una buena inversión económica. Además, es ambientalmente responsable.

Desde el punto de vista técnico, se ha conseguido adaptar la instalación a las limitaciones físicas del entorno, es decir, al espacio reducido del que se disponía para la colocación de paneles. La caseta técnica, supone una buena elección para la instalación debido a su buena orientación y la ausencia de sombras relevantes cerca, además, está situada cerca de los principales puntos de consumo eléctrico. Todo ello ha permitido optimizar la disposición de los paneles y alcanzar la potencia pico instalada de 13,2kWp, repartida en 24 módulos de alta eficiencia JA Solar JAM72S30-550/MR conectados a un inversor Huawei SUN2000-15KTL-M2.

La simulación realizada con el software SAM ha superado las expectativas iniciales. La instalación es capaz de generar anualmente 20.799 kWh de electricidad, lo que se traduce en una cobertura solar anual del 32,73% del consumo energético de la comunidad. Este porcentaje es razonable, sobre todo si se tiene en cuenta que no ha sido posible cubrir el 100% del consumo debido al limitado espacio disponible.

A partir del análisis económico realizado, se concluye que la instalación fotovoltaica propuesta es una inversión rentable y con bajo riesgo para la comunidad. El periodo de amortización es aproximadamente cuatro años, lo que permite recuperar la inversión inicial de 10.928 € en un periodo de tiempo reducido. Además, se obtiene un Valor Actual Neto (VAN) de aproximadamente 31.000 €, y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 25 %, lo cual indica una rentabilidad muy superior a la de otras alternativas financieras convencionales

como los depósitos a plazo fijo, que tienen retornos de entono del 2 al 3% o la inversión en deuda pública, como los bonos del Estado, que tienen rentabilidades entre el 3 y 4%. Estos resultados se han obtenido considerando precios actuales de la electricidad, un mantenimiento anual de 240 €, y la sustitución del inversor en el año 12. En conjunto, el sistema no solo reduce el gasto eléctrico desde el primer año, sino que también proporciona beneficios sostenibles y duraderos a lo largo de toda su vida útil. Además, el análisis del coste nivelado de la energía (LCOE) ofrece un valor de 0,0395 €/kWh, muy inferior al precio actual de la electricidad en el mercado, lo que confirma la alta competitividad y eficiencia económica del sistema a largo plazo.

En términos ambientales, la instalación ayuda directamente a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. En concreto, se estima una reducción de casi 6 toneladas de CO₂ anuales, simplemente por sustituir parte de la electricidad de la red por energía limpia y renovable.

En resumen, se deduce que la instalación propuesta representa una solución equilibrada entre eficiencia energética, sostenibilidad medioambiental y rentabilidad económica. Su implementación supondría un paso importante hacia un modelo energético más limpio, autónomo y comprometido con el futuro y con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

6.2 RECOMENDACIONES PARA LA COMUNIDAD DE VECINOS

A la vista de los resultados obtenidos en el estudio, se recomienda a la comunidad de vecinos considerar seriamente la ejecución de la instalación fotovoltaica propuesta, ya que supone una inversión rentable, de rápida amortización y con beneficios tanto económicos como medioambientales a medio y largo plazo. Asimismo, se sugiere mantener una vigilancia periódica del mercado eléctrico y de las posibles ayudas públicas o subvenciones disponibles, ya que en caso de nuevas convocatorias podrían mejorarse aún más los plazos de recuperación y la rentabilidad del sistema. Por último, se aconseja establecer un plan básico de mantenimiento anual para garantizar el buen estado de los equipos y maximizar la producción durante toda la vida útil de la instalación.

6.3 POSIBLES ACCIONES FUTURAS

Una vez demostrada la viabilidad tanto económica como técnica de este proyecto, se plantean una serie de acciones que podrían complementar o mejorar los resultados obtenidos.

En primer lugar, la instalación de un sistema de monitoreo en tiempo real para comparar los resultados obtenidos en las simulaciones con los datos reales y ajustar los parámetros de funcionamiento si fuera necesario.

