Trabajo Fin de Grado
en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Análisis sobre la inversión de una instalación solar fotovoltaica de autoconsumo

Autor: Pablo Rico Gómez

Tutor: Alejandro Marano Marcolini

Dpto. de Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2025

Trabajo Fin de Grado
en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Análisis sobre la inversión de una instalación solar fotovoltaica de autoconsumo

Autor:
Pablo Rico Gómez

Tutor:
Alejandro Marano Marcolini
Profesor titular

Dpto. de Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2025

Trabajo Fin de Grado: Análisis sobre la inversión de una instalación solar fotovoltaica de autoconsumo

Autor: Pablo Rico Gómez

Tutor: Alejandro Marano Marcolini

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2025

El Secretario del Tribunal

A mi familia y amigos

Agradecimientos

Este trabajo pone fin a unos largos 6 años en los que me he visto envuelto en numerosas situaciones en esta aventura llamada universidad. He aprendido, reído y disfrutado de cada momento, de mis compañeros de clase, de mis amigos y de todos ellos que han pasado por mi camino.

Agradecer también a todos los profesores que me han ayudado durante estos años, que tengo la certeza de que han dado lo mejor de sí mismos para que alumnos como yo aprendamos y nos enamoremos del mundo de la ingeniería.

También quiero agradecer a mi familia, sobre todo a mis padres y a mi hermano Nacho, que siempre han estado ahí cuando necesitaba algo de ayuda y se han preocupado en todo momento de mi bienestar y futuro.

A mi amiga María, que posiblemente si no hubiese sido por ella no estaría redactando este trabajo, ha sido y será uno de los pilares de mi etapa estudiantil y de mi vida. A mis 'chavales', por cada momento de risas, por cada fiesta y, sobre todo, por estar siempre que lo he necesitado, hasta en mis peores momentos. A los 'erasmus', una experiencia única de la que no me arrepiento absolutamente de nada, fue ese empujón que me hacía falta para acabar este grado y coger fuerzas para el futuro que me espera.

En definitiva, muchas personas que han estado involucradas en esto, y que no tengo ninguna duda que todas y cada una de ellas han aportado algo para que yo sea la persona que soy ahora.

Pablo Rico Gómez

Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales

Sevilla, 2025

Resumen

Este Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo analizar la viabilidad técnica y económica de una instalación solar fotovoltaica de autoconsumo en una vivienda unifamiliar ubicada en Andalucía. En un contexto de creciente preocupación por el cambio climático, la volatilidad del precio de la energía eléctrica y el impulso a la transición energética desde las instituciones, el autoconsumo se presenta como una solución atractiva y sostenible tanto para particulares como para el conjunto del sistema energético.

El estudio parte del análisis detallado del perfil de consumo energético real de la vivienda, basado en las facturas eléctricas de los últimos años. Esta información, junto con los datos de irradiación solar obtenidos mediante herramientas como PVGIS, permite diseñar una instalación fotovoltaica adaptada a las necesidades energéticas concretas del hogar, con el objetivo de maximizar el autoconsumo y reducir la dependencia de la red eléctrica convencional.

El proyecto incluye la selección técnica de todos los componentes necesarios para la instalación: módulos fotovoltaicos, inversor, estructura de soporte, cableado, protecciones eléctricas y elementos de medida. Se ha realizado una previsión de la producción anual de energía eléctrica, teniendo en cuenta la ubicación, la orientación e inclinación de los paneles, así como las pérdidas por temperatura, suciedad, y eficiencia del inversor.

Asimismo, se elabora un presupuesto completo y un análisis de rentabilidad, incluyendo el cálculo del periodo de amortización y el impacto económico de posibles subvenciones y deducciones fiscales. Los resultados muestran que, con una inversión razonable, la instalación puede amortizarse en pocos años, generando un ahorro económico considerable a medio y largo plazo.

Además del análisis técnico y económico, se estudia el impacto ambiental positivo derivado de la reducción de emisiones de CO_2, así como el valor añadido que supone para la vivienda una instalación de este tipo. El trabajo también contempla futuras ampliaciones del sistema, ya que el inversor dispone de una entrada MPPT adicional, y se plantea la posibilidad de incorporar un sistema de baterías que permita almacenar los excedentes de energía y utilizarlos, por ejemplo, para la carga de un vehículo eléctrico.

En definitiva, este trabajo proporciona una visión integral del proceso de diseño e implementación de una instalación fotovoltaica de autoconsumo, sirviendo como guía práctica y técnica para cualquier persona interesada en emprender una inversión similar en el ámbito residencial.

xii

Abstract

This Final Degree Project aims to analyze the technical and economic feasibility of a self-consumption photovoltaic solar installation in a single-family home located in Andalusia, Spain. In the current context of increasing concern about climate change, energy price volatility, and institutional support for the energy transition, self-consumption presents itself as an attractive and sustainable solution for individuals and for the energy system as a whole.

The study begins with a detailed analysis of the household's actual energy consumption profile, based on electricity bills from recent years. This data, along with solar irradiation information obtained through tools such as PVGIS, allows for the design of a photovoltaic installation tailored to the home's specific energy needs, with the goal of maximizing self-consumption and reducing dependence on the conventional power grid.

The project includes the technical selection of all components required for the installation: photovoltaic modules, inverter, support structure, cabling, electrical protections, and measurement devices. An energy production forecast has been developed, taking into account location, panel orientation and tilt, as well as losses due to temperature, dirt, and inverter efficiency.

A complete budget and profitability analysis are also presented, including the calculation of the payback period and the economic impact of possible subsidies and tax deductions. The results show that, with a reasonable investment, the installation can be amortized in a few years, generating considerable economic savings in the medium and long term.

Beyond the technical and economic analysis, the project also addresses the positive environmental impact derived from CO_2 emissions reduction, as well as the added value that such an installation brings to the property. The work also considers future system expansions, as the inverter has an additional unused MPPT input, and suggests the integration of a battery system to store energy surplus for later use, such as electric vehicle charging.

In conclusion, this project provides a comprehensive overview of the design and implementation process of a residential photovoltaic self-consumption system, serving as a practical and technical guide for anyone interested in making a similar investment in the residential sector.

Índice

Agradecimientos **ix**

Resumen **xi**

Abstract **xiii**

Índice **xv**

Índice de Tablas **xvii**

Índice de Figuras **xix**

Notación **xxi**

1 Objeto del Proyecto **1**
1.1 Introducción *1*
1.2 Motivación y objetivo *1*
1.3 Estructura del proyecto *2*

2 Estudio Energético **5**
2.1 Energía solar fotovoltaica *6*
2.1.1 Tipos de plantas fotovoltaicas 6
2.1.2 Ventajas e inconvenientes 6
2.1.3 Orientación y ángulo 7
2.2 Energía geotérmica *8*
2.2.1 ¿Qué es la energía geotérmica? 8
2.2.2 Funcionamiento de las bombas de calor geotérmicas 8
2.2.3 Ventajas en viviendas unifamiliares 9
2.2.4 Desventajas en viviendas unifamiliares 9
2.3 Almacenamiento doméstico de energía *10*
2.3.1 Tipos de baterías en autoconsumo 10
2.3.2 Cómo dimensionar una batería 10
2.3.3 Ventajas del almacenamiento energético en baterías 11
2.4 Variables técnicas y económicas relevantes para el diseño de la instalación *11*
2.4.1 Variables técnicas 12
2.4.2 Variables económicas 16
2.5 Modelo de la demanda doméstica *17*
2.5.1 Factores que afectan a la demanda de energía 18
2.5.2 Perfil de consumo energético 18
2.5.3 Estimación de la demanda energética 20
2.5.4 Impacto de la instalación solar 21

3 Diseño de la Instalación **23**
3.1 Descripción *23*
3.1.1 Localización 23
3.1.2 Superficie e inclinación 24
3.2 Selección de componentes *25*
3.2.1 Célula y módulo 25
3.2.2 Inversor 27

3.2.3 Baterías 28
3.2.4 Equipo de medida 29
3.2.5 Estructura y soporte 30
3.2.6 Compatibilidad eléctrica entre módulos e inversor 33
3.3 Cableado 33
3.3.1 Normativa 33
3.4 Protecciones 38
3.5 Mantenimiento 38
3.6 Previsión de la producción de energía 39

4 Análisis de Rentabilidad 41
4.1 Mercado de la energía 41
4.1.1 Justificación en base al contexto geopolítico y climático 41
4.1.2 Potencial solar en Andalucía 42
4.1.3 Viabilidad y ventajas 42
4.2 Ayudas públicas y subvenciones 42
4.2.1 Deducción fiscal en el IRPF por instalaciones de autoconsumo 43
4.3 Presupuesto y amortización de la instalación 43
4.3.1 Presupuesto sin baterías 43
4.3.2 Rentabilidad del proyecto 44

5 Conclusiones 47
5.1 Conclusiones 47
5.2 Líneas futuras de trabajo 47
5.2.1 Ampliación de la instalación fotovoltaica 47
5.2.2 Integración de sistemas de almacenamiento 48
5.2.3 Implementación de movilidad eléctrica 48
5.2.4 Incorporación de sistemas avanzados de monitorización y gestión energética 48

6 Anexo 49
6.1 Factura real de la vivienda (REPSOL) 49
6.2 Hojas de características de los componentes 52
6.2.1 Módulo fotovoltaico Tiger Neo N-type 78HL4-BDV 605-625 Watt 52
6.2.2 Inversor Huawei SUN2000-5KTL-L1 5000W 54
6.2.3 Batería Huawei LUNA2000-5-10-15-S0 56
6.2.4 Equipo de medida Smart Power Sensor DDSU666-H 58
6.2.5 Montaje y componentes estructura AF-GRID 59
6.2.6 Cable Prysmian Prysolar H1Z2Z2-K 67
6.2.7 Cable Afumex Class 1000V (AS) | RZ1-K (AS) | Cca-s1b,d1,a1 70
6.3 Planos de la vivienda 74
6.4 Simulación del proyecto en PVSyst 79

Bibliografía 91

Glosario 95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Irradiancia Solar en N36º45'37.06" O6º23'2.9". [5] 12

Tabla 2. Precio y consumo de electricidad desde Sept2022 a Dic2024 19

Tabla 3. Especificaciones del panel Jinko Tiger Neo N-type 78HL4-BDV 605-625 Watt. Fuente: Jinko Solar 26

Tabla 4. Sección del cableado según material y tipo de instalación. [32] 36

Tabla 5. Previsión de la producción de energía 40

Tabla 6. Presupuesto de la instalación sin baterías 44

Tabla 7. Rentabilidad del proyecto 45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vivienda unifamiliar con instalación solar fotovoltaica. [10] 5
Figura 2. Sistema de almacenamiento de energía en baterías. [41] 11
Figura 3. Irradiancia Solar en N36º45'37.06" O6º23'2.9" [5] 13
Figura 4. Reflexión de la luz en una célula PERC vs una convencional. [8] 14
Figura 5. Evolución del precio mensual de la luz en los últimos 10 años. [3] 17
Figura 6. Evolución del consumo y precio de la luz en la vivienda 20
Figura 7. Vivienda a estudio. [Google Maps] 24
Figura 8. Alzado lateral derecho 24
Figura 9. Alzado frontal 24
Figura 10. Módulo solar Tiger Neo N-type 78HL4-BDV 605-625 Watt. [14] 25
Figura 11. Profundidad de la cubierta 25
Figura 12. Ancho de la cubierta 25
Figura 13. Impacto de la sombra en paneles solares. [15] 27
Figura 14. Alzado lateral derecho con placas instaladas 27
Figura 15. Alzado frontal con placas instaladas 27
Figura 16. Inversor Huawei SUN2000-5KTL-L1 5000W. [18] 28
Figura 17. Batería Huawei LUNA2000-15-S0. [19] 29
Figura 18. Smart Power Sensor DDSU666-H Monofásico. [21] 30
Figura 19. Sistema de estructuras para placas fotovoltaicas en cubiertas inclinadas. [23] 31
Figura 20. Esquema de la estructura diseñada 32
Figura 21. Estructura instalada en la cubierta 32
Figura 22. Cable Prysmian Prysolar H1Z2Z2-K. [33] 34
Figura 23. Planta de la propuesta de cableado 35
Figura 24. Alzado de la propuesta de cableado 35
Figura 25. Sistema de instalación B1 a la intemperie con canal protectora aislante. [32] 35
Figura 26. Cable Afumex Class 1000 V (AS). [36] 37
Figura 27. Representación de Icc mínima. [32] 37

Notación

A	Amperios
€	Euros
º	Grados
ºC	Grados centígrados
m	Metros
N	Norte
O	Oeste
Ω	Ohmios
%	Porciento
V	Voltios
Wh	Watio hora
Wp	Watio pico

1 OBJETO DEL PROYECTO

1.1 Introducción

La transición energética hacia fuentes renovables se ha convertido en una prioridad global, tanto por razones medioambientales como económicas y sociales. En las últimas décadas, el cambio climático, la inseguridad energética derivada de conflictos geopolíticos, y la subida continuada del precio de la electricidad han hecho evidente la necesidad de transformar el actual modelo energético basado en combustibles fósiles hacia uno más sostenible, descentralizado y limpio.

En este contexto, la energía solar fotovoltaica ha cobrado un protagonismo indiscutible por su carácter renovable, su bajo impacto ambiental durante la fase de operación, su modularidad y su accesibilidad para aplicaciones domésticas. Concretamente, las instalaciones solares de autoconsumo representan una solución eficiente y rentable que permite a los ciudadanos producir parte o toda la energía eléctrica que consumen, reduciendo su dependencia de la red eléctrica convencional, disminuyendo su factura energética y contribuyendo activamente a la descarbonización del sector eléctrico.

Este proyecto se enmarca en esta línea de transformación energética y tiene como objetivo fundamental analizar la viabilidad técnica y económica de una instalación solar fotovoltaica de autoconsumo en una vivienda unifamiliar situada en Andalucía. Esta región cuenta con unas condiciones de irradiación solar especialmente favorables para el aprovechamiento de la energía solar, lo que convierte este tipo de instalaciones en una opción especialmente atractiva para los hogares que deseen avanzar hacia un modelo energético más autónomo, limpio y sostenible.

A través de un enfoque práctico, se pretende simular un caso real utilizando datos reales de consumo eléctrico de la vivienda objeto de estudio, combinados con estimaciones de producción solar y precios actuales de mercado. El resultado es un análisis integral que abarca desde el diseño técnico de la instalación hasta su evaluación económica, pasando por el dimensionado, la selección de componentes, la normativa aplicable, las ayudas disponibles y las posibles ampliaciones futuras.

El presente Trabajo Fin de Grado, además de cumplir con los requisitos académicos establecidos, pretende ser también una guía práctica y formativa para todos aquellos estudiantes, profesionales o particulares interesados en conocer de forma detallada el proceso de planificación y ejecución de un proyecto de autoconsumo fotovoltaico.

1.2 Motivación y objetivo

La motivación de este trabajo surge a raíz de un interés personal y familiar: la posibilidad real de llevar a cabo una instalación solar fotovoltaica en la vivienda habitual. Esta circunstancia despertó la curiosidad por entender todos los aspectos técnicos, económicos y normativos que intervienen en el desarrollo de un proyecto de este tipo. Lejos de quedarse en una simple propuesta de mejora energética, se planteó la oportunidad de convertir este proceso en el eje central de un Trabajo Fin de Grado, con el objetivo de profundizar en el conocimiento sobre una tecnología que está llamada a ser protagonista en el nuevo paradigma energético.

La motivación también responde a una inquietud más amplia: la necesidad de fomentar una mayor conciencia energética en el ámbito doméstico. Muchas veces, los consumidores desconocen el alcance y los beneficios que puede ofrecer el autoconsumo fotovoltaico, no sólo desde el punto de vista económico, sino también en términos de sostenibilidad, independencia energética y valorización del inmueble. El desarrollo de este proyecto permite visualizar con claridad cómo una instalación bien diseñada puede cubrir gran parte de las necesidades eléctricas de una vivienda, reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero y amortizarse en pocos años gracias al ahorro generado. En cuanto a los objetivos, se pueden dividir en dos categorías: técnicos y formativos.

Desde el punto de vista técnico, los objetivos son los siguientes:

- Realizar un análisis detallado del perfil de consumo energético real de la vivienda.
- Estimar la producción fotovoltaica anual mediante herramientas y datos de irradiación solar.
- Dimensionar la instalación teniendo en cuenta la demanda energética y las características físicas del inmueble.
- Seleccionar adecuadamente los componentes del sistema: módulos, inversor, estructura, cableado, protecciones y, opcionalmente, baterías.
- Realizar un estudio económico que contemple presupuesto, ayudas públicas, rentabilidad y periodo de amortización.
- Evaluar la posibilidad de ampliación futura de la instalación, ya sea mediante la incorporación de más paneles o la integración de almacenamiento.

Desde el punto de vista formativo, el objetivo principal es adquirir una comprensión integral del ciclo completo de diseño de una instalación fotovoltaica de autoconsumo en baja tensión. Esto implica familiarizarse con las herramientas de simulación energética, la normativa vigente, los aspectos técnicos del diseño, las estrategias de optimización del autoconsumo y los elementos clave del análisis económico-financiero de la inversión.

Asimismo, se pretende desarrollar competencias transversales como la capacidad de análisis, la redacción técnica, la interpretación de datos, la toma de decisiones fundamentadas y la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos durante el grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales.

1.3 Estructura del proyecto

El trabajo se organiza en seis capítulos, siguiendo una estructura lógica que facilita la comprensión y el desarrollo del estudio desde sus fundamentos hasta las conclusiones.

- Capítulo 1: Objeto del Proyecto. En este primer capítulo se introduce el contexto general del trabajo, se exponen las motivaciones que lo impulsan, se definen los objetivos principales y se presenta la estructura global del documento. Es la puerta de entrada al proyecto, y sirve para situar al lector y justificar su relevancia.

- Capítulo 2: Estudio Energético. Este capítulo analiza el entorno energético en el que se sitúa el proyecto. Se presenta una introducción a las fuentes de energía renovable, con especial énfasis en la energía solar fotovoltaica, detallando sus principios de funcionamiento, ventajas e inconvenientes, tipos de instalaciones y criterios de diseño (orientación, ángulo, sombreado). Además, se incluye un análisis complementario sobre la energía geotérmica y el almacenamiento energético mediante baterías, como tecnologías complementarias en la búsqueda de la autosuficiencia energética.

- Capítulo 3: Diseño de la Instalación. Este apartado constituye el núcleo técnico del trabajo. Se describe la ubicación y características de la vivienda, se realiza el dimensionado de la instalación y la selección de componentes específicos (módulos, inversores, estructura, cableado, protecciones, etc.). También se detallan aspectos normativos, de mantenimiento y previsiones de producción. Todo ello se acompaña de planos, esquemas eléctricos y hojas técnicas de los componentes seleccionados.

- Capítulo 4: Análisis de Rentabilidad. En este capítulo se aborda el estudio económico de la instalación, partiendo de un presupuesto detallado y considerando las subvenciones, deducciones fiscales y ayudas públicas disponibles. Se calcula el ahorro energético esperado, el periodo de amortización, el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de rentabilidad (TIR). El objetivo es demostrar la viabilidad económica del proyecto y su conveniencia como inversión doméstica.

- Capítulo 5: Conclusiones y Líneas Futuras de Trabajo. En esta sección se sintetizan los resultados obtenidos, se destacan las conclusiones más relevantes y se proponen posibles mejoras y ampliaciones

futuras del sistema, tales como el aumento de módulos aprovechando la capacidad no utilizada del inversor, o la implementación de un sistema de baterías para optimizar el uso de la energía producida, incluyendo aplicaciones como la carga de un vehículo eléctrico.

- Capítulo 6: Anexos. Finalmente, se incluyen todos los documentos complementarios necesarios para la comprensión completa del trabajo: fichas técnicas de los equipos, planos de la vivienda, normativa de referencia, gráficos de simulación y cualquier otro material relevante.

Esta estructura permite abordar el proyecto de manera progresiva, pasando de un enfoque general a uno específico, combinando el análisis técnico y económico con una visión práctica, accesible y aplicable a casos reales. El lector podrá, de este modo, adquirir una comprensión global del proceso de implantación de una instalación solar fotovoltaica de autoconsumo en el entorno residencial.

2 ESTUDIO ENERGÉTICO

El uso de energías renovables ha dejado de ser una opción y se ha convertido en una necesidad para alcanzar la sostenibilidad ambiental y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Este capítulo ofrece un análisis de las principales fuentes de energía renovable que se pueden implementar en el ámbito residencial, así como técnicas de almacenamiento de esta energía y estudio de las principales variables técnicas y económicas necesarias para el diseño de una instalación solar fotovoltaica. En la Figura 1 podemos ver un ejemplo de una vivienda en la que se ha instalado este tipo de instalación.

Para comenzar, exploraremos la energía solar fotovoltaica, donde se examinarán los principios de funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos, los tipos de plantas fotovoltaicas y las innovaciones tecnológicas recientes que han mejorado su eficiencia y viabilidad económica. Se discutirá la importancia de la orientación y el ángulo de los paneles para maximizar la captación de energía solar.

A continuación, abordaremos la energía geotérmica, centrándonos en el aprovechamiento de la energía térmica almacenada en el subsuelo terrestre. Se describirán los sistemas de bombas de calor geotérmicas, su funcionamiento y sus aplicaciones en la climatización de viviendas, destacando su capacidad para proporcionar una fuente de energía constante y sostenible durante todo el año.

Seguidamente, se analizarán las diversas tecnologías de almacenamiento doméstico de energía, tales como las baterías de litio y los sistemas de almacenamiento térmico. Se evaluará su eficiencia, costos y capacidad para integrarse en sistemas energéticos residenciales, permitiendo así un suministro energético continuo incluso en ausencia de sol o viento.

Para concluir este capítulo, se presentarán las variables técnicas y económicas relevantes para el diseño de la instalación. Aquí, se expondrán factores como la eficiencia de los sistemas, los costos de instalación y mantenimiento, y las subvenciones y ayudas disponibles que serán detalladas en un capítulo más adelante. Además, se desarrollará un modelo de la demanda doméstica que permitirá dimensionar adecuadamente las instalaciones y optimizar su rendimiento. Este análisis será crucial para entender cómo estos sistemas pueden ser implementados de manera efectiva y rentable en un hogar típico.

Figura 1. Vivienda unifamiliar con instalación solar fotovoltaica. [10]

2.1 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable y limpia que utiliza la radiación solar para producir electricidad. Se basa en el llamado efecto fotoeléctrico, por el cual determinados materiales son capaces de absorber fotones (partículas lumínicas) y liberar electrones, generando una corriente eléctrica.

Para ello, se emplea un dispositivo semiconductor denominado celda o célula fotovoltaica, que puede ser de silicio monocristalino, policristalino o amorfo, o bien otros materiales semiconductores de capa fina. Las de silicio monocristalino se obtienen a partir de un único cristal de silicio puro y alcanzan la máxima eficiencia, entre un 18 % y un 20 % de media. Las de silicio policristalino se elaboran en bloque a partir de varios cristales, por lo que resultan más baratas y poseen una eficiencia media de entre el 16 % y el 17,5 %. Por último, las de silicio amorfo presentan una red cristalina desordenada, lo que conlleva peores prestaciones (eficiencia media de entre un 8 % y un 9 %) pero también un precio menor.

2.1.1 Tipos de plantas fotovoltaicas

Hay dos tipos de plantas fotovoltaicas: las que están conectadas a la red y las que no. Dentro de las primeras existen, a su vez, otras dos clases:

- Central fotovoltaica: toda la energía producida por los paneles se vierte a la red eléctrica.
- Generador con autoconsumo: parte de la electricidad generada es consumida por el propio productor (en una vivienda, por ejemplo) y el resto se vierte a la red. Al mismo tiempo, el productor toma de la red la energía necesaria para cubrir su demanda cuando la unidad no le suministra la suficiente.

Estas instalaciones con conexión a la red cuentan con tres elementos básicos:

- Paneles fotovoltaicos: se trata de grupos de celdas fotovoltaicas montadas entre capas de silicio que captan la radiación solar y transforman la luz (fotones) en energía eléctrica (electrones).
- Inversores: convierten la corriente eléctrica continua que producen los paneles en corriente alterna, apta para el consumo.
- Transformadores: la corriente alterna generada por los inversores es de baja tensión ($380 - 800$ V), por lo que se utiliza un transformador para elevarla a media tensión (hasta 36 kV).

Por su parte, las instalaciones no conectadas a la red operan en isla y suelen encontrarse en lugares remotos y explotaciones agrícolas para satisfacer demandas de iluminación, servir de apoyo a las telecomunicaciones y bombear los sistemas de riego. Estas plantas aisladas requieren dos elementos adicionales para funcionar:

- Baterías: encargadas de almacenar la energía producida por los paneles y no demandada en ese instante para cuando sea necesario.
- Reguladores: protegen la batería contra sobrecargas y previenen un uso ineficiente de la misma.

2.1.2 Ventajas e inconvenientes

Entender cómo se obtiene la energía solar nos recuerda su potencial como fuente de energía limpia y sostenible. No obstante, de su uso también se derivan una serie de inconvenientes que investigadores, científicos y expertos están intentando reducir. Repasemos cuáles son las ventajas y desventajas de la energía solar.

2.1.2.1 Ventajas

- Es una energía limpia que reduce la huella de carbono de manera significativa, pues no genera gases de efecto invernadero ni contamina durante su uso (tan solo la contaminación creada al producir los paneles solares).
- Es una fuente de energía renovable y sostenible.
- A diferencia de otras renovables, la energía solar puede calentar.

- No requiere extracción constante de materiales para su funcionamiento, por lo que es una energía muy económica cuya inversión inicial es fácil de recuperar durante los años: un panel solar puede tener una vida útil de cuarenta años.
- La luz solar es abundante y está muy disponible, por lo que el empleo de paneles solares es una opción viable en cualquier punto geográfico; importante sobre todo para zonas en las que es complicado crear un sistema de cableado.
- El uso de energía solar potencia la seguridad energética al reducirse la dependencia de suministros del exterior.
- Otra ventaja de la energía solar es que disminuye la necesidad de combustibles fósiles y ayuda a conservar los recursos naturales.

2.1.2.2 Inconvenientes

- Tiene una eficiencia relativamente baja en cuanto a la energía eléctrica que puede convertir, alrededor de un 25%; aunque según avanza su desarrollo se está logrando aumentar su rendimiento.
- A la larga la energía solar puede salir barata, pero el coste inicial de su instalación es elevado y no es accesible para todo el mundo.
- Es necesaria un área de instalación grande con el objetivo de producir una cantidad de energía eléctrica adecuada para cubrir las necesidades energéticas.
- La energía solar no es constante, ya que fluctúa a lo largo del día y por la noche no está disponible. Para evitar esta desventaja hay que recurrir al almacenamiento de energía. Su efectividad es, además, menor durante los meses invernales.
- Otra desventaja de la energía solar es que el rendimiento de los paneles solares puede disminuir en determinadas condiciones atmosféricas, como largos periodos de calor y humedad o con nubes y niebla.
- La contaminación es un problema para la energía solar, por lo que en ciudades con altos grados de contaminación atmosférica su rendimiento es mucho menor.
- Durante la producción de los paneles solares se emite gran cantidad de gases de efecto invernadero y desechos tóxicos. Una desventaja que compensan durante su uso reduciendo la huella de carbono.

2.1.3 Orientación y ángulo

Hay diversas variables a considerar en el momento de establecer el mejor ángulo solar para las placas fotovoltaicas en una instalación de autoconsumo, tales como la ubicación geográfica, la orientación del tejado, la época del año, el perfil de consumo energético y las condiciones climáticas locales. Dicho esto, se buscará obtener la máxima eficiencia posible, por lo que, teniendo en cuenta estas variables, la inclinación de las placas se ajustará de tal forma que se maximice la producción energética durante las horas de mayor radiación solar y en los periodos del año con mayor demanda.

En verano, los paneles deben estar menos inclinados, ya que el sol alcanza una altura mayor en el cielo; mientras que en invierno, al estar el sol más bajo, conviene una mayor inclinación para optimizar la captación solar. Aun así, en instalaciones fijas, se opta por un ángulo intermedio que represente un compromiso eficiente durante todo el año.

En España, se recomienda un ángulo de inclinación de aproximadamente 30 a 40 grados si la orientación es hacia el sur. No obstante, este ángulo puede ajustarse ligeramente según la ubicación geográfica exacta. En zonas más cercanas al ecuador, como las Islas Canarias, un ángulo de inclinación más bajo, en torno a 25 grados, puede ser más adecuado. Por el contrario, en regiones más al norte de la península, como Galicia o el País Vasco, un ángulo ligeramente más alto, entre 35 y 40 grados, resulta más eficiente. El objetivo es maximizar la exposición a la radiación solar a lo largo del año, adaptando la instalación a la trayectoria solar propia de cada región.

Existen diversos métodos y herramientas de simulación que permiten determinar la orientación e inclinación óptima de los paneles solares. Estos incluyen modelos empíricos basados en la latitud, métodos analíticos y,

sobre todo, software de simulación energética como PVGIS o PVSyst, que permiten evaluar diferentes configuraciones según la localización, el clima, la radiación solar y las características del sistema. En este trabajo, se utilizará PVGIS para determinar la irradiancia solar en el emplazamiento elegido y PVSyst en el capítulo 4. Análisis de Rentabilidad para simular el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones y validar viabilidad económica.

La correcta orientación e inclinación de los paneles solares es esencial para maximizar la eficiencia de un sistema fotovoltaico. Estos ajustes aseguran que los paneles capten la mayor cantidad posible de luz solar durante el día, lo que incrementa la producción de energía y reduce la dependencia de la red eléctrica. Un ángulo y orientación adecuados permiten un rendimiento más constante a lo largo del año, adaptándose a las variaciones estacionales del sol. Esto no solo ayuda a reducir las facturas de electricidad y a amortizar más rápidamente la inversión inicial, sino que también contribuye a disminuir el impacto ambiental, al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y fomentar el uso de una energía más limpia y sostenible.

2.2 Energía geotérmica

La energía geotérmica, derivada del calor almacenado bajo la superficie terrestre, representa una fuente de energía renovable y sostenible que está ganando popularidad para aplicaciones residenciales. En el contexto de una vivienda unifamiliar, la energía geotérmica ofrece una alternativa eficiente y ecológica para calefacción, refrigeración y suministro de agua caliente.

2.2.1 ¿Qué es la energía geotérmica?

La energía geotérmica aprovecha el calor interno de la Tierra. Este calor puede ser utilizado directamente para calefacción mediante sistemas de bombas de calor geotérmicas (GHP, por sus siglas en inglés) o indirectamente para generar electricidad en instalaciones a gran escala. En el caso de viviendas unifamiliares, se emplean principalmente sistemas de bombas de calor geotérmicas, que extraen calor del suelo durante el invierno y lo transfieren al interior de la vivienda, y viceversa en verano, proporcionando refrigeración.

2.2.2 Funcionamiento de las bombas de calor geotérmicas

Las bombas de calor geotérmicas son una tecnología altamente eficiente que aprovecha la energía térmica almacenada en el subsuelo para climatizar espacios y producir agua caliente sanitaria. Su funcionamiento se basa en el principio de la termodinámica: trasladar calor de un lugar a otro utilizando un pequeño aporte de energía eléctrica. A diferencia de otros sistemas, las bombas de calor no generan calor por combustión, sino que lo extraen del medio natural, en este caso del terreno.

El corazón del sistema es el bucle geotérmico, un conjunto de tuberías enterradas a una profundidad donde la temperatura del suelo se mantiene relativamente constante durante todo el año (entre 10 °C y 16 °C, dependiendo del clima). Estas tuberías pueden colocarse en vertical, en pozos profundos, o en horizontal si se dispone de suficiente terreno. En su interior circula un fluido térmico (agua con anticongelante u otro refrigerante), que actúa como medio para captar o ceder calor al terreno.

Durante el invierno, este fluido extrae calor del suelo y lo transporta hasta la bomba de calor, donde un circuito interno con compresor, evaporador, válvula de expansión y condensador se encarga de elevar su temperatura. Este calor se transfiere al sistema de calefacción de la vivienda, que puede ser por suelo radiante, radiadores de baja temperatura o fancoils. Además, mediante un intercambiador adicional, se puede producir agua caliente sanitaria (ACS) para uso doméstico.

En verano, el proceso se invierte: la bomba de calor capta el calor del interior de la vivienda y lo transfiere al suelo, actuando como un sistema de refrigeración. Esta capacidad reversible es una de las grandes ventajas de las bombas de calor geotérmicas frente a otros sistemas de climatización.

Una característica destacada de esta tecnología es su alta eficiencia energética. Por cada unidad de energía eléctrica que consume el sistema, puede generar entre 3 y 5 unidades de energía térmica útil, lo que se traduce

en un rendimiento estacional muy elevado (COP o coeficiente de rendimiento). Esto hace que, a pesar de la inversión inicial relativamente alta, el ahorro energético a largo plazo sea significativo.

En resumen, las bombas de calor geotérmicas no solo permiten calefactar y refrigerar una vivienda de forma sostenible, sino que también ofrecen una solución integral para la producción de agua caliente sanitaria, todo en un único sistema silencioso, fiable y con un impacto ambiental muy bajo.

2.2.3 Ventajas en viviendas unifamiliares

- Eficiencia energética: las bombas de calor geotérmicas pueden ser de tres a cuatro veces más eficientes que los sistemas de calefacción y refrigeración convencionales, ya que transfieren el calor en lugar de generarlo mediante la quema de combustibles fósiles.
- Ahorro económico: aunque la instalación inicial puede ser costosa, los costos operativos son significativamente más bajos. A largo plazo, los propietarios pueden recuperar la inversión inicial a través de ahorros en las facturas de energía.
- Sostenibilidad ambiental: al utilizar el calor natural de la Tierra, las bombas de calor geotérmicas reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.
- Confiabilidad y durabilidad: los sistemas geotérmicos tienen una vida útil prolongada, con los componentes subterráneos durando hasta 50 años y las bombas de calor interiores alrededor de 20-25 años.
- Comodidad mejorada: estos sistemas proporcionan una calefacción y refrigeración uniforme y constante, mejorando la comodidad en el hogar.

