



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO ELÉCTRICO FOTOVOLTAICO EN UNA RESIDENCIA PRIVADA EN POZUELO DE ALARCÓN

Autor: Carlos Fernández Abad

Director: Consolación Alonso Alonso

Madrid

Julio de 2025

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO
ELÉCTRICO FOTOVOLTAICO EN UNA RESIDENCIA PRIVADA EN POZUELO DE
ALARCÓN**

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

curso académico 2024/2025 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Carlos Fernández Abad

Fecha: 21/07/2025

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.:

Fecha://



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO ELÉCTRICO FOTOVOLTAICO EN UNA RESIDENCIA PRIVADA EN POZUELO DE ALARCÓN

Autor: Carlos Fernández Abad

Director: Consolación Alonso Alonso

Madrid

Julio de 2025

Agradecimientos

Quiero dedicar unas palabras de agradecimiento a todas las personas que han formado parte de este camino y han contribuido, directa o indirectamente, a que hoy este trabajo sea una realidad.

A mi familia, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida y, especialmente, durante estos años de grado. Gracias por creer en mí, por acompañarme en cada paso y por darme la oportunidad de alcanzar mis metas, aunque a veces me costase un poco.

A la facultad y a todos los profesores que, con su dedicación y exigencia, me han preparado de forma excelente para afrontar mi futuro profesional.

A los amigos que me han acompañado en esta etapa, tanto los que he conocido durante la carrera como los que han estado siempre, incluso en la distancia. Gracias por vuestra cercanía, por las risas, los ánimos y el apoyo constante.

Y, muy especialmente, a Consuelo, mi directora de trabajo, por su tiempo, implicación y guía a lo largo de este proyecto. Sin su ayuda, este trabajo no habría sido posible.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO ELÉCTRICO FOTOVOLTAICO EN UNA RESIDENCIA PRIVADA EN POZUELO DE ALARCÓN

Autor: Fernández Abad, Carlos.

Director: Alonso Alonso, Consolación.

Entidad Colaboradora: Universidad Pontificia Comillas, ICAI.

RESUMEN DEL PROYECTO

Este trabajo estudia la viabilidad técnica y económica de una instalación fotovoltaica de autoconsumo en una vivienda unifamiliar en Pozuelo de Alarcón. Mediante el uso del software PVsyst, se diseña un sistema de 3,85 kW pico que cubre el consumo eléctrico anual y permite reducir la factura casi a cero. Un posterior análisis económico confirma la rentabilidad de la inversión y su contribución a la sostenibilidad.

Palabras clave: Fotovoltaica, Autoconsumo, PVsyst, Energía Solar, Instalación residencial

En el contexto actual de transición energética y lucha contra el cambio climático, el autoconsumo fotovoltaico se presenta como una solución eficaz y sostenible para la generación eléctrica en el ámbito doméstico. Este trabajo tiene como objetivo estudiar la viabilidad técnica y económica de una instalación de autoconsumo para una vivienda unifamiliar situada en Pozuelo de Alarcón (Madrid) de 3044,5 kWh de consumo anuales, mediante un diseño que optimiza la producción energética y maximiza la rentabilidad a largo plazo.

Para ello, se ha evaluado el recurso solar disponible en la zona, el perfil de consumo real de la vivienda, y se ha utilizado el software especializado PVsyst para modelar diferentes configuraciones posibles, se ha puesto especial atención en ajustar la instalación al espacio disponible y a la demanda energética de los tres habitantes. Se han empleado datos meteorológicos de Meteonorm, PVGIS y NASA para simular el rendimiento energético anual y mensual del sistema, usando para el análisis final un promedio de las 3 bases de datos.

La instalación solar fotovoltaica está conectada a red bajo la modalidad de autoconsumo con compensación de excedentes, de acuerdo con el Real Decreto 244/2019 [1]. Se ha optado por una solución compuesta por 7 paneles Longi Solar de 550 Wp cada uno y un inversor

Huawei SUN2000-3.68KTL-L1, dando una potencia pico total de 3,85 kW y una potencia nominal de 3,7 kW.

	Promedio			
	GHI (kWh/m ²)	DHI (kWh/m ²)	Ta (°C)	FF (m/s)
Enero	66,34	23,98	4,87	2,42
Febrero	86,27	29,02	6,32	2,68
Marzo	135,26	47,23	9,43	2,93
Abril	165,79	55,62	12,33	2,88
Mayo	206,61	67,33	16,98	2,55
Junio	224,71	59,23	22,68	2,63
Julio	242,07	52,27	26,29	2,67
Agosto	212,10	47,85	25,69	2,55
Septiembre	156,42	43,76	20,78	2,29
Octubre	109,23	34,72	15,06	2,28
Noviembre	69,10	26,40	8,87	2,47
Diciembre	57,96	22,38	5,79	2,20
TMY	1731,88	22,38	14,59	2,55

Tabla 1 - Datos meteorológicos promedio

La simulación del comportamiento energético se realizó con el software PVsyst, ajustando parámetros como orientación, sistema, autoconsumo, pérdidas térmicas, suciedad, envejecimiento de módulos y sombreado. Se analizó el sistema en condiciones reales, obteniéndose un rendimiento de 79,4% respecto al óptimo. Los resultados obtenidos reflejan una producción estimada de 4847 kWh en el primer año, de los cuales 1219 kWh se emplean para autoconsumo de la casa y los restantes se venden como excedentes, cubriendo casi en su totalidad los 3045 kWh de consumo de la casa.

Año	Generación fotovoltaica (kWh)	Autoconsumo instantaneo (kWh)	Exportación de energía (kWh)	Importación de energía (kWh)
1	4847	1219	3628	1825
2	4825	1214	3611	1831
3	4803	1208	3595	1836
4	4781	1203	3578	1842
5	4759	1197	3562	1847
6	4737	1191	3545	1853
7	4715	1186	3529	1859
8	4693	1180	3512	1864
9	4670	1175	3496	1870
10	4648	1169	3479	1875
11	4626	1164	3462	1881
12	4603	1158	3446	1887
13	4581	1152	3429	1892
14	4559	1147	3412	1898
15	4537	1141	3396	1903
16	4515	1136	3379	1909
17	4493	1130	3363	1914
18	4470	1124	3346	1920
19	4448	1119	3329	1926
20	4426	1113	3313	1931
21	4404	1108	3296	1937
22	4382	1102	3280	1942
23	4360	1097	3263	1948
24	4338	1091	3247	1953
25	4316	1086	3230	1959
26	4294	1080	3214	1965
27	4271	1074	3197	1970
28	4249	1069	3180	1976
29	4227	1063	3164	1981
30	4205	1058	3147	1987
Promedio	4526	1138	3388	1906

Tabla 2 – Balance energético de la instalación

En cuanto al análisis económico, se construyó un modelo financiero para calcular la amortización de la inversión, el ahorro anual en factura eléctrica, y la rentabilidad acumulada durante los 30 años de vida útil del sistema, se observa que la factura del primer año se reduce a aproximadamente 5€. El sistema tiene un coste inicial de 4051,35€, con unos gastos de limpieza de 100€ cada 2 años y renovación del inversor cada 15. Se obtiene un VAN de 1464,08€ confirmando su rentabilidad y un TIR del 8%. Por último, gracias a la instalación se reduce la huella de carbono de la vivienda en 40 toneladas de CO₂ en los 30 años de vida de la instalación.

El análisis también muestra que el sistema mantiene un rendimiento estable y eficiente a lo largo del tiempo, y que su implantación es perfectamente replicable en otras viviendas similares del entorno urbano.

Referencias

[1] Appa Renovables. (s. f.). *Informe sobre Real Decreto de Autoconsumo APPA* (p. 21). APPA

FEASIBILITY STUDY OF A PHOTOVOLTAIC SELF-CONSUMPTION INSTALLATION IN A PRIVATE RESIDENCE IN POZUELO DE ALARCÓN

Author: Fernández Abad, Carlos.

Supervisor: Alonso Alonso, Consolación.

Collaborating Entity: Universidad Pontificia Comillas, ICAI.

ABSTRACT

This project evaluates the technical and economic feasibility of a photovoltaic self-consumption system for a single-family home located in Pozuelo de Alarcón. Using PVsyst software, a 3.85 kW peak system was designed to cover the household's annual electricity consumption and reduce the energy bill to zero. A subsequent economic analysis confirms the investment's profitability and its contribution to sustainability.

Keywords: Photovoltaic, Self-consumption, PVsyst, Solar Energy, Residential installation

In the current context of energy transition and the fight against climate change, photovoltaic self-consumption presents itself as an effective and sustainable solution for residential electricity generation. This work aims to assess the technical and economic viability of a self-consumption system for a single-family home in Pozuelo de Alarcón (Madrid) with 3044,5 kWh of annual consumption, through a design that maximizes energy production and long-term profitability.

To this end, the solar resource available in the area and the household's real electricity consumption profile were analysed. The specialized software PVsyst was used to model different configurations, special attention was given to fitting the installation to the available roof space and the energy needs of the three occupants, also considering factors such as roof tilt, orientation, and shading. Meteorological data from Meteonorm, PVGIS, and NASA were used to simulate the system's annual and monthly energy performance.

	Average			
	GHI (kWh/m ²)	DHI (kWh/m ²)	Ta (°C)	FF (m/s)
January	66,34	23,98	4,87	2,42
February	86,27	29,02	6,32	2,68
March	135,26	47,23	9,43	2,93
April	165,79	55,62	12,33	2,88
May	206,61	67,33	16,98	2,55
June	224,71	59,23	22,68	2,63
July	242,07	52,27	26,29	2,67
August	212,10	47,85	25,69	2,55
September	156,42	43,76	20,78	2,29
October	109,23	34,72	15,06	2,28
November	69,10	26,40	8,87	2,47
December	57,96	22,38	5,79	2,20
TMY	1731,88	22,38	14,59	2,55

Tabla 3 – Average meteorological year

The photovoltaic system is grid-connected under the self-consumption with surplus compensation modality, in accordance with Royal Decree 244/2019 [1]. The chosen solution consists of 7 Longi Solar panels of 550 W each and a Huawei SUN2000-3.68KTL-L1 inverter, resulting in a total peak power of 3.85 kW and a nominal AC power of 3.7 kW.

The system's energy behaviour was simulated using PVsyst software, adjusting parameters such as orientation, system layout, self-consumption settings, thermal losses, soiling, module aging, and shading. The system achieved a performance ratio of 79.4% compared to the theoretical optimum. Results show an estimated production of 4847 kWh in the first year, with 1219 kWh used for self-consumption and the rest exported to the grid, nearly covering the household's total annual consumption of 3,045 kWh.