Asimismo, en el caso de que la comunidad de vecinos llegara a un acuerdo y se evaluara la viabilidad técnica y administrativa del uso de las cubiertas de los edificios residenciales, podría contemplarse una ampliación del sistema fotovoltaico. Esto permitiría aumentar la potencia instalada y aspirar a cubrir la totalidad del consumo energético de la urbanización, avanzando hacia una mayor autosuficiencia energética. Además, se podría estudiar la incorporación de almacenamiento energético mediante baterías para mejorar el aprovechamiento de esta energía y reducir todavía más la dependencia de la red eléctrica, especialmente durante los periodos con menor radiación solar.

Por último, cabe la posibilidad valorar la posibilidad de una instalación de consumo colectivo para cubrir las necesidades individuales de cada uno de los vecinos. Pero igual que mencionado anteriormente, los vecinos se tendrían que poner de acuerdo para que su instalación fuera posible en cada uno de los tejados de los distintos edificios.

Capítulo 7. BIBLIOGRAFÍA

Actitud Ecológica. (s.f.). *Actitud ecológica*. Obtenido de Autoconsumo fotovoltaico en España: <https://actitudecologica.com/autoconsumo/>

Alfonso Alonso, J. (25 de marzo de 2025). *SunFields*. Obtenido de Los modelos de placas solares de mayor eficiencia (2025): https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/los-10-paneles-solares-mas-eficientes-del-mercado/?srsltid=AfmBOooKRaPeedPbYPo6rMCVlep96oJ64us5Kk8yMxyrjuQA0_bNrRUv#Si-solo-nos-fijamos-en-la-ficha-de-fabricante-estas-son-las-mejores-placas-solares-y-mas-efici

Auto Solar. (2025). *Aspectos técnicos - coste de mantenimiento*. Obtenido de <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-mantenimiento-requiere-un-panel-solar>

Auto Solar. (2025). *Inversor Huawei SUN2000-15KTL-M2 (HC) 15kW Trifásico*. Obtenido de <https://autosolar.es/inversores-de-red-trifasicos/inversor-huawei-sun2000-15ktl-m2-hc-15kw-trifasico>

Auto Solar. (2025). *Panel Solar 550W JA Solar Mono PERC*. Obtenido de <https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-solar-550w-ja-solar-mono-perc#specification>

Auto Solar. (2025). *Tramitación de Subvención / Gestiones Ayuntamiento y Policía Local*. Obtenido de <https://autosolar.es/gestiones-administrativas-de-energia/subvenciones-autoconsumo-tramitacion-y-gestion>

Auto Solar. (2025). *Vatímetro Trifásico Tensite SDM630-Modbus*. Obtenido de <https://autosolar.es/vatimetro/vatimetro-sdm630-modbus-trifasico-tensite>

Ayuntamiento de Majadahonda. (17 de octubre de 2023). *Majadahonda consolida su paquete de bonificaciones fiscales “verdes” para fomentar el desarrollo sostenible*.

- Obtenido de https://www.majadahonda.org/buscador?p_p_id=com_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_com_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet_mvcPath=%2Fview_content.jsp&_com_liferay_portal_search_w
- BBVA. (s.f.). *BBVA*. Obtenido de ¿Qué es el autoconsumo fotovoltaico?: <https://www.bbva.es/finanzas-vistazo/ef/finanzas-personales/que-es-el-autoconsumo-fotovoltaico.html>
- Bernardo, R. (2025). Photovoltaic systems, components, costs, shading. *Photovoltaic Systems, Basic Course. Lund University*.
- Boletín Oficial del Estado. (2 de agosto de 2002). *REAL DECRETO 842/2002 Reglamento electrotécnico para baja tensión*. Obtenido de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2002/08/02/842/dof/spa/pdf>
- Boletín Oficial del Estado. (26 de diciembre de 2013). *Ley 24/2013, del Sector Eléctrico*. Obtenido de <https://www.boe.es/eli/es/l/2013/12/26/24/dof/spa/pdf>
- Boletín Oficial del Estado. (5 de abril de 2019). *Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica*. Obtenido de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/04/05/244/dof/spa/pdf>
- Boletín Oficial del Estado. (29 de diciembre de 2020). *Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica*. Obtenido de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2020/12/29/1183/dof/spa/pdf>
- Comisión Europea. (11 de diciembre de 2018). *DIRECTIVA (UE) 2018/2001 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32018L2001>