2.2.4 Desventajas en viviendas unifamiliares

- Costo inicial elevado: una de las principales desventajas de este tipo de sistemas es que la instalación puede ser bastante cara. Aunque se ahorra en las facturas de energía a largo plazo, el gasto inicial puede ser difícil de asumir para muchas familias.
- Necesita espacio exterior: para instalar el sistema geotérmico es necesario contar con espacio suficiente en el terreno, ya que hay que enterrar tuberías. Esto puede ser un problema en casas con jardines pequeños o terrenos limitados.
- Instalación más compleja: no es un sistema que se pueda poner fácilmente como un aire acondicionado o una caldera. Requiere estudios previos del terreno y la ayuda de profesionales especializados, lo que puede hacer que el proceso sea más largo y complicado.
- Recuperación de la inversión a largo plazo: aunque con el tiempo se empieza a notar el ahorro, pueden pasar varios años antes de que se recupere todo lo invertido al principio. Esto puede no ser ideal para quienes buscan beneficios más inmediatos.
- Trámites o permisos: dependiendo de la zona donde se viva, puede que haya que cumplir ciertas normativas o pedir permisos para hacer las obras, lo que puede retrasar el proyecto o aumentar los costos.
- Obras molestas: la instalación implica hacer excavaciones en el terreno, lo cual puede alterar el jardín y generar ruidos y molestias durante varios días. Es algo que hay que tener en cuenta si se busca una solución rápida y poco invasiva.

2.3 Almacenamiento doméstico de energía

El almacenamiento de energía en instalaciones solares domésticas permite aprovechar mejor la electricidad generada por los paneles fotovoltaicos. Al incorporar baterías, se puede guardar la energía sobrante producida durante el día para usarla más tarde, por ejemplo, por la noche o en momentos con poca radiación solar. Esto reduce la necesidad de consumir electricidad de la red y mejora la eficiencia general del sistema.

2.3.1 Tipos de baterías en autoconsumo

Actualmente, existen varias tecnologías de baterías que pueden emplearse en instalaciones de autoconsumo, cada una con sus ventajas e inconvenientes:

- Plomo-ácido (Pb-ácido): Son las más tradicionales y económicas. Aunque tienen una vida útil más corta y requieren cierto mantenimiento, siguen siendo una opción válida en sistemas aislados o donde el presupuesto es limitado.
- AGM y Gel: Estas variantes también son de plomo-ácido, pero están selladas y no requieren mantenimiento. Ofrecen mejor comportamiento frente a descargas profundas, aunque su eficiencia y durabilidad aún son inferiores a tecnologías más modernas.
- Ion-litio (Li-ion): Son la opción más popular hoy en día, especialmente en instalaciones conectadas a red. Destacan por su alta eficiencia (hasta un 95 %), mayor número de ciclos (hasta 6.000 en algunos modelos), bajo mantenimiento y menor tamaño. Incluyen un sistema de gestión de batería que protege frente a sobrecargas o descargas excesivas.
- Tecnologías emergentes: Como las baterías de flujo redox o las de sodio-ion, que todavía están en fase de desarrollo o tienen costes elevados, pero que podrían ser alternativas viables en el futuro.

2.3.2 Cómo dimensionar una batería

Al elegir una batería para autoconsumo, hay dos aspectos clave que deben tenerse en cuenta:

- Capacidad (kWh): indica cuánta energía puede almacenar la batería. En viviendas, lo más habitual es instalar baterías que permitan cubrir el consumo de 2 a 5 días en caso de apagón, o al menos calcular el consumo de distintos elementos eléctricos que beban directamente de las baterías, como un termo de agua o un cargador de vehículo eléctrico.
- Potencia (kW): representa la cantidad de energía que la batería puede entregar en un momento concreto. Debe ser suficiente para alimentar los electrodomésticos que se usen simultáneamente.

Además, es importante considerar otros factores:

- Profundidad de descarga (DoD): es el porcentaje de la batería que se puede utilizar sin dañarla. En las de litio suele estar entre el 90 % y 95 %, mientras que en las de plomo no conviene superar el 50–60 %.
- Ciclos de vida: un ciclo es una carga completa seguida de una descarga. Las baterías de litio pueden superar los 5000 ciclos, lo que garantiza varios años de uso eficiente. En comparación, las de plomo rondan entre 1000 y 2000 ciclos.
- Eficiencia: la eficiencia total de carga y descarga (es decir, cuánta energía realmente se aprovecha) puede llegar al 95 % en sistemas modernos con inversores híbridos.

En la Figura 2 podemos ver un esquemático de cómo sería una instalación con baterías, en que podemos observar que el regulador dirige la energía parte al sistema de almacenaje y parte directamente a los consumidores.

Figura 2. Sistema de almacenamiento de energía en baterías. [41]

En un sistema típico, el inversor híbrido gestiona tanto la producción solar como el almacenamiento. Durante el día, la energía generada por los paneles cubre el consumo de la vivienda. Si hay excedente, se almacena en la batería. Cuando cae la noche o la producción no es suficiente, la batería proporciona la energía almacenada. Todo esto se gestiona de forma automática para optimizar el uso de la energía solar.

2.3.3 Ventajas del almacenamiento energético en baterías

- Mayor aprovechamiento de la energía solar: permite usar más porcentaje de la energía generada, en lugar de verterla a la red.
- Menor dependencia de la red: puedes reducir tu consumo eléctrico externo y estar mejor preparado ante subidas de precios o cortes de suministro.
- Ahorro económico y mejor uso de tarifas: en sistemas con discriminación horaria, se puede cargar la batería en horas valle y usarla en horas punta.
- Sostenibilidad: almacenar y consumir tu propia energía renovable contribuye a reducir las emisiones y avanzar hacia una vivienda más respetuosa con el medio ambiente.

2.4 Variables técnicas y económicas relevantes para el diseño de la instalación

El diseño de una instalación fotovoltaica de autoconsumo es un proceso que abarca diversas consideraciones técnicas y económicas, esenciales para asegurar la eficiencia y rentabilidad del sistema. En un contexto donde la sostenibilidad energética y la reducción de costes son prioridades, comprender y aplicar correctamente estas variables es fundamental para diseñar de forma óptima la instalación.

En la fase inicial del diseño, es crucial evaluar la irradiación solar del lugar de instalación, ya que este factor determina la cantidad de energía que puede ser generada. La orientación e inclinación de los paneles solares, por su parte, influye significativamente en la captación de energía solar a lo largo del día y las estaciones del año como hemos explicado anteriormente. Elegir el tipo adecuado de paneles solares, así como dimensionar correctamente la capacidad del sistema, son decisiones técnicas que impactan directamente en la eficiencia de este.

Además de los aspectos técnicos, los factores económicos juegan un papel muy importante. La inversión inicial, que incluye los costos de los paneles, inversores, baterías y la instalación, puede ser considerable, pero se compensa con el ahorro en la factura eléctrica y la posibilidad de obtener incentivos y subvenciones. El coste de mantenimiento y la vida útil de los componentes también deben ser considerados para evaluar la rentabilidad a largo plazo.

La integración del sistema fotovoltaico con la red eléctrica, y la posibilidad de compensar los excedentes de energía, ofrece una ventaja adicional en términos de ahorro y sostenibilidad. Las tarifas de energía y los costos financieros asociados con la financiación de la instalación también influyen en el análisis económico del proyecto.

A lo largo de este apartado, se explorarán en detalle cada una de estas variables técnicas y económicas, proporcionando ejemplos y datos específicos que ilustran su importancia y su impacto en el diseño y operación de una instalación fotovoltaica de autoconsumo. Este análisis exhaustivo permitirá a los propietarios de viviendas unifamiliares tomar decisiones informadas y optimizar sus sistemas fotovoltaicos para lograr una máxima eficiencia energética y rentabilidad económica.

2.4.1 Variables técnicas

Como hemos comentado en la introducción a este apartado, discutiremos las principales variables técnicas para tener en cuenta de cara al diseño de la instalación.

1. Irradiación solar: esta se refiere a la cantidad de energía solar que incide sobre una superficie por unidad de área durante un tiempo determinado. Se mide en kWh/m^2 y mide el potencial de generación de energía de una instalación fotovoltaica. La irradiación solar varía según la ubicación geográfica, época del año, hora del día y condiciones meteorológicas, por lo que su análisis es crucial de cara al funcionamiento óptimo de la instalación.

   Tiene un impacto directo en la generación eléctrica, lo que supone también una relación directa con la eficiencia y rentabilidad de la instalación. Por ejemplo, en España, la irradiación solar puede variar desde los 1200 kWh/m^2 anualmente en el norte hasta los 2000 kWh/m^2 en el sur.

   También influye en la planificación de la capacidad del sistema, ya que, conociendo la irradiación solar de la ubicación, se puede dimensionar de manera óptima el sistema fotovoltaico para satisfacer las necesidades energéticas de la vivienda, o al menos lo máximo posible.

   A continuación, en la Tabla 1 y el la Figura 3, se muestran los datos de irradiancia solar de los últimos años sobre el punto geográfico donde se aplicará este proyecto. Estos datos han sido obtenidos a través de la herramienta interactiva PVGIS de la Unión Europea.

Irradiancia (kWh/m2)	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
Jan	85,45	81,84	91,47	82,58	98,88	87,12	92,59	87,66	80,37	94,75	95,05
Feb	104,09	92,55	103,49	102,40	87,16	104,39	118,47	117,81	95,70	107,38	107,51
Mar	126,45	158,37	149,38	172,15	153,42	133,01	164,76	148,38	164,31	126,97	165,52
Apr	190,18	182,63	180,93	178,66	195,40	178,85	187,82	168,79	185,83	191,91	210,48
May	222,30	243,58	237,50	217,53	227,24	222,90	236,41	220,86	229,62	235,01	226,70
Jun	238,04	233,03	226,05	244,78	244,69	231,21	240,33	243,81	233,14	243,74	231,74
Jul	243,93	247,54	252,16	244,62	247,19	249,69	240,69	250,87	250,18	248,34	251,09
Aug	219,49	229,75	206,09	221,53	221,18	223,35	226,25	226,01	221,32	212,50	223,78
Sep	163,86	162,39	172,27	177,87	180,82	171,69	169,89	170,97	170,67	171,69	165,30
Oct	128,27	132,43	115,68	120,72	142,57	120,81	136,35	137,69	132,17	122,60	123,29
Nov	96,85	84,63	100,22	88,75	99,59	81,79	85,88	87,90	98,20	90,02	94,53
Dec	83,07	74,84	79,90	81,68	84,20	86,73	74,88	75,79	78,70	73,01	81,36

Tabla 1. Irradiancia Solar en N36º45'37.06" O6º23'2.9". [5]

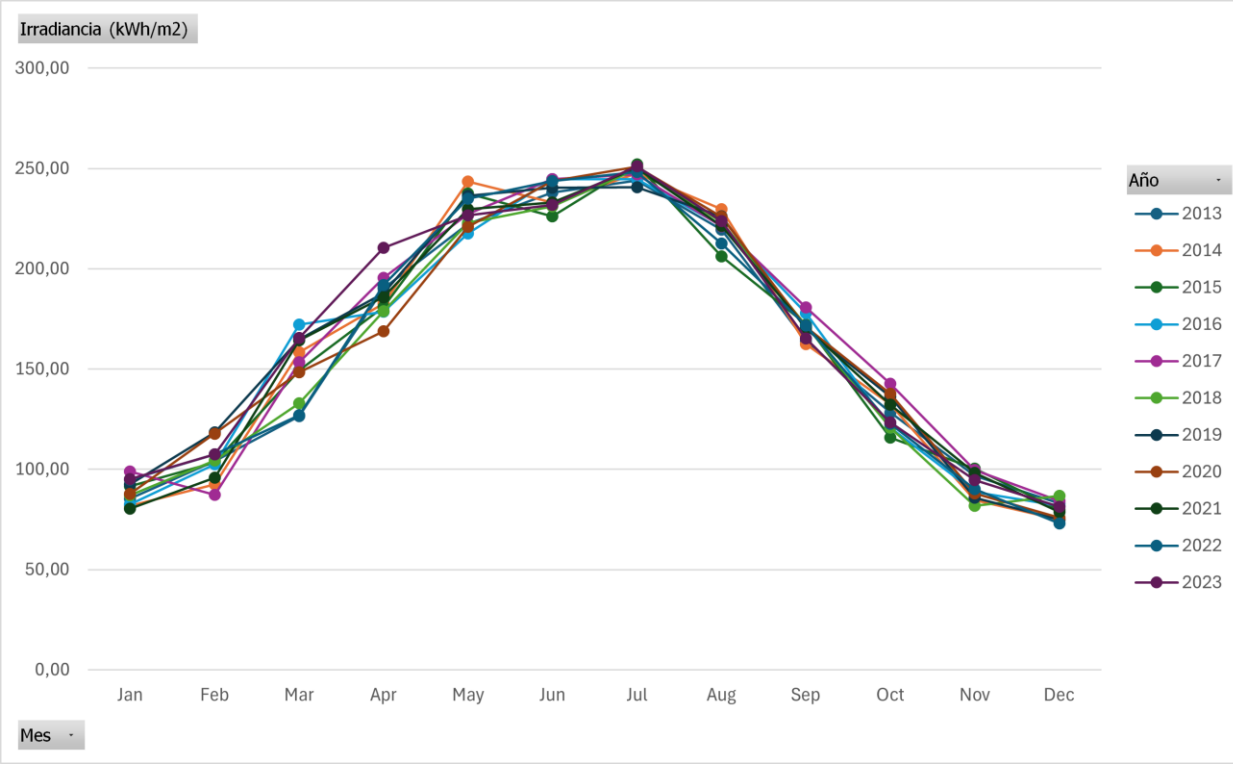


Figura 3. Irradiancia Solar en N36º45'37.06" O6º23'2.9" [5]

2. Orientación e inclinación de los paneles: este punto ya se ha tratado anteriormente en el apartado 2.1.3 Orientación y ángulo. Como resumen, podemos resaltar que la orientación y la inclinación de los paneles solares afectan la cantidad de luz solar que captan. La orientación óptima es hacia el sur en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur, con una inclinación que varía según la latitud.

3. Tipos de paneles solares: la selección del tipo de paneles solares es otra variable técnica fundamental en el diseño de una instalación fotovoltaica. Los paneles solares se diferencian principalmente por el material y la tecnología de fabricación, lo que influye en su eficiencia, costo y adecuación a diferentes condiciones ambientales.

   - Paneles fotovoltaicos monocristalinos: Estos paneles están hechos de silicio monocristalino. Están diseñados para producir energía a niveles más altos que los otros tipos de paneles, pero también son más caros.

     Concretamente, está compuesto por un solo cristal de silicio, se fabrican directamente cortando el silicio, sin fundir, en láminas obteniendo una mayor pureza y por lo tanto un mejor rendimiento.

     Este tipo de panel solar está ideado y diseñado para trabajar en zonas del norte donde, por lo general, se suelen disfrutar de una menor cantidad de horas de sol y las temperaturas con más bajas. El color del que está hecho este tipo de panel solar, negro, hace que se retenga más el calor. Su eficiencia oscila entre el 20 y el 22%.

   - Paneles fotovoltaicos policristalinos: Estos paneles están hechos de silicio policristalino. Son más económicos que los anteriores, los monocristalinos, ya que son menos eficientes.

     Su composición es una fundición de diferentes tipos de silicio que se coloca en moldes para darle la forma deseada. Su color también influye en su eficiencia, pues el panel solar policristalino es de color azul, que tiene menos capacidad de retener el calor. Su eficiencia es menor que en el tipo anterior, entre un 15 y 17%.

   - Paneles fotovoltaicos amorfos: Estos paneles están formados por una mezcla de silicio y materiales de óxido, de esta composición viene su nombre, amorfo. Con este tipo de panel damos otro bajón de calidad, pues el panel solar amorfo es menos eficiente, pero también es más barato.

Debido a su baja eficiencia (10-12%) el panel solar amorfo necesita el doble de superficie para la instalación de un mayor número de paneles para conseguir una producción energética equivalente a la que tendríamos con el uso de un panel más eficiente.

Los paneles amorfos son los más baratos, pero necesitan el doble de superficie para poder extraer los mismos vatios que los paneles fotovoltaicos actuales. Este tipo de paneles ya no se comercializan.

Tecnología PERC: es una tecnología que se usa para mejorar la eficiencia de las células solares mediante la captura de tantos fotones adicionales como sea posible sin cambiar fundamentalmente el funcionamiento de una célula solar. En la Figura 4 podemos ver su funcionamiento.

En las células solares ordinarias de silicio cristalino, la electricidad se produce cuando los fotones chocan con una capa de silicio, desprendiendo electrones que luego se dirigen a fluir a lo largo de un cable.

En general, las modernas células solares de silicio monocristalino pueden convertir en electricidad entre el 19 y el 20% de los fotones entrantes, pero algunos fotones atraviesan el material de silicio sin excitar electrones.

Cuando estas células se incorporan a un módulo solar, los fotones no convertidos pueden chocar con la capa posterior de aluminio y convertirse en calor, lo que reduce la eficiencia de la célula. Otros fotones excitan electrones que acaban recombinándose sin pasar por los cables de la célula, lo que significa que no generan electricidad.

Para fabricar una célula solar PERC, el fabricante toma células de silicio monocristalino convencionales y les añade una capa pasivante en la parte posterior que está diseñada para reflejar los fotones a través de la capa de silicio. A continuación, las células se micrograban con productos químicos o con un láser para atravesar esta capa añadida y que los contactos posteriores puedan llegar a ella. Sobre esta capa se añade una capa dieléctrica para aislar la célula solar.

Cuando se incorporan a un módulo solar, estas capas pasivas y el recubrimiento impiden que los electrones lleguen al contacto posterior sobre el que se colocan las células. La tecnología de las células PERC hace que el silicio capte más fotones, lo que significa que cada célula produce un poco más de electricidad de la que produciría sin las capas PERC. El rendimiento máximo de las células PERC es de aproximadamente un 23%, frente al máximo de 21% de las células convencionales de silicio monocristalino.

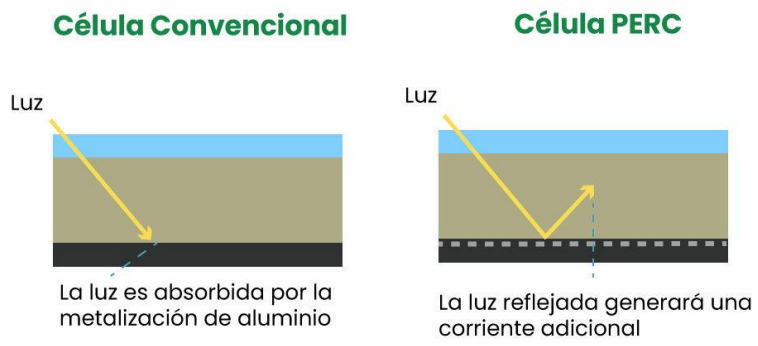


Figura 4. Reflexión de la luz en una célula PERC vs una convencional. [8]

4. Capacidad del sistema: la capacidad del sistema fotovoltaico, medida en kWp, es la variable técnica que determina cuánta energía puede producir la instalación en condiciones óptimas. Dimensionar correctamente la capacidad del sistema es esencial para asegurar que la instalación pueda cubrir las necesidades energéticas de la vivienda.

   Para dimensionar la capacidad del sistema, se debe considerar el consumo energético anual de la

vivienda. Por ejemplo, una vivienda unifamiliar que consume 5000 kWh al año puede necesitar una instalación de aproximadamente 4 a 5 kWp. Este cálculo depende de varios factores, como la irradiación solar disponible en la ubicación, la eficiencia de los paneles y las posibles pérdidas por orientación, inclinación o sombras.

Además del consumo energético, es importante considerar el espacio disponible para la instalación. La cantidad de espacio en el techo o en el terreno limitará cuántos paneles se pueden instalar y, por lo tanto, la capacidad total del sistema. En un techo pequeño, se podrían necesitar paneles de mayor eficiencia (como los monocristalinos) para alcanzar la capacidad deseada. En cambio, en un terreno amplio, podría ser más rentable utilizar paneles policristalinos o de película delgada, que son menos eficientes, pero más económicos por metro cuadrado.

Otro aspecto a tener en cuenta es el patrón de consumo energético de la vivienda. Si el consumo es mayor durante las horas de sol, se puede optimizar el tamaño del sistema para autoconsumo directo, reduciendo la dependencia de la red eléctrica. Si el consumo es elevado durante la noche, puede ser necesario dimensionar un sistema con capacidad adicional para alimentar baterías de almacenamiento, lo que incrementa tanto la capacidad instalada como los costos iniciales.

Por último, el dimensionamiento también debe considerar posibles expansiones futuras. Si se prevé un aumento en el consumo energético, como la adición de un vehículo eléctrico o la ampliación de la vivienda, se puede diseñar el sistema para permitir la instalación de más paneles en el futuro, sin necesidad de cambiar componentes clave como el inversor.

5. Sistema de montaje: en viviendas se adapta al tipo de techo, que suele ser inclinado con tejas, aunque también puede ser plano o una azotea. Las estructuras que se usan normalmente son de aluminio o acero inoxidable, materiales resistentes y ligeros que permiten fijar los paneles sin dañar la cubierta. La fijación debe ser firme para resistir el viento y evitar filtraciones de agua. Es fundamental evitar sombras de elementos como chimeneas o antenas para maximizar la captación solar y aprovechar al máximo el espacio disponible para instalar la mayor cantidad de paneles posible. También es importante que el montaje permita un acceso sencillo para mantenimiento y revisiones, siempre cuidando la seguridad.

6. Inversor: A la salida de los módulos se tiene corriente continua, la cual no puede ser usada en una vivienda, o inyectada a la red, puesto que en estos casos se requiere corriente alterna. El inversor, es un equipo que permite acoplar la generación fotovoltaica con la red eléctrica, puesto que transforma la corriente continua en alterna, permitiendo variar parámetros como frecuencia, tensión y corriente de salida. Para entender el funcionamiento del inversor, se detallan a continuación cada una de sus partes:

   - Filtros de entrada y de salida: atenúan el rizado y los armónicos.
   - Convertidor CC/CC (Chopper): varía la tensión de salida de los módulos a aquella necesaria para el puente de conmutación, buscando, si es posible el punto de máxima potencia.
   - Inversor: convierte la corriente continua en alterna gracias a unos dispositivos que conmutan la señal de continua (MOSFET, IGBT y GTO).
   - Convertidor CA/CA (Transformador): adecúa la tensión de salida.

   Los inversores pueden realizar un control para buscar el punto de máxima potencia (MMPT), que actúe sobre su entrada, imponiendo una tensión de trabajo a los módulos. El objetivo de ello es ir variando dicha tensión con algoritmos, para alcanzar el punto de máxima potencia.

   Para determinar qué inversor usar, debemos tener en cuenta un estudio que compare calidad-precio de los distintos fabricadores en el mercado, algo que analizaremos más en detalle en próximos apartados. También, dependiendo de la vivienda y su fachada, podremos diseñar una instalación con más de una orientación, en cuyo caso se utilizará un inversor con tantas entradas de control como orientaciones dispongamos en la instalación. Esto es debido a que cada una de las orientaciones del generador trabaja en cada instante a distintos puntos de trabajo por las diferencias en las condiciones de operación, fundamentalmente en cuanto a radiación incidente.

7. Sistema de almacenamiento: en una instalación fotovoltaica permite guardar la energía generada durante el día para usarla más tarde, sobre todo por la noche o en días nublados. Esto es especialmente importante en instalaciones aisladas o cuando se busca maximizar el autoconsumo. Las baterías son el

método más común de almacenamiento y pueden ser de plomo-ácido, que son más económicas, pero tienen menor vida útil y requieren mantenimiento, o de litio, que ofrecen mayor capacidad, más ciclos de carga y descarga y no necesitan mantenimiento, siendo las más usadas actualmente. También existen otras tecnologías menos comunes, como las baterías de flujo o de estado sólido, que aún están en desarrollo. Para dimensionar correctamente el sistema de almacenamiento, hay que tener en cuenta el consumo nocturno, la profundidad de descarga que se puede permitir, la autonomía deseada (es decir, cuántos días sin sol se quiere cubrir) y las pérdidas que ocurren durante la carga y descarga. Además, es importante contar con un sistema de gestión energética que controle el uso de la batería para optimizar su funcionamiento y alargar su vida útil.

8. Integración con la red eléctrica: regula para no verter energía a la red y se utiliza un inversor homologado; autoconsumo con excedentes acogido a compensación simplificada, que permite inyectar la energía sobrante y recibir una compensación en la factura hasta el límite del consumo mensual; y la venta de excedentes, pensada para instalaciones mayores o con interés en rentabilidad, que implica vender la energía al mercado eléctrico mediante un contrato con una comercializadora. Para que todo funcione correctamente, es necesario contar con un inversor homologado para conexión a red, un sistema de medición bidireccional y cumplir con la normativa vigente, como el Real Decreto 244/2019 en España, además de posibles contratos de acceso o legalizaciones adicionales. También, esta integración facilita la participación en esquemas como autoconsumo compartido o comunidades energéticas.

2.4.2 Variables económicas

Al fin y al cabo, lo que un usuario promedio busca es el ahorro en una inversión de este tipo, por lo que las variables económicas son un punto importante para tratar también. En este apartado se hará una breve introducción de estas ya que trataremos más en profundidad el aspecto económico en el capítulo 4. Análisis de Rentabilidad.

1. Coste de inversión inicial: en estos se incluyen los costos de los paneles, inversores, baterías, estructura de montaje y la instalación propiamente dicha. El coste promedio de una instalación habitual, 5 kWp, puede variar entre los 6000 y 10000 €, dependiendo de los componentes elegidos y la complejidad del proyecto.
2. Ahorro en la factura eléctrica: el hecho de autoabastecerse nos ayuda a reducir la necesidad de comprar electricidad de la red. Para una vivienda que consuma unos 5000 kWh anuales, una instalación fotovoltaica puede general unos ahorros de entre 500 y 800 €, dependiendo del precio de la electricidad y la capacidad de autoconsumo del sistema implementado.
3. Incentivos y subvenciones: uno de los motivos más influyentes para animarse a llevar a cabo este tipo de instalación en casa son las ayudas gubernamentales, que ayudan a paliar significativamente el costo inicial de la instalación. En España, el Plan MOVES, junto con otras ayudas autonómicas, pueden cubrir hasta el 40% del costo de la instalación.
4. Costo de mantenimiento: el mantenimiento de una instalación es periódico, pero de bajo coste. Entre limpieza de los paneles y revisiones, el coste anual puede estar entre los 100 y 200 €.
5. Periodo de amortización: es el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial a través de los ahorros en la factura eléctrica. Como hemos comentado anteriormente, si el coste inicial de la instalación está en entre los 6000 y 10000 €, y el ahorro anual entre 500 y 800 €, una instalación típica puede tener un periodo de amortización puede estar en torno a los 8 años, contando con las subvenciones.
6. Valor añadido a la vivienda: según estudios, una vivienda con una instalación solar puede aumentar su valor de reventa en un 3/4%.
7. Tarifas de energía: la tarifa eléctrica es la variable fundamental en la factura de la luz, por lo que está directamente relacionada con el ahorro generado por la instalación. En España, como podemos observar en la Figura 5, el precio medio de la electricidad está en torno a 0,15 $€/kWh$. Sin embargo, como estamos observando estos últimos años, la tarifa está subiendo, estando ahora en casi 0,17 $€/kWh$ y alcanzando un máximo histórico en marzo de 2022 de 0,55 $€/kWh$, lo que indica que el ahorro en estos

años hubiese sido bastante alto, reduciendo así el periodo de amortización.

Figura 5. Evolución del precio mensual de la luz en los últimos 10 años. [3]

8. Costos financieros: como toda inversión o compra, se puede financiar a través de un préstamo, donde deberíamos tener en cuenta el interés de este al largo plazo.

2.5 Modelo de la demanda doméstica

La demanda doméstica de energía se refiere a la cantidad de electricidad que consumen los hogares para cubrir sus necesidades diarias. Esto incluye el uso de energía para la iluminación, la calefacción, la refrigeración, y el funcionamiento de electrodomésticos y otros dispositivos eléctricos. Es importante destacar que el consumo puede variar considerablemente entre diferentes hogares, dependiendo de factores como el tamaño de la vivienda, el número de personas que viven en ella, los hábitos de consumo y la eficiencia de los aparatos utilizados.

Entender el perfil de consumo energético de un hogar es clave para dimensionar correctamente una instalación solar fotovoltaica de autoconsumo. Aquí hay algunas razones que destacan su relevancia:

- Dimensionamiento: Para que una instalación solar funcione de manera efectiva, debe ser capaz de generar suficiente energía para satisfacer la demanda del hogar. Si se subestima el consumo, es posible que la instalación no produzca la energía necesaria, lo que resultaría en un mayor uso de la red eléctrica y un retorno de inversión más lento. Por el contrario, si se sobrestima, se podrían incurrir en gastos innecesarios.
- Optimización: identificar los momentos del día en los que se utiliza más energía. Esto es fundamental para maximizar el autoconsumo, ya que se puede programar el uso de electrodomésticos y otros dispositivos para que funcionen durante las horas de mayor producción solar, que suelen ser durante el día, reduciendo así la dependencia de la red eléctrica.
- Planificación de almacenamiento de energía: este aspecto también es importante a la hora de dimensionar la instalación.
- Análisis económico de costes y ahorro: estimar la reducción en la factura eléctrica y calcular el tiempo de retorno de la inversión, lo cual es fundamental para tomar decisiones financieras informadas.
- Adaptación a cambios en el consumo: por ejemplo, con la incorporación de nuevos electrodomésticos más eficientes o variación en el número de personas que habiten la casa.

2.5.1 Factores que afectan a la demanda de energía

La demanda de energía en los hogares no es uniforme y está influenciada por diversos factores.

El tamaño de la vivienda es un factor determinante en el consumo energético. En general, a mayor superficie, mayor será la demanda de energía, ya que se requieren más recursos para iluminar, calentar o enfriar el espacio. Las viviendas más grandes suelen tener más habitaciones y, por lo tanto, más electrodomésticos y dispositivos eléctricos, lo que incrementa el consumo total de energía.

El número de personas que habitan en un hogar también influye. A medida que aumenta el número de ocupantes, se incrementa el uso de electricidad para actividades cotidianas, como cocinar, lavar ropa y utilizar dispositivos electrónicos. Además, más personas suelen significar un mayor uso de calefacción y refrigeración.

Los hábitos de consumo también son importantes para determinar la demanda energética. Por ejemplo, el uso frecuente de electrodomésticos como lavadoras, secadoras y hornos puede elevar el consumo, así como el uso de sistemas de calefacción y aire acondicionado. Las rutinas diarias, como el horario de uso de estos dispositivos, también afectan el perfil de consumo.

Por último, la eficiencia de los electrodomésticos y sistemas de calefacción y refrigeración tiene un impacto directo en la demanda de energía. Los aparatos que cuentan con etiquetas de eficiencia energética alta (como A+++) consumen menos electricidad para realizar la misma tarea que aquellos con menor eficiencia. Invertir en electrodomésticos eficientes puede reducir significativamente el consumo energético del hogar, lo que no solo beneficia al medio ambiente, sino que también puede resultar en ahorros económicos a largo plazo.

2.5.2 Perfil de consumo energético

Para definir el perfil de consumo energético de una vivienda es útil conocer el consumo histórico de esta por medio de sus facturas. En este trabajo nos centraremos en el ejemplo de una vivienda concreta, por lo que también usaremos las facturas de los últimos años, desde 18/09/2022 hasta 22/12/2024 en las que podemos obtener el consumo total y precio de la factura mes a mes.

Como puede observarse, inicialmente los periodos de tiempo se engloban en unos 60 días, mientras que, a partir de marzo de 2024, las facturas empiezan a ser mensuales. Esto se debe a un cambio de compañía, de Endesa a Repsol.

Como primer ejercicio, se usará un ejemplo de factura real de la luz de la vivienda a estudio, adjuntada en el anexo de este documento 6.1 Factura real de la vivienda (REPSOL) para conocer e interpretar los datos que necesitamos para establecer un perfil de consumo energético. Entender bien cómo se lee una factura de la luz es clave si se quiere plantear una instalación de placas solares en casa. Aunque cada compañía tiene su propio diseño, en general todas incluyen la misma información básica. Lo primero que suele aparecer es el periodo de facturación, es decir, desde qué día hasta qué día se ha contado el consumo. Con esto se puede calcular el consumo medio diario, dividiendo los kWh totales entre los días del periodo.

Luego está el apartado de consumo, que normalmente se divide por franjas horarias (punta, llano y valle), dependiendo de la tarifa contratada. Estas franjas tienen precios distintos, siendo la punta la más cara y la valle la más barata. La suma de estas tres da el total de kWh consumidos durante el mes.

En cuanto al precio que se paga, no todo depende de lo que se haya consumido. Hay una parte fija, que es el término de potencia, y se paga, aunque no se haya usado electricidad. También hay otros costes como los peajes de transporte, distribución, el alquiler del contador, impuestos, etc. Todos estos conceptos van sumando hasta llegar al importe total de la factura.

Además, muchas facturas incluyen gráficos con el consumo de meses anteriores. Estos vienen bien para ver si hay meses en los que se gasta más, como en verano o en invierno, y eso también puede ayudar a saber cuánta energía necesitaría generar una instalación solar para cubrirlo. Algunas compañías también muestran de dónde viene la electricidad que han suministrado (si es renovable o no) y cuánta contaminación genera. Es un dato interesante si se quiere apostar por una energía más limpia y sostenible.