Year	Photovoltaic generation (kWh)	Instantaneous self- consumption (kWh)	Energy export (kWh)	Energy import (kWh)
1	4847	1219	3628	1825
2	4825	1214	3611	1831
3	4803	1208	3595	1836
4	4781	1203	3578	1842
5	4759	1197	3562	1847
6	4737	1191	3545	1853
7	4715	1186	3529	1859
8	4693	1180	3512	1864
9	4670	1175	3496	1870
10	4648	1169	3479	1875
11	4626	1164	3462	1881
12	4603	1158	3446	1887
13	4581	1152	3429	1892
14	4559	1147	3412	1898
15	4537	1141	3396	1903
16	4515	1136	3379	1909
17	4493	1130	3363	1914
18	4470	1124	3346	1920
19	4448	1119	3329	1926
20	4426	1113	3313	1931
21	4404	1108	3296	1937
22	4382	1102	3280	1942
23	4360	1097	3263	1948
24	4338	1091	3247	1953
25	4316	1086	3230	1959
26	4294	1080	3214	1965
27	4271	1074	3197	1970
28	4249	1069	3180	1976
29	4227	1063	3164	1981
30	4205	1058	3147	1987
Average	4526	1138	3388	1906

Tabla 4 - Energetic balance of the installation

For the economic analysis, a financial model was developed to calculate the investment payback period, annual electricity bill savings, and accumulated profitability over the system's 30-year lifespan. The first-year bill is reduced to about €5. The total initial cost of the system is €4051.35, with €100 in cleaning expenses every two years, and an inverter replacement every 15 years. The analysis yields a Net Present Value (NPV) of €1464.08 and an Internal Rate of Return (IRR) of 8%, confirming its profitability. Lastly, the installation reduces the household's carbon footprint by 40 tons of CO₂ over its 30-year lifetime.

The analysis also confirms that the system maintains stable and efficient performance over time and that it is perfectly replicable in other similar residential settings.

References

[1] Appa Renovables. (s. f.). *Informe sobre Real Decreto de Autoconsumo APPA* (p. 21). APPA

Índice de la memoria

<i>Lista de acrónimos.....</i>	<i>X</i>
<i>Capítulo 1. Introducción</i>	<i>11</i>
1.1 Objetivo y motivación del proyecto	11
1.2 Estado de la cuestión	13
1.3 Legislación	14
1.4 Metodología y recursos a emplear.....	16
1.5 Alineación del proyecto con los ODS	18
<i>Capítulo 2. Descripción del emplazamiento</i>	<i>20</i>
2.1 Localización de la vivienda	20
2.2 Descripción de la vivienda	23
2.3 Descripción de la cubierta	27
2.4 Climatología de la zona.....	28
<i>Capítulo 3. Estudio energético de la vivienda</i>	<i>31</i>
3.1 Potencia y consumo.....	31
3.1.1 Potencia Eléctrica	31
3.1.2 Horas de Uso Anuales	31
3.1.3 Consumo.....	32
3.2 Estudio del consumo teórico de la casa.....	32
3.3 Consumo de acuerdo con la factura eléctrica	36
<i>Capítulo 4. Estudio del recurso solar.....</i>	<i>41</i>
4.1 Definición del recurso solar	41
4.1.1 Características del Sol y su Energía	41
4.2 Estudio del recurso solar de la vivienda	44
4.2.1 Bases de datos meteorológicos.....	44
4.2.2 Datos meteorológicos.....	47
<i>Capítulo 5. Componentes de una instalación de autoconsumo residencial.....</i>	<i>54</i>
5.1 Paneles solares fotovoltaicos.....	55
5.2 Inversores	58

5.3	Contador eléctrico	59
5.4	Soporte	59
Capítulo 6. Diseño de la instalación con PVsyst.....		61
6.1	PVsyst.....	61
6.2	Orientación.....	62
6.3	Sistema	63
6.4	Pérdidas	64
6.4.1	Pérdidas por parámetro térmico	64
6.4.2	Pérdidas óhmicas	66
6.4.3	Pérdidas por la calidad del módulo – LID – Desajuste	66
6.4.4	Pérdidas por suciedad.....	68
6.4.5	Pérdidas IAM.....	68
6.4.6	Pérdidas auxiliares.....	69
6.4.7	Pérdidas por envejecimiento	70
6.4.8	Pérdidas por indisponibilidad.....	71
6.5	Autoconsumo.....	72
6.6	Horizonte.....	72
6.7	Sombreados Cercanos	73
6.8	Diseño.....	74
6.8.1	Dimensionamiento de la instalación	74
6.8.2	Final	80
6.9	Análisis de resultados.....	80
6.9.1	Primer año.....	81
6.9.2	30 años	83
Capítulo 7. Estudio de viabilidad económica y beneficios ambientales		86
7.1	Presupuesto.....	86
7.2	Rentabilidad de la inversión	87
7.3	Contaminación evitada	91
Capítulo 8. Conclusiones.....		93
Bibliografía		94
Anexo I Informe de PVsyst		97

<i>Anexo II Ficha técnica placa solar.....</i>	<i>108</i>
<i>Anexo III Ficha técnica inversor.....</i>	<i>111</i>
<i>Anexo IV Ficha técnica soporte.....</i>	<i>114</i>
<i>Anexo V Ficha técnica contador.....</i>	<i>117</i>
<i>Anexo VI Ficha técnica cable.....</i>	<i>119</i>
<i>Anexo VII UNE-HD_60364-5-52_2014</i>	<i>124</i>
<i>Anexo VIII UNE-HD_60364-5-52.....</i>	<i>125</i>

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 - ODS [6]	19
Ilustración 2 - Ubicación de la vivienda (Fuente: Google maps)	20
Ilustración 3 - Parcela de Urbanización (Fuente: Google earth)	21
Ilustración 4 - Vista aérea Edificio (Fuente: Google earth).....	22
Ilustración 5 - Viviendas próximas con placas solares (Fuente: Google earth)	22
Ilustración 6 - Descripción descriptiva y gráfica catastral [7].....	23
Ilustración 7 - Plano de la vivienda (Fuente: Libro de la vivienda)	23
Ilustración 8 - Entrada	24
Ilustración 9 - Cocina	24
Ilustración 10 - Salón.....	25
Ilustración 11 - Baño	25
Ilustración 12 - Habitación 1	25
Ilustración 13 - Habitación 1 (Baño).....	25
Ilustración 14 - Habitación 2	26
Ilustración 15 - Despacho	26
Ilustración 16 - Habitación 3	26
Ilustración 17 - Habitación 3 (Baño).....	26
Ilustración 18 - Terraza.....	27
Ilustración 19 - Posibles zonas de paneles (Fuente: Google earth)	27
Ilustración 20 - Temperatura Pozuelo de Alarcón (Fuente Meteonorm).....	29
Ilustración 21 – Precipitaciones Pozuelo de Alarcón (Fuente Meteonorm).....	30
Ilustración 22 - Radiación mensual Pozuelo de Alarcón (Fuente Meteonorm)	30
Ilustración 23 - Radiación diaria Pozuelo de Alarcón (Fuente Meteonorm).....	30
Ilustración 24 - Resumen factura diciembre 2024 (Fuente Iberdrola).....	36
Ilustración 25 - Desglose de la factura eléctrica (Fuente Iberdrola).....	38
Ilustración 26 – Irradiancia debido a la variación de C [13]	42
Ilustración 27 - Comparativa espectro solar fuera y dentro de la atmósfera [13]	42
Ilustración 28 - Diferentes tipos de radiación [14].....	43

Ilustración 29 - Mapa de estaciones meteorológicas de Meteonorm (Fuente: Meteonorm)	45
Ilustración 30 - Imagen ilustrativa del GHI en el mundo en septiembre 2021 (Fuente: NASA)	46
Ilustración 31 - Pantalla de PVGIS (Fuente: PVGIS)	46
Ilustración 32 - Pantalla de NREL (Fuente: NREL)	47
Ilustración 33 - Página principal PVsyst (Fuente PVsyst)	51
Ilustración 34 - Pantalla de creación de un nuevo sitio geográfico (Fuente: PVsyst)	52
Ilustración 35 - Pantalla de PVsyst con los datos meteorológicos en promedio para la vivienda	53
Ilustración 36 - Instalación de autoconsumo [15]	54
Ilustración 37 - Curva corriente tensión a distintas temperaturas de los paneles solares [13]	56
Ilustración 38 - Partes de un panel solar fotovoltaico [16]	57
Ilustración 39 - Esquema del sistema solar fotovoltaico conectado a la red [17]	59
Ilustración 40 - Pantalla de inicio PVsyst	61
Ilustración 41 - Pantalla de proyecto (Fuente: PVsyst)	62
Ilustración 42 - Pantalla gestión de orientación de (Fuente: PVsyst)	63
Ilustración 43 - Sistema de ejemplo para el proyecto (Fuente: PVsyst)	64
Ilustración 44 - Pantalla de pérdidas por parámetro térmico (Fuente: PVsyst)	65
Ilustración 45 - Pantalla de pérdidas óhmicas (Fuente: PVsyst)	66
Ilustración 46 – Pantalla de pérdidas por la calidad del módulo – LID – Desajuste (Fuente: PVsyst)	67
Ilustración 47 - Pantalla de pérdidas por suciedad (Fuente: PVsyst)	68
Ilustración 48 – Pantalla de pérdidas IAM (Fuente: PVsyst)	69
Ilustración 49 - Pérdidas auxiliares (Fuente: PVsyst)	70
Ilustración 50 - Pantalla pérdidas por envejecimiento (Fuente: PVsyst)	71
Ilustración 51 - Pantalla autoconsumo (Fuente: PVsyst)	72
Ilustración 52 - Pantalla de Horizonte (Fuente: PVsyst)	73
Ilustración 53 - Construcción para sombreado cercano (Fuente: PVsyst)	74
Ilustración 54 - Informe de resultados variante 2,2 kW pico (Fuente: PVsyst)	75

Ilustración 55 - Informe de resultados variante 5 kW pico (Fuente: PVsyst)	76
Ilustración 56 - Informe de resultados variante 3,85 kW pico (Fuente: PVsyst)	78
Ilustración 57 - Diagrama de Sankey (Fuente: PVsyst)	82
Ilustración 58 – Diagrama unifilar de la instalación (Fuente PVsyst).....	82
Ilustración 59 - Diagrama unifilar de la instalación (Fuente: Miro)	83

Índice de gráficas

Gráfica 1 - Producción anual del autoconsumo en España [13].....	11
Gráfica 2 - Miles de Toneladas evitadas por el autoconsumo [3]	12
Gráfica 3 - Mix generación renovables 2024 [5].....	13
Gráfica 4 - Consumo eléctrico 2023-2024	39
Gráfica 5 - Comparativa por mes de GHI	49
Gráfica 6 - Comparativa por mes de DHI	50
Gráfica 7 - Valores de GHI y DHI en promedio de las bases meteorológicas	50
Gráfica 8 - Producción total diaria desglosada en pérdidas y energía producida (Fuente: PVsyst)	81
Gráfica 9 - Eficiencia de la instalación (Fuente: PVsyst).....	81
Gráfica 10 - Generación fotovoltaica en los 30 años de la instalación.....	84

Índice de tablas

Tabla 1 - Datos meteorológicos promedio	9
Tabla 2 – Balance energético de la instalación.....	10
Tabla 3 – Average meteorological year.....	12
Tabla 4 - Energetic balance of the installation	13
Tabla 5 – Objetivos 2030 por sector y tecnología [4]	14
Tabla 6 - Entrada y pasillo.....	33
Tabla 7 – Cocina.....	33
Tabla 8 – Salón.....	33
Tabla 9 - Habitación 1	34
Tabla 10 - Habitación 2	34
Tabla 11 - Habitación 3	34
Tabla 12 – Despacho	35
Tabla 13 – Baño.....	35
Tabla 14 – Terraza.....	35
Tabla 15 - Consumo total de la vivienda.....	36
Tabla 16 - Consumo eléctrico 2023-2024 (Fuente Iberdrola)	39
Tabla 17 - Consumo medio 2023-24	40
Tabla 18 - Datos meteorológicos NASA (Fuente: NASA)	48
Tabla 19 - Datos meteorológicos PVGIS (Fuente: PVGIS)	48
Tabla 20 - Datos meteorológicos Meteonorm (Fuente: Meteonorm).....	49
Tabla 21 - - Datos meteorológicos Promedio	53
Tabla 22 - Análisis económico instalación 3,85 kW pico	77
Tabla 23 - Análisis económico preliminar	78
Tabla 24 - Especificaciones instalación	80
Tabla 25 - Balance energético en la vida de la instalación.....	85
Tabla 26 - Inversión inicial de la instalación.....	86
Tabla 27 - Tabla de ahorro anual.....	87
Tabla 28 - Flujos de caja de la inversión	90