- Comisión Europea. (diciembre de 2019). *El Pacto Verde Europeo*. Obtenido de https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/attachment/869813/EGD_brochure_ES.pdf
- Comunidad de Madrid. (s.f.). *Autoconsumo eléctrico: la electricidad más verde*. Obtenido de <https://www.comunidad.madrid/servicios/consumo/autoconsumo-electrico-electricidad-verde>
- Endesa. (marzo de 2022). *Blog de endesa*. Obtenido de ¿Cuáles son los horarios de la luz?
- Engel Energy. (7 de noviembre de 2023). *Las ventajas y desventajas de la energía solar*. Obtenido de Engel energy: <https://engelenergy.es/blog/ventajas-y-desventajas-de-la-energia-solar/>
- España. (5 de abril de 2019). Real Decreto 244/2019. *Boletín Oficial del Estado n° 83*. Obtenido de <https://www.boe.es/boe/dias/2019/04/06/pdfs/BOE-A-2019-5089.pdf>
- European Commission. (2025). *PVGIS*. Obtenido de PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2018). *Las energías renovables en la Comunidad de Madrid*. <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2018/03/Las-Energias-Renovables-en-la-Comunidad-de-Madrid-fenercom-2018.pdf>.
- gencat. (24 de abril de 2025). *Factor de emisión de la energía eléctrica: el mix eléctrico*. Obtenido de https://canviclimatic.gencat.cat/es/actua/factors_demissio_associats_a_lenergia/?utm_source=chatgpt.com
- Honsberg, C., & Bowden, S. (s.f.). *pveducation*. Obtenido de voltaje de circuito abierto: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/open-circuit-voltage>

- Iberdrola. (2024). *Apostamos por la energía solar fotovoltaica*. Obtenido de Energía solar fotovoltaica: Apostamos por la energía solar fotovoltaica
- Iberdrola. (2025). *Precio Luz Hoy*. Obtenido de <https://www.iberdrola.es/luz/precio-luz-hoy>
- Iberdrola. (s.f.). *Autoconsumo fotovoltaico*. Recuperado el 5 de marzo de 2025, de <https://www.iberdrola.com/innovacion/autoconsumo-fotovoltaico>
- Iberdrola España. (2023). *Energías renovables en España. Descubriendo el potencial de las energías renovables en España*. Recuperado el 21 de Enero de 2025, de <https://www.iberdrolaespana.com/sostenibilidad/energias-renovables>
- IDAE y ENERAGEN. (julio de 2024). *Guía Profesional de Tramitación del Autoconsumo v.6*. Obtenido de Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y Asociación de Agencias Españolas de Gestión de la Energía (ENERAGEN), Madrid.:
https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/20240709_Guia_Profesional_Tramitacion_autoconsumo_v.6.pdf
- investing.com. (2025). *Rentabilidad del bono español a 25 años*. Obtenido de <https://es.investing.com/rates-bonds/spain-25-year>
- Leroy Merlin. (2025). *Perfil de aluminio de 2350mm para guía de paneles solares*. Obtenido de <https://www.leroymerlin.es/productos/perfil-de-aluminio-de-2350mm-para-guia-de-paneles-solares-86899990.html>
- Leroy Merlin. (2025). *Triangulo premontado STFS FISCHER*. Obtenido de https://www.leroymerlin.es/productos/5-soportes-triangulares-fischer-10-15-83337693.html?highlightedOfferCode=b56befb347028c2c8df6c4302cfbf2f212abcd23&&utm_medium=cpc&utm_source=google-pmax&utm_campaign=lmes_conversion_ao_performance&utm_id=22417810751&utm