En la Tabla 2 y Figura 6 se muestra el consumo total registrado en las facturas disponibles:

FECHA	CONSUMO TOTAL (kWh)	PRECIO TOTAL (€)
18/09/2022 – 16/11/2022	604 kWh	203,88 €
16/11/2022 – 20/01/2023	698 kWh	226,55 €
20/01/2023 – 22/03/2023	662,75 kWh	201,97 €
22/03/2023 – 17/05/2023	694,43 kWh	212,41 € €
17/05/2023 – 15/07/2023	684,1 kWh	209,58 €
15/07/2023 – 14/09/2023	1153,98 kWh	337,52 €
14/09/2023 – 18/11/2023	813,97 kWh	249,25 €
18/11/2023 – 15/01/2024	810,07 kWh	262,11 €
15/01/2024 – 18/03/2024	782,28 kWh	287,16 €
18/03/2024 – 27/03/2024	131,07 kWh	47,3 €
27/03/2024 – 22/04/2024	338,29 kWh	90,76 €
22/04/2024 – 26/05/2024	362,36 kWh	101,64 €
26/05/2024 – 25/06/2024	501,45 kWh	131,19 €
25/06/2024 – 21/07/2024	350,4 kWh	85,93 €
21/07/2024 – 24/08/2024	382,56 kWh	94,35 €
24/08/2024 – 23/09/2024	374,79 kWh	92,57 €
23/09/2024 – 21/10/2024	410,58 kWh	99,06 €
21/10/2024 – 23/11/2024	423,97 kWh	100,82€
23/11/2024 – 22/12/2024	438,9 kWh	105,28 €

Tabla 2. Precio y consumo de electricidad desde Sept2022 a Dic2024

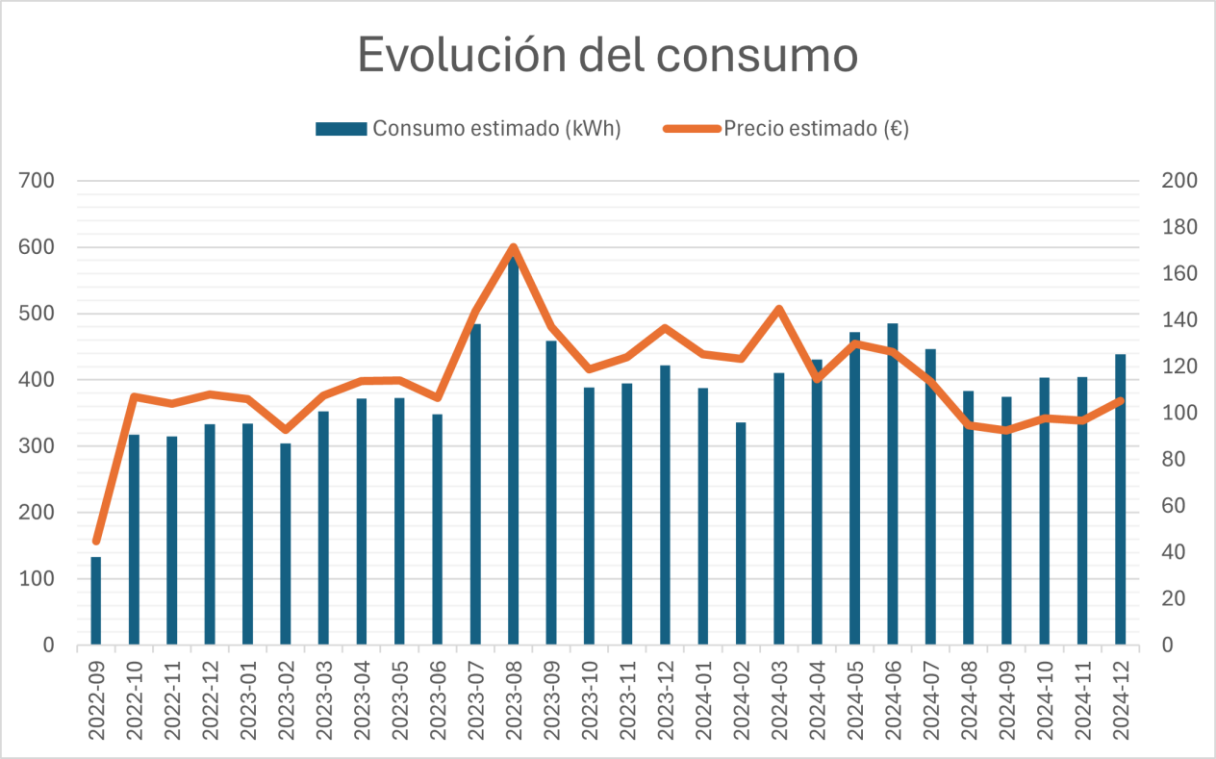


Figura 6. Evolución del consumo y precio de la luz en la vivienda

El análisis gráfico facilita la identificación de patrones de consumo y costos asociados. Como podemos observar, el cambio de compañía eléctrica ha supuesto una mejora en el bolsillo del cliente, ya que, los precios han bajado algo junto con una subida del consumo, lo que supone un claro ahorro. También notamos que se consume algo más en verano que en el resto de las estaciones, debido seguramente al uso de aires acondicionados, ventiladores y/o depuradora de la piscina. En los meses de invierno se podría disparar el consumo de la vivienda, pero no es el caso de esta ya que cuenta con una instalación de suelo radiante alimentada con propano.

Una vez realizado el análisis de consumo, se pueden considerar las siguientes recomendaciones generales para mejorar la eficiencia energética de la vivienda:

- Optimización del uso de calefacción y aire acondicionado: considerar la instalación de termostatos programables o sistemas de climatización más eficientes para reducir el consumo durante los meses de mayor uso.
- Uso de electrodomésticos eficientes: reemplazar electrodomésticos antiguos por modelos más eficientes que consuman menos energía.
- Iluminación LED: cambiar las bombillas incandescentes por bombillas LED, que consumen menos energía y tienen una vida útil más larga.
- Desconexión de dispositivos: fomentar la desconexión de dispositivos electrónicos y cargadores cuando no estén en uso para evitar el consumo en modo de espera.
- Mejora del aislamiento: evaluar el aislamiento de la vivienda para reducir la necesidad de calefacción y refrigeración, lo que puede resultar en un ahorro significativo en el consumo energético.

Al implementar estas recomendaciones, se puede lograr una reducción en el consumo energético y, por ende, en los costos asociados, contribuyendo a un hogar más sostenible y eficiente.

2.5.3 Estimación de la demanda energética

Siguiendo el análisis del apartado anterior, podemos hacer una estimación de la demanda energética de esta

vivienda en los próximos meses para dimensionar correctamente nuestra instalación fotovoltaica de autoconsumo. La idea de este trabajo es conseguir una autosuficiencia para no depender de la red eléctrica por lo que se intentará, a priori, cubrir todas las necesidades energéticas. En próximos apartados se estudiará la viabilidad del proyecto teniendo en cuenta el emplazamiento de la vivienda y la posibilidad de colocar los paneles solares con la inclinación y orientación idóneas.

Con base en los datos estimados de septiembre 2022 a diciembre 2024:

- Consumo total: $10801{,}71$ kWh
- Número de meses: 28
- Consumo mensual promedio:

$$\frac{10801{,}71}{28} \approx 385{,}77\ kWh/mes$$

- Consumo diario promedio:

$$\frac{358{,}77}{30} \approx 12{,}86\ kWh/día$$

Para autoabastecer la vivienda, necesitamos cubrir 100% del consumo anual, ajustando por pérdidas y estacionalidad. Luego veremos si las condiciones operativas disponibles en la vivienda nos permiten lograr el autoabastecimiento.

Factores a considerar:

- Ubicación a estudiar en Andalucía, España: producción solar ~ $4{,}28$ kWh/kWp/día

  Este dato se puede calcular a partir de los datos de irradiancia solar en el punto geográfico de estudio desarrollado en el punto 2.4.1 Variables técnicas:

  La media anual de irradiancia es de $1952{,}6$ kWh/m^2/año. Si usamos módulos fotovoltaicos típicos (rendimiento ≈ 80% incluyendo orientación, temperatura, inversor, etc.), la producción estimada por cada kWp instalado es de $1562{,}1\ kWh/kWp/año$, lo que supone aproximadamente $4{,}28\ kWh/kWp/día$.

- Pérdidas del sistema: ~15% (inversores, temperatura, orientación, etc.)
- Sistema con baterías: requiere mayor producción (~20% extra)

Producción útil por kWp instalado:

$$4{,}28 \times (1 - 0{,}15) = 3{,}638\ kWh/kWp/día$$

Con este dato, podemos calcular la potencia necesaria aplicando un factor extra del 20% para baterías, lo que nos daría:

$$\frac{12{,}86}{3{,}638} \approx 3{,}53\ kWp * 1{,}2 = 4{,}24\ kWp$$

Por tanto, para que la vivienda pueda ser autosuficiente debemos garantizar que la instalación sea capaz de producir entre $4{,}2\ -\ 4{,}5$ kWp.

2.5.4 Impacto de la instalación solar

La instalación de un sistema fotovoltaico en una vivienda tiene múltiples impactos, tanto a nivel energético como económico, medioambiental y social. Este tipo de intervención tecnológica no solo permite reducir la dependencia de la red eléctrica convencional, sino que también transforma el papel del usuario, que pasa de ser un simple consumidor para convertirse en un prosumidor —alguien que produce y gestiona parte de su propia energía—.

Desde el punto de vista energético, la instalación permite cubrir el 100% del consumo eléctrico anual de la vivienda, gracias al dimensionamiento adecuado del sistema, incluyendo tanto paneles solares como baterías de

almacenamiento. Esto garantiza una mayor independencia energética, especialmente en momentos de alta demanda o posibles fallos en la red. Además, la energía generada es limpia y renovable, lo que favorece la seguridad energética a largo plazo y reduce la exposición del hogar a la volatilidad de los precios eléctricos.

En el plano económico, el impacto más inmediato es la reducción significativa en la factura eléctrica. Aunque la inversión inicial puede ser elevada, especialmente si se incluyen baterías de gran capacidad, el retorno económico se materializa a medio plazo, habitualmente entre 6 y 10 años, dependiendo del patrón de consumo, el coste de la instalación y las ayudas disponibles. A largo plazo, el usuario obtiene un ahorro neto importante, al tiempo que aumenta el valor de la vivienda. Adicionalmente, las políticas actuales de autoconsumo con compensación de excedentes permiten que la energía no consumida se vierta a la red, lo que se traduce en bonificaciones económicas adicionales.

El impacto ambiental es otro de los pilares clave. La instalación solar evita la emisión de una cantidad considerable de CO_2 y otros gases contaminantes. Para una vivienda tipo con un consumo anual cercano a los $4.500 - 5.000$ kWh, la instalación puede evitar entre 1,5 y 2 toneladas de CO_2 al año, en comparación con una fuente de energía basada en combustibles fósiles. Esta contribución directa a la reducción de la huella de carbono convierte a las viviendas con autoconsumo solar en agentes activos frente al cambio climático.

En términos sociales, la generalización de instalaciones solares en viviendas particulares impulsa la transición hacia un modelo energético más descentralizado, participativo y sostenible. Además, genera empleo en sectores como la ingeniería, la instalación eléctrica y el mantenimiento, fomentando el desarrollo local. También promueve una mayor conciencia energética entre los ciudadanos, que comienzan a valorar el origen de la energía que consumen y a modificar sus hábitos hacia modelos más eficientes y responsables.

Finalmente, es importante mencionar que una instalación solar, correctamente gestionada, puede integrarse en sistemas de gestión inteligente del hogar (domótica), optimizando aún más el consumo energético según la producción solar disponible, el precio horario de la electricidad o la capacidad de las baterías. Esto contribuye a un uso más racional de los recursos y potencia la eficiencia global del sistema.

En resumen, el impacto de la instalación solar en una vivienda es profundo y multidimensional. Abarca desde beneficios económicos directos hasta mejoras medioambientales significativas y efectos positivos en el entorno social y tecnológico del hogar. Su implementación representa una decisión estratégica orientada al futuro, en línea con los objetivos de sostenibilidad y transición energética.

3 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

El diseño adecuado de una instalación fotovoltaica es fundamental para asegurar su eficiencia, fiabilidad y rentabilidad a largo plazo. Este capítulo está dedicado a describir detalladamente todos los aspectos técnicos y prácticos necesarios para implementar un sistema fotovoltaico en una vivienda unifamiliar.

Para comenzar, en la describiremos el sistema de la instalación, donde se proporcionará una visión general del sistema fotovoltaico, incluyendo los componentes principales como paneles solares, inversores, estructuras de soporte y sistemas de monitorización. Se explicará cómo estos componentes trabajan juntos para convertir la luz solar en electricidad utilizable.

Seguidamente, haremos un estudio de mercado para seleccionar los componentes, se detallará el proceso de elección de los paneles solares adecuados, inversores y otros equipos esenciales. Se discutirán las especificaciones técnicas y los criterios a considerar para seleccionar los componentes más adecuados según las necesidades energéticas y las condiciones específicas del emplazamiento.

Luego, se elaborará un diseño eléctrico adecuado, incluyendo la selección de cables, conectores y sistemas de protección contra sobrecargas y cortocircuitos. Se explicarán las normativas de seguridad eléctrica que deben cumplirse para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente del sistema.

Se describirán también las mejores prácticas para el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema fotovoltaico, asegurando su rendimiento óptimo a lo largo del tiempo. Se discutirán las tareas de limpieza de paneles, inspección de conexiones eléctricas y actualización de software de los sistemas de monitorización.

Finalmente, se proporcionará una estimación de la cantidad de energía que el sistema puede generar en función de factores como la ubicación geográfica, la orientación de los paneles y las condiciones climáticas. Este análisis permitirá evaluar la capacidad del sistema para satisfacer las necesidades energéticas de la vivienda y su contribución a la autosuficiencia energética.

3.1 Descripción

Tal como se ha determinado en el apartado 2.5.3 Estimación de la demanda energética, el objetivo principal del presente proyecto es el diseño de una instalación fotovoltaica de 4,5 kW que cubra de forma íntegra las necesidades energéticas de la vivienda. No obstante, antes de abordar el diseño detallado, es fundamental analizar si el emplazamiento y la superficie disponible en cubierta permiten llevar a cabo dicha instalación de forma viable y eficiente.

3.1.1 Localización

La vivienda objeto del estudio se encuentra ubicada en Sanlúcar de Barrameda (Cádiz), en las coordenadas geográficas 36º45'37.06" N / 6º23'2.9" O. La orientación de la cubierta principal es sur, lo cual resulta ideal para el aprovechamiento de la radiación solar en esta latitud, maximizando así la producción energética de la instalación fotovoltaica. En la Fura 7 se muestra una captura de pantalla de Google Maps de la vivienda a estudio.

Figura 7. Vivienda a estudio. [Google Maps]

3.1.2 Superficie e inclinación

Siguiendo las vistas de la vivienda proporcionadas en las Figuras 8 y 9, la instalación de los módulos fotovoltaicos se realizará en la vertiente sur de la cubierta, donde se dispone de dos secciones diferenciadas. La primera, de mayor tamaño, presenta unas dimensiones aproximadas de 5,7 × 7,12 metros, mientras que la segunda, algo menor, mide 2,6 × 6,3 metros. En conjunto, se cuenta con una superficie útil total próxima a los 57 m², más que suficiente para albergar los paneles necesarios.

En cuanto a la inclinación, tal como se indicó en capítulos anteriores, el ángulo óptimo para esta ubicación se sitúa entre 30º y 40º, con el fin de maximizar el rendimiento anual. En el caso de esta vivienda, la pendiente natural de la cubierta es de 22º, por lo que se contempla la instalación de una estructura auxiliar que permita aumentar la inclinación de los módulos hasta 35º, mejorando así la eficiencia global del sistema.

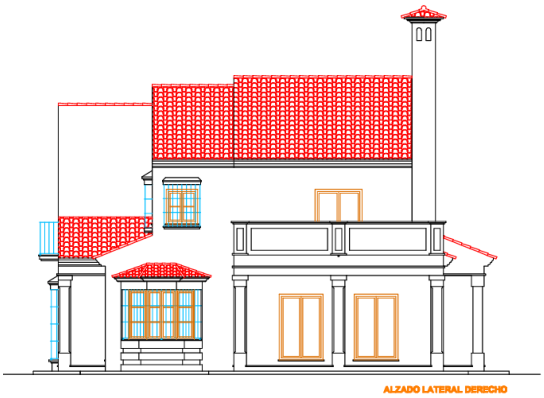


Figura 8. Alzado lateral derecho

Figura 9. Alzado frontal

3.2 Selección de componentes

En este capítulo se lleva a cabo la selección de los principales componentes que formarán parte de la instalación fotovoltaica, incluyendo los módulos fotovoltaicos, inversor y baterías. Para ello, se realizará un breve estudio de mercado con el objetivo de identificar productos que no solo cumplan con los requisitos técnicos establecidos en el proyecto, sino que también aseguren la compatibilidad eléctrica entre ellos, una alta eficiencia energética y un buen rendimiento económico a largo plazo. La elección de estos equipos buscará lograr un equilibrio entre calidad, fiabilidad y coste, optimizando así el funcionamiento general de la instalación.

3.2.1 Célula y módulo

Tras un breve estudio de mercado, numerosas compañías instaladoras de placas fotovoltaicas hacen uso de la marca Jinko Solar, marca líder en cuanto a calidad-precio en el sector energético por su alto rendimiento con un coste no tan elevado para sus prestaciones y garantías. Para este proyecto hemos elegido el modelo Jinko Tiger Neo N-type 78HL4-BDV 605-625 Watt (Figura 10), en concreto el módulo 605 W, con un precio de 151,39€ por panel [16]. Como vemos en las Figuras 11 y 12, la superficie disponible de la cubierta se divide en dos secciones, una de 5,7 × 7,12 metros y otra de 2,6 × 6,3 metros.

Figura 10. Módulo solar Tiger Neo N-type 78HL4-BDV 605-625 Watt. [14]

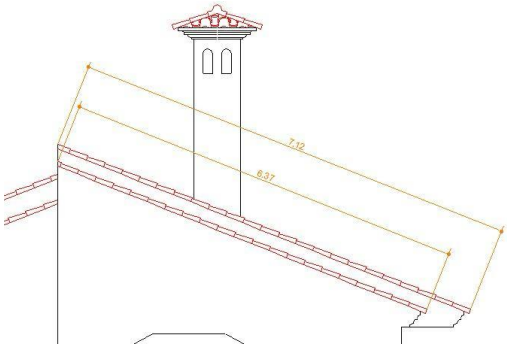


Figura 11. Profundidad de la cubierta

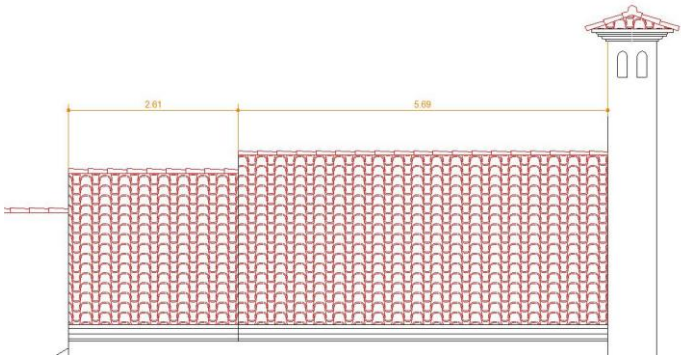


Figura 12. Ancho de la cubierta

Las especificaciones de nuestro panel solar elegido son las siguientes, registradas en la Tabla 3:

Tipo de célula	Monocristalina tipo N
Número de células	156 (2×78)
Dimensiones	2465×1134×30mm
Peso	34.6 kg (76.38 lbs)
Vidrio frontal	2.0 mm, con recubrimiento antirreflejante
Vidrio trasero	2.0 mm, vidrio templado resistente al calor
Marco	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conexiones	Clasificación IP68
Cables de salida y longitud	TUV 1×4.0 mm²
Longitud de cables	(+): 400 mm, (-): 200 mm o longitud personalizada
Potencia nominal	605Wp
Tensión máxima (V_{mp})	45,42V
Corriente máxima (I_{mp})	13,32A
Tensión a circuito abierto (V_{OC})	55,17V
Corriente de cortocircuito (I_{SC})	13,95A
Eficiencia	21,64%

Tabla 3. Especificaciones del panel Jinko Tiger Neo N-type 78HL4-BDV 605-625 Watt. Fuente: Jinko Solar

Viendo las especificaciones, adjuntas en el anexo, 6.1.1 Módulo fotovoltaico Tiger Neo N-type 78HL4-BDV 605-625 Watt, del panel, y teniendo en cuenta el espacio disponible, podemos garantizar que podemos realizar una instalación que cumpla con el requerimiento inicial de potencia suministrada ya que, con 8 paneles de 605 W conseguimos una instalación de 4840 W.

Como podemos observar en los planos anexos de la vivienda 6.3 Planos de la vivienda, vemos que esta posee una chimenea que produce sombra en prácticamente la mitad de la sección de mayor superficie. Esta sombra haría que bajase el rendimiento de la instalación como podemos ver en el diagrama de la Figura 13:

Figura 13. Impacto de la sombra en paneles solares. [15]

Para evitar la reducción de rendimiento, instalaremos dos placas solares en la sección de 2,6 x 6,3 metros y las otras seis en la superficie mayor, pegadas a la parte izquierda de la cubierta para evitar que la sombra de la chimenea les afecte, consiguiendo así que el rendimiento no se vea afectado. En las Figuras 14 y 15 se muestra un boceto de como quedaría la instalación según los comentarios mencionados en este capítulo.

Figura 14. Alzado lateral derecho con placas instaladas

Figura 15. Alzado frontal con placas instaladas

3.2.2 Inversor

Una de las compañías líder en el sector tecnológico es Huawei, conocida sobre todo por sus dispositivos móviles que están a la cabeza de mercado en cuanto a la relación calidad-precio. Sin embargo, también destacan en el sector energético con la fabricación de uno de los dispositivos básicos en cualquier instalación fotovoltaica, los inversores.

Para este proyecto vamos a elegir el modelo HUA-5KTL-L1-SUN2000 Híbrido Monofásico de 5000W (Figura 16), con un precio de 749€ [17]. Este inversor cumplirá con creces con las necesidades de nuestro proyecto, aparte de ser compatible con baterías del mismo fabricante, lo que facilitará la instalación y su compatibilidad, también dispone de dos seguidores MPPT, protección IP65 a la lluvia, la nieve y la suciedad y una app para monitorizar su funcionamiento desde tu dispositivo móvil.

Figura 16. Inversor Huawei SUN2000-5KTL-L1 5000W. [18]

Entre algunas de las tecnologías que hacen de los inversores de Huawei líderes en el mercado destacan:

- Mayor generación. Líder en conversión de energía a través de tecnologías avanzadas de dispositivos electrónicos. Combinándola con inversores, se puede lograr una optimización a nivel modular y aumentar el rendimiento hasta un 30%.
- La protección contra arcos eléctricos (Arc-fault Circuit Interrupter) corta el arco de CC en 0,5 segundos, evitando posibles riesgos de incendio para garantizar la seguridad.
- Funcionamiento estable en ambientes hostiles y climas extremos.
- Su compatibilidad electromagnética (EMC) cumple con las normas IEC, tanto para evitar dañar los electrodomésticos como para no dañar el cuerpo humano. Inmune a la interferencia de otras señales, ofrece un funcionamiento estable.

En cuanto a sus especificaciones técnicas, podemos consultarlas en el anexo de este proyecto, punto 6.1.2 Inversor Huawei SUN2000-5KTL-L1 5000W.

3.2.3 Baterías

Según [20], para la elección de la batería, hay que tener en cuenta el uso de la instalación, ya que es un fuerte condicionante. Por ejemplo, si se trata de una vivienda aislada de uso habitual, es interesante que la capacidad de las baterías pueda cubrir el consumo de varios días (entre 2 y 5) para poder asegurar la disponibilidad de energía en los peores días del invierno. En el caso de viviendas de uso puntual, como fines de semana, esto no es tan importante ya que, con que las baterías puedan cargarse durante la semana para cubrir los consumos del fin de semana, suele ser suficiente.

Como calculamos en el capítulo 2.5.3 Estimación de la demanda energética, el consumo diario promedio es de $12{,}86\ kWh/día$, lo que supone que la capacidad de mi banco de baterías debe cumplir entres 2 y 5 veces ese consumo.

La batería LUNA2000-15-S0 de Huawei (Figura 17) posee tres módulos que garantizan una energía útil de 15 kW, por lo que, con dos baterías de este modelo sería más que suficiente para garantizar los requisitos de nuestra instalación.

Figura 17. Batería Huawei LUNA2000-15-S0. [19]

El precio de las baterías es lo más costoso del proyecto, según la fuente más barata, cada módulo de 5 kW costaría 2099€ [19]. Puesto que necesitamos 6 módulos, la cifra asciende a los 12594€. Se estudiará en el próximo capítulo si esta inversión es rentable o no ya que encarece en gran medida el coste de inversión inicial.

En cuanto a las características que destacan en esta batería frente a otras, desatacan las siguientes:

- Posee un optimizador integrado de energía que gestiona de forma independiente cada módulo de batería. Cuando un pack queda obsoleto o resulta limitado, el resto sigue funcionando a pleno rendimiento y generando máxima energía. La energía utilizable se puede aumentar en más de un 10% durante el ciclo de vida.
- Al ser modular, permite la expansión de la instalación en cualquier momento, por lo que se podría instalar la mitad de los módulos en nuestro proyecto y, en un futuro, instalar el resto.
- Numerosas tecnologías que aumentan el rendimiento, la durabilidad y la seguridad de los elementos que podemos comprobar en la página web de Huawei.

La hoja de especificaciones la podemos encontrar en el anexo de este proyecto, 6.1.3 Batería Huawei LUNA2000-5-10-15-S0.

3.2.4 Equipo de medida

Con el objetivo de conocer la energía generada por el sistema fotovoltaico, es necesario disponer de un dispositivo que mida la energía en tiempo real. Este dispositivo se conoce coloquialmente como contador, elemento fundamental en nuestro proyecto ya que nos va a permitir llevar un control de la producción y demanda energética de nuestra vivienda.

Siguiente con la línea de apartados anteriores, nos vamos a ir a la marca Huawei de nuevo para buscar este dispositivo. En concreto usaremos el Smart Power Sensor DDSU666-H Monofásico (Figura 18) (se hace uso del modelo monofásico ya que este elemento se coloca tras el inversor, no tendría sentido conectar un trifásico aquí). El precio de este dispositivo es de 89,99 € [22].

Figura 18. Smart Power Sensor DDSU666-H Monofásico. [21]

Para consultar sus especificaciones técnicas, se podrá encontrar en el anexo de este proyecto su hoja de características técnicas 6.1.4 Equipo de medida Smart Power Sensor DDSU666-H.

3.2.5 Estructura y soporte

Como hemos visto anteriormente, la inclinación de nuestra cubierta es de 22º, lo que supone necesaria la instalación de los módulos fotovoltaicos sobre una estructura que aumente esta inclinación hasta los 35º para maximizar el rendimiento de la instalación.

Dentro de las distintas empresas que se dedican a este tipo de estructuras, nos quedaremos con la solución que propone la empresa Solarstem, encargada exclusivamente de elaborar este tipo de estructuras en instalaciones fotovoltaicas de cualquier tipo.

Viendo su catálogo de productos y tipos de estructuras, la estructura que necesitamos para nuestro proyecto será AF-GRID (Figura 19), ya que disponemos de una orientación sur y solo es necesario aumentar la inclinación de los módulos.

Figura 19. Sistema de estructuras para placas fotovoltaicas en cubiertas inclinadas. [23]

La propia compañía tiene manuales de instrucciones para montar cualquiera de sus plataformas, en el que se detallan los componentes necesarios para la instalación. Se adjunta dicho manual de instrucciones para el montaje de estructuras AF-GRID en el anexo de este proyecto 6.1.5 Montaje y componentes estructura AF-GRID.

Para nuestro proyecto necesitamos una inclinación extra de 13º, consiguiendo así los 35º óptimos para la instalación. Se ha incluido esta estructura en los planos de la vivienda para ver como quedaría el resultado final, detallando la propia estructura en la Figura 20 y la instalación de esta, marcando su inclinación final sobre el tejado en la Figura 21.

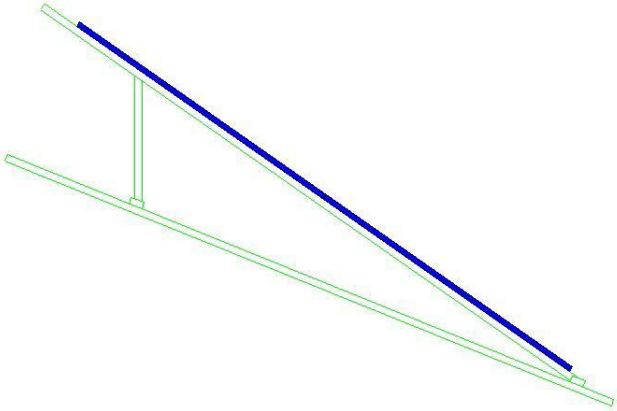


Figura 20. Esquema de la estructura diseñada

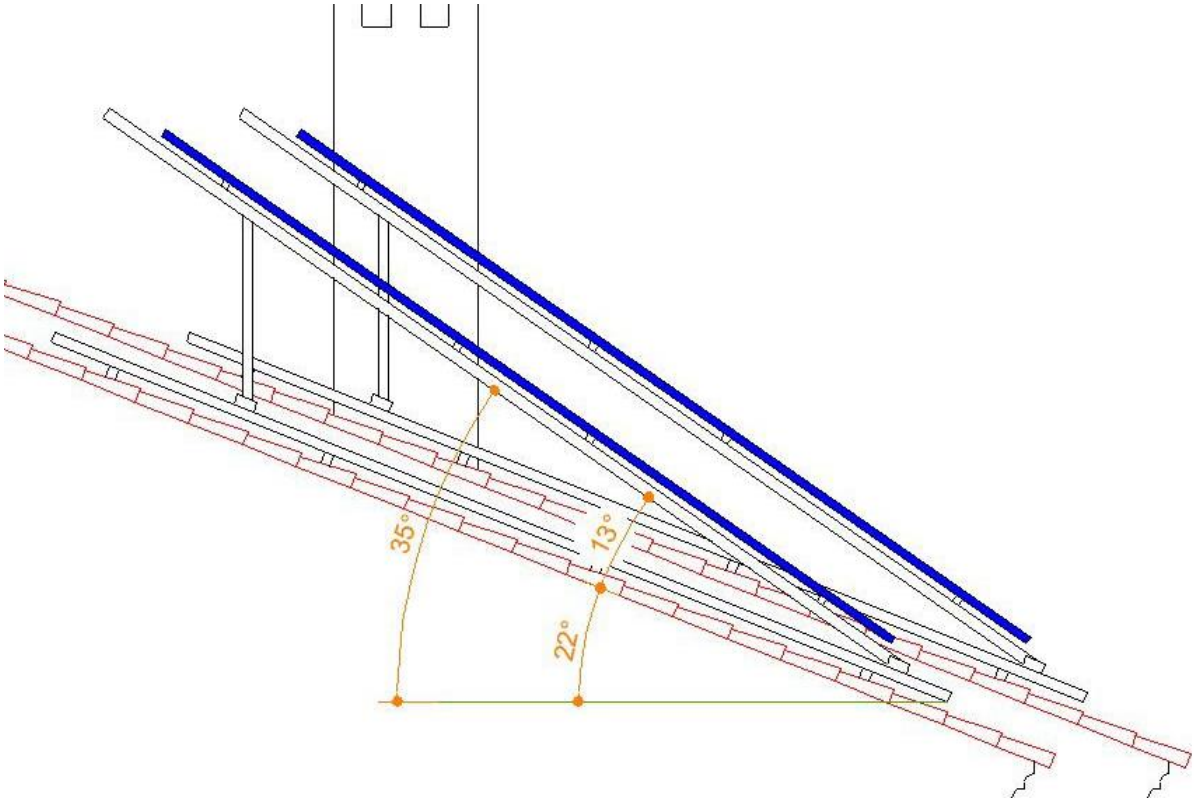


Figura 21. Estructura instalada en la cubierta

En cuanto al precio de la estructura, tras un intento de pedir presupuesto a la compañía, se me deniega puesto que no es un proyecto real por lo que el precio real de la instalación lo desconocemos. Sin embargo, haciendo una búsqueda sobre soportes de este tipo, encontramos que los precios oscilan entre los 150 y 200 € para soportes de dos placas consecutivas. Teniendo en cuenta que para el conjunto de 8 placas necesitaríamos al menos tres soportes más el incremento que suponga que el diseño contenga una placa encima de otra, vamos a estimar el precio de cada soporte en unos 250 €, es decir, que el precio total estimado para toda la estructura será de 750 €.

3.2.6 Compatibilidad eléctrica entre módulos e inversor

Tras la elección del módulo y del inversor, debemos comprobar su compatibilidad eléctrica. Para ello es necesario conocer los valores máximos y mínimos en el emplazamiento, los cuales son $39{,}6^{o}\mathrm{C}$ y $-0{,}2^{o}\mathrm{C}$ respectivamente (datos obtenidos en [24], en Chipiona, muy cercano al emplazamiento en el que se encuentra el proyecto). La irradiancia solar en este punto la obtenemos al igual que la Tabla 1. Irradiancia Solar en N36º45'37.06" O6º23'2.9", de la base de datos de PVGIS. Para 2024, el año de estas temperaturas y del que más recientes tenemos los datos, la irradiancia máxima en julio es de $962{,}64\ \mathrm{W/m^2}$. En diciembre, la irradiancia mínima es de $166{,}66\ \mathrm{W/m^2}$.