Tabla 29 - Reducción de emisiones de CO_2 92

LISTA DE ACRÓNIMOS

TFG – Trabajo Fin de Grado

DHI – Irradiación Difusa Horizontal

GHI – Irradiación Global Horizontal

NASA – National Aeronautics and Space Administration

RD – Real Decreto

Ta – Temperatura ambiente

VAN – Valor Actual Neto

TIR – Tasa Interna de Retorno

kWh - kilovatio hora

REE - Red Eléctrica Española

CO₂ - Dióxido de carbono

UE/EU - Unión Europea

ONU - Organización de las Naciones Unidas

ODS - Objetivos desarrollo sostenible

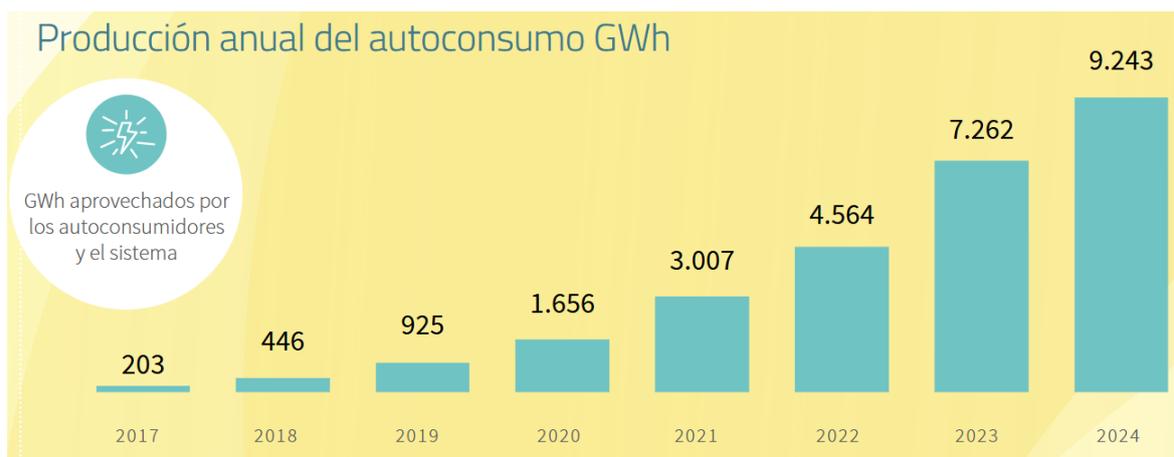
TMY – año meteorológico típico

Cc - corriente continua

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO Y MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

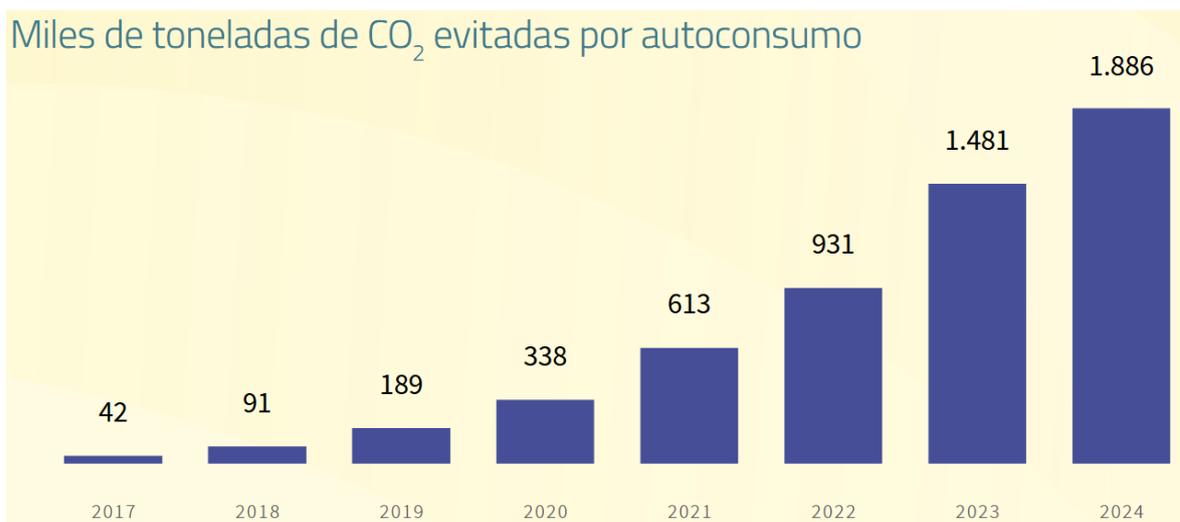
En la actualidad, y desde hace más de una década, nos enfrentamos a un creciente problema derivado del consumo excesivo de combustibles fósiles. Como muestra un informe del IPCC la temperatura desde 1850 hasta nuestros días ha subido 1.1°C debido a la emisión de gases de efecto invernadero.[2] Esta dependencia no solo contribuye significativamente al calentamiento global, sino que también pone en peligro la capacidad de satisfacer la creciente demanda energética a nivel mundial. Ante esta situación, se han puesto en marcha numerosas iniciativas para reducir la dependencia de estas fuentes no renovables, mientras se buscan soluciones energéticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Dentro de este marco de transición energética, la energía solar destaca como una opción clave debido a su bajo impacto ambiental, versatilidad y abundancia como recurso renovable, y dentro de la misma destaca el autoconsumo como una solución granular que permite a los individuos aportar su granito de arena además de satisfacer sus necesidades energéticas, idea en auge como se ve en la siguiente gráfica:



Gráfica 1 - Producción anual del autoconsumo en España [13]

El proyecto tiene como finalidad el diseño de una instalación solar fotovoltaica capaz de cubrir las necesidades eléctricas de una vivienda unifamiliar ubicada en Pozuelo de Alarcón, Madrid. Para realizar el diseño, se llevará a cabo un análisis del recurso solar disponible en la zona, así como de las condiciones climáticas locales. Además, se evaluará el consumo energético de la vivienda, tanto en términos estimados como a partir de datos reales. Posteriormente, se utilizará el software PVsyst para llevar a cabo el diseño de la instalación fotovoltaica y simular su funcionamiento, lo que permitirá valorar la viabilidad técnica del sistema propuesto. Por último, se realizará un estudio económico para analizar su rentabilidad y beneficios ambientales.

Este proyecto nace del interés en el autoconsumo y todos los beneficios que aporta, el mismo no solo nos ayuda en la necesidad de impulsar un modelo energético más sostenible, sino que está capacitado para responder a las realidades y necesidades de cada individuo de forma independiente y en el beneficio conjunto de su comunidad. Este estudio tiene el objetivo de acercar la generación de energía a las personas, dándoles el poder de producir y consumir su propia energía, lo que no solo refuerza su independencia, sino que también ayuda a reducir su dependencia de fuentes no renovables y a la reducción de toneladas de CO₂ no solo beneficiándose a ellos mismos, pero también a sus comunidades como observamos del siguiente gráfico:

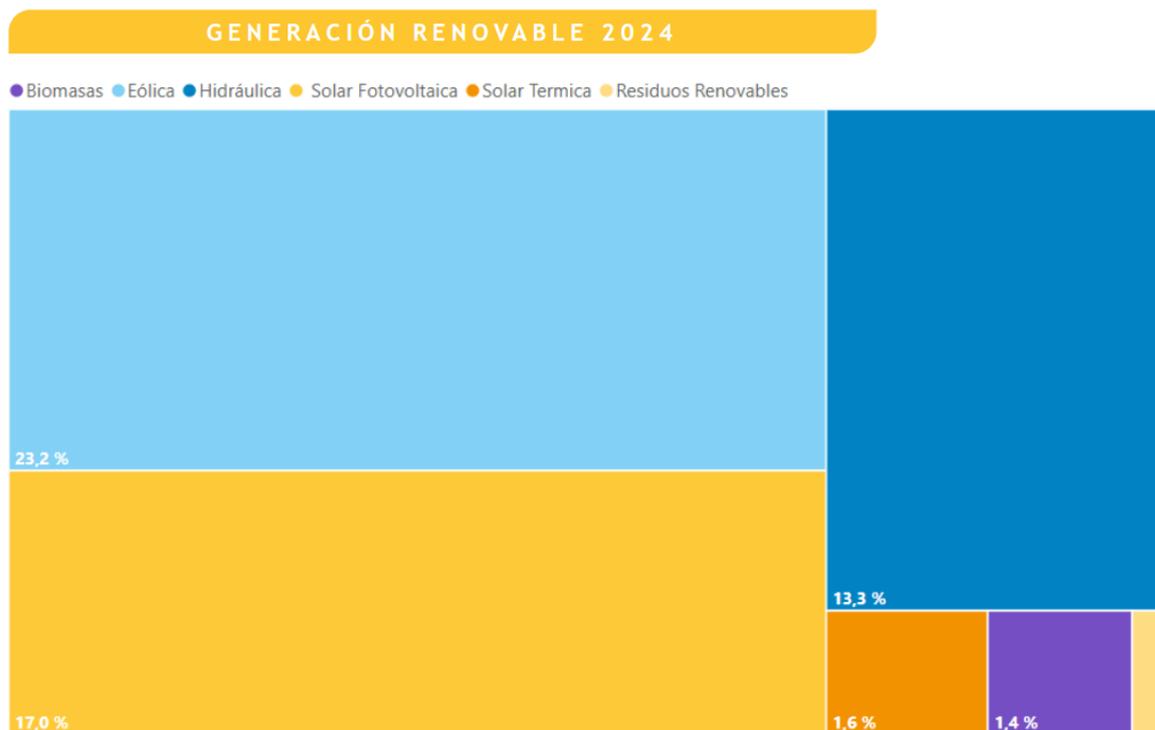


Gráfica 2 - Miles de Toneladas evitadas por el autoconsumo [3]

1.2 ESTADO DE LA CUESTIÓN

“La Unión Europea ha asumido para el año 2030 un objetivo de, al menos, un 55% menos de emisiones netas de gases de efecto invernadero (emisiones una vez deducidas las absorciones) en comparación con 1990”[4]

Tal como se refleja en la información publicada por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, el compromiso del gobierno español frente al cambio climático es firme y evidente. Y como observamos en la siguiente gráfica la energía fotovoltaica es uno de los principales motores de transición:



Gráfica 3 - Mix generación renovables 2024 [5]

En este contexto, la normativa relacionada con el autoconsumo eléctrico ha experimentado un notable avance en los últimos años. En particular, el Real Decreto 244/2019 define el marco legal para la puesta en marcha de instalaciones de autoconsumo, permitiendo tanto modelos individuales como compartidos. Además, contempla medidas de fomento como la compensación de excedentes energéticos, lo que ha facilitado la expansión de esta

modalidad. Un hito aún más relevante se dio en 2021 con la creación del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) por parte del MITECO, que fija metas a alcanzar en 2030 y actúa como hoja de ruta estratégica en las políticas de energía y sostenibilidad.