- Lorenzo Martín, L. (10 de Enero de 2024). *Tarifasgasluz*. Obtenido de ¿Qué son los reguladores solares y cuál elijo según mi instalación?: <https://tarifasgasluz.com/autoconsumo/componentes/regulador-solar?>
- Mártil de la Plaza, I. (9 de septiembre de 2024). *Energía termosolar: cómo funciona y cuáles son sus ventajas*. Obtenido de BBVA: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/energia-termsolar-como-funciona-y-cuales-son-sus-ventajas/>
- Naciones Unidas. (s.f.). *Naciones Unidas. Acción por el clima*. Recuperado el 28 de Febrero de 2025, de <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>
- Organización de Naciones Unidas. (s.f.). *Objetivos de desarrollo Sostenible*. Recuperado el 17 de Febrero de 2025, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Parlamento Europeo. (11 de diciembre de 2018). *Directiva (UE) 2018/2001 sobre energías renovables*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32018L2001>
- PNUD. (s.f.). *¿Qué son los Objetivos de Desarrollo Sostenible?* Recuperado el 22 de Enero de 2025, de <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>
- Red Eléctrica. (2024). *España supera su máximo en producción renovable anual y en 2024 ya genera más que en 2023*. Obtenido de <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/2024/11/espana-supera-su-maximo-en-produccion-renovable-anual-y-en-2024-ya-genera-mas-2023#:~:text=La%20aportaci%C3%B3n%20renovable%20registrada%20entre,anterior%20de%20m%C3%A1s%20del%2013%25>.
- Red Eléctrica. (19 de diciembre de 2024). Las energías renovables generan el 56% del 'mix' eléctrico español en 2024.