La ecuación $T_c = T_a + G_{ef} * \frac{T_{ONC}-20}{800}$ representa la temperatura del módulo a una temperatura ambiente (T_a), y para una irradiancia (G_{ef}). $T_{ONC} = 45^{o}C$ es la temperatura nominal de la célula:

Haciendo uso de esta ecuación obtenemos los valores máximos y mínimos de nuestro módulo solar en condiciones de funcionamiento:

- $T_{max} = 69{,}7^{o}C$
- $T_{min} = 5^{o}C$

Se determinan la tensión máxima siguiendo la ecuación de tensión a circuito abierto $V_{oc} = V_{oc}^{*} * (1 + (T_{max} - 25) * \frac{dV_{oc}}{dT_c})$ siendo $V_{oc}^{*} = 55{,}17V$ la tensión de circuito abierto en condiciones estándar y $\frac{dV_{oc}}{dT_c} = -0{,}25\%/^{o}C$ el coeficiente de variación de la tensión en función de la temperatura.

- $V_{oc,max} = 49{,}01V$

La corriente máxima de cortocircuito se calcula como $I_{max} = 1{,}25 * I_{SC}$, siendo $I_{SC} = 13{,}95A$ la corriente de cortocircuito, es decir, se aplica un factor de seguridad del 25%.

- $I_{max} = 17{,}44A$

Con estos datos, teniendo en cuenta que la instalación es una sola rama con 8 paneles, la tensión $V_{oc,max}$ de la rama será de $392{,}08V$ y la I_{max} de $17{,}44A$, cumpliendo con las especificaciones límite del inversor ($600V\ y\ 18A$).

3.3 Cableado

En esta sección se estimarán las longitudes y secciones del cableado necesario para conectar los diferentes componentes de la instalación fotovoltaica, como los paneles solares, el inversor y el cuadro eléctrico de la vivienda. El objetivo es garantizar una buena eficiencia del sistema, minimizando las pérdidas eléctricas y asegurando un funcionamiento adecuado.

También se tendrán en cuenta las protecciones eléctricas básicas necesarias para un sistema de este tipo, como interruptores y fusibles, que servirán para proteger la instalación frente a posibles fallos o sobrecargas. Estas medidas permitirán mantener la seguridad de los usuarios y la integridad del sistema.

3.3.1 Normativa

La instalación debe cumplir los requisitos que aparezcan en el documento acreditado de instalaciones eléctricas conectadas a red [25], el cual expone las siguientes condiciones:

En cuanto al cableado, el documento expone:

- Los positivos y negativos de cada grupo de módulos se conducirán de manera separada y totalmente protegidos de acuerdo con la normativa vigente.
- Los conductores serán de tipo cobre y tendrán la sección adecuada para evitar así caídas de tensión y posibles calentamientos. En concreto, para cualquier condición de trabajo, los conductores deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior al 1,5 %.

- El cable deberá tener la longitud necesaria para no generar esfuerzos en los diversos elementos ni posibilidad de enganche por el tránsito normal de personas.
- Todo el cableado de continua será de doble aislamiento y adecuado para su uso en intemperie, al aire o enterrado, de acuerdo con la norma UNE 21123.

En la instalación fotovoltaica habrá dos tramos, un tramo de corriente continua y un tramo de corriente alterna. El tramo de continua une el conjunto de paneles al inversor, mientras que, el tramo de alterna une el inversor con el punto de interconexión de red. Atendiendo a lo que se expone en el Reglamento eléctrico de baja tensión (REBT). Para hallar la sección mínima del cable se debe satisfacer 3 condiciones:

- Criterio de la intensidad máxima admisible o de calentamiento.
- Criterio de la caída de tensión
- Criterio de la intensidad de cortocircuito

El criterio de la intensidad máxima admisible consiste en que la temperatura del cable conductor cuando opera a plena capacidad y en estado estable, no debe exceder la temperatura máxima permitida asignada de los materiales que funcionan de aislamiento del cable. Para los cables termoplásticos la temperatura es $70^{o}C$, mientras que, para los termoestables la temperatura es $90^{o}C$.

Según el criterio de la caída de tensión, la corriente que circula por los conductores provoca una disminución de la potencia transportada por el cable, además de una disminución en la tensión o diferencia entre tensiones en el origen y el extremo de la canalización. La disminución debe mantenerse por debajo de los límites que establece el reglamento en cada parte de la instalación y con ello asegurar el correcto funcionamiento de los dispositivos alimentados por el cable. Este criterio suele ser determinante en líneas muy largas.

En cuanto al criterio de cortocircuito, el conductor del cable puede como máximo alcanzar una temperatura máxima admisible de corta, duración durante menos de 5 segundos, a consecuencia de un cortocircuito o una sobreintensidad. Es importante asegurarse que la temperatura no exceda los límites establecidos para cada material en particular.

Para los cables con aislamiento termoplástico este límite suele ser $160^{o}C$. Para cables con aislamiento termoestable, esta temperatura aumenta a $250^{o}C$. Este criterio a pesar de que es de gran importancia en instalaciones de media y alta tensión disminuye la relevancia en instalaciones de baja tensión.

3.3.1.1 Cableado CC

Para la elección del cableado de continua debemos hacer uso de la norma UNE-EN 50618:2015 "*Cables eléctricos para sistemas fotovoltaicos*". El cable que usaremos para esta instalación es el cable Prysmian Prysolar H1Z2Z2-K (Figura 22), diseñado según la norma europea de referencia EN 50618 supera ensayos medioambientales, mecánicos, químicos y de fuego. Es la solución Prysmian de calidad para el lado de corriente continua de las instalaciones fotovoltaicas.

Figura 22. Cable Prysmian Prysolar H1Z2Z2-K. [33]

Para el cálculo, tomamos el valor de intensidad de cortocircuito en condiciones STC $I_{SC} = 13{,}95A$.

La propuesta de cableado (Figuras 23 y 24) debe estudiarse de acuerdo a los distintos criterios de caída de tensión y cortocircuito para determinar la sección mínima del cable. Dado que la instalación constará de un

tramo exterior, debemos hacer el cálculo de sección más restrictivo siguiendo la guía de Prysmian.

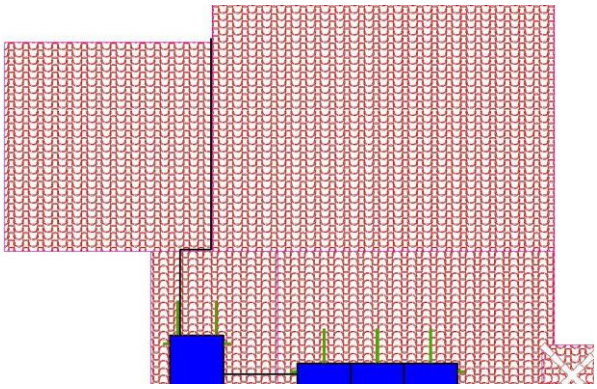


Figura 23. Planta de la propuesta de cableado

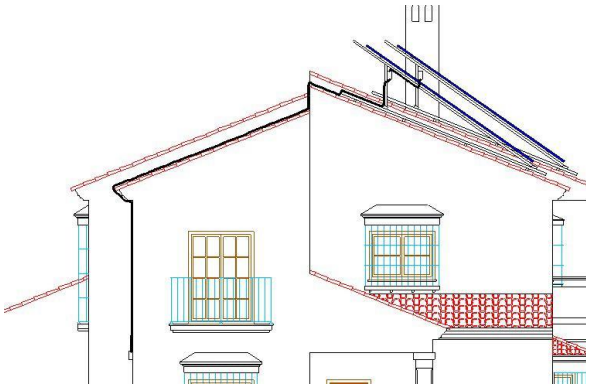


Figura 24. Alzado de la propuesta de cableado

Para el tramo exterior, según el catálogo de Prysmian (Figura 25), seguiremos un sistema de instalación a la intemperie con canal protectora aislante (cumple ITC-BT 26, pto. 7.1. e ITC-BT 30, pto. 2.1.2.) → sistema tipo B1

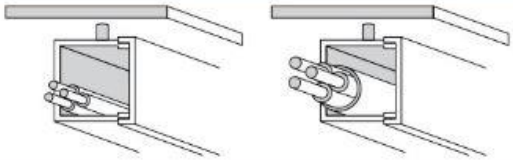
Elemento	Métodos de instalación	Descripción	Tipo
10 11		Conductores aislados en canal protectora suspendida. Cable multiconductor en canal protectora suspendida.	B1 B2

Figura 25. Sistema de instalación B1 a la intemperie con canal protectora aislante. [32]

En primer lugar, calcularemos la sección según el criterio de cortocircuito haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$I' = \frac{I_d}{factores\ de\ corrección}$$

Los factores de corrección necesarios para el cableado a la interperie son los siguientes:

- Acción solar directa: 0,9. (según UNE 20435, punto 3.1.2.1.4). [29]
- Por temperatura de 50ºC: 0,9 (según UNE-HD 60364-5-52, tabla B.52.14). [30]
- Por instalación fotovoltáica generadora: 1,4 (según IEC 62548). [31]

$$I' = \frac{13{,}95 * 1{,}4}{0{,}9 * 0{,}9} = 24{,}11A$$

Haciendo uso de la Tabla 4, proporcionada en el catálogo de Prysmian [32], estableceremos la sección mínima necesaria para la instalación:

Método de instalación tipo según tabla 52-B2		Tipo de aislamiento térmico (XLPE o PVC) + número de conductores gargados (2 o 3) (temperatura máxima de los conductores en régimen permanente → 70 °C tipo PVC y 90 °C tipo XLPE)																	
A1			PVC3 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)									
A2		PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)			XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)											
B1					PVC3 (70 °C)		PVC2 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)				XLPE2 (90 °C)			
B2				PVC3 (70 °C)	PVC2 (70 °C)					XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)							
C							PVC3 (70 °C)				PVC2 (70 °C)			XLPE3 (90 °C)			PVC2 (70 °C)		
D1/D2*		Ver siguiente tabla																	
E									PVC3 (70 °C)				PVC2 (70 °C)			XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)	
F											PVC3 (70 °C)				PVC2 (70 °C)		XLPE3 (90 °C)		XLPE2 (90 °C)
	mm²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13
Cobre	1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	20	21	23	25
	2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	34
	4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	46
	6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	59
	10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	82
	16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	110
	25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146
	35	72	77	86	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182
	50	86	94	103	116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220

Tabla 4. Sección del cableado según material y tipo de instalación. [32]

Siguiendo el diagrama de flechas de la tabla, aplicamos el mismo criterio para nuestra instalación exterior, y concluimos que es necesaria una sección de 2,5 mm^2 ($I' = 24{,}11A$).

En cuanto al cálculo de la sección por caía de tensión, El punto 5 de la ITC-BT 40 del REBT [35] dice expresamente: *"…la caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la Red de Distribución Pública o a la instalación interior, no será superior al 1,5 % para la intensidad nominal."*

La tensión de caía en nuestra rama de 8 paneles será de $45{,}32V * 8 =$

La caída de tensión máxima en voltios para el lado de corriente continua es:

$$\Delta U = \frac{1{,}5}{100} * U_{pmp} = \frac{1{,}5}{100} * 363{,}36 = 5{,}45V$$

La sección se calcula con la siguiente ecuación $S = \frac{2*L*I}{\gamma \cdot \Delta U}$, siendo L ≈ 30m, I = 13,32A y $\gamma = 45{,}5\ m/(\frac{\Omega}{mm^2})$. Por tanto, la sección mínima será de $3{,}22\mathrm{mm}^2$, lo que hace que, según las tablas, debamos escoger una sección de $4\mathrm{mm}^2$.

El coste de este cable es de $0{,}70€/\mathrm{m}$ [34], lo que supone un coste de $21€$ por cada rollo, uno de cable negro y otro rojo, es decir, coste final del cableado de 42€.

3.3.1.2 Cableado CA

Para este lado de la instalación es necesario conocer la tensión de salida del inversor y su intensidad máxima de salida, junto con la longitud del cable. Las características del inversor podemos verlas en su hoja de características en 6.1.2 Inversor Huawei SUN2000-5KTL-L1 5000W, donde vemos que la tensión de salida es de $230\mathrm{V}$ y la intensidad de $25\mathrm{A}$. En cuanto a la longitud del cable, según la ilustración 25. Alzado de la propuesta de cableado, la entrada del cableado a la vivienda, donde estará situado el inversor, da a una habitación contigua al cuadro eléctrico de la vivienda. Por lo tanto, la longitud del cable será de unos 4 o 5 m como máximo (usaremos 5 m para los cálculos).

El cable que vamos a usar para esta instalación será el Afumex Class 1000 V (AS) (Figura 26), instalado bajo tubo grapado a la pared. Este cable es de alta seguridad con clase de reacción al fuego $C_{ca} - s1b.d1.a1$.

Figura 26. Cable Afumex Class 1000 V (AS). [36]

El sistema de instalación de este tipo es B2 y se aplica un coeficiente de seguridad de 1,25 ya que el inversor ya limita la corriente de salida: $I' = 25 * 1{,}25 = 31{,}25A$, que haciendo uso de la tabla 4. Sección del cableado según material y tipo de instalación, obtenemos que la sección mínima deberá ser de 4mm^2.

Según el criterio de caída de tensión:

$$S = \frac{2 * L * I * \cos(\varphi)}{\gamma * \Delta U} = \frac{2 * 5 * 25 * 1}{45{,}5 * 230 * \frac{1{,}5}{100}} = 1{,}59mm^2$$

Según el criterio de cortocircuito, el catálogo de Prysmian [32], menciona que cuando no se dispone de datos aguas arriba de la Caja general de protección (CGP) se puede emplear un método más sencillo (Guía – BT – Anexo 3). Consiste en suponer una caída del 20% en la tensión de suministro y considerar las impedancias solo desde la CGP.

$$I_{cc} = \frac{0{,}8 * U}{Z_{máx}}$$

$$Z \approx R = \frac{\rho * L}{S}$$

Al ser una instalación generadora, el valor que se va a tener en cuenta será el de Icc mínima que deba necesitar la protección antes del CGMP, es decir, se considera que el cortocircuito se produce a la salida del inversor.

En la Figura 27 se muestra un esquema representativo del significado de Icc mínima,

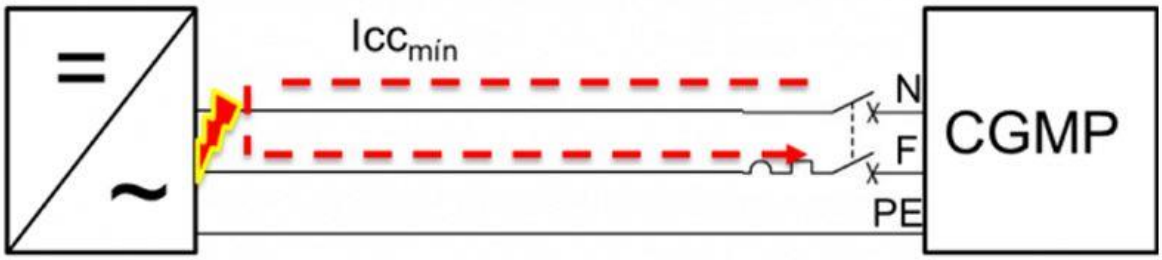


Figura 27. Representación de Icc mínima. [32]

En cuanto a la impedancia máxima, vamos a considerar solo la resistencia, por ser una sección pequeña, la reactancia apenas influye. Para la resistividad del cobre a 150°C (Temperatura estimada de un cc), usamos la formula indicada en la UNE 2003 (IEC 28):

$$\rho_{cu150} = 0{,}02605\, mm^2 * \frac{\Omega}{m}$$

$$Z \approx R = \frac{0{,}02605 * 5 * 2}{4} = 0{,}065125\, \Omega$$

$$I_{cc} = \frac{0.8 * 230}{0{,}065125} = 2825{,}34\, A$$

Si la protección de curva C antes del cuadro general de mando y protección es de 32 A (dado que la intensidad máxima será de 31,25 A y el conductor de 4 mm^2 soporta hasta 41 A (ver tabla de intensidades admisibles) la corriente mínima que asegura el disparo magnético es 320 A, inferior a 2825,34 A.

$$I_{ccmín} > I_m = 10 \cdot I_n \rightarrow 2825{,}34\,A > 320\,A = 10 \cdot 32\,A.$$

Por tanto, la sección de 4 mm^2 es válida para nuestra instalación.

El precio de este cable es de 10,46€ el rollo [37].

3.4 Protecciones

El cálculo de las protecciones necesarias para la instalación se hará acorde a la Guía-BT-22 [38], en la cual se especifican las características que debe cumplir un dispositivo protector:

- $I_B \leq I_n \leq I_z$
- $I_2 \leq 1{,}45 I_z$

I_B: Intensidad de carga o intensidad de diseño del circuito

I_z: intensidad máxima admisible que soporta el conductor.

I_n: intensidad de ajuste de actuación de la protección.

I_2: intensidad que asegura el funcionamiento de la protección.

En el caso de los fusibles, se necesita la intensidad de funcionamiento, denominada I_f.

En la parte de continua, el protector contra sobretensiones debe ser de 600V ya que esta es la tension máxima de salida del inversor.

En la parte de alterna debe garantizarse la seguridad de las personas, de los equipos y de la propia red.

Para determiner la protección frente a sobrecargas, se debe cumplir la primera restricción enunciada en este capítulo, siendo $I_B = 25A \leq I_n \leq I_z = 41A$. Para cumplir los datos anteriores vamos a elegir un interruptor magnetotérmico $I_n = 40A$. Para que cumpla con la condición requerida, la curva de disparo será de tipo C, que es la más adecuada según nuestro tipo de instalación. El PdC = 6 kA.

En cuanto a la protección contra contactos directos, se usará un interruptor diferencia de tipo AC, el más usado para desconexión ante una corriente diferencial alterna. Vamos a seleccionar un interruptor diferencial con una sensibilidad de 30 mA, ya que es el valor más comúnmente utilizado en instalaciones residenciales. Este nivel de sensibilidad se encuentra por debajo del umbral considerado peligroso para las personas y los animales domésticos, ofreciendo así una protección eficaz frente a contactos eléctricos indirectos.

3.5 Mantenimiento

El mantenimiento de los paneles solares resulta esencial para garantizar su eficiencia energética y prolongar su vida útil. Elementos como el polvo, la calima, el polen o los excrementos de aves pueden acumularse sobre su superficie, disminuyendo su capacidad de captación solar. Por ello, se recomienda realizar limpiezas periódicas —generalmente entre una y dos veces al año—, dependiendo de factores como el clima local, la proximidad al mar o la cantidad de vegetación en el entorno. Una correcta limpieza permite maximizar la producción eléctrica y reducir la factura energética.

En lo que respecta a los métodos de limpieza, cabe destacar que no es necesario recurrir a productos sofisticados. En la mayoría de los casos, basta con utilizar agua corriente. Para suciedad más persistente, puede emplearse una bayeta suave con mango largo o incluso un soplador de hojas. No obstante, se desaconseja el uso de detergentes abrasivos, agua a presión o cualquier técnica que pueda dañar la superficie de los paneles. Además, siempre es importante actuar con precaución y evitar maniobras peligrosas, especialmente si los paneles están ubicados en zonas elevadas. En muchos lugares, la propia lluvia puede ejercer una función limpiadora natural suficiente.

Por otro lado, la durabilidad de los paneles está respaldada por su fabricación con materiales resistentes como el vidrio templado y el aluminio anodizado, lo que les permite soportar fenómenos climáticos extremos como granizo, viento fuerte o nieve. Sin embargo, conviene tener presente que las temperaturas elevadas pueden afectar negativamente a su rendimiento: por cada grado que se supere los 32°C, los paneles pueden perder hasta un 1 % de eficiencia. En consecuencia, se recomienda instalarlos de forma que queden ligeramente elevados, favoreciendo así una buena ventilación que ayude a disipar el calor acumulado.

Aparte de la limpieza, también es aconsejable llevar a cabo una revisión técnica anual. Esta debe contemplar el estado general de la instalación, las condiciones de la garantía, la cobertura del seguro y el rendimiento de los equipos. Asimismo, contar con sistemas de monitorización en tiempo real —como los que ofrecen algunas compañías eléctricas— permite supervisar la energía producida, autoconsumida y vertida a la red, facilitando un control más preciso del sistema fotovoltaico.

En definitiva, mantener los paneles solares limpios, bien ventilados y sometidos a revisiones periódicas contribuye de forma decisiva a conservar su rendimiento y durabilidad. En zonas especialmente expuestas a polvo o suciedad, una limpieza profesional cada seis o doce meses puede ser una inversión muy rentable para asegurar un funcionamiento óptimo a lo largo del tiempo.

3.6 Previsión de la producción de energía

En este apartado estimaremos la producción de energía de nuestra instalación ya diseñada. Para ello necesitamos saber los siguientes datos:

- Ubicación: para saber la irradiancia solar anual en este lugar. Como hemos visto en capítulos anteriores, la vivienda se encuentra en Sanlúcar de Barrameda, Cádiz, coordenadas N 36°45'37.06" / O 6°23'2.9". En esta ubicación, la irradiancia solar anual es de aproximadamente $1935\ \mathrm{kWh/m^2} * \text{año}$, haciendo una media de la muestra por meses que tenemos en la Tabla 1. Irradiancia Solar en N36º45'37.06" O6º23'2.9".
- La potencia del sistema fotovoltaico instalado: en nuestro proyecto, disponemos de 8 paneles de 605 W, lo que supone una potencia instalada de 4,84 kW.
- La orientación de la instalación es sur, la ideal en el emplazamiento escogido y la inclinación de los módulos es de 35º, lo óptimo. Teniendo en cuenta unas pérdidas por temperatura, suciedad, conexiones/cableado o degradación de los paneles, se pueden estimar unas pérdidas totales de un 14% aproximadamente. Sabiendo que la eficiencia máxima de nuestro inversor es de 98,4%, el rendimiento de nuestra instalación es:

$$PR = \eta_{inversor} \times (1 - pérdidas)$$

$$PR = 0{,}984 \times (1 - 0{,}14) = 0{,}846 = 84{,}6\%$$

- El tipo de instalación será conectada a red y sin baterías finalmente, debido a su alto coste en la inversión inicial y su baja utilidad en nuestra instalación. Se dejaría como propuesta en líneas futuras de trabajo, por ejemplo, si se añadiera un cargador de vehículo eléctrico a la vivienda.
- Degradación anual de los paneles: 0,8% al año, siendo pesimista ya que según el fabricante es de 0.4%.

Con todos estos datos, podemos calcular la producción de energía el primer año, sin desgaste, y aplicar este factor a los próximos años:

$$Producción = Potencia * Irradiación * Rendimiento$$

$$Producción = 4{,}84\ kWp * 1935\ \mathrm{kWh/m^2} * \text{año} * 0.846 = 7923{,}12\ \mathrm{kWh}$$

Y, aplicando la degradación anual de los paneles, obtenemos una estimación de la producción anual de energía durante 30 años, los años de vida útil que garantiza el fabricante del módulo solar, que queda registrada en la Tabla 5.

Año	Producción (kWh)
1	7923,12
2	7859,73504
3	7796,85716
4	7734,482302
5	7672,606444
6	7611,225592
7	7550,335788
8	7489,933101
9	7430,013637
10	7370,573527
11	7311,608939
12	7253,116068
13	7195,091139
14	7137,53041
15	7080,430167
16	7023,786725
17	6967,596432
18	6911,85566
19	6856,560815
20	6801,708328
21	6747,294662
22	6693,316305
23	6639,769774
24	6586,651616
25	6533,958403
26	6481,68674
27	6429,83324
28	6378,39458
29	6327,36742
30	6276,74848

Tabla 5. Previsión de la producción de energía

4 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

La viabilidad económica de una instalación fotovoltaica es un factor determinante para su implementación exitosa. Este capítulo se centrará en evaluar los aspectos económicos del proyecto, proporcionando una visión integral de su rentabilidad y sostenibilidad financiera.

Para comenzar, se analizará el mercado de la energía, el contexto actual del mercado energético, incluyendo las tendencias de precios de la electricidad y la evolución de las tarifas eléctricas. Se discutirá cómo estos factores influyen en la decisión de invertir en energías renovables a nivel residencial.

En la sección de Ayudas Públicas y Subvenciones, se detallarán las subvenciones, incentivos fiscales y otros programas de apoyo financiero disponibles en Andalucía y a nivel nacional para la instalación de sistemas fotovoltaicos. Se explicará cómo acceder a estos recursos y cómo pueden influir en la rentabilidad del proyecto.

Posteriormente, se proporcionará un análisis detallado de los costos iniciales de la instalación y los plazos de amortización previstos. Se calculará el retorno de la inversión, considerando tanto el ahorro en la factura eléctrica como las posibles subvenciones y ayudas recibidas.

Para concluir este capítulo, se hablará sobre el ahorro energético y económico que supone una instalación según la hayamos diseñado, se evaluará el impacto a largo plazo de la instalación fotovoltaica en términos de ahorro de energía y reducción de costos. Se presentarán escenarios comparativos para ilustrar los beneficios económicos que se pueden obtener, destacando la contribución del sistema a la autosuficiencia energética y la sostenibilidad financiera de la vivienda.

4.1 Mercado de la energía

La instalación de un sistema fotovoltaico de autoconsumo conectado a red, como el que se plantea en este proyecto —compuesto por 8 módulos de 605 Wp (4,84 kWp en total)—, se enmarca directamente en el contexto energético y político actual, caracterizado por la inestabilidad del mercado eléctrico y el fuerte impulso a las energías renovables a nivel europeo, nacional y autonómico.

En un sistema de autoconsumo conectado a red sin baterías, como el proyectado, la vivienda consume prioritariamente la electricidad que genera durante las horas solares. El excedente se vierte a la red eléctrica y se compensa a través de la modalidad de compensación simplificada de excedentes, permitiendo reducir el importe de la factura mensual. Por la noche o en momentos de baja producción, se recurre a la energía de la red.

Este funcionamiento es especialmente ventajoso frente a la volatilidad del precio del kWh en el mercado mayorista, ya que permite al propietario estabilizar una parte significativa de su consumo energético y reducir su dependencia del sistema eléctrico tradicional.

4.1.1 Justificación en base al contexto geopolítico y climático

La actual situación geopolítica en Europa, marcada por la guerra en Ucrania y sus efectos sobre el suministro de gas natural, ha provocado fuertes subidas en el precio de la electricidad en toda la Unión Europea. En España, aunque se han aplicado medidas como el tope al gas y ayudas puntuales, el consumidor doméstico ha sufrido una gran incertidumbre en su factura eléctrica, con picos de precio muy superiores a los de años anteriores.

Este contexto ha acelerado las políticas de la UE y del Gobierno de España en materia de transición energética. Planes como REPowerEU y el PNIEC fomentan la implantación de energías renovables a nivel local y doméstico, apoyando económicamente a quienes decidan invertir en instalaciones como la proyectada. En concreto, Andalucía ofrece convocatorias periódicas de ayudas (fondos NextGenerationEU) que pueden cubrir entre el 30% y el 50% de la inversión inicial para instalaciones residenciales.

4.1.2 Potencial solar en Andalucía

La elección de Andalucía como emplazamiento es particularmente ventajosa. La región cuenta con una irradiación solar anual promedio superior a $1900\ \mathrm{kWh/m^2 \cdot año}$, una de las más altas de Europa, lo que garantiza una producción solar muy elevada. En el caso concreto del emplazamiento del proyecto (latitud 36°45′ N), los cálculos de irradiancia real de los últimos 10 años confirman un valor medio de aproximadamente $1.935\ \mathrm{kWh/m^2 \cdot año}$, con una orientación e inclinación óptimas.

Combinado con un rendimiento del sistema del 84,6% (considerando eficiencia de inversor, temperatura, pérdidas por suciedad y cables), se estima que la instalación podrá generar entre 7800 y $8200\ \mathrm{kWh/año}$, cubriendo una parte muy significativa del consumo eléctrico de una vivienda media.

4.1.3 Viabilidad y ventajas

La instalación permite no solo un ahorro económico directo, sino también una protección contra futuras subidas de precios del mercado eléctrico, aportando independencia energética. Además, el excedente de energía vertido a la red contribuye a la descarbonización del sistema eléctrico nacional, lo que alinea el proyecto con los objetivos de sostenibilidad establecidos por la Unión Europea.

Por tanto, esta instalación no solo responde a una necesidad de ahorro, sino que constituye una solución energética estratégica en un contexto de crisis energética, transición ecológica y promoción activa del autoconsumo. Representa una inversión con rentabilidad creciente en el tiempo, especialmente considerando la degradación moderada de los paneles (0,8% anual) y la larga vida útil de los componentes.

4.2 Ayudas públicas y subvenciones

Instalar un sistema de autoconsumo fotovoltaico, como el que se propone en este proyecto, no depende solo de aspectos técnicos o del clima. También influyen mucho las normas, los apoyos institucionales y las ayudas económicas que hay disponibles.

En los últimos años, tanto en España como en Andalucía, se han puesto en marcha diferentes programas de subvenciones para facilitar que los hogares apuesten por las energías renovables. Estas ayudas están financiadas por los fondos europeos NextGenerationEU, dentro del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), y se gestionan a nivel autonómico a través de la Agencia Andaluza de la Energía.

El programa más relevante es el de "Incentivos para energías renovables en autoconsumo, almacenamiento y térmicas en el sector residencial", que está regulado por el Real Decreto 477/2021. Este plan tiene varias líneas de actuación según el tipo de beneficiario. Para este caso concreto, se aplicaría el Programa 4, dirigido a particulares, comunidades de vecinos y entidades sin ánimo de lucro.

Este programa ofrece ayudas directas para cubrir una parte del coste de la instalación, tanto del material como de la mano de obra. En proyectos individuales como este, la ayuda puede ir desde 300 hasta $600\ €/\mathrm{kWp}$ por instalado, según el tipo de instalación, su coste y los fondos disponibles en el momento de solicitarla.

Para una instalación como la planteada, con $4{,}84\ \mathrm{kWp}$, la ayuda podría estar entre 1075 y $1935\ €$. Esto supone entre un 25% y un 45% del coste total estimado, y tiene un impacto directo en el tiempo de amortización del sistema, que se puede acortar notablemente.

Aunque en este proyecto no se incluirán baterías, el programa también contempla subvenciones para almacenamiento energético, con ayudas entre 140 y $490\ €/\mathrm{kWh}$ útil de batería. Esto puede ser útil si en el futuro se quiere hacer la instalación más independiente de la red.

Para acceder a estas ayudas hay que cumplir algunas condiciones. La instalación debe haberse iniciado después del 30 de junio de 2021 y completarse en los plazos indicados por la resolución de la ayuda. También es necesario presentar facturas, justificantes de pago, certificados técnicos y otros documentos. Además, hay que colocar un cartel informativo con los logotipos de los fondos europeos y de la Junta de Andalucía si la instalación es visible desde la calle.

La última convocatoria estuvo abierta hasta el 31 de diciembre de 2023, pero se espera que haya nuevas convocatorias en 2024 y 2025. Conviene seguir de cerca la web de la Agencia Andaluza de la Energía para conocer las fechas, el presupuesto disponible y los pasos a seguir para hacer la solicitud.

Estas ayudas son clave para hacer viable el proyecto económicamente. Reducen el coste inicial, hacen más atractiva la inversión y animan a muchas familias a dar el paso hacia el autoconsumo. Este tipo de apoyo público, junto con los beneficios de generar tu propia energía, convierte a este tipo de instalaciones en una solución rentable, sostenible y con futuro, sobre todo en un momento como el actual, marcado por la crisis energética y la necesidad urgente de descarbonizar el sistema energético. [39]

4.2.1 Deducción fiscal en el IRPF por instalaciones de autoconsumo

Además de las ayudas directas a la inversión, los propietarios de viviendas en Andalucía que instalen sistemas fotovoltaicos de autoconsumo pueden beneficiarse de deducciones fiscales en el Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas (IRPF). Esta deducción, recogida dentro de los incentivos al ahorro energético y la mejora de la eficiencia en viviendas, supone un importante aliciente económico adicional.

El porcentaje de deducción puede alcanzar hasta el 60% del importe invertido, siempre que se cumplan una serie de requisitos. Entre ellos, que la vivienda se destine a uso habitual y que las obras realizadas mejoren la eficiencia energética en, al menos, un 30%, o bien consigan una reducción en la demanda energética de calefacción y refrigeración del 7%.

La base máxima anual de deducción es de 5000 €, y se puede ampliar hasta los 15000 € distribuidos en un plazo de cuatro años. Para aplicar esta deducción, es necesario contar con el certificado de eficiencia energética antes y después de realizar la instalación, documento que debe estar emitido por un técnico autorizado.

En el contexto de este proyecto, esta deducción representa una ventaja adicional que mejora la rentabilidad económica de la instalación. Combinada con las subvenciones directas de la Junta de Andalucía, permite reducir significativamente el coste real de la inversión, acortando el periodo de retorno y aumentando el atractivo del autoconsumo residencial. [40]

4.3 Presupuesto y amortización de la instalación

4.3.1 Presupuesto sin baterías

Como se ha comentado anteriormente, la instalación de baterías encarecería muchísimo el precio de la instalación, lo que, a pesar de no haber hecho el estudio de amortización aún, haría que la inversión sea mucho menos rentable ya que las condiciones operativas de nuestra vivienda no las requieren, al menos de momento para la demanda actual de energía. Por ello, se elabora un presupuesto, Tabla 6, sin tener en cuenta las baterías, sumando una mano de obra estándar junto con un dinero extra para imprevistos.

CONCEPTO	PRECIO UNITARIO (€)	CANTIDAD	SUBTOTAL (€)
MÓDULO SOLAR JINKO TIGER NEO N-TYPE 78HL4-BDV 605-625 W	151,39	8	1.211,12
INVERSOR HUAWEI SUN2000-5KTL-L1 5000W	749,00	1	749,00
SMART POWER SENSOR DDSU666-H MONOFÁSICO	89,99	1	89,99
ESTRUCTURAS AF-GRID	250,00	3	750,00
CABLE PRYSMIAN PRYSOLAR H1Z2Z2-K NEGRO	0,70	30 m	21,00
CABLE PRYSMIAN PRYSOLAR H1Z2Z2-K ROJO	0,70	30 m	21,00
ROLLO AFUMEX CLASS 1000 V (AS)	10,46	1	10,46
PROTECCIONES	150,00	1	150,00
MANO DE OBRA	1.000,00	1	1.000,00
IMPREVISTOS	300,00	1	300,00
TOTAL			**4.302,57**

Tabla 6. Presupuesto de la instalación sin baterías

4.3.2 Rentabilidad del proyecto

Para calcular la rentabilidad de nuestro proyecto debemos hacer un estudio de viabilidad económica basándonos en dos indicativos, el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR).