Este plan fue actualizado el 24 de septiembre de 2024 para reforzar su enfoque y mantener el impulso hacia la transformación energética y el cumplimiento de los objetivos ambientales, mostrados en la siguiente tabla:

Objetivos sectoriales y por tecnología

2030	PNIEC 2020 / Hojas de ruta	PNIEC 2023
Eólica Incluida eólica offshore	50 GW 1-3 GW	62 GW 3 GW
Solar FV Incluido Autoconsumo	39 GW 9-14 GW	76 GW 19 GW
Hidrógeno renovable: potencia electrolizadores	4 GW	12 GW
Biogás	10,4 TWh	20 TWh
Almacenamiento	20 GW	22,5 GW
Eficiencia en la edificación. Rehabilitación de viviendas	1.200.000	1.377.000
Vehículo eléctrico	5 millones	5,5 millones
Electrificación (%sobre energía final)	32%	35%
Demanda eléctrica (vs. 2019)	+5%	+34%

Tabla 5 – Objetivos 2030 por sector y tecnología [4]

1.3 LEGISLACIÓN

El Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, regula las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica en España, desarrollando lo ya establecido por el RDL 15/2018 y eliminando las principales barreras anteriores al autoconsumo.

La asociación de empresas renovables, APPA renovables, lo resume en su informe sobre el real decreto de la siguiente forma [1]:

- Se establecen 3 Modalidades de autoconsumo:
 - Autoconsumo sin excedentes
 - Autoconsumo con excedentes acogidos a compensación
 - Autoconsumo con excedentes no acogido a compensación.
- Habilita y reglamenta el autoconsumo colectivo.
- Para instalaciones fotovoltaicas la potencia instalada será la potencia máxima del inversor.
- Permite la incorporación de sistemas de almacenamiento en las instalaciones.
- Se permite que el consumidor y el propietario de la instalación sean diferentes.
- Simplificación de tramitación:
 - Las instalaciones de autoconsumo sin excedentes o las instalaciones de autoconsumo con excedentes de hasta 15kW no necesitan permisos de acceso y conexión.
 - Para las instalaciones de $P \leq 100\text{kW}$ conectadas a baja tensión el contrato de acceso con la distribuidora será realizado de oficio por la empresa distribuidora.
- Establece los equipos de medida a instalar:
 - De forma general, solamente hace falta un equipo de medida bidireccional en el punto frontera.
 - Los autoconsumos colectivos, con excedentes no acogidos a compensación con varios contratos de suministro o tecnología no renovable deberán contar con 2 equipos. Uno para consumo y otro que mida la generación neta.

- En ciertos casos, se permite que el contador de medida se ubique fuera del punto frontera.
- Establece el régimen económico. Se establecen varias posibilidades en función del tipo de autoconsumo:
 - Autoconsumo con excedentes acogidos a compensación: Pueden (i) vender la energía en el pool, o (ii) compensar mensualmente excedentes, mediante la valoración de la energía horaria excedentaria –compensación simplificada–

El importe a compensar nunca podrá exceder de la valoración mensual de la energía horaria consumida.

- Autoconsumo con excedentes no acogidos a compensación. Deben vender los excedentes en el mercado.
- Inscripción automática en el Registro de Autoconsumo para ciertos casos.

1.4 METODOLOGÍA Y RECURSOS A EMPLEAR

Para realizar el diseño de la instalación fotovoltaica de autoconsumo en una vivienda unifamiliar se han seguido las siguientes fases:

Se realizó un curso especializado en energía solar fotovoltaica, centrado en su tecnología, las bases de datos solares existentes y como usarlas y los principios del autoconsumo. También se impartieron clases de manejo del software PVsyst, herramienta usada para el diseño y simulación de los sistemas fotovoltaicos del proyecto.

En la segunda etapa se eligió la localización y se recopilaban los datos meteorológicos de la misma, usando bases de datos especializadas. Con el apoyo de PVsyst se simuló la producción energética basándonos en las condiciones previamente obtenidas. Paralelamente, se estudió la vivienda y su consumo eléctrico, tanto en términos teóricos como reales.

En la tercera etapa en base en la información obtenida, se procedió a seleccionar los componentes principales del sistema como paneles solares e inversores. También se calculó la superficie necesaria, así como la orientación e inclinación óptimas para maximizar la producción energética.

Para finalizar la parte técnica del proyecto, se realizó un análisis económico del sistema diseñado. Esto incluye el cálculo del coste total de la instalación, la estimación del periodo de retorno de la inversión, y una evaluación de los beneficios ambientales derivados de la reducción de emisiones de CO₂. También se identificaron posibles riesgos y limitaciones.

La última fase del proyecto consistió en la elaboración del documento final. Este incluye una introducción teórica sobre el autoconsumo fotovoltaico, un análisis del contexto energético actual en España, y la integración de todos los apartados desarrollados.

Finalmente, se llevó a cabo una revisión conjunta con la directora del TFG.

Los recursos empleados para la realización del trabajo son:

- Herramientas y software (PVsyst, Excel, etc.).
- Clases impartidas por la directora del TFG sobre el recurso solar, componentes y funcionamiento de los paneles solares, bases de datos meteorológicas y funcionamiento del programa PVsyst.
- Bases de datos meteorológicas.
- Manuales técnicos de componentes fotovoltaicos.
- Artículos y libros sobre energía renovable.
- Normativas y legislación vigente.
- Consultas con expertos en energía renovable y autoconsumo.
- Contacto con empresas proveedoras de equipos fotovoltaicos.

- Presupuesto estimado para el diseño, simulación y evaluación del proyecto.

1.5 ALINEACIÓN DEL PROYECTO CON LOS ODS

“Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. En 2015, todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 Objetivos como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la cual se establece un plan para alcanzar los Objetivos en 15 años.”[6]

A fecha de 2025, y con menos de cinco años para cumplir las metas fijadas, es fundamental mantener y reforzar el compromiso de gobiernos, instituciones, empresas y ciudadanos para lograr un cambio real y duradero. En este contexto, el proyecto se alinea con los siguientes:

- **ODS 7: Energía asequible y no contaminante**

Este objetivo busca garantizar el acceso universal a una energía moderna, fiable, sostenible y a un precio asequible. La energía solar, como recurso renovable, inagotable y no contaminante, desempeña un papel clave en esta transición energética. A través del autoconsumo eléctrico mediante instalaciones fotovoltaicas, se promueve una generación energética limpia, descentralizada y adaptada a las necesidades individuales del usuario, reduciendo la dependencia de fuentes fósiles y de redes centralizadas.

- **ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles**

Uno de los grandes retos del desarrollo sostenible, pasa por transformar los entornos urbanos en espacios resilientes, eficientes y menos contaminantes. La implementación de sistemas de autoconsumo en viviendas particulares favorece la construcción de comunidades más sostenibles, al reducir la presión sobre las infraestructuras energéticas convencionales y minimizar la huella ecológica de las ciudades. Asimismo, fomenta una mayor conciencia ciudadana sobre el uso responsable de los recursos energéticos.

- **ODS 12: Producción y consumo responsables**

Este objetivo se centra en fomentar un modelo energético basado en el uso eficiente de los recursos y la generación local de energía. El autoconsumo promueve una mayor responsabilidad en los hábitos de consumo eléctrico, alentando la optimización del uso energético y reduciendo pérdidas asociadas al transporte de electricidad a través de grandes redes.

- **ODS 13: Acción por el clima**

El cambio climático representa uno de los mayores desafíos del siglo XXI. Este proyecto contribuye de manera directa a la lucha contra el calentamiento global mediante la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), al sustituir energía de origen fósil por energía solar.



Ilustración 1 - ODS [6]

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

2.1 LOCALIZACIÓN DE LA VIVIENDA

La vivienda se encuentra situada en Pozuelo de Alarcón, una ciudad en la comunidad de Madrid, ubicada a escasos 10km al oeste de Moncloa, siendo la ubicación exacta de la urbanización de la vivienda la Avenida Pablo VI N3 con código postal 28224.

Las coordenadas geográficas de la vivienda en grados decimales son las siguientes:

- Latitud: 40,4344585°
- Longitud: -3,8075969°
- Altura: 698,75m sobre el nivel del mar.

Estas coordenadas serán de gran importancia más tarde en el programa PVsyst ya que tendremos que definir la ubicación de la instalación y a su vez primordiales para la obtención de los datos meteorológicos que consultaremos de las bases de datos.

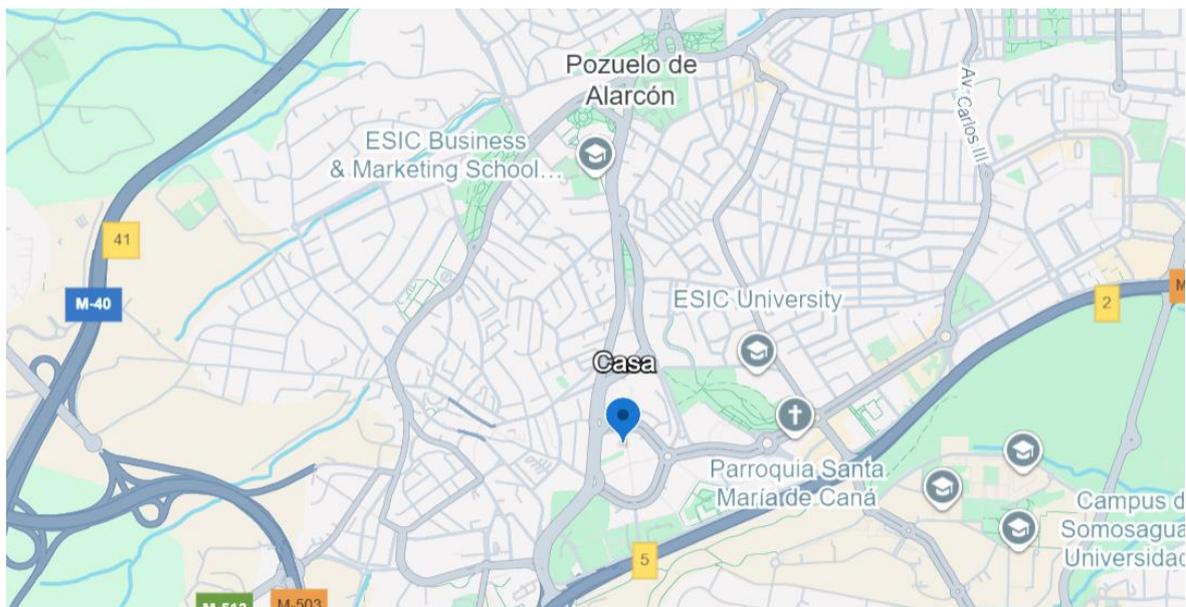


Ilustración 2 - Ubicación de la vivienda (Fuente: Google maps)

La vivienda se encuentra en una urbanización construida en 1992 sobre una parcela de 10883 m²; que dispone de 2 bloques de edificios, el superior con 3 portales y el inferior con 4, encontrándose 4 viviendas por piso de cada portal. Además, a nivel de calle, se dispone de un pádel, piscina olímpica y gimnasio. A su vez cada bloque tiene debajo el garaje para sus inquilinos.