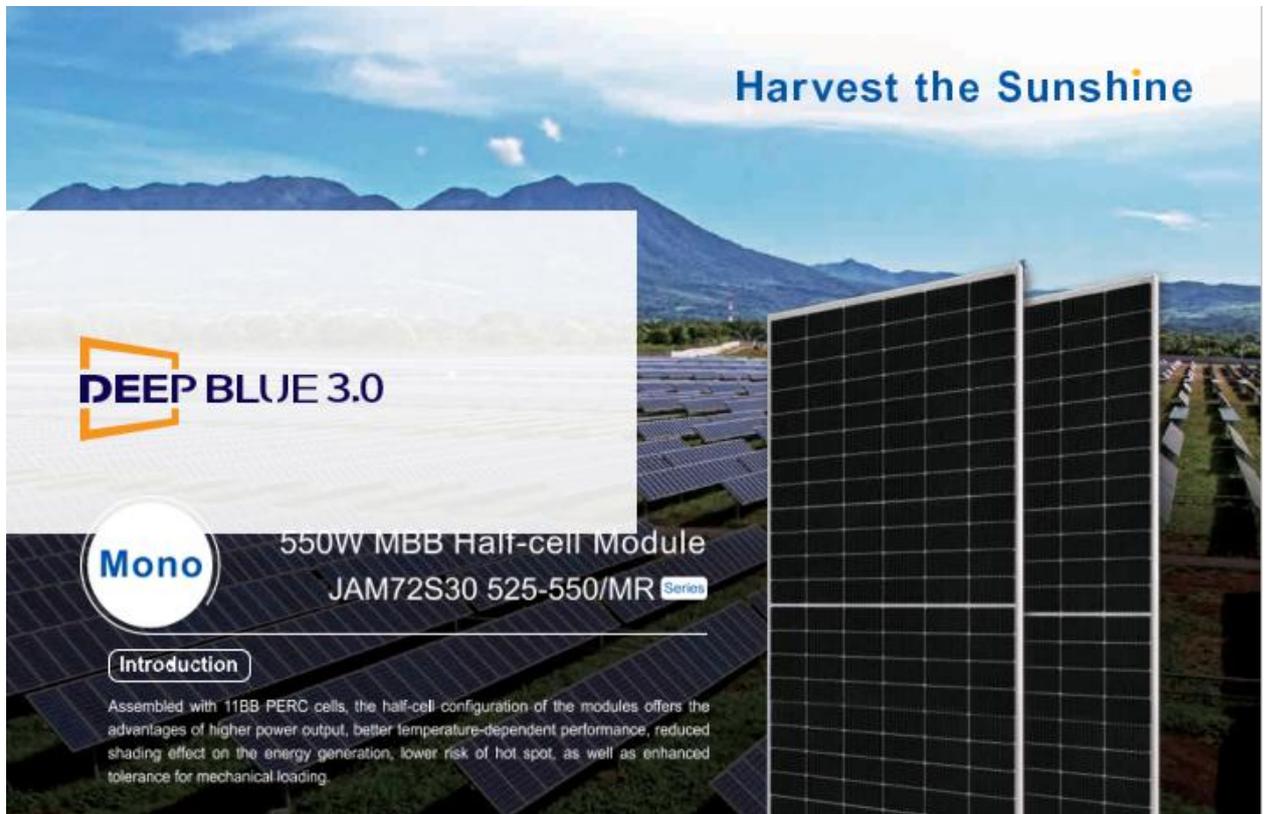
- Red eléctrica. (4 de febrero de 2025). *La solar fotovoltaica es ya la tecnología con mas MW instalados en España*. Obtenido de Red eléctrica.
- Red eléctrica española. (2025). *ESIOS - REE*. Obtenido de https://www.esios.ree.es/es/analisis/1739?compare_indicators=1001&vis=2&start_date=01-01-2025T00%3A00&end_date=31-12-2026T23%3A55&compare_start_date=01-01-2024T00%3A00&groupby=year&compare_end_date=30-12-2025T23%3A55
- Repsol. (2023). *Energía hidráulica: qué es y cuáles son sus ventajas*. Recuperado el 3 de marzo de 2025, de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-hidraulica/index.cshtml>
- Repsol. (2023). *Repsol - La energía del viento*. Recuperado el 1 de marzo de 2025, de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-eolica/index.cshtml>
- Repsol. (11 de septiembre de 2023). *Repsol Global* . Obtenido de La energía generada que consumimos en el hogar: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/que-es-el-autoconsumo/index.cshtml>
- Repsol. (s.f.). *Biomasa: qué es, tipos y ventajas* . Recuperado el 3 de marzo de 2025, de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/movilidad-sostenible/biomasa/index.cshtml>
- Repsol. (s.f.). *La energía geotérmica: qué es, cómo funciona y cuáles son sus ventajas*. Recuperado el 3 de marzo de 2025, de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-geotermica/index.cshtml>
- SAM (System Advisor Model). (s.f.). Shading and layout.
- SAM (System Advisor Model). (s.f.). System design.

SBC Energy Institute. (septiembre de 2013). Solar Photovoltaic. *LEADING THE ENERGY TRANSITION*.

Selectra. (27 de mayo de 2025). *Ayudas vigentes para placas solares en Madrid | Pídelas ya*. Obtenido de <https://selectra.es/autoconsumo/info/normativa/subvenciones/madrid>

Soleimani, A., Roghanian, P., Heidari, M., Heidari, M., Pinnarelli, A., Vizza, P., . . . Mosavi, S. F. (2025). Refining hybrid energy systems: elevating PV sustainability, cutting. *Energy Nexus*.

ANEXO I. HOJAS DE CARACTERÍSTICAS



Harvest the Sunshine

DEEP BLUE 3.0

Mono 550W MBB Half-cell Module
JAM72S30 525-550/MR Series

Introduction

Assembled with 11BB PERC cells, the half-cell configuration of the modules offers the advantages of higher power output, better temperature-dependent performance, reduced shading effect on the energy generation, lower risk of hot spot, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.