También tendremos en cuenta las posibles subvenciones descritas en el apartado 4.2 Ayudas públicas y subvenciones. En nuestro caso, usaremos una media entre el 25 y 40% de la inversión. Puesto que la inversión total es de 4300€, la ayuda obtenida por el estado, aplicando un 30% del coste, será de 1290€.

Para dicho estudio se va a considerar un consumo anual constante obtenido a partir del consumo medio mensual de 385,77 kWh/mes, calculado en 2.5.3 Estimación de la demanda energética. Por tanto, el consumo anual que utilizaremos será de 4630 $kWh/año$.

Los precios de la energía consumida se estimarán fijas como el precio medio de un día actual, 0,1575 €/kWh.

La inflación anual estimada será del 2%.

La tasa de descuento será del 3%.

El precio de venta de energía a la red será de 0,09682 €/kWh.

Con todos estos datos, juntos con los expuestos en el diseño de la instalación en el capítulo anterior, hacemos

uso de la herramienta PVSyst [41], cuya prueba gratuita de 30 días nos ha permitido simular nuestra instalación y hacer el balance económico de esta a 30 años (Tabla 7), la vida útil de nuestros paneles solares. Puesto que la vida útil de otro componente clave de nuestra instalación, el inversor, es de unos 15/20 años (estimación, no hay dato real por parte de fabricante), se aplicará un coste extra de sustitución en el año 15, estimando que se usará un inversor de un modelo nuevo por el mismo precio que el inicial, 749 €.

Financial analysis

Detailed economic results (EUR)

Year	Electricity sale	Own funds	Run. costs	Deprec. allow.	Taxable income	Taxes	After-tax profit	Self-cons. saving	Cumul. profit	% amorti.
0	0	3.011	0	0	0	0	0	0	-3.011	0.0%
1	636	0	43	140	453	0	593	314	-2.130	29.2%
2	631	0	44	140	447	0	587	314	-1.281	57.4%
3	626	0	45	140	441	0	581	315	-461	84.7%
4	621	0	46	140	435	0	575	316	330	111.0%
5	616	0	47	140	429	0	569	316	1.093	136.3%
6	611	0	47	140	423	0	563	317	1.830	160.8%
7	606	0	48	140	417	0	557	317	2.541	184.4%
8	601	0	49	140	412	0	552	318	3.228	207.2%
9	596	0	50	140	406	0	546	319	3.890	229.2%
10	591	0	51	140	400	0	540	319	4.530	250.5%
11	587	0	52	140	394	0	534	320	5.147	271.0%
12	582	0	53	140	388	0	528	320	5.742	290.7%
13	577	0	55	140	383	0	523	321	6.317	309.8%
14	573	0	56	140	377	0	517	322	6.871	328.2%
15	568	0	57	140	371	0	511	322	7.406	346.0%
16	564	0	58	140	366	0	506	323	7.922	363.2%
17	559	0	59	140	360	0	500	324	8.421	379.7%
18	555	0	60	140	354	0	494	324	8.901	395.7%
19	550	0	61	140	349	0	489	325	9.365	411.1%
20	546	0	63	140	343	0	483	325	9.813	426.0%
21	541	0	64	0	477	0	477	326	10.245	440.3%
22	537	0	65	0	472	0	472	327	10.662	454.1%
23	533	0	66	0	466	0	466	327	11.064	467.5%
24	528	0	68	0	461	0	461	328	11.451	480.4%
25	524	0	69	0	455	0	455	329	11.826	492.8%
26	520	0	71	0	449	0	449	329	12.187	504.8%
27	516	0	72	0	444	0	444	330	12.535	516.4%
28	512	0	73	0	438	0	438	330	12.871	527.5%
29	508	0	75	0	433	0	433	331	13.195	538.3%
30	504	0	76	0	427	0	427	332	13.508	548.7%
Total	**17.015**	**3.011**	**1.744**	**2.800**	**12.470**	**0**	**15.270**	**9.679**	**13.508**	**548.7%**

Tabla 7. Rentabilidad del proyecto

Puesto que la herramienta PVSyst no nos deja simular un cargo extra en un año concreto, realizamos la simulación sin este. Esto implica que, en el año 15, se sumará el gasto de reemplazo del inversor por un coste de 749 €, lo que supone que el $VAN_{15} = 7406 - 749 = 6657€$, arrastrando esto durante los próximos años.

Como podemos observar, la instalación quedaría completamente amortizada en el cuarto año, a partir del cual, el VAN es positivo.

El uso de baterías encarecería considerablemente la inversión inicial ya que cada módulo tiene un precio de 2099€. Si se colocan 6 módulos, lo suficiente para abastecer la vivienda durante unos días, el incremento en la inversión sería de 12594€, lo que, junto a la energía no vendida para cargar las baterías, haría que el proyecto no sea rentable durante los 30 años de simulación.

4.3.2.1 Valor actual neto (VAN)

Consiste en una herramienta financiera para analizar las oportunidades de inversión. Para el cálculo haremos uso de los valores de flujos de caja desde el año 0 y percibiremos el resultado en unidades monetarias.

La tasa de descuento que vamos a tener en cuenta es del 3%.

$$VAN = -C_0 + \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{(1+r)^n} = -C_0 + \frac{C_1}{1+r} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \cdots + \frac{C_n}{(1+r)^n}$$

Obtenido en el informe de simulación de PVSyst, obtenemos un $VAN = 13508€$. Teniendo en cuenta el reemplazo del inversor, $VAN_{30} = 12759€$

4.3.2.2 Tasa Interna de retorno (TIR)

Nos da un valor en tanto por ciento lo rentable que es el proyecto comparando el valor recibido al finalizar la inversión con el valor pagado al inicio del proyecto.

Por lo general, esta herramienta es de las mejores que pueden usarse a la hora de finiquitar una inversión.

$$VAN = -C_0 + \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{(1+TIR)^n} = -C_0 + \frac{C_1}{1+TIR} + \frac{C_2}{(1+TIR)^2} + \cdots + \frac{C_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

Si la TIR > r, es decir, si la TIR es mayor a la tasa de descuento, se aceptará el proyecto de inversión, ya que la tasa de rendimiento interno que obtenemos será superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida por la inversión.

En nuestro caso, según la simulación en PVSyst, nuestro TIR es de 29,51% a la finalización de los 30 años de estudio, un resultado bastante válido.

5 CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones

El proyecto ha permitido analizar con detalle la viabilidad de una instalación fotovoltaica de autoconsumo para una vivienda unifamiliar. A partir de datos reales de consumo y una ubicación con alto potencial solar, se ha diseñado un sistema ajustado a las necesidades energéticas del usuario. La elección de los componentes se ha hecho de forma cuidadosa, combinando eficiencia, calidad y posibilidad de ampliación.

El sistema propuesto, de 4,84 kWp, ofrece una producción estimada cercana a los 8000 kWh en su primer año. Con ese nivel de generación, se cubre una parte significativa del consumo anual de la vivienda. La instalación no solo reduce la factura eléctrica, sino que disminuye también la dependencia de la red, aportando una mayor autonomía energética.

Desde el punto de vista económico, el estudio confirma la rentabilidad del proyecto. El análisis de amortización, junto con el cálculo del VAN y la TIR, muestra que se trata de una inversión sólida. En un contexto de precios eléctricos inestables, disponer de una fuente propia de energía ofrece un valor añadido difícil de cuantificar solo en euros.

También se ha valorado la incorporación de baterías. Aunque técnicamente viable, la inversión necesaria no compensa aún, según los precios actuales del almacenamiento doméstico. A pesar de ello, la instalación ha sido planteada pensando en el futuro. El inversor cuenta con una entrada libre y las protecciones están dimensionadas para admitir más potencia. En caso de incorporar baterías o ampliar módulos, no haría falta modificar elementos clave del sistema.

El proyecto tiene además un impacto positivo en términos ambientales. Generar energía limpia en el propio domicilio reduce emisiones de CO_2 y contribuye a un modelo energético más sostenible. Además, mejora el valor de la vivienda y ofrece al usuario un mayor control sobre su consumo.

Este trabajo ha sido útil no solo para aprender cómo se diseña y valora una instalación fotovoltaica, sino también para entender su papel dentro del cambio de modelo energético. Una instalación bien dimensionada y correctamente ejecutada puede marcar una gran diferencia en el consumo doméstico y en la relación que mantenemos con la energía.

5.2 Líneas futuras de trabajo

Una vez analizada la instalación actual y comprobada su viabilidad técnica y económica, es importante destacar que el sistema presenta un notable margen de mejora y ampliación a corto y medio plazo. Estas posibles actuaciones permitirían no solo optimizar el rendimiento energético de la instalación, sino también reforzar su capacidad de adaptación a futuras necesidades del usuario y a los avances tecnológicos en el ámbito del autoconsumo. A continuación, se detallan algunas de las líneas más relevantes de desarrollo futuro.

5.2.1 Ampliación de la instalación fotovoltaica

El inversor actualmente instalado dispone de una entrada MPPT adicional que no está siendo utilizada. Este recurso ofrece la posibilidad de ampliar la instalación mediante la incorporación de nuevos módulos fotovoltaicos, sin necesidad de sustituir el inversor. Esta ampliación permitiría cubrir una mayor parte del consumo eléctrico anual, especialmente en los meses de verano donde la producción solar alcanza su pico, o en escenarios de incremento de la demanda (nuevos electrodomésticos, sistemas de climatización, etc.). Además, al tratarse de una ampliación planificada y soportada por la capacidad técnica del equipo, se minimizan los costes de integración y las modificaciones estructurales necesarias.

5.2.2 Integración de sistemas de almacenamiento

Otra línea estratégica de evolución del sistema es la incorporación de baterías para almacenamiento energético. Un sistema de almacenamiento permitiría acumular el excedente de producción solar durante las horas de mayor radiación y utilizar esa energía durante la noche o en días nublados, reduciendo significativamente la dependencia de la red eléctrica convencional. Esto tendría un impacto directo en el aumento del porcentaje de autoconsumo, mejorando la eficiencia energética global del sistema y optimizando el aprovechamiento de la inversión. Existen, además, soluciones modulares y escalables que permiten adaptar la capacidad de almacenamiento a las necesidades reales del hogar en cada momento.

5.2.3 Implementación de movilidad eléctrica

La creciente popularización de los vehículos eléctricos abre una oportunidad clara para vincular la generación solar con la movilidad sostenible. En este sentido, una batería dimensionada adecuadamente permitiría aprovechar los excedentes solares para la carga de un vehículo eléctrico, transformando la instalación fotovoltaica en una solución integral no solo para el consumo doméstico, sino también para el transporte. Esta integración supondría un ahorro económico adicional, al evitar cargar el vehículo con energía de red, y una reducción significativa de emisiones contaminantes, completando un ciclo de energía limpia desde la generación hasta el uso final.

5.2.4 Incorporación de sistemas avanzados de monitorización y gestión energética

La eficiencia del sistema puede mejorarse aún más mediante la digitalización y monitorización inteligente de la producción y el consumo energético. A través de plataformas de gestión energética o sistemas de domótica, sería posible adaptar en tiempo real la demanda energética del hogar a la generación solar disponible. Por ejemplo, programar la puesta en marcha de determinados equipos durante las horas de máxima producción solar, o gestionar la carga y descarga de la batería de forma automática según criterios de ahorro y sostenibilidad. Estas herramientas no solo optimizan el rendimiento del sistema, sino que también ofrecen al usuario información detallada sobre su comportamiento energético, fomentando hábitos de consumo más eficientes.

6 ANEXO

6.1 Factura real de la vivienda (REPSOL)

Factura de **luz**

Atención Directa Repsol
900 11 88 66

REPSOL

DATOS DEL CLIENTE Y DEL PUNTO DE SUMINISTRO

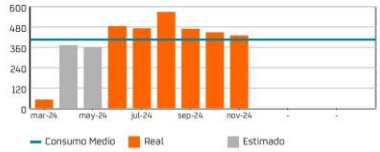
Titular: MARIA EUGENIA GOMEZ ALCALA
CIF/NIF: 30491016P
Dirección de Suministro:
Tipo:
CUPS:
Comercializa:

TOTAL FACTURA 105,28 €
Periodo de Facturación: del 23.11.2024 al 22.12.2024

FACTURACIÓN TOTAL DEL PERIODO

CONCEPTO	CÁLCULOS	IMPORTES/€
Término fijo punta	3,300 kW x 29 días x 29,9 €/kWaño	7,82
Término fijo valle	3,300 kW x 29 días x 29,9 €/kWaño	7,82
Consumo	438,90 kWh x 0,169746 €/kWh	74,50
Financiación Bono Social	29 días x 0,006282 €/día	0,18
	Subtotal	90,32
Impuesto Eléctrico	90,32 x 5,11269632%	4,62
Equipos de medida		0,77
	Subtotal	95,71
IVA (10 %) de 95,71		9,57

Consumos históricos anteriores en kWh



TOTAL FACTURA **105,28 €**

INFORMACIÓN TÉCNICA

Datos técnicos

Peaje de transporte y distribución: 2.0TD **Segmento de cargos:** 1
Potencias Contratadas: **Punta=**3,3kW; **Valle=**3,3kW
Potencias máx. demandadas último año: **Punta=**4,588kW; **Valle=**4,872kW
Consumo medio por código postal: 255,17 kWh
Nº de contador: 203484302
Distribuidora: EDISTRIBUCIÓN REDES DIGITALES S.L.U.
Contrato de acceso: 500015765358
Fecha final contrato: 28.03.2025
Fecha límite permanencia: 28.03.2025 (**)

Información de pagos

Datos bancarios (IBAN): ES2300494189012114 15****(OCULTOS POR SEGURIDAD)
Fecha y Nº Factura: 28.12.2024 / 61057764900
Fecha de cargo factura: 29.12.2024
Localizador pago:

CPR:	Emisor/Sufijo:	Referencia:	Identificación:
9050794	39540760000	6105776490074	281224

AVERÍAS EN LA RED ELÉCTRICA:
900 85 08 40

INFORMACIÓN DE CONSUMO ELÉCTRICO

		Punta	Llano	Valle
Consumo del periodo (Real) hasta	22.12.2024	**107,24 kWh**	**120,65 kWh**	**211,01 kWh**
Lectura Actual		23.558,38	5.103,31	9.094,89
Lectura Anterior		[illegible]	[illegible]6	-8.883,88

Puede consultar su consumo horario en el portal web de su distribuidora https://zonaprivada.endesadistribucion.es

INFORMACIÓN AL CLIENTE

**Este contrato está sujeto a penalización por cancelación anticipada del contrato.

Página 1 / 3

Repsol Comercializadora de Electricidad y Gas, S.L.U. Inscrita Registro Mercantil Cantabria (T.1007-Fol.95-Sec.8ª-H.S.-13611) - NIF B39540760.Dom Social: C/Isabel Torres,19-39011 Santander

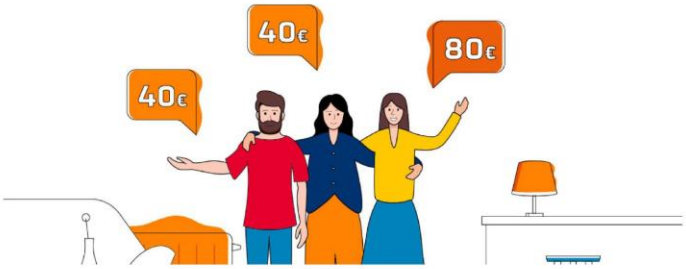
IMPORTES CORRESPONDIENTES A PEAJES DE TRANSPORTES Y DISTRIBUCIÓN Y CARGOS

POR POTENCIA: 3,3 kW x 29 días x 25,391661 €/kWaño + 3,3 kW x 29 días x 0,968852 €/kWaño	6,89€
POR ENERGÍA: 107,24 kWh x 0,076974 €/kWh + 120,65 kWh x 0,027963 €/kWh + 211,01 kWh x 0,002752 €/kWh	12,20€

Precio de los peajes de transporte y distribución y de los cargos publicado en: Res. CNMC 21/12/2023, Orden TED/113/2024

Atención siempre gratuita. Para cualquier duda o reclamación, te atenderemos a través de nuestro correo electrónico **gestion.clientes@repsolluzygas.com**, el teléfono gratuito **900 11 88 66** o de la dirección postal: **C/ Isabel Torres nº19, 39011 Santander**. Asimismo, Repsol Comercializadora de Electricidad y Gas S.L.U. está adherida al Sistema Arbitral de Consumo en todo el territorio nacional, con el objeto de facilitar un medio alternativo y gratuito de resolución de conflictos por las discrepancias que puedan surgir con sus clientes. Además, puedes acudir a los órganos competentes en materia de consumo y/o energía, teléfonos juntas arbitrales autonómicas en https://www.consumo.gob.es/es/consumo/juntasArbitrales/autonomica.

Descubre los beneficios de recomendarles Repsol a tus **amigos**



Entra en: www.repsol.es/**amigos**

DESTINO DEL IMPORTE DE LA FACTURA

El importe total de su factura tiene este destino:

La energía incluye, entre otros, el coste de la energía en el mercado, los pagos por capacidad y la retribución al Operador del Sistema (REE) y al Operador de Mercado (OMIE).
Los peajes retribuyen las redes de transporte y distribución.
Los cargos incluyen fundamentalmente la retribución a las renovables, cogeneración y residuos (RECORE), las anualidades del déficit y el sobrecoste de generación de TNP (territorios no peninsulares).

INFORMACIÓN REGULATORIA

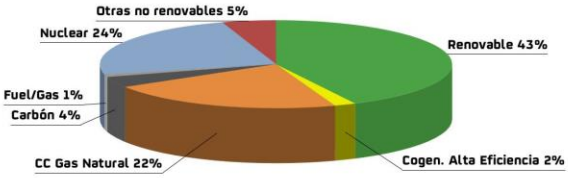
- Incluye IVA reducido del 10% hasta el 31/12/2024 para potencias contratadas inferiores o iguales a 10 kW, siempre y cuando el precio medio del mercado diario del mes anterior sea superior a los 45 euros por MWh. En cualquier otro caso, aplicará el 21%.

COMPARADOR DE OFERTAS DE LA CNMC

En el código QR o en el enlace https://comparador.cnmc.gob.es puedes consultar y comparar las distintas ofertas vigentes de las comercializadoras de energía eléctrica.

Origen de la electricidad de su comercializadora. 2023

Repsol Comercializadora de Electricidad y Gas, S.L.U.



Origen	Repsol Electricidad y Gas	Mix generación nacional
Renovable	42,8%	50,8%
Cogen. Alta Eficiencia	2,1%	2,6%
CC Gas Natural	21,6%	18,3%
Carbón	3,5%	1,5%
Fuel/Gas	1,3%	1,2%
Nuclear	23,7%	20,9%
Otras no renovables	5,0%	4,7%

Impacto ambiental de su comercializadora. 2023

La letra 'A' corresponde al mínimo impacto ambiental, la 'D' a la media de generación nacional y la 'G' al máximo impacto ambiental.

Emisiones de CO_2 equivalente **Repsol Comercializadora de Electricidad y Gas, S.L.U.**		Residuos Radiactivos Alta Actividad **Repsol Comercializadora de Electricidad y Gas, S.L.U.**	
A		A	
B		B	
C		C	
D		D	
E	E	E	E
F		F	
G		G	
Emisiones de CO_2 eq. (g/kWh)	**155**	Residuos Radiactivos (µg/kWh)	**579**
Media Nacional. (g/kWh)	**121**	Media Nacional (µg/kWh)	**512**

Mas información sobre el origen de su electricidad en https://gdo.cnmc.es

6.2 Hojas de características de los componentes

6.2.1 Módulo fotovoltaico Tiger Neo N-type 78HL4-BDV 605-625 Watt

www.jinkosolar.com

JinKO Solar
Building Your Trust in Solar

Tiger Neo N-type 78HL4-BDV 605-625 Watt

BIFACIAL MODULE WITH DUAL GLASS

N-Type

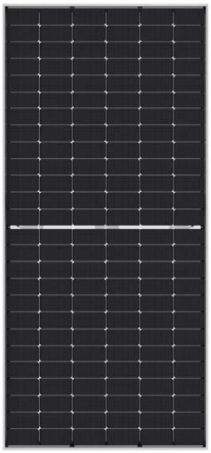
Positive power tolerance of 0~+3%

IEC61215(2016), IEC61730(2016)

ISO9001:2015: Quality Management System

ISO14001:2015: Environment Management System

ISO45001:2018
Occupational health and safety management systems



Key Features

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

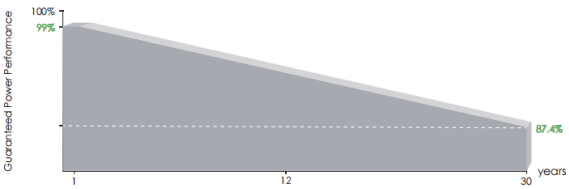
Hot 2.0 Technology
The N-type module with Hot 2.0 technology has better reliability and lower LID/LETID.

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

Enhanced Mechanical Load
Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).

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

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

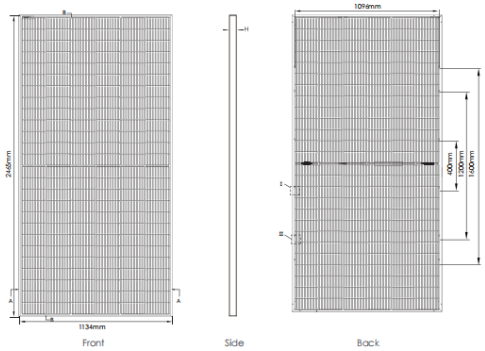


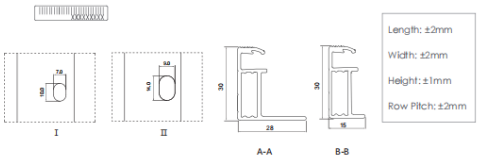
12 Year Product Warranty

30 Year Linear Power Warranty

0.40% Annual Degradation Over 30 years

Engineering Drawings



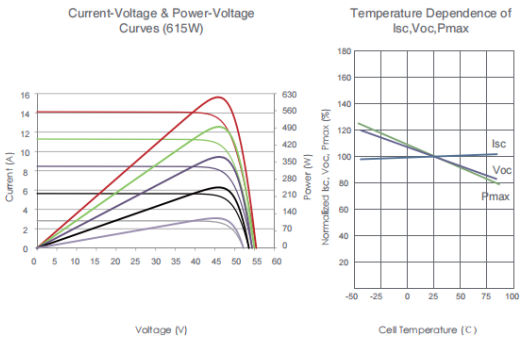


Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

36pcs/pallets, 72pcs/stack, 576pcs/ 40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	N type Mono-crystalline
No. of cells	156 (2×78)
Dimensions	2465×1134×30mm (97.05×44.65×1.18 inch)
Weight	34.6kg (76.38 lbs)
Front Glass	2.0mm, Anti-Reflection Coating
Back Glass	2.0mm, Heat Strengthened Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm² (+): 400mm , (-): 200mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM605N-78HL4-BDV		JKM610N-78HL4-BDV		JKM615N-78HL4-BDV		JKM620N-78HL4-BDV		JKM625N-78HL4-BDV	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	605Wp	455Wp	610Wp	459Wp	615Wp	462Wp	620Wp	466Wp	625Wp	470Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	45.42V	42.23V	45.60V	42.35V	45.77V	42.46V	45.93V	42.57V	46.10V	42.68V
Maximum Power Current (Imp)	13.32A	10.77A	13.38A	10.83A	13.44A	10.89A	13.50A	10.95A	13.56A	11.01A
Open-circuit Voltage (Voc)	55.17V	52.41V	55.31V	52.54V	55.44V	52.66V	55.58V	52.79V	55.72V	52.93V
Short-circuit Current (Isc)	13.95A	11.26A	14.03A	11.33A	14.11A	11.39A	14.19A	11.46A	14.27A	11.52A
Module Efficiency STC (%)	21.64%		21.82%		22.00%		22.18%		22.36%	
Operating Temperature(℃)	-40℃~+85℃									
Maximum system voltage	1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	30A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.29%/℃									
Temperature coefficients of Voc	-0.25%/℃									
Temperature coefficients of Isc	0.045%/℃									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2℃									
Refer. Bifacial Factor	80±5%									

BIFACIAL OUTPUT-REARSIDE POWER GAIN

5%	Maximum Power (Pmax)	635Wp	641Wp	646Wp	651Wp	656Wp
	Module Efficiency STC (%)	22.73%	22.91%	23.10%	23.29%	23.48%
15%	Maximum Power (Pmax)	696Wp	702Wp	707Wp	713Wp	719Wp
	Module Efficiency STC (%)	24.89%	25.10%	25.30%	25.51%	25.71%
25%	Maximum Power (Pmax)	756Wp	763Wp	769Wp	775Wp	781Wp
	Module Efficiency STC (%)	27.05%	27.28%	27.50%	27.73%	27.95%

*STC: Irradiance 1000W/m² Cell Temperature 25℃ AM=1.5

NOCT: Irradiance 800W/m² Ambient Temperature 20℃ AM=1.5 Wind Speed 1m/s

©2022 Jinko Solar Co., Ltd. All rights reserved.
Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

JKM605-625N-78HL4-BDV-F4-EN

6.2.2 Inversor Huawei SUN2000-5KTL-L1 5000W

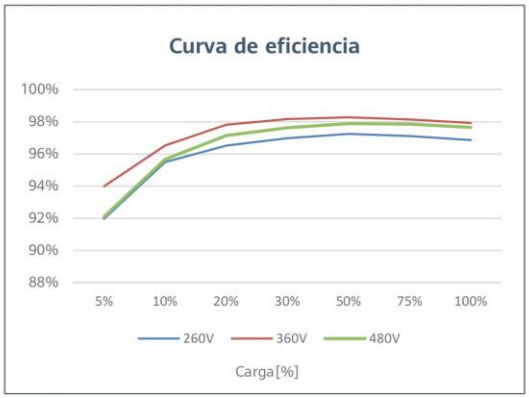
SUN2000-2-6KTL-L1
Smart Energy Controller

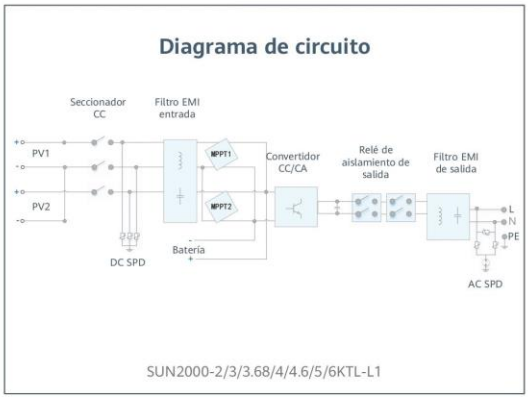
HUAWEI

Seguridad activa
Protección contra arcos eléctricos active con tecnología de IA

Mayor generación
Hasta un 30 % más de energía con optimizadores

2x POTENCIA de Batería
5kW de Salida en CA más 5kW de Carga en Baterías





6

SOLAR.HUAWEI.COM/EU/

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

Especificaciones Técnicas

Especificaciones técnicas	SUN2000 -2KTL-L1	SUN2000 -3KTL-L1	SUN2000 -3.68KTL-L1	SUN2000 -4KTL-L1	SUN2000 -4.6KTL-L1	SUN2000 -5KTL-L1	SUN2000 -6KTL-L1[1]
Eficiencia							
Eficiencia Máxima	98.2 %	98.3 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %
Eficiencia europea	96.7 %	97.3 %	97.3 %	97.5 %	97.7 %	97.8 %	97.8 %
Entrada (FV)							
Entrada de CC máxima recomendada [2]	3,000 Wp	4,500 Wp	5,520 Wp	6,000 Wp	6,900 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp
Máx. tensión de entrada	600 V [3]						
Tensión de arranque	100 V						
Rango de tensión de operación de MPPT	90 V – 560 V [3]						
Tensión nominal de entrada	360 V						
Máx. intensidad por MPPT	12.5 A						
Máx. intensidad de cortocircuito por MPPT	18 A						
Cantidad de MPPTs	2						
Máx. número de entradas por MPPT	1						
Entrada (CC Batería)							
Batería compatible	HUAWEI Smart ESS Battery 5kWh – 30kWh [1]						
Rango de tensión de operación	350 ~ 560 Vdc						
Max. corriente de operación	15 A						
Potencia de carga máxima	5,000 W						
Potencia máxima de descarga	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5000 W
Salida (a Red)							
Conexión a la red eléctrica	Monofásica						
Potencia de salida nominal	2,000 W	3,000 W	3,680 W	4,000 W	4,600 W	5,000 W	6,000 W
Máx. potencia aparente de CA	2,200 VA	3,300 W	3,680 W	4,400 VA	5,000 VA	5,500 W	6,000 VA
Tensión nominal de Salida	220 Vac / 230 Vac / 240 Vac						
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz						
Máx. intensidad de salida	10 A	15 A	16 A	20 A	23 A	25 A	27.3 A
Factor de potencia ajustable	0.8 inductivo ... 0,8 capacitivo						
Máx. distorsión armónica total	≤ 3 %						
Suministro de Potencia de Respaldo	Sí (incluyendo Backup Box-5000 [1])						
Protecciones & Funcionalidades							
Protección anti-isla	Sí						
Protección a polaridad inversa de CC	Sí						
Monitorización de aislamiento	Sí						
Descargador de sobretensiones CC	Sí, clase de protección TIPO II compatible según EN / IEC 61643-11						
Descargador de sobretensiones CA	Sí, clase de protección TIPO II compatible según EN / IEC 61643-11						
Monitorización de la corriente residual	Sí						
Protección contra sobreintensidad de CA	Sí						
Protección contra cortocircuito de CA	Sí						
Protección contra sobretensión de CA	Sí						
Protección contra sobrecalentamiento	Sí						
Protección de falla de arco eléctrico	Sí						
Carga inversa de la batería desde la red	Sí						
Datos generales							
Rango de temperatura de operación	-25 ~ +60 °C (Derrateo a partir de 45°C @Potencia de Salida Nominal)						
Humedad relativa de operación	0 %RH ~ 100 %RH						
Altitud de operación	0 ~ 4,000 m (Derrateo a partir 2,000 m)						
Ventilación	Convección Natural						
Pantalla	Indicadores LED; WLAN integrado + aplicación FusionSolar						
Comunicación	RS485, WLAN a través del módulo WLAN incorporado en el inversor Ethernet a través de Smart Dongle-WLAN-FE (Opcional); 4G / 3G / 2G a través de Smart Dongle-4G (Opcional)						
Peso (incluido soporte de montaje)	12.0 kg						
Dimensiones (incluido soporte de montaje)	365mm * 365mm * 156 mm						
Grado de protección	IP65						
Consumo de energía durante la noche	< 2.5 W						
Compatibilidad con Optimizadores							
DC MBUS compatible optimizer	SUN2000-450W-P, SUN2000-450W-P2, SUN2000-600W-P2						
Cumplimiento de estándares (más opciones disponibles previa solicitud)							
Safety	EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2						
Grid connection standards	G98, G99, EN 50549-1, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777.2, C10/11, ABNT, UTE C15-712, UNE 217002, TOR D4, IEC61727, IEC62116						

*1 La potencia fotovoltaica de entrada máxima del inversor es de 10.000 Wp cuando las cadenas largas se diseñen y conecten al completo de optimizadores de potencia SUN2000-450W/600W-P.
*2 El límite máximo de tensión de entrada y de operación se reducirán a 495 V cuando el inversor se conecte y funcione con la batería LG.
*3 2,500 W con las baterías HUAWEI ESS de 5kWh

6.2.3 Batería Huawei LUNA2000-5-10-15-S0

Sistema inteligente de almacenamiento de energía en string

HUAWEI

Optimización de la energía
100% de profundidad de descarga (DoD)
Optimización de energía a nivel de módulo

Inversión flexible
Diseño modular de 5kWh,
Escalable de 5 a 30 kWh

Segura y confiable
Celda de litio-ferrofosfato (LFP)

Fácil instalación
Módulo de potencia de 12 kg
Módulo de batería de 50 kg

Puesta en marcha rápida
Detección automáticamente en la APP

Compatibilidad perfecta
Compatible con ambos
inversores monofásicos y trifásicos residenciales

10

SOLAR.HUAWEI.COM/EU/

Smart Charger

Especificaciones Técnicas

Especificaciones técnicas	LUNA2000-5-S0	LUNA2000-10-S0	LUNA2000-15-S0
Características			
Módulo de potencia	LUNA2000-5KW-C0		
Número de módulos de potencia	1		
Módulo de batería	LUNA2000-5-E0		
Energía por módulo de batería	5 kWh		
Número de módulos de batería	1	2	3
Energía útil de la batería[1]	5 kWh	10 kWh	15 kWh
Potencia máxima de salida	2.5 kW	5 kW	5 kW
Potencia pico de salida	3.5 kW, 10 s	7 kW, 10 s	7 kW, 10 s
Tensión nominal (sistema monofásico)	450 V		
Rango de tension de operación (sistema monofásico)	350 – 560 V		
Tensión nominal (sistema trifásico)	600 V		
Rango de tension de operación (Sistema trifásico)	600 – 980 V		
Comunicación			
Display	Indicador del estado SOC, indicador LED		
Comunicación	RS485 / CAN (solo para funcionamiento en paralelo)		
Especificaciones generales			
Dimensiones (Ancho x Profundo x Alto)	670 * 150 * 600 mm	670 * 150 * 960 mm	670 * 150 * 1320 mm
Peso (Kit de herramientas para soporte de suelo incluido)	63.8 kg	113.8 kg	163.8 kg
Dimensión del módulo de potencia (AxPxA)	670 * 150 * 240 mm		
Peso del módulo de potencia	12 kg		
Dimensión del módulo de batería (AxPxA)	670 * 150 * 360 mm		
Peso del módulo de batería	50 kg [2]		
Instalación	Soporte de suelo (estándar), montaje en pared (opcional)		
Rango de temperature en operación	-10°C ~ + 55°C [3]		
Altitud de operación	0 - 4,000 m (13,123 ft.) (Derating por encima de 2,000 m)		
Entorno	Exterior / Interior [4] (Consulte el manual de usuario para las condiciones de instalación)		
Humedad relativa	5% ~ 95%		
Ventilación	Convección natural		
Grado de protección	IP 66		
Emisión de sonidos	<29 dB [5]		
Tecnología de célula	Litio-ferrofosfato (LiFePO4)		
Escalabilidad	Max. 2 sistemas funcionando en paralelo		
Compatibilidad con inversores	SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1, SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M0 [6], SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1		
Cumplimiento de normas (más disponibles a pedido)			
Certificados	CE, RCM, CEC, VDE2510-50, IEC62619, IEC 60730, UN38.3		
Pedido y pieza entregable			
Product ordering model [5]	LUNA2000-5KW-C0, LUNA2000-5-E0, LUNA2000 Wall Mounting Bracket		