Ilustración 3 - Parcela de Urbanización (Fuente: Google earth)

Gracias a la ayuda de Google Earth podemos obtener una foto aérea del edificio donde se puede observar tanto la fachada como las 3 diferentes partes del tejado donde se podría situar esta instalación de placas solares fotovoltaicas, ilustrado en la siguiente imagen:



Ilustración 4 - Vista aérea Edificio (Fuente: Google earth)

También se observa numerosas otras viviendas de la zona con placas solares, como en la siguiente ilustración cruzando la calle:

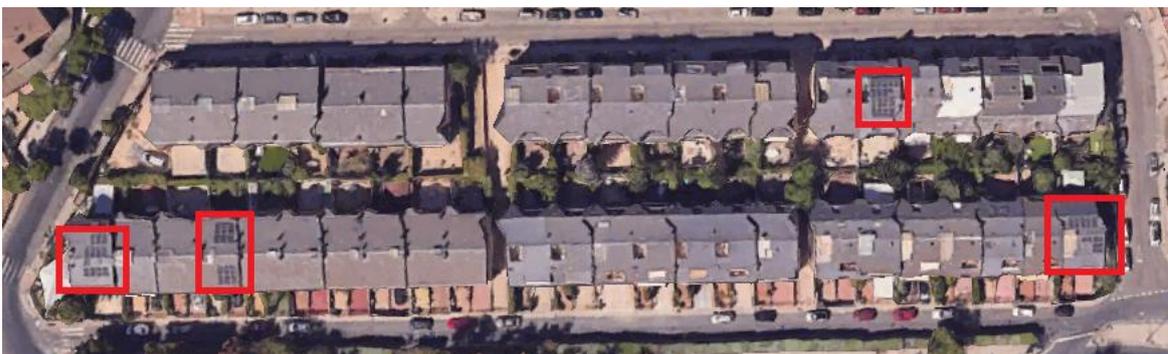
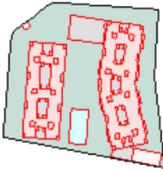


Ilustración 5 - Viviendas próximas con placas solares (Fuente: Google earth)

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA

La vivienda para la que se realizará el estudio consta de 139 m², aunque 18 m² son de zonas comunes, y se encuentra en la cuarta planta, dejándonos 121 m² habitables y de interés para el proyecto, a su vez siendo su referencia catastral 1665501VK3716N0127MO.

PARCELA CATASTRAL



Parcela con varios inmuebles (division horizontal)

Localización	AV PABLO VI 3 POZUELO DE ALARCON (MADRID)
Superficie gráfica	10.883 m ²
Participación del inmueble	0,661300 %

Ilustración 6 - Descripción descriptiva y gráfica catastral [7]

La vivienda, es unifamiliar y cuenta con 3 dormitorios, uno de ellos doble, cocina, salón, terraza, despacho y 3 baños, aparte de un recibidor y pasillos.

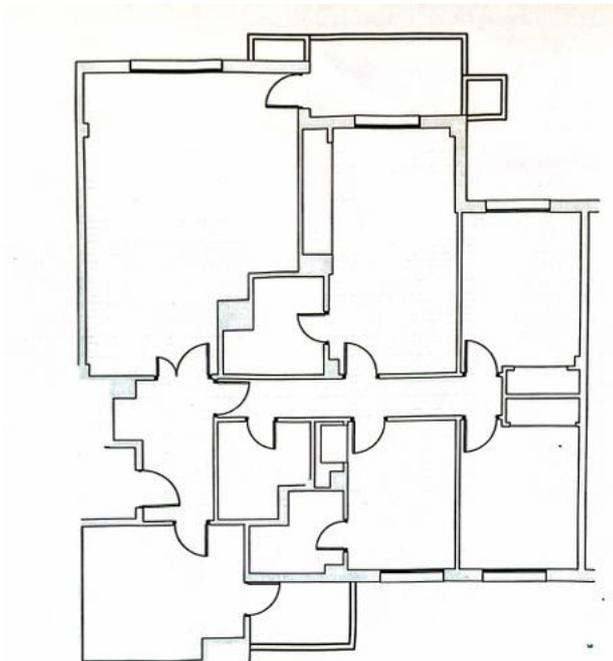


Ilustración 7 - Plano de la vivienda (Fuente: Libro de la vivienda)

En dicha vivienda convivimos mi madre, en la Habitación 1 con ventana a la terraza y baño propio; mi hermana, en la Habitación 3 con baño propio también; y yo en la habitación 2.

En las siguientes fotos se pondrá en contexto de las diferentes habitaciones de la vivienda para tener un mejor contexto siendo nomenclatura usada la del estudio de consumo eléctrico:



Ilustración 8 - Entrada



Ilustración 9 - Cocina



Ilustración 10 - Salón



Ilustración 12 - Habitación 1



Ilustración 11 - Baño



Ilustración 13 - Habitación 1 (Baño)



Ilustración 14 - Habitación 2

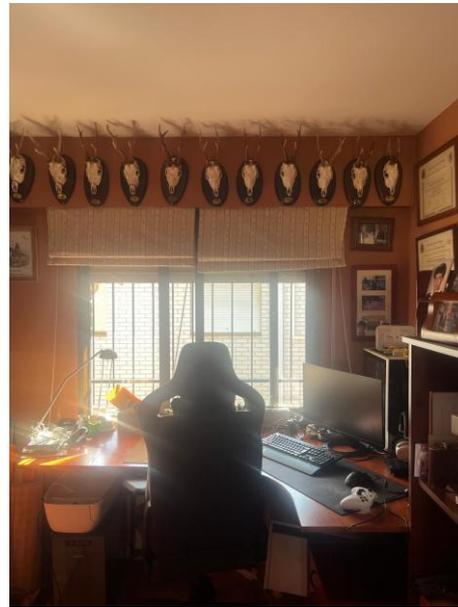


Ilustración 15 - Despacho



Ilustración 16 - Habitación 3



Ilustración 17 - Habitación 3 (Baño)



Ilustración 18 - Terraza

2.3 DESCRIPCIÓN DE LA CUBIERTA

Mediante Google earth, se ha obtenido una foto de la parte superior del edificio para poder observar bien como es el tejado y poder observar bien las 3 zonas posibles de instalación.



Ilustración 19 - Posibles zonas de paneles (Fuente: Google earth)

Una vez seleccionadas las regiones candidatas, se emplea otra herramienta de Google earth que nos permite calcular el área de superficies en 3D.

- Área roja mide 38,2 m²
- Área verde mide 11,9 m²
- Área azul mide 27,6

También hemos empleado Google earth para simular las sombras de nuestras áreas, con el fin de elegir la mejor zona. Debido a que la inclinación es normal al norte, es decir, va de este a oeste o viceversa para la zona azul, todas las zonas tienen ligeras sombras a diferentes horas del día, la verde y roja por las tardes, y la azul por las mañanas.

Aunque en principio cualquiera de las áreas podría valer, se descarta el área azul debido a su forma, que complica la disposición de paneles de forma ordenada y simple, entre las áreas verde y roja, se ha decidido con la roja, debido a su mayor tamaño y su disposición, mayor anchura, simplificando la disposición de los paneles.

Por último, se ha obtenido la inclinación del tejado, midiendo la anchura de la terraza y la altura que gana en la misma. La terraza es de 2m de anchura, espacio en el que el tejado se eleva 0,8m, dándonos un ángulo de:

$$\tan\alpha = \frac{0,8}{2} \rightarrow \alpha \approx 22$$

2.4 CLIMATOLOGÍA DE LA ZONA

Pozuelo de Alarcón presenta un clima mediterráneo continentalizado, caracterizado por inviernos fríos y veranos calurosos y secos. Esta localidad, situada en la Comunidad de Madrid, se ve influida por su altitud media y su situación interior, alejada de la influencia directa del mar. [8]

Como observamos del siguiente gráfico obtenido de Meteonorm:

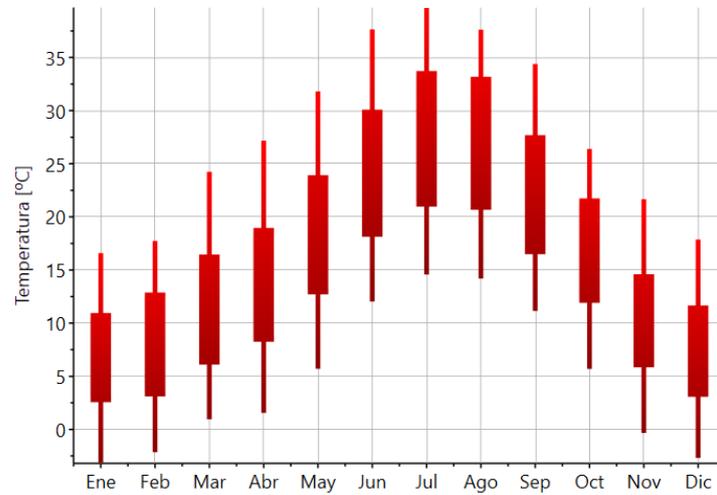


Ilustración 20 - Temperatura Pozuelo de Alarcón (Fuente Meteonorm)

Pozuelo tiene una temperatura media anual que oscila entre los 14°C y los 16°C, con mínimas llegando al negativo en los meses más fríos de invierno y máximas superando los 35°C en verano.

En cuanto a las precipitaciones, estas se distribuyen de forma irregular a lo largo del año, concentrándose principalmente en primavera y otoño. La precipitación media anual se sitúa entre 20 y 30 mm. Las nevadas son ocasionales en invierno, aunque poco frecuentes y de escasa duración.

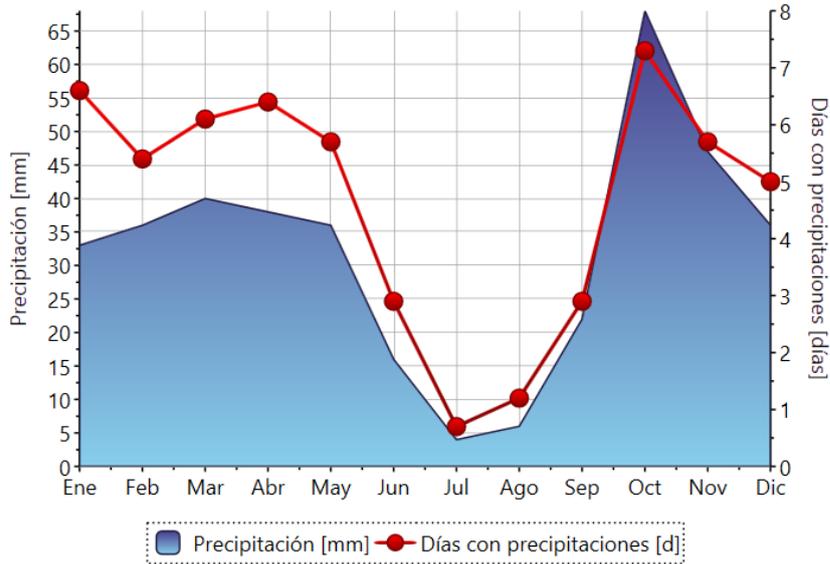


Ilustración 21 – Precipitaciones Pozuelo de Alarcón (Fuente Meteonorm)

La radiación solar es elevada durante todo el año, favorecida por la escasa nubosidad, y la humedad relativa suele ser baja, especialmente en verano.