Higher output power



Lower LCOE



Less shading and lower resistive loss

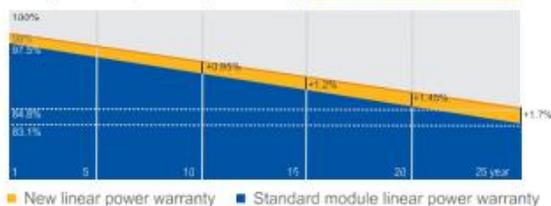


Better mechanical loading tolerance

Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 25-year linear power output warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years



Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL 61215, UL 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- ISO 45001: 2018 Occupational health and safety management systems
- IEC TS 62941: 2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Guidelines for increased confidence in PV module design qualification and type approval



JA SOLAR

www.jasolar.com

Specifications subject to technical changes and tests.
JA Solar reserves the right of final interpretation.



Smart PV Controller

SUN2000-12/15/17/20KTL-M2 (High Current Version)



Active Safety

AI Powered Arcing Protection



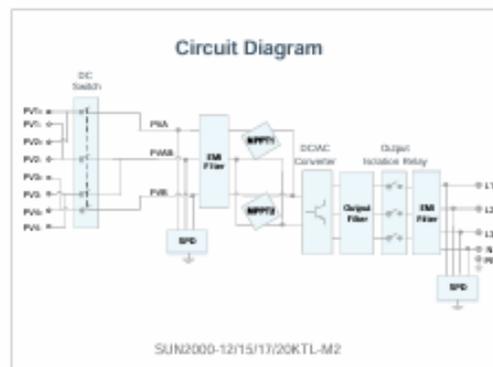
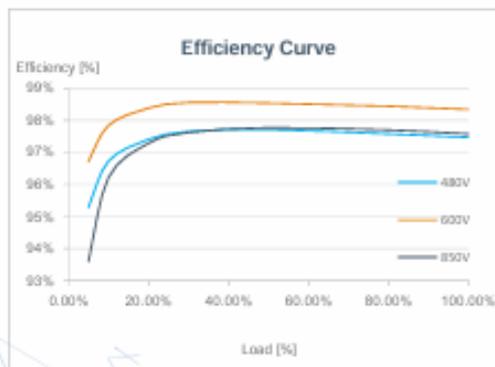
Higher Yields

Up to 30% More Energy with Optimizer



Flexible Communication

WLAN, Fast Ethernet, 4G
Communication Supported



SUN2000-12/15/17/20KTL-M2 (High Current Version)

Technical Specification

Technical Specification	SUN2000 -12KTL-M2	SUN2000 -15KTL-M2	SUN2000 -17KTL-M2	SUN2000 -20KTL-M2
Efficiency				
Max. efficiency	98.50%	98.65%	98.65%	98.65%
European weighted efficiency	98.00%	98.30%	98.30%	98.30%
Input				
Recommended max. PV power ¹	18,000 Wp	22,500 Wp	25,500 Wp	30,000 Wp
Max. input voltage ²	1,080 V			
Operating voltage range ³	160 V – 950 V			
Start-up voltage	200 V			
Rated input voltage	600 V			
Max. input current per MPPT	27 A ⁴			
Max. short-circuit current	39 A			
Number of MPPT trackers	2			
Max. number of inputs	4			
Output				
Grid connection	Three phase			
Rated output power	12,000 W	15,000 W	17,000 W	20,000 W
Max. apparent power	13,200 VA	16,500 VA	18,700 VA	22,000 VA
Rated output voltage	220 Vac / 380 Vac, 230 Vac / 400 Vac, 3W + N + PE			
Rated AC grid frequency	50 Hz / 60 Hz			
Max. output current	20 A	25.2 A	28.5 A	33.5 A
Adjustable power factor	0.8 leading ... 0.8 lagging			
Max. total harmonic distortion	≤ 3 %			
Features & Protections				
Input-side disconnection device	Yes			
Anti-islanding protection	Yes			
AC over-current protection	Yes			
AC short-circuit protection	Yes			
AC over-voltage protection	Yes			
DC reverse-polarity protection	Yes			
DC surge protection	TYPE II			
AC surge protection	Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11			
Residual current monitoring unit	Yes			
Arc fault protection	Yes			
Ripple receiver control	Yes			
Integrated PID recovery ⁵	Yes			
General Data				
Operation temperature range	-25 – +60 °C (-13 °F – 140 °F)			
Relative humidity	0 % RH – 100% RH			
Max. operating altitude	0 ~ 4,000 m (13,123 ft.) (Derating above 2000 m)			
Cooling	Natural Convection			
Display	LED Indicators; Integrated WLAN + FusionSolar App			
Communication	RS485; WLAN/Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE (Optional) 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Optional)			
Weight (with mounting plate)	25 kg			
Dimensions (W x H x D) (incl. mounting plate)	525 x 470 x 262 mm (20.7 x 18.5 x 10.3 inch)			
Degree of protection	IP65			
Nighttime Power Consumption	< 5.5W ⁶			
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, CEI 0-21, CEI 0-16, VDE-AR-N-4105, VDE-AR-N-4110, AS 4777.2, C10/11, ABNT, VFR 2019, RD 1699, RD 661, PO 12.3, TOR D4, IEC61727, IEC62116, DEWA			