1. Condiciones de ensayo: 100% profundidad de descarga (DoD), 0.2C ratio de carga & descarga a 25°C
2. El peso del módulo de batería está sujeto al product actual, con una tolerancia del ±3%
3. Consultar las condiciones de garantía de la batería para las condiciones de aplicación.
4. Una instalación inadecuada puede afectar a la garantía. Siga las instrucciones del manual de usuario durante su instalación, uso y mantenimiento.
5. La Emisión de Ruidos (Típica): <29 dB (A) @1m, 30°C y en funcionamiento durante 2 horas.
6. Contacte con un ingeniero local para comprobar la compatibilidad del inversor SUN2000-3-10KTL-M0 con la batería LUNA2000
5 El Sistema de almacenamiento se solicitará y enviará para módulos de potencia y módulos de batería por sepraddo con sus respectivas cantidades

6.2.4 Equipo de medida Smart Power Sensor DDSU666-H

Smart Power Sensor

HUAWEI

Preciso
Precisión de medición: Clase 1

Fácil y sencillo
Pantalla LCD, fácil de configurar y comprobar

Energía eficiente
Consumo general de energía ≤ 1 W

Especificaciones técnicas	DDSU666-H	DTSU666-H 250A/50mA
Datos generales		
Dimensiones (alto x anchura x profundidad)	100 x 36 x 65.5 mm	100 x 72 x 65.5 mm
Tipo de montaje	DIN35 Rail	
Peso (incluidos los cables)	1.2 kg	1.5 kg
Fuente de alimentación		
Tipo de red eléctrica	1P2W	3P4W
Tensión de entrada (por fase)	176 Vac ~ 288 Vac	
Consumo de potencia	≤ 0.8 W	≤ 1 W
Rango de medición		
Tensión de línea	/	304 Vac ~ 499 Vac
Tensión por fase	176 Vac ~ 288 Vac	
Intensidad	0 ~ 100 A	0 ~ 250 A
Precisión de medición		
Tensión	±0.5 %	
Intensidad / Potencia / Energía	±1 %	
Frecuencia	±0.01 Hz	
Comunicación		
Interfaz	RS485	
Velocidad de transmisión en baudios	9,600 bps	
Protocolo de comunicación	Modbus-RTU	
Entorno		
Rango de temperatura de operación	-25 ℃ ~ 60 ℃	
Rango de temperatura de almacenamiento	-40 ℃ ~ 70 ℃	
Humedad de operación	5 %RH ~ 95 %RH (sin condensación)	
Otros		
Accesorios	Cable RS485 (10 m) 1 CT 100 A/40 mA (5 m)	3 CT 250 A/50 mA (5 m)

Version No.:03-(20200622)

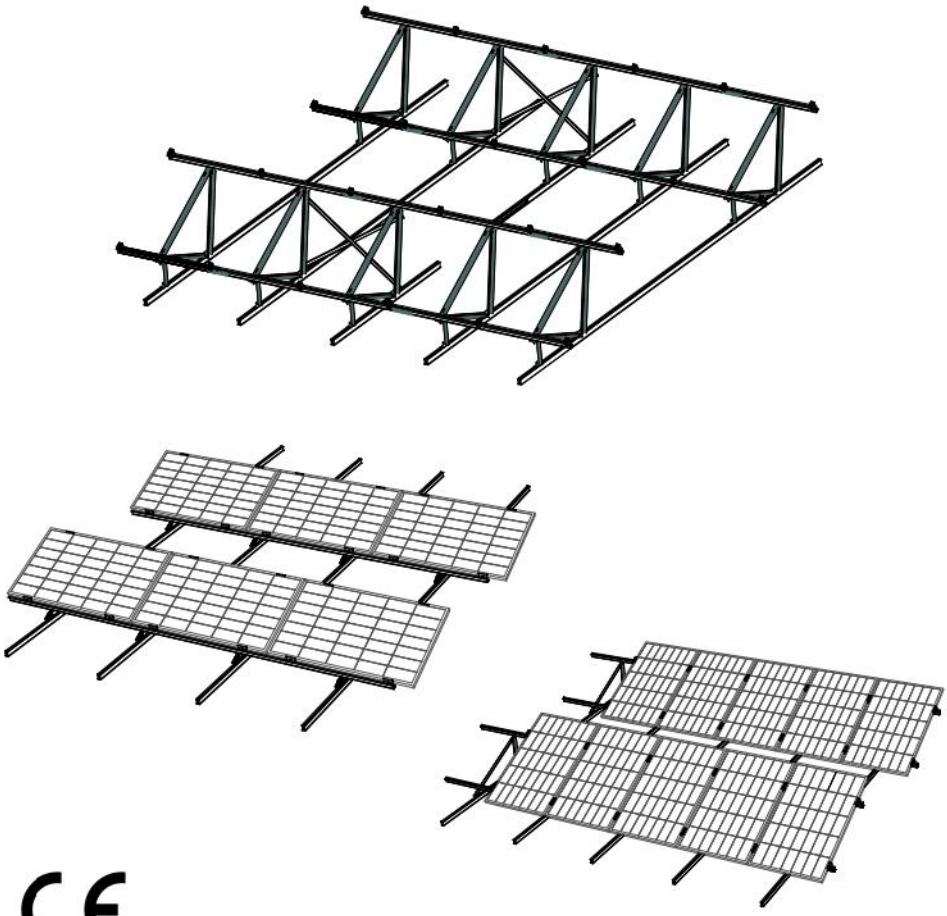
SOLAR.HUAWEI.COM/ES/

6.2.5 Montaje y componentes estructura AF-GRID

ESPAÑOL
ENGLISH

SISTEMA DE MONTAJE PARA CUBIERTAS INCLINADAS CON SOPORTE TRIANGULAR ELEVADO

MOUNTING SYSTEM FOR SLOPING ROOF WITH UPPER TRIANGULAR SUPORT



CE
0035

AF·GRID
solarstem

1.18.0032-04 1

NORMAS DE SEGURIDAD

SAFETY STANDARDS

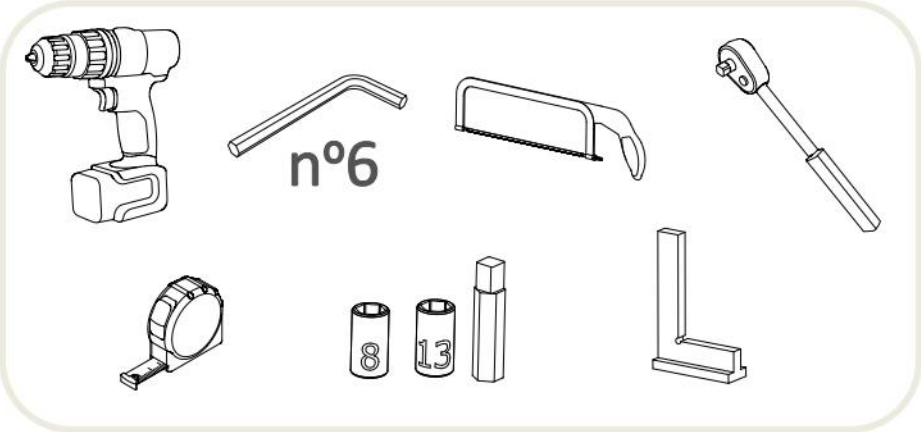
	Para el montaje sobre tejados es estrictamente necesario, antes de iniciar los trabajos, instalar protecciones anticaídas o dispositivos de protección según la norma DIN 18338 referente a trabajos de revestimiento e impermeabilización de tejados, y redes de seguridad para trabajos con andamios según la norma DIN 18451. Decreto 340/1994 §7-10 sobre la prevención de riesgos laborales en obras de construcción. Deben respetarse estrictamente las prescripciones nacionales vigentes.		A ser posible, fije el arnés de seguridad por encima del usuario. Fíjelo exclusivamente a estructuras firmes y estables o puntos de enganche.
	Si, por motivos técnicos, no dispone de dispositivos anticaídas o de protección, debe utilizar arneses de seguridad.		No utilice escaleras defectuosas, p. ej. escaleras de madera con travesaños o peldaños rotos, o escaleras de metal deformadas. No trate de reparar largueros, segmentos o peldaños de escaleras de madera.
	Utilice exclusivamente aquellos arneses de seguridad debidamente autorizados y probados (con correas de sujeción o seguridad, cuerdas y cintas de unión, amortiguadores de caída, reductores de correa).		Coloque la escalera de mano de forma segura. Observe el ángulo de apoyo correcto (68 º - 75 º). Asegure la escalera de mano contra posibles deslizamientos, caídas, escurrimientos y hundimientos, p. ej. ampliando el pie de la escalera, con pies guía adecuados para el suelo o dispositivos de suspensión.
	Si no dispone de dispositivos anticaídas o de protección, corre el riesgo de exponerse a caídas desde grandes alturas que, sin el uso de arneses de seguridad, podrían originar lesiones graves o incluso la muerte.		Apoye las escaleras sólo en los puntos de apoyo seguros. Asegúrelas mediante acordonamiento en zonas transitadas.
	Cuando se utilizan escaleras de mano pueden producirse caídas peligrosas, ya que la escalera puede hundirse, escurrirse o desplomarse.		El contacto con cables aéreos de alta tensión eléctrica puede ocasionar la muerte.
	Cerca de cables aéreos de alta tensión, en donde hay posibilidad de contacto, sólo es posible trabajar cuando: - no circule corriente por los cables, manteniéndose este estado a lo largo de la ejecución del trabajo. - las partes en tensión hayan sido cubiertas o se haya colocado una barra de separación. - se respete la distancia de seguridad. Radio de tensión: 1 m para ..... 1000 voltios de tensión 3 m para .....de 1000 a 11000 voltios de tensión 4 m para .....de 11000 a 22000 voltios de tensión 5 m para .....de 22000 a 38000 voltios de tensión > 5 m si se desconoce la tensión		Al taladrar y trabajar con colectores de tubo de vacío (peligro de implosión) utilice gafas protectoras.
			Utilice botas de seguridad durante el montaje.
			Al montar los colectores y trabajar con colectores de tubo de vacío (peligro de implosión) utilice guantes de trabajo a prueba de cortes.

MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN. Ver instrucción técnica IT-102

INSPECTION AND MAINTENANCE. See Technical instructions IT-102-EN

HERRAMIENTAS DE MANO NECESARIAS

HAND TOOLS NECESSARY



ESPAÑOL

El montaje debe ser realizado por un experto. Si no se procede correctamente, el soporte puede desajustarse y causar daños a personas u objetos.

- Un técnico con conocimientos debe asegurarse que la estructura es adecuada para cumplir la normativa vigente.
- Si tiene alguna duda contacte con nosotros en **www.solarstem.es**

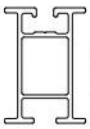
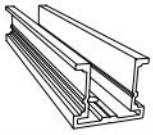
ENGLISH

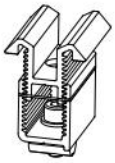
Be sure that this structure is assembled by an expert. Otherwise, the support could work in an inappropriate way, even cause damage to people or objects.

- An experienced engineer must ensure that the structure is suitable to the current standards.
- If you have any doubt you can contact with us in **www.solarstem.es**

COMPONENTES

COMPONENTS

1	2		3
1.07.0012-α	1.01.0010-XXXX	 1.01.0005-XXXX	 1.09.0002-200
SOPORTE *FRAME* MANUAL : 1.18.0020-xx	**PERFILPORTANTE** *SUPPORT RAIL* MANUAL : 1.18.0015-xx		**CONEXIÓN LINEAL** *JOINING RAIL* MANUAL : 1.18.0008

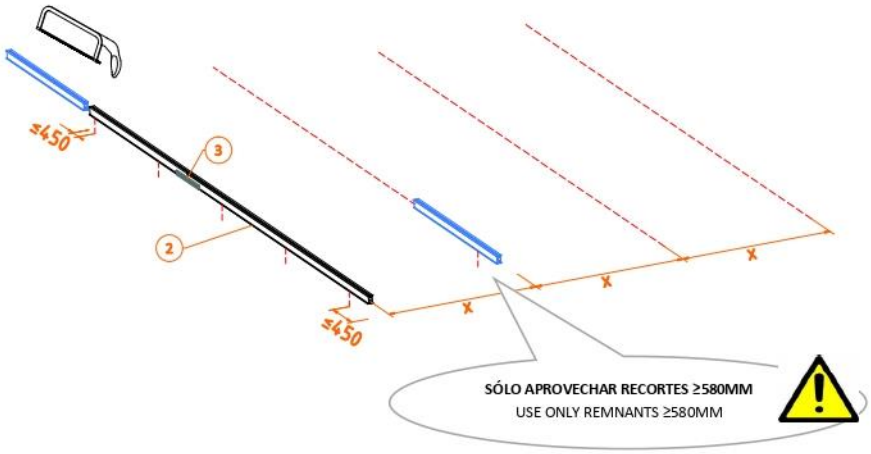
4	5				
1.02.0008-0	 1.08.0007-50	1.08.0014-0	1.08.0015-0	1.08.0009-0	1.08.0010-0
RIOSTRA *TIE BEAM* MANUAL: 1.18.0017-xx	**BRIDAS** *CLAMPS* MANUAL: 1.18.0001 & 1.18.0009 & 1.18.0003				

LEER LOS MANUALES DE LOS DIFERENTES ARTÍCULOS ANTES EMPEZAR EL MONTAJE

SEE THE MANUALS OF THE SPECIFIC COMPONENTS BEFORE STARTING ASSEMBLY

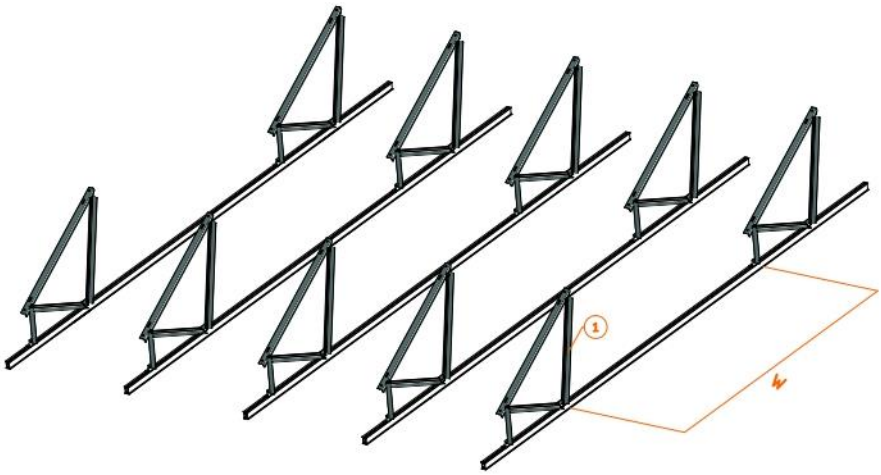
1 MONTAJE DEL PERFIL BASE

BASE RAIL MOUNTING



2 MONTAJE DE LOS SOPORTES

SUPORT MOUNTING

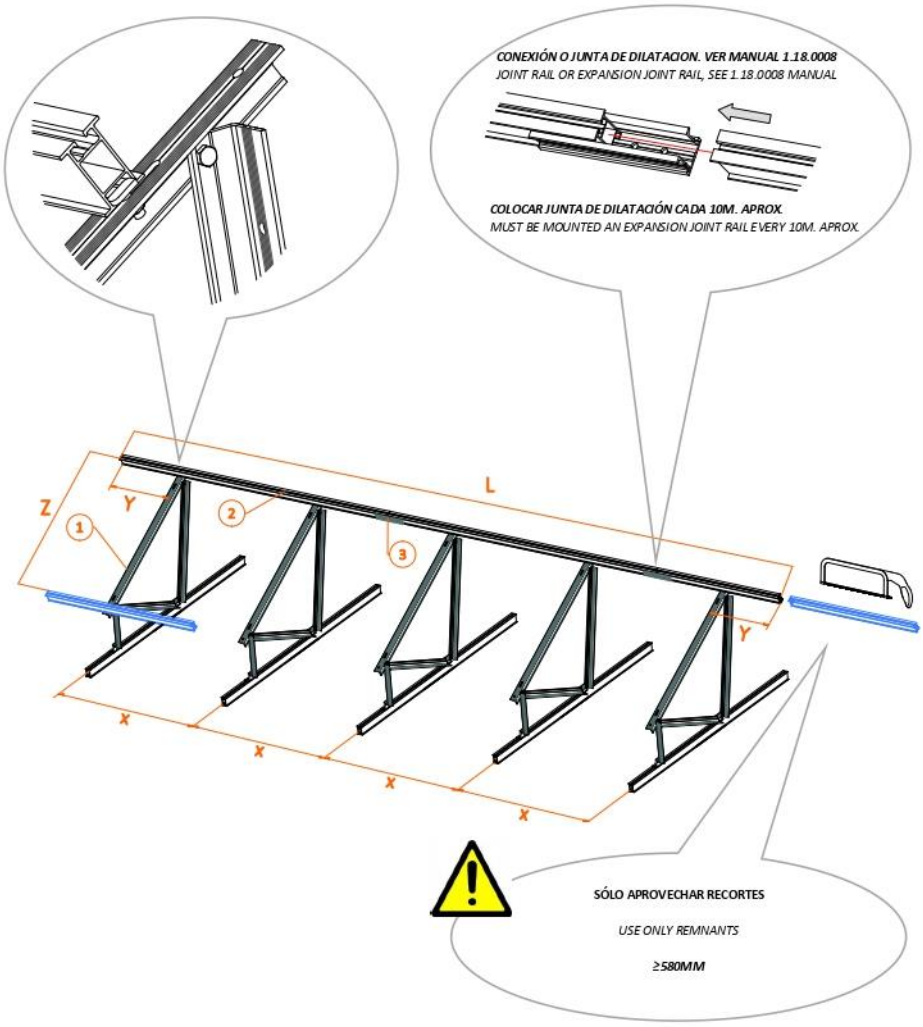


LAS COTAS X, W, LAS ENCONTRARÁ EN LA HOJA TÉCNICA DEL PROYECTO

YOU WILL FOUND X, W, MEASURES IN THE PROJECT TECHNICAL DATA

3 MONTAJE PERFIL PORTATE

BEARING RAIL MOUNTING

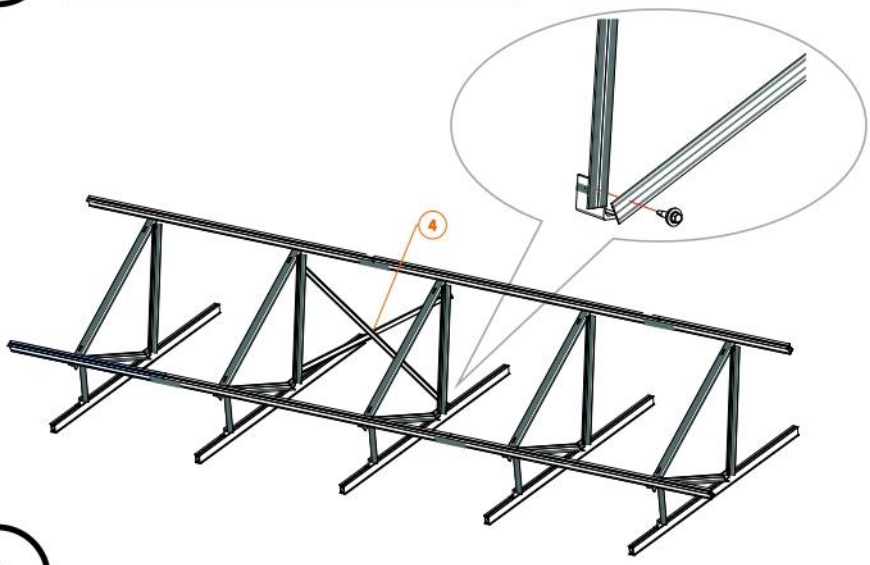


LAS COTAS L, X, Y, Z, LAS ENCONTRARÁ EN LA HOJA TÉCNICA DEL PROYECTO

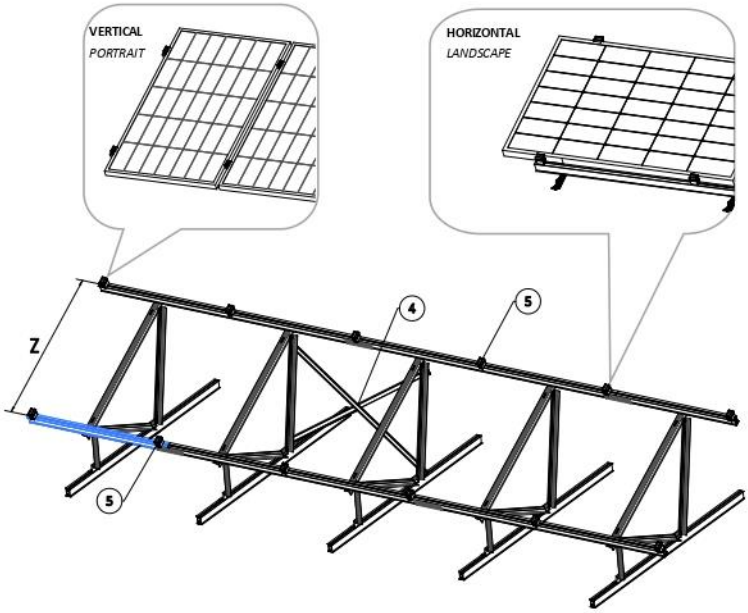
YOU WILL FOUND L, X, Y, Z MEASURES IN THE PROJECT TECHNICAL DATA

4 MONTAJE RIOSTRA (VER MANUAL)

TIE BEAM MOUNTING (SEE MANUAL)



5 MONTAJE BRIDAS (VER MANUAL)



CE

0035

Solarstem ® 2013

c/Cal Ros de ls Ocells, 20
08403 Granollers (Barcelona) SPAIN
TALLERES CENDRA, S.A.

15

0035-CPR-1.01096-DC01

EN 1090-1:2009+A1:2011

Componentes estructurales y kits para estructuras de aluminio ECX1 según EN 1090-3

Conjunto de componentes estructurales de aluminio

Tolerancias en la información geométrica: EN 1090-3
Tenacidad a la fractura: No requerida para elementos de aluminio
Reacción al fuego: Clase A1
Durabilidad: Sin recubrir

Características estructurales:
Fabricación: Conforme las especificaciones de los componentes y la Norma EN 1090-3. Clase de ejecución ECX 1.

Solarstem® 2013
c/Cal Ros dels Ocells, 20 | Pol. Ind. Coll de la Manya
08403 Granollers (Barcelona)
SPAIN
www.solarstem.es

TALLERES CENDRA, S.A.

6.2.6 Cable Prysmian Prysolar H1Z2Z2-K

prysmian

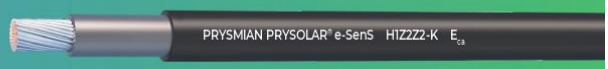
Cables baja tensión - Fotovoltaicos e-SenS

PRYSMIAN PRYSOLAR® e-SenS - H1Z2Z2-K

PROTOCOLO DE ENSAYO WET-I 1500 COMPLIANT

Fabricado con energía eléctrica 100% RENOVABLE

Tensión asignada	1,0/1,0 kVac; 1,5/1,5 kVdc (1,2/1,2 kVac máx.) (1,8/1,8 kVdc máx.)
Norma diseño	UNE-EN 50618; IEC 62930
Designación genérica	H1Z2Z2-K



CPR COMPLIANT

E_{ca} CPR

Descárgate la DoP 1019137 (declaración de prestaciones) https://es.prysmian.com/dop

TÜVRheinland CERTIFIED — Type Approved Safety Regular Production Surveillance — www.tuv.com ID 1111276299

GlobalEPD — A VERIFIED ENVIRONMENTAL DECLARATION (declaraciones ambientales de producto)

No propagación de la llama UNE-EN 60332-1-2 IEC 60332-1-2

Libre de halógenos IEC 62821-1 UNE-EN 50525-1

Máxima Resistencia al agua en dc (AD8)

Resistencia al frío

Cable flexible

Resistencia a los rayos ultravioleta UNE 211605

Baja opacidad de humos UNE-EN 61034-2 IEC 61034-2

Resistencia a los impactos

Resistencia a los agentes químicos

Resistencia al ozono

Resistencia al calor húmedo

Cu — Conductor con contenido en cobre reciclado

PE — Aislamiento con compuesto de origen 100 % Bio-Atribuido

CO_2 — -29 % emisiones de CO_2 (Sección 1 x 4 mm²)

Rollo retráctil 80 % reciclado y 100 % reciclable

Sistema circular de retorno, reparación y reutilización de bobinas

PEFC — El logotipo PEFC en nuestros productos garantiza que nuestras bobinas de madera proceden de bosques gestionados de forma sostenible, reciclados y frentes controladas. Cada compra de un producto PEFC marca la diferencia para los bosques y las comunidades forestales del planeta. www.pefc.es

- Temperatura de servicio: -40 °C, +90 °C (cable termoestable), +120 °C (20 000h).
- Ensayo de tensión durante 5 min: 6500 Vac / 15000 Vdc.

Reacción al fuego

Prestaciones frente al fuego en la Unión Europea:

- Clase de reacción al fuego (CPR): E_{ca}.
- Requerimientos de fuego: UNE-EN 50575:2015 + A1:2016.
- Clasificación respecto al fuego: UNE-EN 13501-6.
- Aplicación de los resultados: UNE-EN 50576.
- Métodos de ensayo: UNE-EN 60332-1-2.

Normativa de fuego completa. Incluídas normas aplicables a países no pertenecientes a la Unión Europea:

- No propagación de la llama: UNE-EN 60332-1-2; IEC 60332-1-2.
- Libre de halógenos: IEC 62821-1 Anexo B; UNE-EN 50525-1 Anexo B.
- Baja opacidad de humos: UNE-EN 61034-2; IEC 61034-2.

prysmian E Path

1

Evite imprimir a menos que sea estrictamente necesario. De esta forma se ahorra agua, energía y recursos forestales.

prysmian

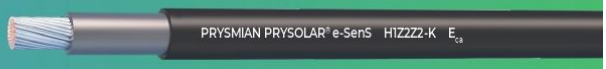
Cables baja tensión - Fotovoltaicos e-SenS

PRYSMIAN PRYSOLAR® e-SenS - H1Z2Z2-K

PROTOCOLO DE ENSAYO WET-I 1500 COMPLIANT

Fabricado con energía eléctrica 100% RENOVABLE

Tensión asignada	1,0/1,0 kVac; 1,5/1,5 kVdc (1,2/1,2 kVac máx.) (1,8/1,8 kVdc máx.)
Norma diseño	UNE-EN 50618; IEC 62930
Designación genérica	H1Z2Z2-K



Ensayos adicionales cable PRYSMIAN PRYSOLAR® e-SenS

Vida estimada	30 años*	
Protección frente al agua	AD8 (test ac)**	EN 50525-2-21 Anexos D y E
	WET-I 1500	Ensayo mejorado específico de Prysmian FV: > 1500 ciclos sumergido en agua a 70 °C con la máxima tensión continua (1800 Vdc)
Resistencia a los rayos UVA	IEC 62930 Anexo E; UNE-EN 50618 Anexo E: 720 h (360 ciclos)	
Servicios móviles	Sí	
Doble aislamiento (clase II)	Sí	
Temperatura máxima del conductor	90 °C (120 °C, 20 000 h) 250 °C (cortocircuito)	
Adecuado para sistemas anti-PID	Tensión máxima eficaz: 1200 V (>906 V) Tensión máxima de pico: 1697 V (>1468 V)	
Máxima tensión de tracción	50 N/mm² durante el tendido 15 N/mm² en operación (instalado)	
Resistencia al ozono	IEC 62930 Tab. 3 según IEC 60811-403; UNE-EN 50618 Tab. 2 según UNE-EN 50396 tipo de prueba B	
Resistencia a ácidos y bases	IEC 62930 y UNE-EN 50618 Anexo B 7 días, 23 °C N-ácido oxálico, N-hidróxido sódico (según IEC 60811-404; UNE-EN 60811-404)	
Prueba de contracción	IEC 62930 Tab. 2 según IEC 60811-503; UNE-EN 50618 Tab. 2 según UNE-EN 60811-503 (máxima contracción 2 %)	
Resistencia al calor húmedo	IEC 62930 Tab. 2 y UNE-EN 50618 Tab. 2 1000 h a 90 °C y 85 % de humedad para IEC 60068-2-78, UNE-EN- 60068-2-78	
Resistencia de aislamiento a largo plazo (dc)	IEC 62821-2; UNE-EN 50395-9 (240 h, 85 °C agua, 1,8 kVdc)	
Respetuoso con el medio ambiente	Directiva RoHS 2011/65/UE de la Unión Europea	
Ensayo de penetración dinámica	IEC 62930 Anexo D; UNE-EN 50618 Anexo D	
Doblado a baja temperatura	Doblado y alargamiento a -40 °C según IEC 60811-504 y -505 y UNE-EN 60811-504 y -505	
Resistencia al impacto en frío	Resistencia al impacto a -40 °C según IEC 62930 Anexo C según IEC 60811-506 y UNE-EN 50618 Anexo C según UNE-EN 60811-506	
Durabilidad del marcado	IEC 62930; UNE-EN 50396	

* Para la estimación de la vida del cable se ha empleado el ensayo de endurancia térmica según la norma IEC 60216.

** La condición AD8 habitual es una autodeclaración de fabricante sin norma de referencia. Declara la posibilidad de funcionamiento del cable permanentemente sumergido pero el ensayo habitual está pensado para corriente alterna y hasta 450/750 V de tensión asignada del cable. Situación muy alejada de la realidad de las instalaciones fotovoltaicas. Los cables de Prysmian superan el ensayo especial WET-I 1500 a 1800 V de tensión continua.

prysmian
E Path

Aplicaciones

Cable especialmente indicado en aquellos proyectos en que se requiera un compromiso de reducción de impacto en huella de carbono.

A emplear en el lado de corriente continua entre módulos fotovoltaicos y cajas combinadoras (string combiner boxes) o inversores de string en grandes plantas de generación fotovoltaica.

Especialmente diseñado para instalaciones solares fotovoltaicas fijas o móviles (con seguidores...). Pueden ser instalados en bandejas, conductos y módulos fotovoltaicos.

Especialmente resistente a la acción del agua (AD8 + test especial para corriente continua WET-I 1500), en instalaciones subterráneas bajo tubo o conducto.

Sistemas de corriente continua (ITC-BT 53*, UNE-HD 60364-7-712).

Construcción

1. Conductor
Metal: cobre recocido estañado.
Con contenido reciclado.
Flexibilidad: flexible, clase 5, según UNE-EN 60228.
Temperatura máxima en el conductor:
90 °C (120 °C, 20 000 h). 250 °C en cortocircuito.

2. Aislamiento
Material: **compuesto reticulado libre de halógenos 100 % Bio-Atribuido**. Según tabla B.1 de Anexo B de UNE-EN 50618.

3. Cubierta
Material: compuesto reticulado libre de halógenos según tabla B.1 de anexo B de EN 50618.
Colores: negro o rojo.

*Pendiente aprobación final.

Evite imprimir a menos que sea estrictamente necesario.
De esta forma se ahorra agua, energía y recursos forestales.

prysmian

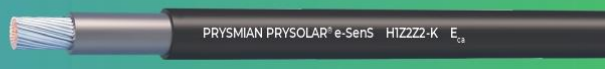
Cables baja tensión - Fotovoltaicos e-SenS

PRYSMIAN PRYSOLAR® e-SenS - H1Z2Z2-K

PROTOCOLO DE ENSAYO WET-I 1500 COMPLIANT

Fabricado con energía eléctrica 100% RENOVABLE

Tensión asignada 1,0/1,0 kVac; 1,5/1,5 kVdc (1,2/1,2 kVac máx.) (1,8/1,8 kVdc máx.)
Norma diseño UNE-EN 50618; IEC 62930
Designación genérica H1Z2Z2-K



Datos técnicos

Número de conductores x sección (mm²)	Diámetro máximo del conductor (mm)	Diámetro exterior del cable (mm) (1)	Radio mínimo de curvatura dinámico (mm)	Radio mínimo de curvatura estático (mm)	Peso (kg/km) (1)	Resistencia del conductor a 20 °C (Ω/km)	Intensidad admisible al aire (A) (2)	Intensidad admisible al aire T ambiente 60 °C y T conductor 120 °C (A) (3)	Intensidad admisible bajo tubo enterrado (A) (4)	Caída de tensión continua (V/(A·km))	Emisiones de CO_2 (t/km) (5)
1 x 4	3,0	5,6	22	11	61	5,090	46	55	42	10,18	0,189
1 x 6	3,9	6,3	25	13	80	3,390	59	70	53	6,78	0,262
1 x 10	5,1	7,2	36	22	124	1,950	82	98	70	3,90	0,441
1 x 16	6,3	8,3	42	25	186	1,240	110	132	91	2,48	0,735
1 x 25	7,8	10,5	53	32	286	0,795	140	176	116	1,59	1,051

(1) Valores sujetos a tolerancias de fabricación.