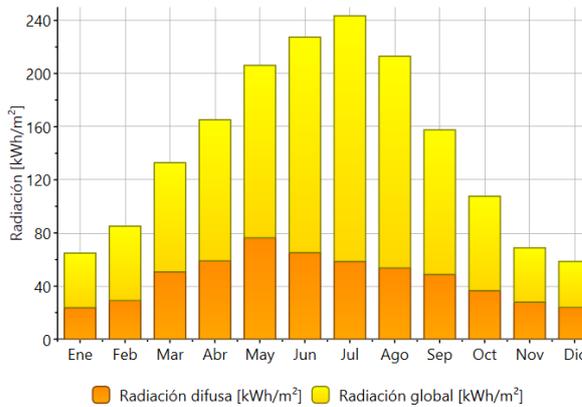


Ilustración 22 - Radiación mensual Pozuelo de Alarcón (Fuente Meteonorm)

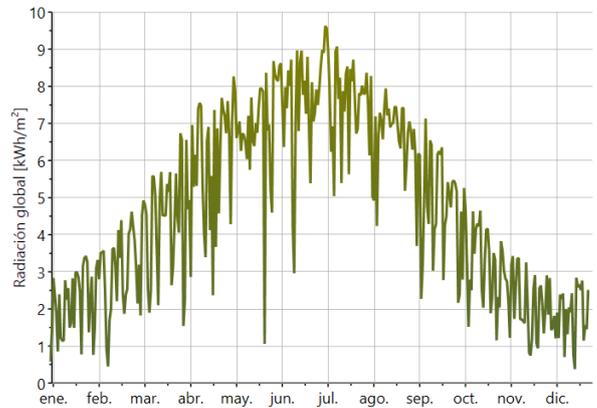


Ilustración 23 - Radiación diaria Pozuelo de Alarcón (Fuente Meteonorm)

Capítulo 3. ESTUDIO ENERGÉTICO DE LA VIVIENDA

3.1 POTENCIA Y CONSUMO

Para poder abordar correctamente el estudio del consumo teórico de una vivienda, es imprescindible comprender las magnitudes físicas involucradas, sus unidades y su relación dentro del contexto eléctrico doméstico. Las tres variables fundamentales a tener en cuenta son la potencia eléctrica, las horas de uso anuales y el consumo energético anual.

3.1.1 POTENCIA ELÉCTRICA

La potencia eléctrica es la proporción de corriente eléctrica que se transfiere en un circuito eléctrico por unidad de tiempo. Es decir, la cantidad de energía eléctrica que genera o disipa un elemento durante un período de tiempo. [9]

Por la ley de Ohm:

$$P = V * I$$

donde P es la potencia en vatios (W), V la tensión en voltios (V) e I la intensidad de corriente en amperios (A).

Este valor suele estar especificado en la placa de características del aparato o en su manual de instrucciones, y resulta esencial para conocer la demanda energética de cada dispositivo.

3.1.2 HORAS DE USO ANUALES

Las horas de uso anuales representan el tiempo estimado que un aparato permanece en funcionamiento durante un año. Este dato, varía dependiendo de la vivienda y el usuario del dispositivo electrónico. Es importante ya que la potencia es instantánea y necesitamos saber su tiempo de uso para calcular su consumo real.

3.1.3 CONSUMO

El consumo de energía eléctrica lo obtenemos multiplicando la potencia de un dispositivo con su tiempo de uso. Realmente esta es la medida que nos es relevante, ya que el consumo eléctrico es lo que acabamos pagando y la razón del estudio es mitigar parte de la factura con la fotovoltaica.

$$\text{Consumo} = \text{Potencia} * \text{Horas de uso}$$

El consumo, medida en kilovatios-hora (kWh), representa la cantidad total de trabajo eléctrico realizado o, dicho de otra forma, el total de electricidad consumida en un periodo de tiempo.

Tal y como recoge la RAE, la energía es la “capacidad que tiene un sistema para realizar un trabajo, y en el ámbito físico se mide en julios (J).”[10]

No obstante, en el sector eléctrico, el uso práctico y comercial de la energía se expresa en kilovatios-hora, que facilita la medición del consumo y el cálculo de costes asociados

3.2 ESTUDIO DEL CONSUMO TEÓRICO DE LA CASA

Una vez conocida y explicadas las magnitudes a estudiar para entender el consumo de la casa, pasamos a su estudio.

Para realizar el mismo, se ha dividido la vivienda en las diferentes habitaciones para así granular y facilitar la comprensión, siendo las habitaciones: Entrada y pasillo, Cocina, Baño, Salón, Despacho, Habitación 1 (perteneciente a mi madre) incluyendo el baño anexo a la misma, Habitación 2 (mi habitación), Habitación 3 (perteneciente a mi hermana) incluyendo el baño anexo a la misma y terraza.

Número	Dispositivos		Horas		kWh anuales per ítem
	W	Dispositivo	Semanales	Anuales	
6	4,60	Luces	5,00	260,00	7,18

Tabla 6 - Entrada y pasillo

Número	Dispositivos		Horas		kWh anuales per ítem
	W	Dispositivo	Semanales	Anuales	
4	4,60	Luces	7,00	364,00	6,70
6	75,00	Luces G	12,00	624,00	280,80
1	1700,00	Airfryer	2,00	104,00	176,80
1	-	Congelador	-	-	127,00
1	-	Nevera	-	-	132,00
1	3200,00	Horno	1,00	52,00	166,40
1	1270,00	Microondas	5,00	260,00	330,20
1	3000,00	Vitrocerámica	5,00	260,00	780,00
1	35,00	Campana	5,00	260,00	9,10
1	1200,00	Thermomix	6,00	312,00	374,40
1	850,00	Batidora	0,50	26,00	22,10
1	50,00	Televisión	12,00	624,00	31,20
1	1260,00	Maquina nespresso	0,50	26,00	32,76
1	84,00	Lavavajillas	3,50	182,00	15,29
1	51,00	Lavadora	4,50	234,00	11,93
1	60,00	Caldera	7,00	364,00	21,84

Tabla 7 – Cocina

En esta tabla los ítems congelador y nevera, se les da directamente el consumo anual ya que están encendidos 24/7 no teniendo sentido su cálculo de horas semanales. A su vez, la cocina cuenta con comedor, siendo el mismo el sitio habitual de comida a menos que haya invitados.

Número	Dispositivos		Horas		kWh anuales per ítem
	W	Dispositivo	Semanales	Anuales	
6	70,00	Luces	4,00	208,00	87,36
1	70,00	Televisión	7,00	364,00	25,48
3	9,00	Lámparas	7,00	364,00	9,83

Tabla 8 – Salón

El salón se usa en general poco, ya que tanto mi hermana como yo hacemos ocio en nuestras habitaciones, siendo mi madre la única que ve la televisión en el salón de forma regular.

Número	Dispositivos		Horas		kWh anuales per ítem
	W	Dispositivo	Semanales	Anuales	
11	4,60	Luces	6,00	312,00	15,79
2	40,00	Lampara	2,00	104,00	8,32
1	60,00	Cargador ordenador	2,00	104,00	6,24
1	10,00	Cargador móvil	30,00	1560,00	15,60
1	36,00	Plancha	0,01	0,52	0,02
1	2100,00	Secador de pelo	0,33	17,33	36,40
1	10,00	Monitor	1,00	52,00	0,52

Tabla 9 - Habitación 1

Esta es la habitación de mi madre, la cual también cuenta con el baño con los electrodomésticos de cuidado, que usan tanto mi madre como mi hermana.

Número	Dispositivos		Horas		kWh anuales per ítem
	W	Dispositivo	Semanales	Anuales	
4	4,6	Luces	6	312	5,7408
1	40	Lampara	10	520	20,8
1	60,00	Cargador ordenador	2,00	104,00	6,24
1	10,00	Cargador móvil	30,00	1560,00	15,60

Tabla 10 - Habitación 2

Número	Dispositivos		Horas		kWh anuales per ítem
	W	Dispositivo	Semanales	Anuales	
4	4,60	Luces	6,00	312,00	5,74
1	40,00	Lámpara	6,00	312,00	12,48
1	60,00	Cargador ordenador	2,00	104,00	6,24
1	10,00	Cargador móvil	30,00	1560,00	15,60
1	0,90	Cepillo de dientes	1,50	78,00	0,07

Tabla 11 - Habitación 3

Habitación 2 y habitación 3 son las habitaciones de mi hermana y mía, en ellas estudiamos y hacemos ocio.

Número	Dispositivos		Horas		kWh anuales per ítem
	W	Dispositivo	Semanales	Anuales	
3	4,60	Luces	7,00	364,00	5,02
1	40,00	Lampara	0,05	2,60	0,10
2	10,00	Cargadores	2,00	104,00	2,08
1	-	Wifi	-	-	90,00
1	220,00	Ordenador	20,00	1040,00	228,80
1	40,00	Proyector	20,00	1040,00	41,60

Tabla 12 – Despacho

El despacho es donde hago yo más ocio debido al ordenador de mesa.

Número	Dispositivos		Horas		kWh anuales per ítem
	W	Dispositivo	Semanales	Anuales	
1	0,90	Cepillo de dientes	1,50	78,00	0,07
1	5,50	Máquina de afeitar	0,05	2,60	0,01
1	5,50	Máquina de pelo	0,05	2,60	0,01
3	4,6	Luces	8	416,00	5,74

Tabla 13 – Baño

Este es el baño de invitados y el mío personal también, por ello el mayor número de horas de luz.

Numero	Dispositivos		Horas		kWh anuales per ítem
	W	Dispositivo	Semanales	Anuales	
1	6500,00	Aire Acondicionado	-	60,00	390,00
1	4,60	Luces	-	10,00	0,05

Tabla 14 – Terraza

Por último, destacamos la terraza debido al aire acondicionado, el cual, aunque no usemos mucho, consume mucha energía.

Habitación	kWh anuales según estimación propia
Entrada y pasillo	7,18
Cocina	2518,52
Salón	122,67
Dormitorio 1	82,89
Dormitorio 2	48,38
Dormitorio 3	40,13
Despacho	367,61
Baño	5,84
Terraza	390,05
Total	3583,25

Tabla 15 - Consumo total de la vivienda

Aquí tenemos el desglose del consumo de las diferentes estancias de la casa, observamos que la cocina, el despacho y la terraza son aquellas que más consumen ya que se encuentra los dispositivos de mayor potencia y uso.

3.3 CONSUMO DE ACUERDO CON LA FACTURA ELÉCTRICA

Ahora, se estudiará el consumo eléctrico de la vivienda real. Para ello se emplearán las facturas de los años 2023-2024, obtenidas de la empresa Iberdrola.