¹ Inverter max input PV power is 40,000 Wp when long strings are designed and fully connected with SUN2000-450W-P power optimizers.

² The maximum input voltage is the upper limit of the DC voltage. Any higher input DC voltage would probably damage inverter.

³ Any DC input voltage beyond the operating voltage range may result in inverter improper operating.

⁴ The MPPT voltage of each PV string must exceed the lower limit of Full Power MPPT Voltage Range. (Full Power MPPT Voltage Range: 12KTL@380-850V, 15KTL@380-850V, 17KTL@400-850V, 20KTL@450-850V)

⁵ SUN2000-12-20KTL-M2 raises potential between PV- and ground to above zero through integrated PID recovery function to recover module degradation from PID. Supported module types include: P-type (mono, poly)

⁶ < 10W when PID recovery function is activated

⁷ Smart IV Curve Diagnosis feature will be made available in a future firmware upgrade, which expected available 2021 Q4

Triángulo pre-montado STFN



Triángulo premontado para todos las cubiertas planas para módulos orientados sea vertical o horizontal



Cubierta plana sin muro perimetral



Detalle: triángulo STFNS 10° - 15°

VERSIÓN

- Estructura triangular en aluminio AW 6063/6060 T68 según EN 755-2:2003
- Tornillería en acero inoxidable A2-70 según EN ISO 3508-1/2:2009

VENTAJAS

- Completo: el triángulo STFN se suministra premontado y los accesorios de conexión a los perfiles solares están incluidos en el paquete.
- Flexible: el triángulo está disponible en 2 modelos (STFN 10° - 15° y STFNS 25° - 30° - 35°) y 5 ángulos diferentes son posibles al mover la diagonal hacia 2 o 3 posiciones respectivamente.
- Versátil: todos los triángulos STFN permiten el diseño de los módulos tanto horizontal como verticalmente.

APLICACIONES

- Idóneo para:**
Sistema de cubierta plana con triángulos:
- Perfil Solar-fish
- Configuración posible:**
- Módulo en horizontal
 - Módulo en vertical

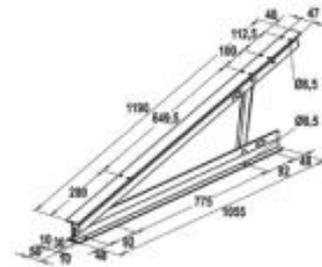
FUNCIONAMIENTO

- Defina la distancia del centro de los triángulos según las cargas de nieve y viento del área de instalación del sistema, de acuerdo con las regulaciones nacionales y el proyecto.
- Identifique la posición de los triángulos según la estructura de soporte y el diseño de la planta.
- Sujete la base del triángulo con el anclaje adecuado de acuerdo con el material de la base de anclaje.
- Conecte el perfil solar a la diagonal del triángulo usando los tornillos en el paquete.