(2) Instalación monofásica o corriente continua en bandeja perforada al aire (40 °C). Con exposición directa al sol, multiplicar la corriente por 0,85.
→ XLPE2 con instalación tipo F → columna 13.
(UNE-HD 60364-5-52 e IEC 60364-5-52).

(3) Instalación de conductores separados con renovación eficaz del aire en toda su cubierta (cables suspendidos).

Temperatura ambiente 60 °C (a la sombra) y temperatura máxima en el conductor 120 °C. Valor que puede soportar el cable, 20 000 h a lo largo de su vida estimada (30 años) EN 50618 (tabla A.3).

(4) Instalación bajo tubo enterrada con resistividad térmica del terreno estándar de 2,5 K·m/W y temperatura del terreno 25 °C. XLPE2 con instalación tipo D1 (Cu) (monofofásica o continua).

(5) Incluye el proceso de extracción, producción y transporte de las materias primas así como el proceso de fabricación en nuestras factorías (cradle to gate).

prysmian
E Path

Evite imprimir a menos que sea estrictamente necesario.
De esta forma se ahorra agua, energía y recursos forestales.

6.2.7 Cable Afumex Class 1000V (AS) | RZ1-K (AS) | Cca-s1b,d1,a1

Afumex **Baja tensión**

AFUMEX CLASS 1000 V (AS) - RZ1-K (AS)

ECO CABLE

Tensión asignada:	0,6/1 kV
Norma diseño:	UNE 21123-4
Designación genérica:	RZ1-K (AS)

CPR COMPLIANT

C_{ca} CPR

C_{ca}-s1b,d1,a1

N° DoP 1003875

DESCÁRGATE la DoP
(declaración de prestaciones)
https://es.prysmiangroup.com/dop

AENOR CABLE ELÉCTRICO

No propagación de la llama UNE-EN 60332-1-2 IEC 60332-1-2

No propagación de incendio UNE-EN 50399 UNE-EN 60332-3-24 IEC 60332-3-24

Libre de halógenos UNE-EN 60754-2 UNE-EN 60754-1 IEC 60754-2 IEC 60754-1

Baja emisión de gases tóxicos UNE-EN 60754-2 NFC 20454. It=1 DEF-STAN 02-713

Baja emisión de humos UNE-EN 50399

Baja opacidad de humos UNE-EN 61034-2 IEC 61034-2

Baja emisión de gases corrosivos UNE-EN 60754-2 IEC 60754-2 NFC 20453

Baja emisión de calor UNE-EN 50399

Reducido Desprendimiento De gotas / partículas Inflamadas UNE-EN 50399

Resistencia a la absorción del agua

Resistencia al frío

Cable flexible

Resistencia a los rayos ultravioleta

AFUMEX AS Alta seguridad

- Temperatura de servicio: -25 °C, +90 °C. (Cable termoestable).
- Ensayo de tensión alterna durante 5 min: 3500 V.

Reacción al fuego

Prestaciones frente al fuego en la Unión Europea:

- Clase de reacción al fuego (CPR): C_{ca}-s1b,d1,a1.
- Requerimientos de fuego: UNE-EN 50575:2014 + A1:2016.
- Clasificación respecto al fuego: UNE-EN 13501-6.
- Aplicación de los resultados: CLC/TS 50576.
- Métodos de ensayo:
  UNE-EN 60332-1-2; UNE-EN 50399;
  UNE-EN 60754-2; UNE-EN 61034-2.

Normativa de fuego completa (incluídas normas aplicables a países no pertenecientes a la Unión Europea):

- No propagación de la llama:
  UNE-EN 60332-1-2; IEC 60332-1-2
- No propagación del incendio:
  UNE-EN 50399; UNE-EN 60332-3-24; IEC 60332-3-24.
- Libre de halógenos:
  UNE-EN 60754-2; UNE-EN 60754-1;
  IEC 60754-2; IEC 60754-1.
- Reducida emisión de gases tóxicos:
  UNE-EN 60754-2; NFC 20454; DEF STAN 02-713.
- Baja emisión de humos:
  UNE-EN 50399.
- Baja opacidad de humos:
  UNE-EN 61034-2; IEC 61034-2.
- Baja emisión de gases corrosivos:
  UNE-EN 60754-2; IEC 60754-2; NFC 20453.
- Baja emisión de calor:
  UNE-EN 50399.
- Reducido desprendimiento de gotas/partículas inflamadas:
  EN 50399.

Prysmian

A brand of Prysmian Group

AFUMEX CLASS 1000 V (AS) - RZ1-K (AS)

Tensión asignada:	0,6/1 kV
Norma diseño:	UNE 21123-4
Designación genérica:	RZ1-K (AS)

Máxima pelabilidad
Gracias a la capa especial antiadherente se puede retirar la cubierta fácil y rápidamente. Un importante ahorro de tiempo de instalación.

Limpio y ecológico
La ausencia de talco y aceites de silicona permite un ambiente de trabajo más límpio y con menos partículas contaminantes.

Aplicaciones

Cable de fácil pelado especialmente adecuado para instalaciones en locales de pública concurrencia: salas de espectáculos, centros comerciales, escuelas, hospitales, edificios de oficinas, pabellones deportivos, etc.

En centros informáticos, aeropuertos, naves industriales, parkings y túneles de carreteras, locales de difícil ventilación y/o evacuación, etc.

En toda instalación donde el riesgo de incendio no sea despreciable: instalaciones en montaje superficial, canalizaciones verticales en edificios o sobre bandejas, etc., o donde se requieran las mejores propiedades frente al fuego y/o la ecología de los productos en edificios o sobre bandejas, etc., o donde se requieran las mejores propiedades frente al fuego y/o la ecología de los productos de construcción.

Líneas generales de alimentación (ITC-BT 14). -Derivaciones individuales ITC-BT 15) -Instalaciones interiores o receptoras (ITC-BT 20). -Locales de pública concurrencia (ITC-BT 28). -Locales con riesgo de incendio o explosión (adecuadamente canalizado) (ITC-BT 29). -Industrias (Reglamento de Seguridad contra Incendios en los Establecimientos Industriales R.D. 2267/2004. -Edificios en general (Código técnico de la Edificación, R.D. 314/2006, art. 11).

NOTA: para tuneles ferroviarios consultar a Prysmian. La normativa europea exige clase $B2_{ca}$ -s1a, d1, a1.

Construcción

1. Conductor
Metal: cobre recocido.
Flexibilidad: flexible, clase 5, según UNE EN 60228.
Temperatura máxima en el conductor: 90 °C en servicio permanente, 250 °C en cortocircuito.

2. Aislamiento
Material: mezcla de polietileno reticulado (XLPE), tipo DIX3 según UNE HD 603-1.
Colores: marrón, negro, gris, azul, amarillo/verde según UNE 21089-1. Unipolares color natural.

3. Elemento separador
Capa especial antiadherente.

4. Relleno (si aplica)
Material: mezcla LSOH libre de halógenos.

5. Cubierta
Material: mezcla especial libre de halógenos tipo AFUMEX UNE 21123-4.
Color: verde.

AFUMEX CLASS 1000 V (AS) - RZ1-K (AS)

Tensión asignada: 0,6/1 kV
Norma diseño: UNE 21123-4
Designación genérica: RZ1-K (AS)

Datos técnicos

Número de conductores x sección (mm²)	Espesor de aislamiento (mm) (1)	Diámetro exterior (mm) (1)	Peso (kg/km) (1)	Resistencia del conductor a 20 °C Ω/km	Intensidad admisible al aire (2) (A)	Intensidad admisible enterrado (3) (A)	Caída de tensión (V/A km) (2)	
							cos Φ = 1	cos Φ = 0,8
1 x 1,5	0,7	7	67	13,3	21	21	26,5	21,36
1 x 2,5	0,7	7,5	79	7,98	30	27	15,92	12,88
1 x 4	0,7	8	97	4,95	40	35	9,96	8,1
1 x 6	0,7	8,5	120	3,3	52	44	6,74	5,51
1 x 10	0,7	9,6	167	1,91	72	58	4	3,31
1 x 16	0,7	10,6	226	1,21	97	75	2,51	2,12
1 x 25	0,9	12,3	321	0,78	122	96	1,59	1,37
1 x 35	0,9	13,8	421	0,55	153	117	1,15	1,01
1 x 50	1	15,4	579	0,38	188	138	0,85	0,77
1 x 70	1,1	17,3	780	0,27	243	170	0,59	0,56
1 x 95	1,1	19,2	995	0,20	298	202	0,42	0,43
1 x 120	1,2	21,3	1240	0,16	350	230	0,34	0,36
1 x 150	1,4	23,4	1529	0,12	401	260	0,27	0,31
1 x 185	1,6	25,6	1826	0,10	460	291	0,22	0,26
1 x 240	1,7	28,6	2383	0,08	545	336	0,17	0,22
1 x 300	1,8	31,3	2942	0,06	630	380	0,14	0,19
1 x 400	2	36	3921	0,05		446	0,11	0,17
2 x 1,5	0,7	10	134	13,3	23	24	30,98	24,92
2 x 2,5	0,7	10,9	169	7,98	32	32	18,66	15,07
2 x 4	0,7	11,8	213	4,95	44	42	11,68	9,46
2 x 6	0,7	12,9	271	3,3	57	53	7,90	6,42
2 x 10	0,7	15,2	399	1,91	78	70	4,67	3,84
2 x 16	0,7	17,7	566	1,21	104	91	2,94	2,45
2 x 25	0,9	Consultar	Consultar	0,78	135	116	1,86	1,59
2 x 35	0,9	Consultar	Consultar	0,55	168	140	1,34	1,16
2 x 50	1	Consultar	Consultar	0,38	204	166	0,99	0,88
3 G 1,5	0,7	10,4	150	13,3	23	24	30,98	24,92
3 G 2,5	0,7	11,4	193	7,98	32	32	18,66	15,07
3 G 4	0,7	12,4	250	4,95	44	42	11,68	9,46
3 G 6	0,7	13,6	324	3,3	57	53	7,90	6,42
3 G 10	0,7	16	486	1,91	78	70	4,67	3,84
3 G 16	0,7	18,7	696	1,21	104	91	2,94	2,45
3 x 25	0,9	Consultar	Consultar	0,78	115	96	1,62	1,38
3 x 35	0,9	Consultar	Consultar	0,55	143	117	1,17	1,01
3 x 50	1	Consultar	Consultar	0,38	174	138	0,86	0,77
3 x 70	1,1	Consultar	Consultar	0,27	223	170	0,6	0,56
3 x 95	1,1	Consultar	Consultar	0,20	271	202	0,43	0,42
3 x 120	1,2	Consultar	Consultar	0,16	314	230	0,34	0,35
3 x 150	1,4	Consultar	Consultar	0,12	359	260	0,28	0,3
3 x 185	1,6	Consultar	Consultar	0,10	409	291	0,22	0,26
3 x 240	1,7	Consultar	Consultar	0,08	489	336	0,17	0,21
3 x 300	1,8	Consultar	Consultar	0,06	549	380	0,14	0,18.../...

(1) Valores aproximados.

(2) Instalación en bandeja al aire (40 °C).
→ XLP3 con instalación tipo F → columna 11 (1x trifásica).
→ XLP2 con instalación tipo E → columna 12 (2x, 3G monofásica).
→ XLP3 con instalación tipo E → columna 10b (3x, 4G, 4x, 5G trifásica).

(3) Instalación enterrada, directamente o bajo tubo con resistividad térmica del terreno estándar de 2,5 K.m /W.
→ XLPE3 con instalación tipo Método D1/D2 (Cu) → 1x, 3x, 4G, 4x, 5G trifásica.
→ XLPE2 con instalación tipo D1/D2 (Cu) → 2x, 3G monofásica.

Según UNE-HD 60364-5-52 e IEC 60364-5-52.

Prysmian

A brand of Prysmian Group

AFUMEX CLASS 1000 V (AS) - RZ1-K (AS)

Tensión asignada: 0,6/1 kV
Norma diseño: UNE 21123-4
Designación genérica: RZ1-K (AS)

Datos técnicos

Número de conductores x sección (mm²)	Espesor de aislamiento (mm) (1)	Diámetro exterior (mm) (1)	Peso (kg/km) (1)	Resistencia del conductor a 20 °C (Ω/km)	Intensidad admisible al aire (2) (A)	Intensidad admisible enterrado (3) (A)	Caída de tensión (V/A km) (2) y (3)	
							cos Φ = 1	cos Φ = 0,8
.../...3 x 25/16	0,9/0,7	Consultar	Consultar	0,780/1,21	115	96	1,62	1,38
3 x 35/16	0,9/0,7	Consultar	Consultar	0,554/1,21	143	117	1,17	1,01
3 x 50/25	1,0/0,9	Consultar	Consultar	0,386/0,780	174	138	0,86	0,77
3 x 70/35	1,1/0,9	Consultar	Consultar	0,272/0,554	223	170	0,6	0,56
3 x 95/50	1,1/1,0	Consultar	Consultar	0,206/0,386	271	202	0,43	0,42
3 x 120/70	1,2/1,1	Consultar	Consultar	0,161/0,272	314	230	0,34	0,35
3 x 150/70	1,4/1,1	Consultar	Consultar	0,129/0,272	359	260	0,28	0,3
3 x 185/95	1,6/1,1	Consultar	Consultar	0,106/0,206	409	291	0,22	0,26
3 x 240/120	1,7/1,2	Consultar	Consultar	0,0801/0,161	489	336	0,17	0,21
3 x 300/150	1,8/1,4	Consultar	Consultar	0,0641/0,129	549	380	0,14	0,18
4 G 1,5	0,7	11,2	173	13,3	20	21	26,94	21,67
4 G 2,5	0,7	12,3	227	7,98	28	27	16,23	13,1
4 G 4	0,7	13,4	298	4,95	38	35	10,16	8,23
4 G 6	0,7	14,7	391	3,3	49	44	6,87	5,59
4 G 10	0,7	17,5	593	1,91	68	58	4,06	3,34
4 G 16	0,7	20,4	855	1,21	91	75	2,56	2,13
4 x 25	0,9	24,3	1267	0,78	115	96	1,62	1,38
4 x 35	0,9	28,4	1792	0,55	143	117	1,17	1,01
4 x 50	1,0	32,5	2439	0,38	174	138	0,86	0,77
4 x 70	1,1	37,1	3359	0,27	223	170	0,6	0,56
4 x 95	1,1	41,2	4276	0,20	271	202	0,43	0,42
4 x 120	1,2	46,7	5500	0,16	314	230	0,34	0,35
4 x 150	1,4	51,8	6750	0,12	359	260	0,28	0,3
4 x 185	1,6	57,6	8172	0,10	409	291	0,22	0,26
4 x 240	1,7	64,4	10642	0,08	489	336	0,17	0,21
5 G 1,5	0,7	12	202	13,3	20	21	26,94	21,67
5 G 2,5	0,7	13,3	266	7,98	28	27	16,23	13,1
5 G 4	0,7	14,5	351	4,95	38	35	10,16	8,23
5 G 6	0,7	16	467	3,3	49	44	6,87	5,59
5 G 10	0,7	19	711	1,91	68	58	4,06	3,34
5 G 16	0,7	22,2	1028	1,21	91	75	2,56	2,13
5 G 25	0,9	26,6	1529	0,78	115	96	1,62	1,38
5 G 35	0,9	31,4	2169	0,55	143	117	1,17	1,01
5 G 50	1,0	35,2	2969	0,38	174	138	-	-

(1) Valores aproximados.

(2) Instalación en bandeja al aire (40 °C).
→ XLP3 con instalación tipo F → columna 11 (1x trifásica).
→ XLP2 con instalación tipo E → columna 12 (2x, 3G monofásica).
→ XLP3 con instalación tipo E → columna 10b (3x, 4G, 4x, 5G trifásica).

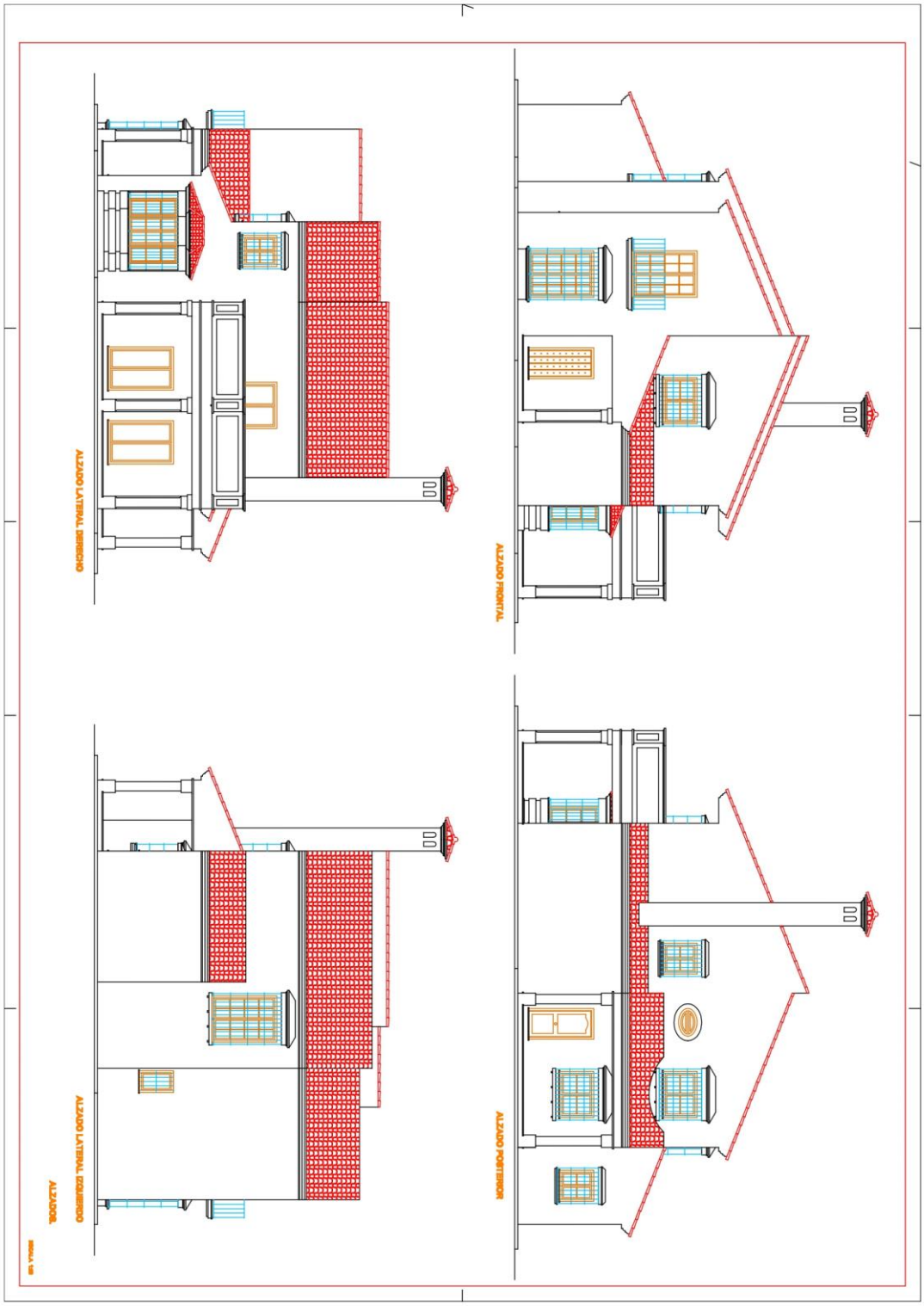
(3) Instalación enterrada, directamente o bajo tubo con resistividad térmica del terreno estándar de 2,5 K.m /W.
→ XLPE3 con instalación tipo Método D1/D2 (Cu) → 1x, 3x, 4G, 4x, 5G trifásica.
→ XLPE2 con instalación tipo D1/D2 (Cu) → 2x, 3G monofásica.

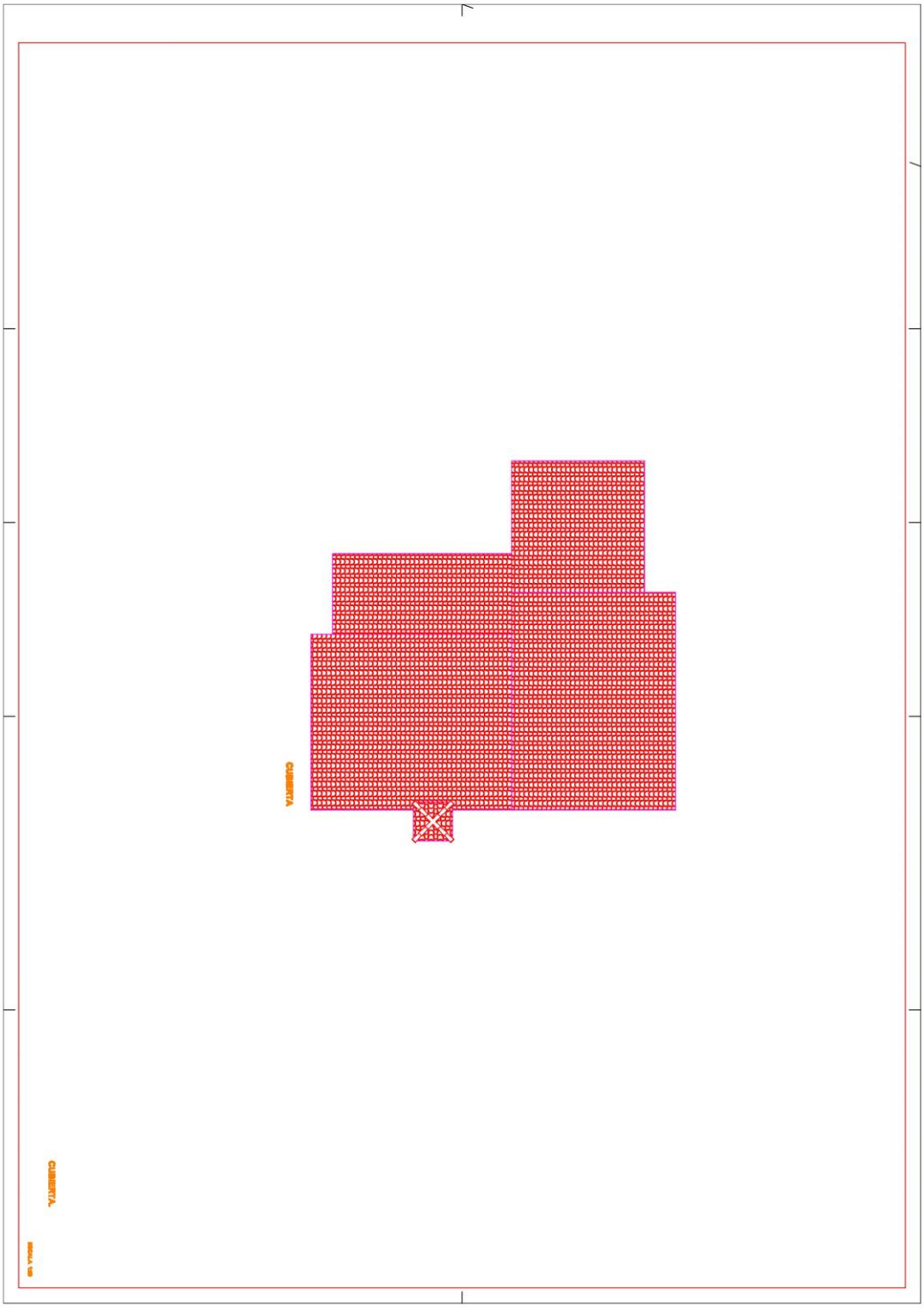
Según UNE-HD 60364-5-52 e IEC 60364-5-52.

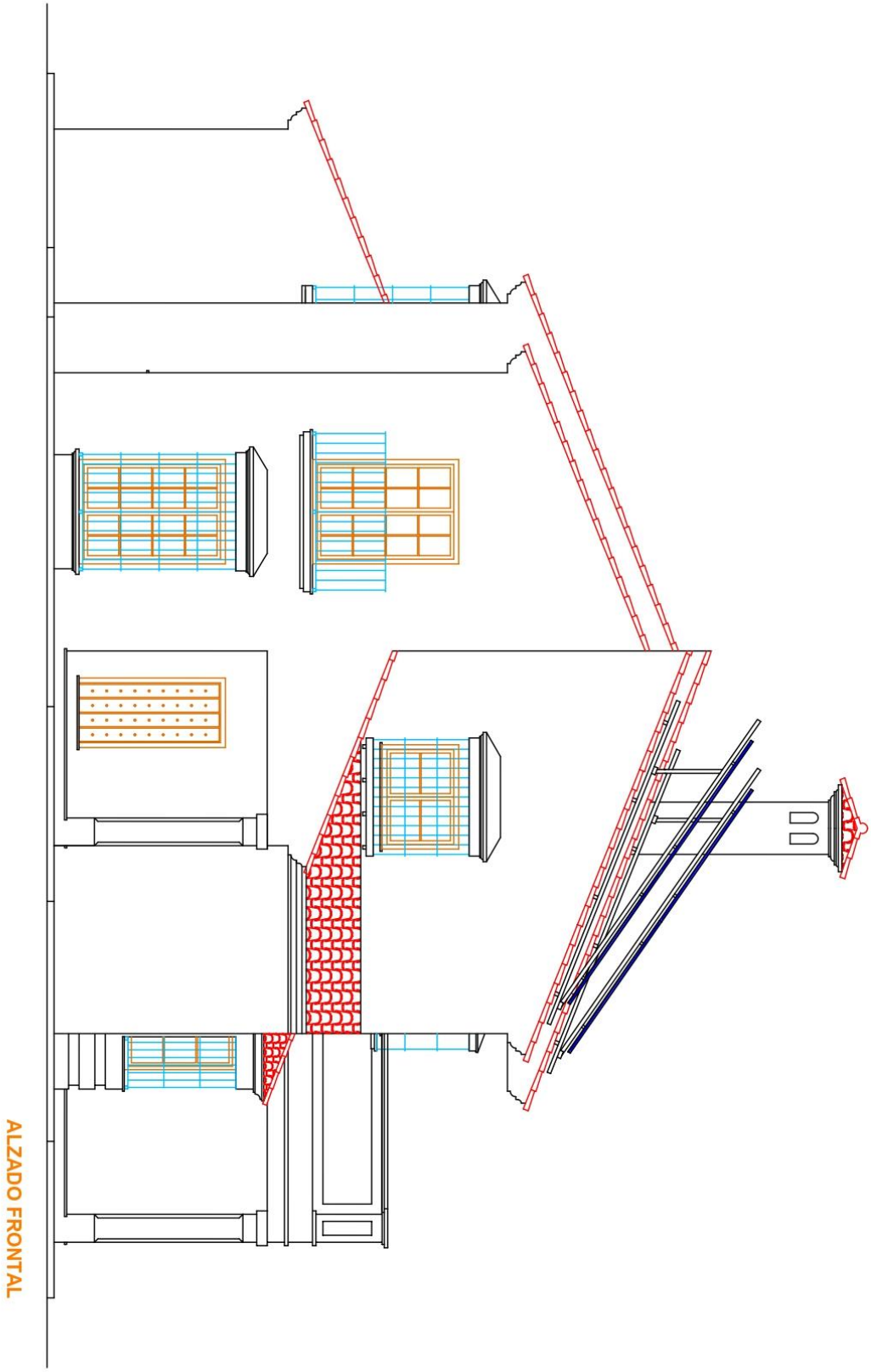
Prysmian

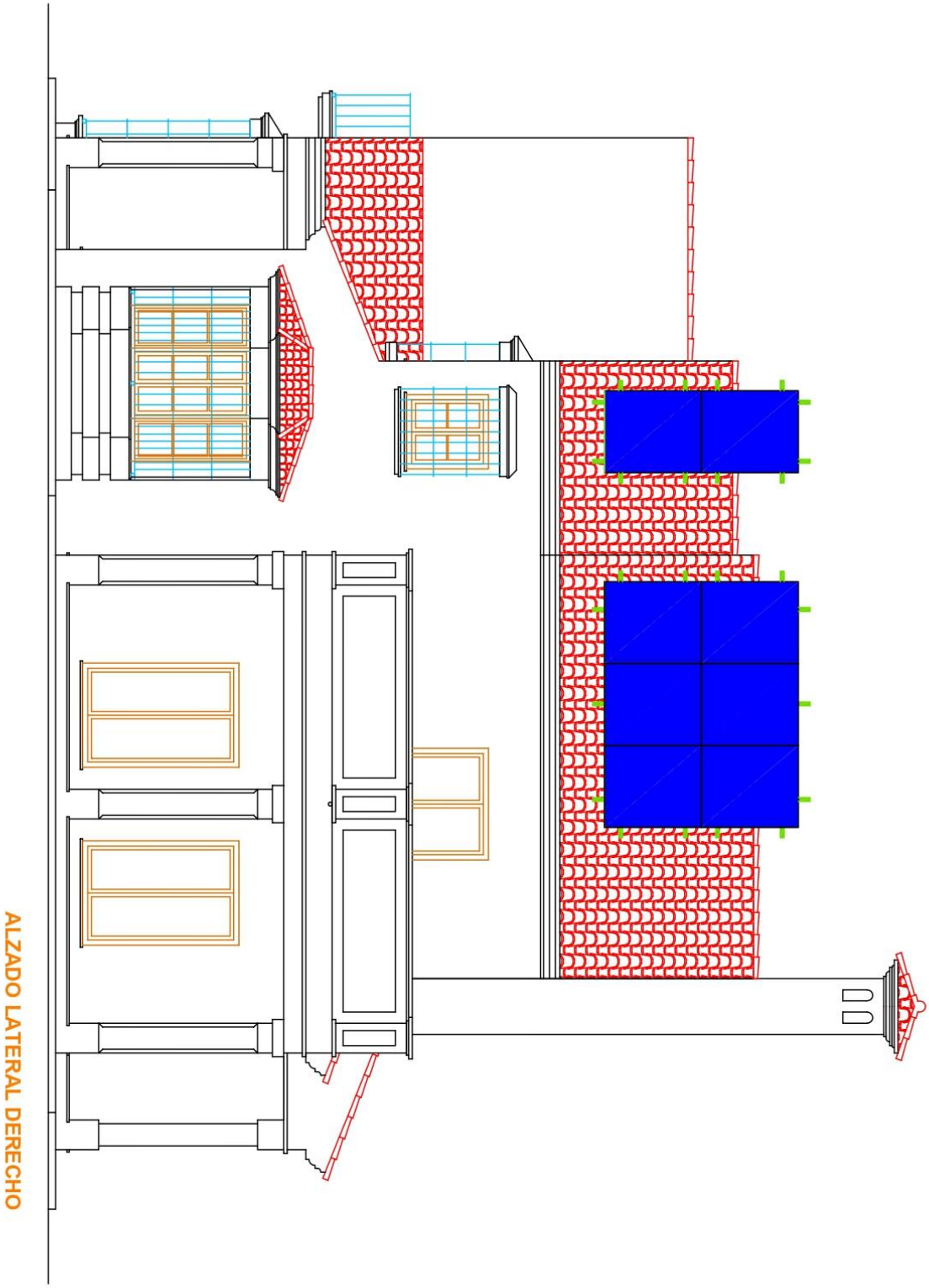
A brand of Prysmian Group

6.3 Planos de la vivienda

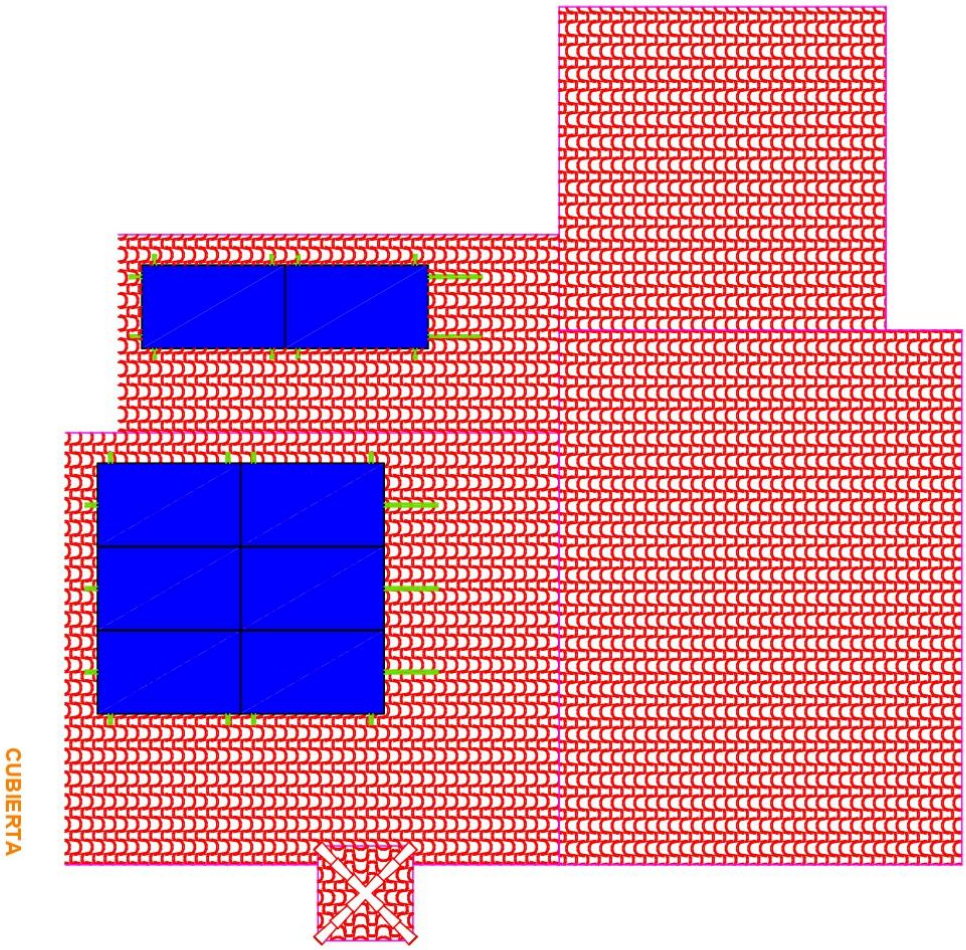



CUBIERTA
CUBIERTA
ESCALA 1:50


ALZADO FRONTAL



ALZADO LATERAL DERECHO


CUBIERTA

6.4 Simulación del proyecto en PVSyst

PVsyst V8.0.13

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: Nuevo Proyecto

Variant: Nueva variante de simulación

No 3D scene defined, no shadings

System power: 4840 Wp

La Jara - Spain

PVsyst TRIAL

Author

Project: Nuevo Proyecto

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.13
VC0, Simulation date:
24/06/25 20:51
with V8.0.13