Antes de analizarlas, haremos una breve explicación de la factura eléctrica, para ello usaremos la factura de diciembre 2024:

RESUMEN DE LA FACTURA		
Por potencia contratada		12,22 €
Por energía consumida		41,02 €
Por financiación del bono social		0,87 €
Descuento por bono social		-31,11 €
Impuesto electricidad		1,18 €
Alquiler del contador		0,80 €
IVA	21 % s/24,98 €	5,25 €
TOTAL IMPORTE FACTURA:		30,23 €

Ilustración 24 - Resumen factura diciembre 2024 (Fuente Iberdrola)

- **Potencia contratada:** es el precio por el cual la empresa te garantiza que puedas disponer de cierta potencia en todo momento, es un coste fijo y se paga, aunque no se consuma electricidad.
- **Energía consumida:** refleja el precio del consumo real de potencia en el mes, es decir los kWh consumidos por el precio cuando se consumen, pudiendo variar dependiendo de si se tiene tarifa regulada o libre. En la vivienda se tiene tarifa regulada.
- **Por financiación del bono social:** una aportación obligatoria que hacen todos los consumidores para contribuir al bono social, un descuento aplicado a consumidores vulnerables. Es independiente de que tú seas o no beneficiario.
- **Descuento por bono social:** es el descuento aplicado por ser beneficiario del bono social.
- **Impuesto electricidad:** es un impuesto estatal que grava el consumo de electricidad.
- **Alquiler del contador:** es el coste mensual por el uso del contador eléctrico, si no lo tienes en propiedad
- **IVA:** este es el Impuesto sobre el Valor Añadido, que se aplica al subtotal de la factura.

Este es solo el resumen de la factura, en la siguiente página se observa un desglose mejor, en el que se incluyen los precios exactos por kWh o día.

A su vez cabe destacar los conceptos valle, pico o llano, estos hacen referencia al precio de la energía dependiendo de las diferentes horas del día, por lo general la noche son las horas pico por excelencia, ya que las viviendas están llenas y se consume mucho, y la madrugada las horas valle, ya que las personas están dormidas y no consumen energía.

DESGLOSE DE LA FACTURA	
Facturación por potencia contratada ("TÉRMINO FIJO"):	12,22 €
Importe por peajes de transporte y distribución potencia:	
<small>(08/12/2024-31/12/2024)</small>	
P1 (punta): 5 kW x 23 días x 0,061375 €/kW día	7,06 €
P2 (valle): 5 kW x 23 días x 0,002128 €/kW día	0,24 €
Importe por peajes de transporte y distribución potencia:	
<small>(31/12/2024-07/01/2025)</small>	
P1 (punta): 5 kW x 7 días x 0,062901 €/kW día	2,20 €
P2 (valle): 5 kW x 7 días x 0,001211 €/kW día	0,04 €
Importe por cargos potencia:	
<small>(08/12/2024-31/12/2024)</small>	
P1 (punta): 5 kW x 23 días x 0,008192 €/kW día	0,94 €
P2 (valle): 5 kW x 23 días x 0,000527 €/kW día	0,06 €
Importe por cargos potencia:	
<small>(31/12/2024-07/01/2025)</small>	
P1 (punta): 5 kW x 7 días x 0,010881 €/kW día	0,38 €
P2 (valle): 5 kW x 7 días x 0,0007 €/kW día	0,02 €
Margen de comercialización fijo:	
5 kW x 30 días x 0,008529 €/kW día	1,28 €
Facturación por energía consumida ("TÉRMINO VARIABLE"):	41,02 €
Importe por peajes de transporte y distribución energía:	
<small>(08/12/2024-31/12/2024)</small>	
P1 (punta): 61 kWh x 0,033081 €/kWh	2,02 €
P2 (llano): 39 kWh x 0,019184 €/kWh	0,75 €
P3 (valle): 71 kWh x 0,000557 €/kWh	0,04 €
Importe por peajes de transporte y distribución energía:	
<small>(31/12/2024-07/01/2025)</small>	
P1 (punta): 11 kWh x 0,034234 €/kWh	0,38 €
P2 (llano): 8 kWh x 0,01654 €/kWh	0,13 €
P3 (valle): 38 kWh x 0,000079 €/kWh	0,00 €
Importe por cargos energía:	
<small>(08/12/2024-31/12/2024)</small>	
P1 (punta): 61 kWh x 0,043893 €/kWh	2,68 €
P2 (llano): 39 kWh x 0,008779 €/kWh	0,34 €
P3 (valle): 71 kWh x 0,002195 €/kWh	0,16 €
Importe por cargos energía:	
<small>(31/12/2024-07/01/2025)</small>	
P1 (punta): 11 kWh x 0,058305 €/kWh	0,64 €
P2 (llano): 8 kWh x 0,011661 €/kWh	0,09 €
P3 (valle): 38 kWh x 0,002915 €/kWh	0,11 €
Coste de la energía:	
<small>(08/12/2024-31/12/2024)</small>	
228 kWh x 0,147719 €/kWh	33,68 €
Facturación por financiación del bono social	
<small>(08/12/2024-31/12/2024)</small>	
23 días x 0,033979 €/día	0,78 €
Facturación por financiación del bono social	
<small>(31/12/2024-07/01/2025)</small>	
7 días x 0,012742 €/día	0,09 €
Descuento por bono social	
(13,09 € + 41,02 €) x 57,5 %	-31,11 €
Subtotal por potencia y energía	23,00 €
Impuesto de electricidad	
5,11269632 % s/23 €	1,18 €
Alquiler del contador	
30 días x 0,026557 €/día	0,80 €
IMPORTE TOTAL	24,98 €

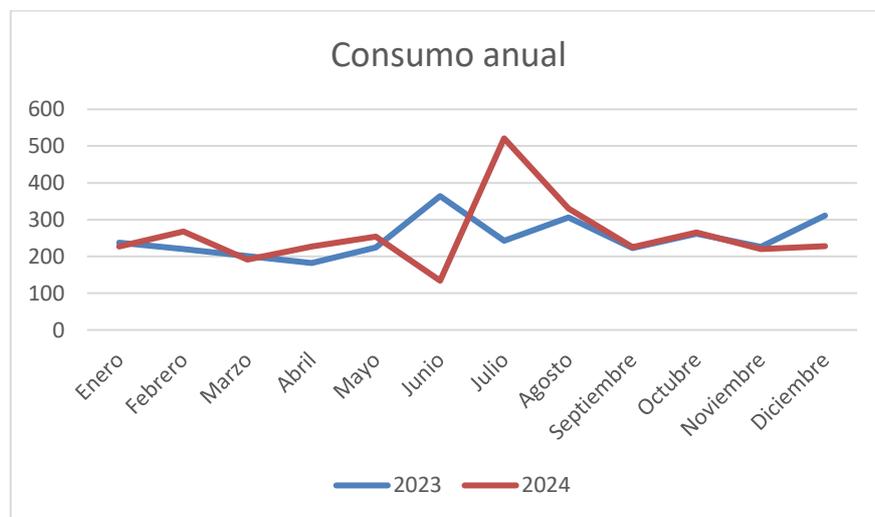
Ilustración 25 - Desglose de la factura eléctrica (Fuente Iberdrola)

Una vez repasada las facturas eléctricas, ya podemos emplearlas para obtener el consumo eléctrico real de la vivienda, como ya se ha dicho se emplearán las facturas de 2023-2024 para el estudio.

Mes	2023	2024
Enero	237	227
Febrero	220	268
Marzo	201	191
Abril	182	227
Mayo	224	254
Junio	364	134
Julio	243	521
Agosto	306	330
Septiembre	223	225
Octubre	262	265
Noviembre	226	220
Diciembre	311	228
Total	2999	3090

Tabla 16 - Consumo eléctrico 2023-2024 (Fuente Iberdrola)

Se observa un consumo constante de alrededor de 250 kWh mensuales, con picos en verano. La diferencia de facturas en verano puede ser explicada debido a que, en 2023, me fui a EEUU, siendo una persona menos para el gasto, y en 2024 permanecí todo julio en la vivienda teletrabajando debido a prácticas. Aun así, se obtiene un consumo eléctrico parecido, y cercano a los 3000 kWh anuales, más cercanos que en la estimación teórica a los valores normales para una familia de 3 personas, que deberían estar entorno a los 3487 por vivienda (S.A.U, 2024) considerando que la estimación es para una vivienda de 4 personas.



Gráfica 4 - Consumo eléctrico 2023-2024

Por ello se ha llegado a la conclusión que se tomará una media de las facturas de 2023 y 2024 para realizar las simulaciones y poder dimensionar la instalación de placas solares fotovoltaicas. Esto se debe a los enormes saltos y para normalizar meses con un consumo anormal como el de julio de 2024.

Cabe destacar en la factura eléctrica, que debido a que la calefacción es por gas, no se ve reflejada en el consumo, lo cual esclarece porque verano es el momento con mayor consumo del año.

Mes	kWh anuales
Enero	232
Febrero	244
Marzo	196
Abril	205
Mayo	239
Junio	249
Julio	382
Agosto	318
Septiembre	224
Octubre	264
Noviembre	223
Diciembre	269,5
Total	3045

Tabla 17 - Consumo medio 2023-24

Esto equivaldría con un precio de la energía a día de hoy a 438,75€, siendo el precio de la energía 0.1441 €/kWh [11], sin tener en cuenta el bono social que se recibe en la vivienda.

Capítulo 4. ESTUDIO DEL RECURSO SOLAR

4.1 DEFINICIÓN DEL RECURSO SOLAR

El recurso solar puede definirse como la energía proveniente del Sol que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética, principalmente en forma de luz visible e infrarroja (calor). Esta radiación constituye la base de la energía solar aprovechable por sistemas fotovoltaicos y térmicos, como los que se emplean en instalaciones de autoconsumo. [12]

4.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL SOL Y SU ENERGÍA

El Sol, nuestra estrella más cercana, genera energía mediante reacciones nucleares de fusión, fundamentalmente a partir de hidrógeno (H_2), que se transforma en helio. Además, contiene elementos como carbono, oxígeno, neón y hierro. Su radio es de aproximadamente 700.000 km, y su tamaño es unas 300.000 veces mayor que el de la Tierra. En su superficie, la temperatura alcanza los 5.900 K.[13]

La energía solar se irradia en forma de fotones que viajan a 300.000 km/s, tardando aproximadamente 8 minutos en llegar a nuestro planeta. El Sol emite cada segundo 120.000 TW, lo que equivale al consumo anual de energía de la humanidad.[13]

4.1.1.1 Constante Solar

La constante solar es el valor que representa la energía solar que incide sobre una superficie normal a los rayos solares, situada a una distancia media de 1 unidad astronómica (1UA = $149,6 \times 10^6$ km). Su valor medio es de 1.360 W/m^2 , aunque varía a lo largo del año debido a la órbita terrestre. Se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$C = 1360 \cdot (1 + 0,033 \cdot \cos(0,973 \cdot N))$$

Donde N es el número del día del año, siendo 1 el 1 de enero y 365 el 31 de diciembre.

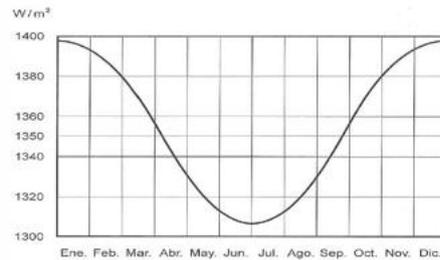


Ilustración 26 – Irradiancia debido a la variación de C [13]

4.1.1.2 Influencia de la Atmósfera

Durante su trayectoria hacia la Tierra, la radiación solar atraviesa la atmósfera, donde experimenta procesos de reflexión, absorción y dispersión. Esto provoca una reducción en la cantidad de energía que llega a la superficie terrestre haciendo que incluso en días despejados, la irradiancia máxima en la superficie rara vez supere los $1.100 W/m^2$.