DATOS TÉCNICOS



Triángulo pre-montado STFN 10° - 15°

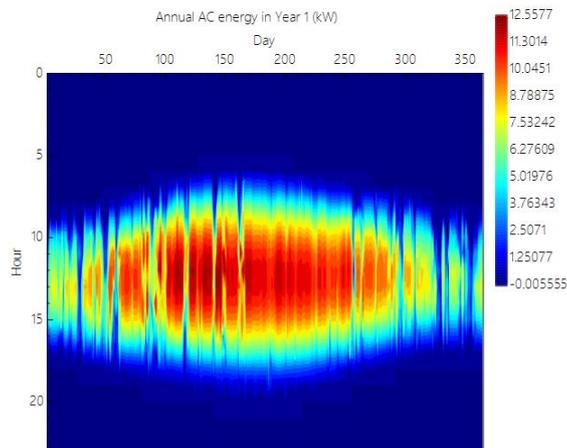
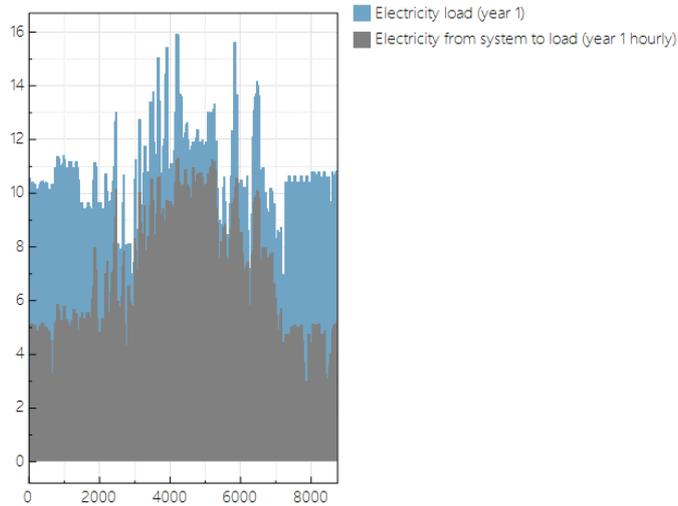
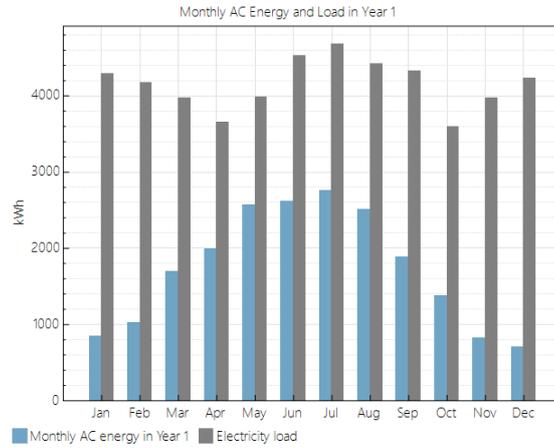


Producto	Art. n°	Peso W [kg]	Sección transversal L [mm²]	Momento de inercia y I _y [cm⁴]	Momento de resistencia y W _y [cm³]	Diámetro agujero Ø [mm]	Llave de montaje L ₁ [mm]	Par de apriete T _{max} [Nm]	Unidad mínima [pu]	Código EAN
STFN 10°-15°	524335	2,05	378	16,45	4,25	8	13	10	5	8001132718889

1) Contorno de Unidad mínima: 5 triángulos STFNS 10° - 15°, 20 tornillos marfil R15 M 8 x 20 A2, 20 tornillos con marfil M8 x 20 A2.

5 Sistema en cubiertas planas (triángulos)

ANEXO II. RESULTADOS DE SAM (SYSTEM ADVISOR MODEL)



LOSSES