Project summary

Geographical Site
La Jara
Spain

Situation

Latitude	36.76 °(N)
Longitude	-6.38 °(W)
Altitude	12 m
Time zone	UTC+1

Project settings

Albedo	0.20

Weather data
La Jara
Meteonorm 8.2 (2004-2020), Sat=46% - Sintético

System summary

Grid-Connected System
Simulation for year no 10

No 3D scene defined, no shadings

Orientation #1
Fixed plane

Tilt/Azimuth	35 / 0 °

Near Shadings
no Shadings

User's needs
Fixed constant load
529 W
Global
4630 kWh/Year

System information

PV Array

Nb. of modules	8 units
Pnom total	4840 Wp

Inverters

Nb. of units	1 unit
Total power	5 kWac
Pnom ratio	0.97

Results summary

Produced Energy	8549.8 kWh/year	Specific production	1766 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	83.11 %
Used Energy	4630.0 kWh/year			Solar Fraction SF	43.02 %

Table of contents

Project and results summary 2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses 3
Main results 4
Loss diagram 5
Predef. graphs 6
Single-line diagram 7
Cost of the system 8
Financial analysis 9
CO_2 Emission Balance 12

PVsyst TRIAL

Project: Nuevo Proyecto

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.13
VC0, Simulation date:
24/06/25 20:51
with V8.0.13

General parameters

Grid-Connected System — **No 3D scene defined, no shadings**

Orientation #1
Fixed plane
Tilt/Azimuth 35 / 0 °

Models used
Transposition Perez
Diffuse Perez, Meteonorm
Circumsolar separate

Horizon
Free Horizon

Near Shadings
no Shadings

User's needs
Fixed constant load
529 W
Global
4630 kWh/Year

PV Array Characteristics

PV module
Manufacturer Generic
Model JKM-605N-78HL4-BDV
(Original PVsyst database)
Unit Nom. Power 605 Wp
Number of PV modules 8 units
Nominal (STC) 4840 Wp
Modules 1 strings x 8 In series
At operating cond. (50°C)
Pmpp 4479 Wp
U mpp 337 V
I mpp 13 A

Inverter
Manufacturer Generic
Model SUN2000-5KTL-L1
(Original PVsyst database)
Unit Nom. Power 5.00 kWac
Number of inverters 1 unit
Total power 5.0 kWac
Operating voltage 80-600 V
Max. power (=>40°C) 5.50 kWac
Pnom ratio (DC:AC) 0.97
Power sharing within this inverter

Total PV power
Nominal (STC) 4.84 kWp
Total 8 modules
Module area 22.4 m²

Total inverter power
Total power 5 kWac
Max. power 5.5 kWac
Number of inverters 1 unit
Pnom ratio 0.97

Array losses

Thermal Loss factor
Module temperature according to irradiance
Uc (const) 20.0 W/m²K
Uv (wind) 0.0 W/m²K/m/s

DC wiring losses
Global array res. 414 mΩ
Loss Fraction 1.50 % at STC

Module Quality Loss
Loss Fraction -0.75 %

Module mismatch losses
Loss Fraction 2.00 % at MPP

Strings Mismatch loss
Loss Fraction 0.15 %

Module average degradation
Year no 10
Loss factor 0.4 %/year
Imp / Vmp contributions 80% / 20%
Mismatch due to degradation
Imp RMS dispersion 0.4 %/year
Vmp RMS dispersion 0.4 %/year

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

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.963	0.892	0.814	0.679	0.438	0.000

PVsyst TRIAL

Project: Nuevo Proyecto

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.13
VC0, Simulation date:
24/06/25 20:51
with V8.0.13

Main results

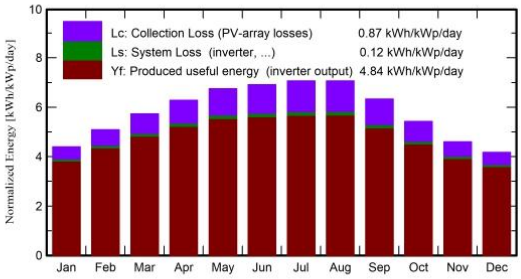
System Production

Produced Energy	8549.8 kWh/year	Specific production	1766 kWh/kWp/year
Used Energy	4630.0 kWh/year	Perf. Ratio PR	83.11 %
		Solar Fraction SF	43.02 %

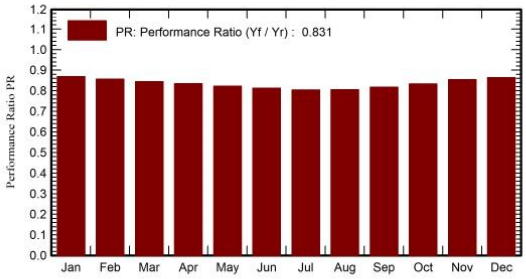
Economic evaluation

Investment		Yearly cost		LCOE	
Global	4.300.51 EUR	Annuities	0.00 EUR/yr	Energy cost	0.03 EUR/kWh
Specific	0.89 EUR/Wp	Run. costs	58.15 EUR/yr		
		Payback period	3.6 years		

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EFrGrid kWh
January	81.8	31.86	10.49	136.5	134.7	586.9	393.2	143.4	430.6	249.8
February	98.2	35.75	11.41	142.4	140.5	604.8	355.2	135.4	455.5	219.8
March	144.6	56.62	14.05	177.7	174.4	743.3	393.2	172.3	554.0	220.9
April	177.0	66.52	15.96	188.4	184.6	779.2	380.5	174.7	586.0	205.9
May	220.1	72.58	19.37	209.2	204.3	853.4	393.2	190.2	642.8	203.0
June	230.8	69.80	22.34	207.4	202.3	836.8	380.5	185.9	630.2	194.6
July	238.1	63.52	24.57	219.0	213.9	874.4	393.2	188.8	663.9	204.4
August	213.6	64.53	25.19	219.1	214.6	875.4	393.2	187.5	666.5	205.7
September	162.4	58.70	22.56	189.9	186.3	770.2	380.5	172.3	579.5	208.3
October	124.0	48.13	19.74	168.3	165.7	694.5	393.2	161.5	516.8	231.8
November	86.3	32.73	14.21	138.2	136.3	584.7	380.5	142.1	429.2	238.4
December	73.5	26.67	11.74	129.4	127.7	553.0	393.2	137.9	402.6	255.3
Year	1850.6	627.41	17.67	2125.5	2085.4	8756.5	4630.0	1992.0	6557.8	2638.0

Legends

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

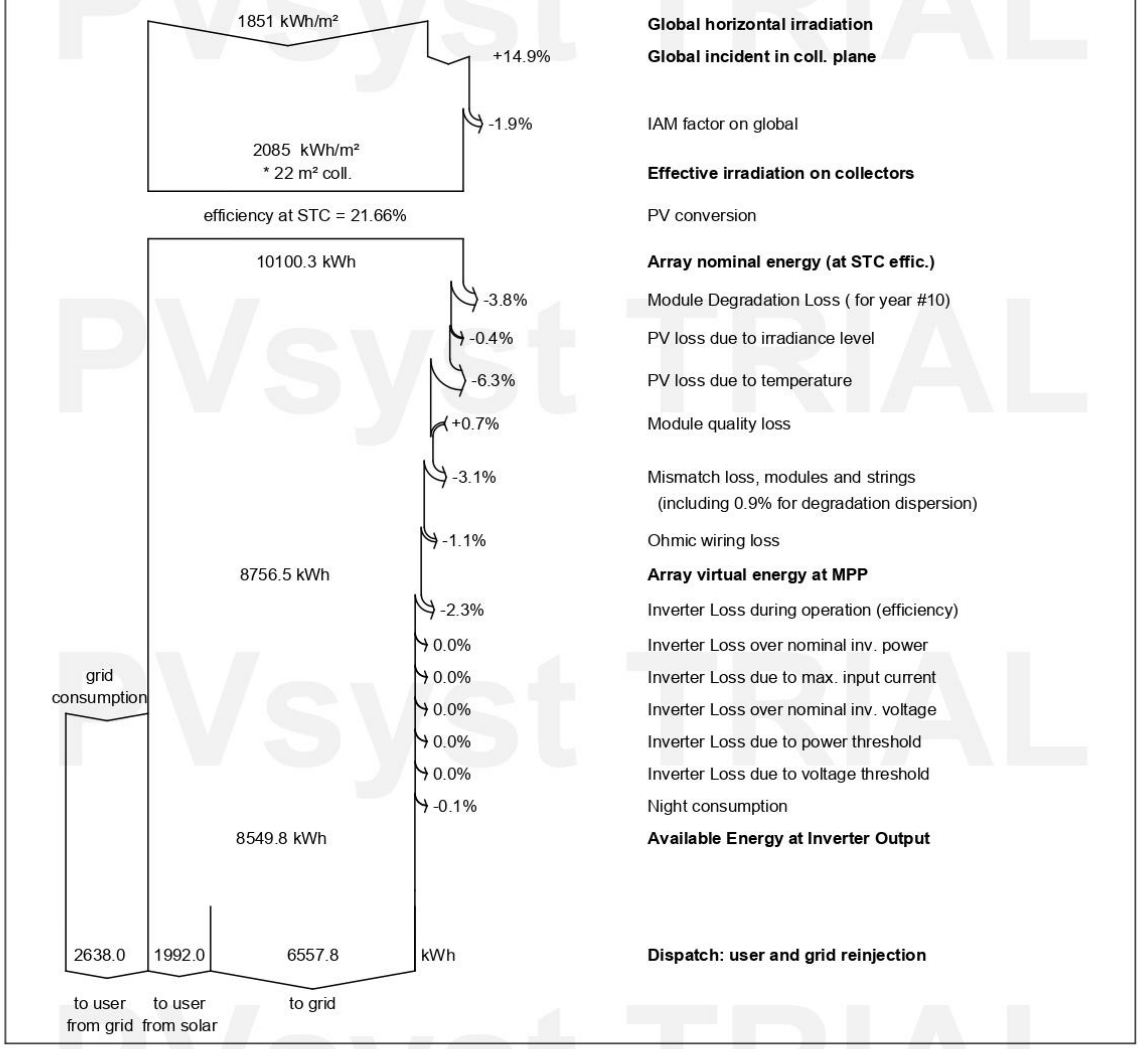
PVsyst TRIAL

Project: Nuevo Proyecto

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.13
VC0, Simulation date:
24/06/25 20:51
with V8.0.13

Loss diagram



Project: Nuevo Proyecto

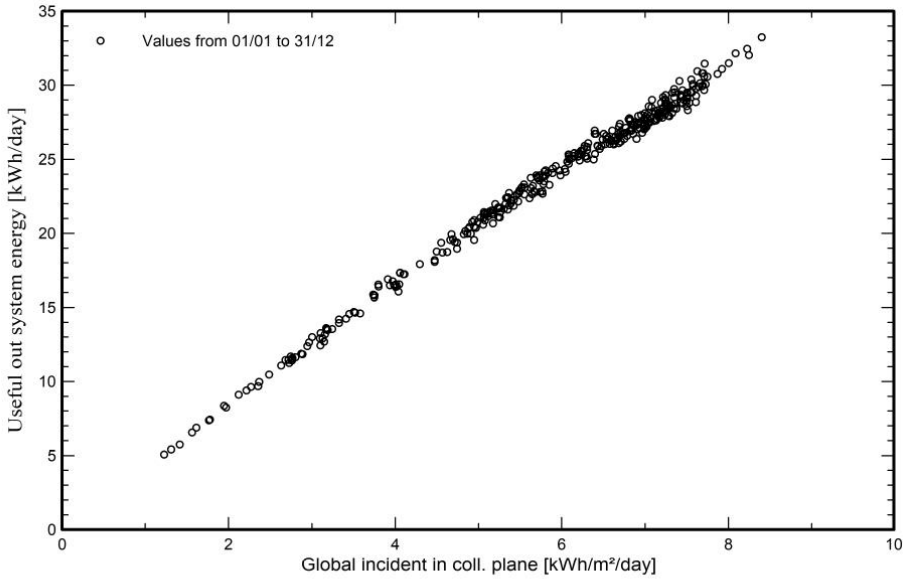
Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.13
VC0, Simulation date:
24/06/25 20:51
with V8.0.13

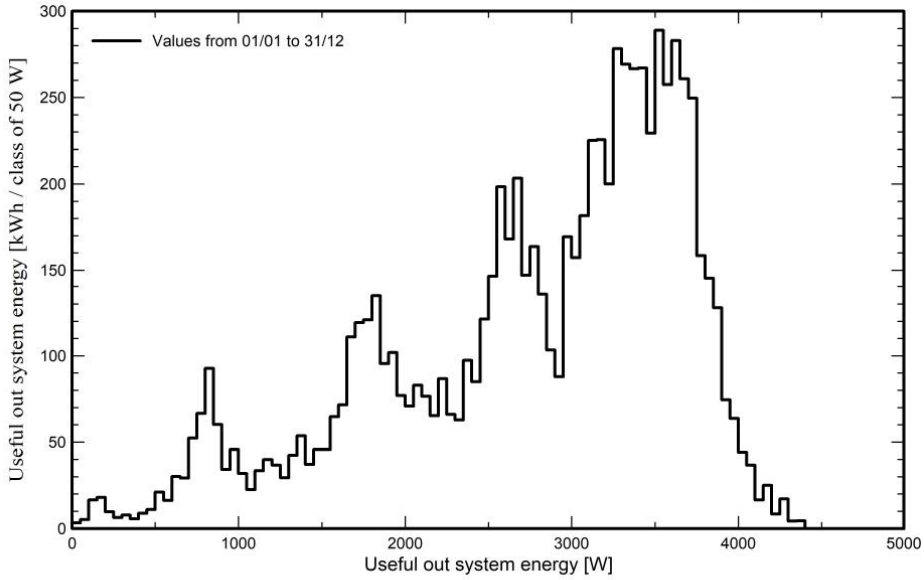
PVsyst TRIAL

Predef. graphs

Daily Input/Output diagram



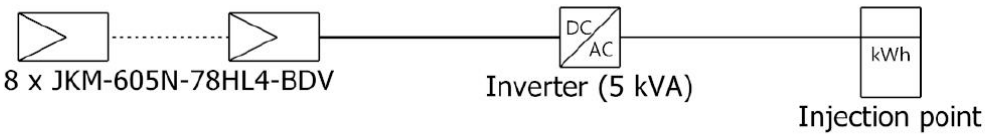
System Output Power Distribution



84

Single-line diagram

PVsyst V8.0.13
VC0, Simulation date:
24/06/25 20:51
with V8.0.13



PV module	JKM-605N-78HL4-BDV
Inverter	SUN2000-5KTL-L1
String	8 x JKM-605N-78HL4-BDV

Nuevo Proyecto

VC0 : Nueva variante de simulación

24/06/25

Project: Nuevo Proyecto

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.13
VC0, Simulation date:
24/06/25 20:51
with V8.0.13

Cost of the system

Installation costs

Item	Quantity units	Cost EUR	Total EUR
PV modules			
JKM-605N-78HL4-BDV	8	151.39	1.211.12
Supports for modules	3	250.00	750.00
Inverters			
SUN2000-5KTL-L1	1	749.00	749.00
Other components			
Accessories, fasteners	1	89.99	89.99
Wiring	72	0.70	50.40
Combiner box	1	150.00	150.00
Installation			
Global installation cost per inverter	1	1.000.00	1.000.00
Settings	1	300.00	300.00
		Total	4.300.51
		Depreciable asset	2.800.11

Operating costs

Item	Total EUR/year
Maintenance	
Repairs	43.00
Total (OPEX)	43.00
Including inflation (2.00%)	58.15

System summary

Total installation cost	4.300.51 EUR
Operating costs (incl. inflation 2.00%/year)	58.15 EUR/year
Useful energy from solar	1992 kWh/year
Energy sold to the grid	6558 kWh/year
Cost of produced energy (LCOE)	0.0270 EUR/kWh

PVsyst TRIAL

Project: Nuevo Proyecto

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.13
VC0, Simulation date:
24/06/25 20:51
with V8.0.13

Financial analysis

Simulation period

Project lifetime	30 years	Start year	2025

Income variation over time

Inflation	2.00 %/year
Module Degradation	0.80 %/year
Discount rate	3.00 %/year

Income dependent expenses

Income tax rate	0.00 %/year
Other income tax	0.00 %/year
Dividends	0.00 %/year

Depreciable assets

Asset	Depreciation method	Depreciation period (years)	Salvage value (EUR)	Depreciable (EUR)
PV modules				
JKM-605N-78HL4-BDV	Straight-line	20	0.00	1.211.12
Supports for modules	Straight-line	20	0.00	750.00
Inverters				
SUN2000-5KTL-L1	Straight-line	20	0.00	749.00
Accessories, fasteners	Straight-line	20	0.00	89.99
		Total	0.00	2.800.11

Financing

Own funds	3.010.51 EUR
Subsidies	1.290.00 EUR

Electricity sale

Feed-in tariff	0.09680 EUR/kWh
Duration of tariff warranty	20 years
Annual connection tax	0.00 EUR/year
Annual tariff variation	0.0 %/year
Feed-in tariff decrease after warranty	0.00 %

Self-consumption

Consumption tariff	0.15750 EUR/kWh
Tariff evolution	+1.0 %/year

Return on investment

Payback period	3.6 years
Net present value (NPV)	13.507.88 EUR
Internal rate of return (IRR)	29.51 %
Return on investment (ROI)	448.7 %

PVsyst TRIAL

Project: Nuevo Proyecto

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.13
VC0, Simulation date:
24/06/25 20:51
with V8.0.13

Financial analysis

Detailed economic results (EUR)

Year	Electricity sale	Own funds	Run. costs	Deprec. allow.	Taxable income	Taxes	After-tax profit	Self-cons. saving	Cumul. profit	% amorti.
0	0	3.011	0	0	0	0	0	0	-3.011	0.0%
1	636	0	43	140	453	0	593	314	-2.130	29.2%
2	631	0	44	140	447	0	587	314	-1.281	57.4%
3	626	0	45	140	441	0	581	315	-461	84.7%
4	621	0	46	140	435	0	575	316	330	111.0%
5	616	0	47	140	429	0	569	316	1.093	136.3%
6	611	0	47	140	423	0	563	317	1.830	160.8%
7	606	0	48	140	417	0	557	317	2.541	184.4%
8	601	0	49	140	412	0	552	318	3.228	207.2%
9	596	0	50	140	406	0	546	319	3.890	229.2%
10	591	0	51	140	400	0	540	319	4.530	250.5%
11	587	0	52	140	394	0	534	320	5.147	271.0%
12	582	0	53	140	388	0	528	320	5.742	290.7%
13	577	0	55	140	383	0	523	321	6.317	309.8%
14	573	0	56	140	377	0	517	322	6.871	328.2%
15	568	0	57	140	371	0	511	322	7.406	346.0%
16	564	0	58	140	366	0	506	323	7.922	363.2%
17	559	0	59	140	360	0	500	324	8.421	379.7%
18	555	0	60	140	354	0	494	324	8.901	395.7%
19	550	0	61	140	349	0	489	325	9.365	411.1%
20	546	0	63	140	343	0	483	325	9.813	426.0%
21	541	0	64	0	477	0	477	326	10.245	440.3%
22	537	0	65	0	472	0	472	327	10.662	454.1%
23	533	0	66	0	466	0	466	327	11.064	467.5%
24	528	0	68	0	461	0	461	328	11.451	480.4%
25	524	0	69	0	455	0	455	329	11.826	492.8%
26	520	0	71	0	449	0	449	329	12.187	504.8%
27	516	0	72	0	444	0	444	330	12.535	516.4%
28	512	0	73	0	438	0	438	330	12.871	527.5%
29	508	0	75	0	433	0	433	331	13.195	538.3%
30	504	0	76	0	427	0	427	332	13.508	548.7%
Total	**17.015**	**3.011**	**1.744**	**2.800**	**12.470**	**0**	**15.270**	**9.679**	**13.508**	**548.7%**

PVsyst TRIAL

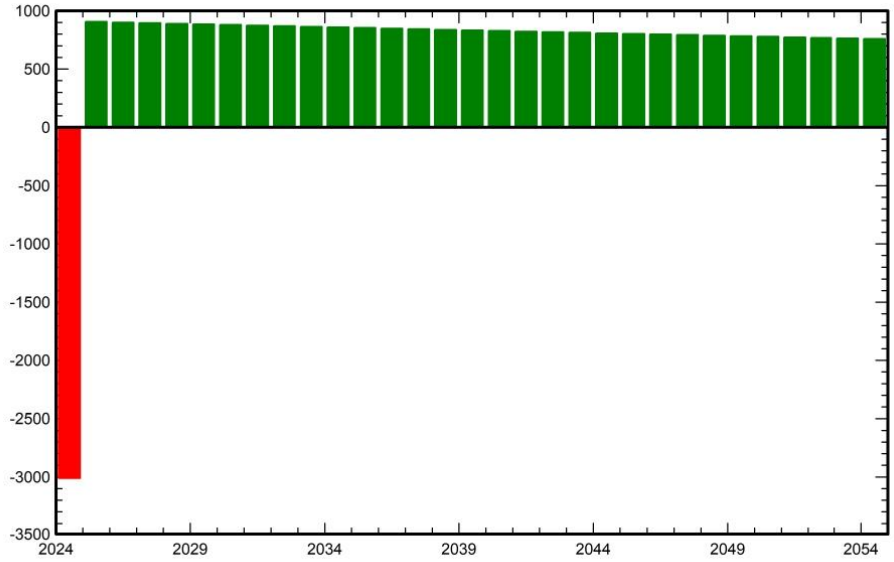
Project: Nuevo Proyecto

Variant: Nueva variante de simulación

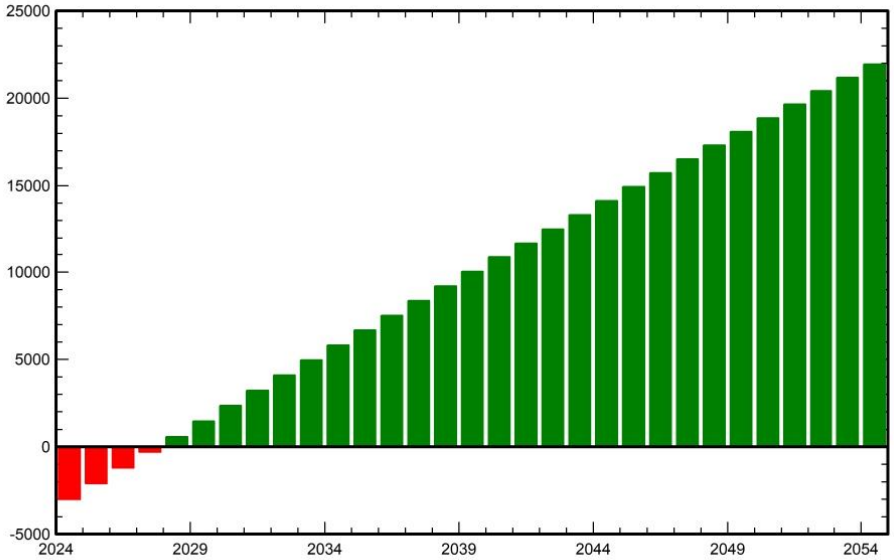
PVsyst V8.0.13
VC0, Simulation date:
24/06/25 20:51
with V8.0.13

Financial analysis

Yearly net profit (EUR)



Cumulative cashflow (EUR)



Project: Nuevo Proyecto

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.13
VC0, Simulation date:
24/06/25 20:51
with V8.0.13

CO_2 Emission Balance

Total:	55.3 tCO_2

Generated emissions

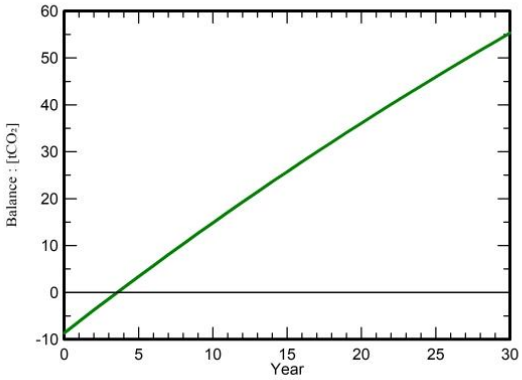
Total:	8.63 tCO_2

Source: Detailed calculation from table below

Replaced Emissions

Total:	73.7 tCO_2
System production:	8558.86 kWh/yr
Grid Lifecycle Emissions:	287 gCO_2/kWh
Source:	IEA List
Country:	Spain
Lifetime:	30 years
Annual degradation:	1.0 %

Saved CO_2 Emission vs. Time



System Lifecycle Emissions Details

Item	LCE	Quantity	Subtotal
			[$kgCO_2$]
Modules	1713 kgCO2/kWp	4.84 kWp	8290
Supports	1.91 kgCO2/kg	80.0 kg	153
Inverters	190 kgCO2/units	1.00 units	190

BIBLIOGRAFÍA

[1] Iberdrola, «¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas?», *https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica*

[2] Fundación Aquae, «Ventajas y desventajas de la energía solar», *https://www.fundacionaquae.org/wiki/energia-solar-ventajas-desventajas/*

[3] Apaga Luz, «Datos y gráficas», *https://www.apaga-luz.com/graficas/*

[4] Repsol, «Cómo funcionan y se instalan las placas solares», *https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/funcionamiento-instalacion-placas-solares/*

[5] PVGis, «PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM», *https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/*

[6] E4e Soluciones, «La importancia del ángulo solar en las placas fotovoltaicas», *https://www.e4e-soluciones.com/blog-eficiencia-energetica/importancia-angulo-solar-placas-fotovoltaicas*

[7] EnelX, «¿Qué es el almacenamiento de energía en casa?», *https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/energy-storage-how-does-a-battery-work-what-are-the-benefits*

[8] Autosolar, «¿Qué tipo de panel solar se necesita para una casa?», *https://autosolar.es/mi-experiencia-placas-solares/que-tipo-de-panel-solar-se-necesita-para-una-casa*

[9] Tecnosol, «ORIENTACION E INCLINACION PARA UN MEJOR APROVECHAMIENTO SOLAR», *https://tecnosolab.com/noticias/orientacion-e-inclinacion-para-mejor-aprovechamiento-solar/*

[10] La Bodega Solar, «¿Cómo funcionan los paneles solares en una casa?», *https://www.labodegasolar.com/blogs/blog/como-funcionan-los-paneles-solares-en-una-casa*

[11] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), «Guía técnica sobre bombas de calor geotérmicas», *https://www.idae.es/*

[12] pv magazine, «Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos para autoconsumo 100%», *https://www.pv-magazine.es/2024/10/02/dimensionamiento-de-sistemas-fotovoltaicos-para-autoconsumo-100/*

[13] Solar360, «La mejor inclinación y orientación para placas solares», *https://www.solar360.es/blog/instalacion-y-mantenimiento/mejor-orientacion-placas-solares*

[14] Jinko Solar, «Tiger Neo N-type 78HL4-BDV 605-625 Watt», *https://www.jinkosolarpv.com/product-item-20.html*

[15] Autosolar, «Cómo afectan las sombras en los paneles solares», *https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/como-afectan-las-sombras-en-los-paneles-solares*

[16] Aliexpress «Jinko 78HL4-Bdv 605W 610W 615W0620W Módulo bifacial con sistema de paneles solares de doble vidrio de 605 vatios», *TUYA New Energy Store*

[17] LeroyMerlin, «Inversor Huawei SUN2000-5KTL-L1 5000W», *https://www.leroymerlin.es*

[18] Huawei, «SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1», *https://solar.huawei.com/es/products/SUN2000-3-4-5-6KTL-L1/*

[19] Huawei, «LUNA2000-5/10/15-S0», *https://solar.huawei.com/es/products/LUNA2000-5-10-15-S0/*

[20] AtersaShop, «¿Cómo calcular cuántas baterías solares necesito en mi instalación solar?», *https://atersa.shop/como-calcular-cuantas-baterias-solares-necesito-en-mi-instalacion-solar/?gad_source=1&gad_campaignid=17545487893&gbraid=0AAAAADDPyijLw9dcA9Qp-Tg61SIFxk_hc&gclid=CjwKCAjw9anCBhAWEiwAqBJ-cwzCjo0Vrx6FvckDcc7RuG-yFJ6y4s46ReQPcww1peIKrYbzaJamIBoCQ4cQAvD_BwE#Como_calcular_cuanta_capacidad_de_almacenamiento_necesitas*

[21] Huawei, «Smart Power Sensor», *https://solar.huawei.com/download?p=%2f-%2fmedia%2fSolarV4%2fsolar-version2%2feurope%2fes%2fprofessionals%2fall-products%2fresidential%2faccessories%2fDTSU666-H-250A-50mA%2fDTSU666-H-250A-50mA.pdf*

[22] LeroyMerlin, «Medidor de producción HUAWEI Smart Power Sensor DDSU666-H», *https://www.leroymerlin.es*

[23] Solarstem, «Manual sistema AF-GRID (soporte triangular)», *https://solarstem.com/estructuras-para-paneles-fotovoltaicos/*

[24] Aemet, «DATOS AEMET - Open Data - / Temperatura», *https://datosclima.es/Aemethistorico/Tempestad.php*

[25] UNE-EN 50618:2015, «Cables eléctricos para sistemas fotovoltaicos»

[26] Auna Distribucion, «TOPSOLAR PV H1Z2Z2-K», *https://www.aunadistribucion.com/uploads/renovables/fichas-tecnicas/172928_5601004rr100-top-ft.pdf*

[27] Top Cable, «TOPSOLAR PV H1Z2Z2-K», *https://www.topcable.com/es/cable/topsolar-pv-zz-f-h1z2z2-k/*

[28] Iberdrola, «¿Qué mantenimiento necesitan mis paneles solares?», *https://www.iberdrola.es/blog/autoconsumo/mantenimiento-placas-solares-limpiar*

[29] UNE 20435

[30] UNE-HD 60364-5-52

[31] IEC 62548

[32] Prysmian, «El libro blanco de la instalación», *https://www.prysmiangroupcatalogue.com/prysmian/libro-blanco-instalacion-baja-tension/*

[33] Prysmian, «Prysmian PRYSOLAR e-SenS 1,5kVdc | H1Z2Z2-K | Eca»

[34] LeroyMerlin, «Cable Prysmian Prysolar H1Z2Z2-K 4mm2», *https://www.leroymerlin.es*

[35] ITC-BT 40 (REBT)

[36] Prysmian, «Afumex Class 1000V (AS) | RZ1-K (AS) | Cca-s1b,d1,a1»

[37] gruponovelec, «CABLE AFUMEX CLASS 1000V (AS) RZ1-K (AS) 3G4 (ROLLO)», *https://www.gruponovelec.com/p/pir_20193691*

[38] Guía-BT-22, *https://www.tuveras.com/reglamentos/guiatecnica/guia_bt_22_oct05R1.pdf*

[39] Agencia Andaluza de la Energía, «Incentivos para energías renovables en autoconsumo, almacenamiento y para térmicas en sector residencial», *https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/todos-los-programas/incentivos-para-energias-renovables-en-autoconsumo-almacenamiento-y-para-termicas-en-sector-residencial*

[40] Geesol, «Deducción IRPF por Paneles Solares en Andalucía: Ahorra Hasta un 60% en tu Declaración de la Renta», *https://www.geesol.com/deduccion-irpf-por-paneles-solares-en-andalucia-ahorra-hasta-un-60-en-tu-declaracion-de-la-renta/#:~:text=Base%20m%C3%A1xima%20anual%20de%20deducci%C3%B3n%3A%205.000%20euros%2C%20con%20un%20l%C3%ADmite,15.000%20euros%20en%20cuatro%20a%C3%B1os.*

[41] PVSyst, *https://www.pvsyst.com/*

[42] Baterias y Amperios, «¿Qué Batería e Inversor elijo para mi instalación solar?», *https://bateriasyamperios.com/guia-e-instalacion/que-bateria-e-inversor-elijo-para-mi-instalacion-solar/*

GLOSARIO

ACS: Agua Caliente Sanitaria

CA: Corriente Alterna

CC: Corriente Continua

CGP: Caja General de Protección

CO2: Dióxido de Carbono

COP: Coeficiente de Rendimiento

EMC: Compatibilidad Electromagnética

EN: English

GHP: Bomba de Calor a Gas

GTO: Gate Turn-Off Thyristor

IEC: Comisión Electrotécnica Internacional

IGBT: Transistor Bipolar de Puerta Aislada

IP: Ingress Protection

IRPF: Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas

LED: Light-Emitting Diode

MMPT: Punto de Máxima Potencia (posible corrección: MPPT)

MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor

PdC: Poder de Corte

PERC: Passivated Emitter and Rear Cell

PNIEC: Plan Nacional Integrado de Energía y Clima

PRTR: Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia

PVC: Polyvinyl Chloride

REBT: Reglamento Eléctrico de Baja Tensión

TIR: Tasa Interna de Rentabilidad

UE: Unión Europea

UNE: Asociación Española de Normalización

VAN: Valor Actual Neto

XLPE: Polietileno Reticulado