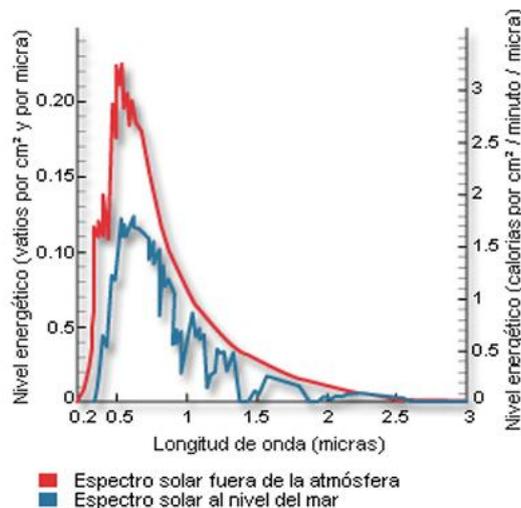


Ilustración 27 - Comparativa espectro solar fuera y dentro de la atmósfera [13]

4.1.1.3 Tipos de Radiación Solar

Los dos conceptos fundamentales en la medición de la radiación solar son:

- Irradiancia: potencia solar recibida por unidad de superficie. Se mide en W/m^2 .

- Irradiación: energía total acumulada sobre una superficie en un período determinado, medida habitualmente en kWh/m²·año.

La radiación solar que alcanza el suelo se puede clasificar en:

- Radiación Directa: llega directamente desde el Sol sin ser desviada. Es la más relevante para la producción fotovoltaica.
- Radiación Difusa: resulta de la dispersión de la radiación directa en la atmósfera. Puede representar desde un 15 % de la radiación total en días despejados hasta valores muy superiores en días nublados.
- Radiación Reflejada (Albedo): Es la radiación que ha sido reflejada por la superficie terrestre. Su intensidad depende del coeficiente de reflexión del material.
- Radiación Global: Es la suma de la radiación directa, difusa y reflejada. Este valor es clave en la evaluación del recurso solar disponible.

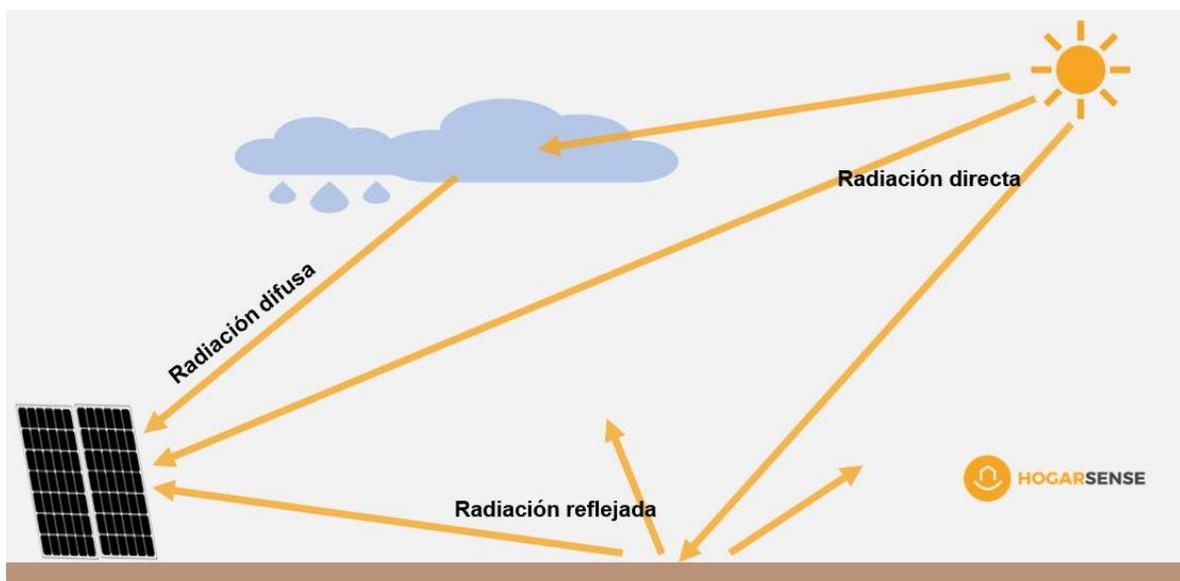


Ilustración 28 - Diferentes tipos de radiación [14]

4.2 ESTUDIO DEL RECURSO SOLAR DE LA VIVIENDA

4.2.1 BASES DE DATOS METEOROLÓGICOS

El software PVsyst, que se empleará para la simulación de los sistemas fotovoltaicos de este proyecto, emplea los siguientes indicadores

- GHI (Global Horizontal Irradiance): radiación global en un plano horizontal.
- DHI (Diffuse Horizontal Irradiance): radiación difusa en un plano horizontal.
- Temperatura: siendo la temperatura ambiental, y no la de los paneles. Se mide ya que la eficiencia de los paneles disminuye con el calor.
- Velocidad del viento: ya que el viento refrigera los paneles mejorando su rendimiento.

Para obtener estos indicadores en la ubicación de la vivienda se han utilizado las siguientes bases de datos meteorológicos:

- Meteonorm

Es una base de datos que permite simular la radiación solar en cualquier parte del mundo. El sistema está basado en la interpolación de datos de estaciones meteorológicas terrestres próximas a la ubicación de la instalación en combinación con datos de satélite para obtener resultados más exactos, contando 8320 estaciones meteorológicas alrededor del mundo y 5 satélites.

Tiene una enorme cantidad de parámetros para estudio, y es un software de pago por lo que para este proyecto se ha empleado su versión demo, más sencilla pero suficiente.

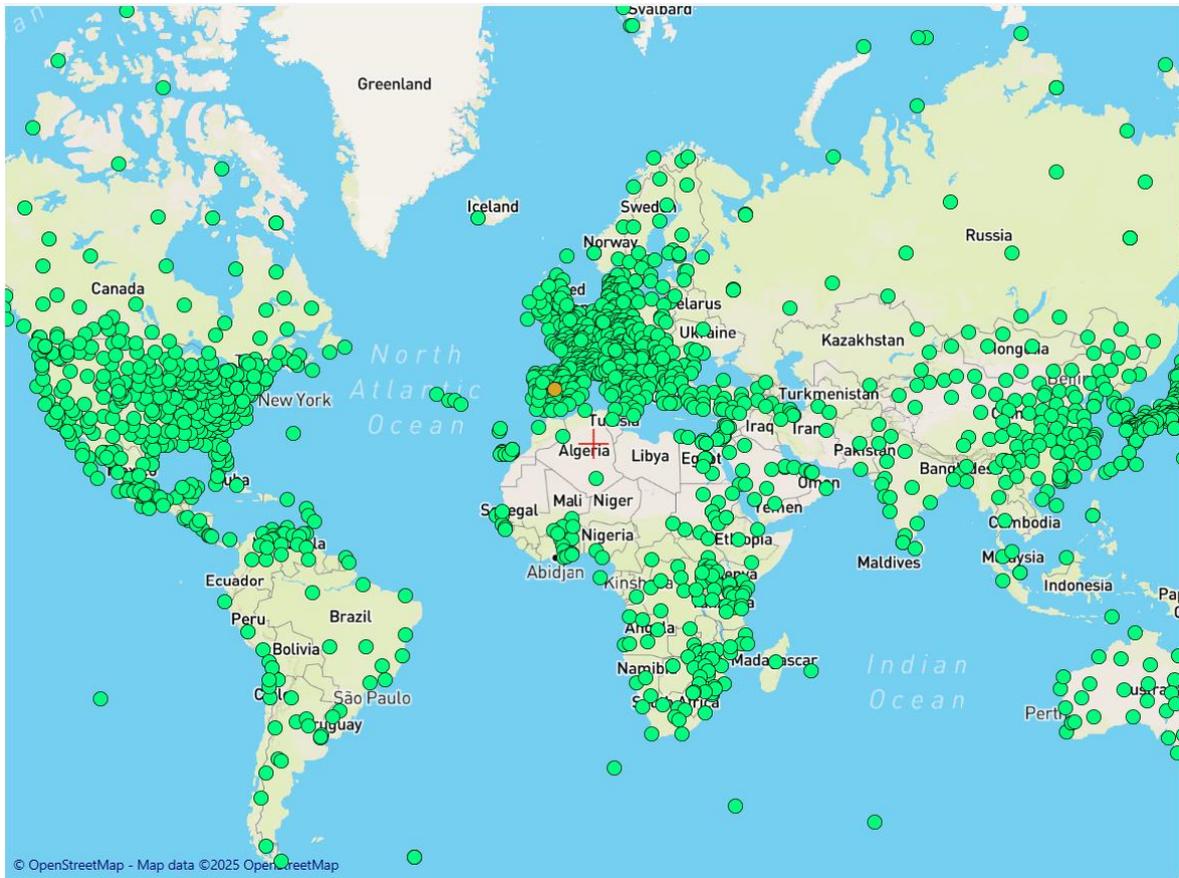


Ilustración 29 - Mapa de estaciones meteorológicas de Meteonorm (Fuente: Meteonorm)

- NASA

Los datos son procedentes de un renovado algoritmo que introduce una mejora importante en la estimación de radiación solar en la superficie. Esto hace que la radiación solar pueda tener una variación importante entre dos ubicaciones cercanas, especialmente si las diferencias en la topografía son considerables.

Esta base de datos forma parte del proyecto de la NASA conocido como POWER (The Prediction of Worldwide Energy Resources) que se ha creado con el objetivo de apoyar las energías renovables y apoyar la eficiencia energética.

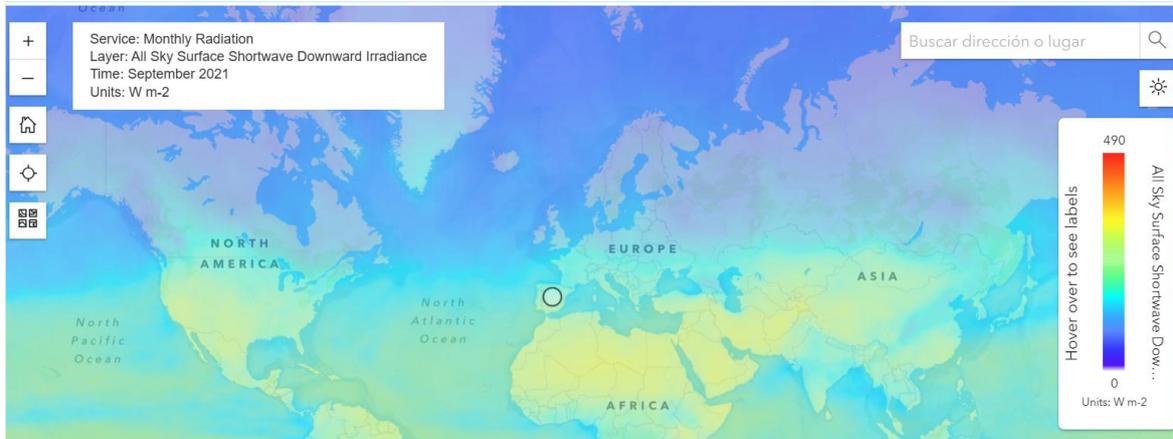


Ilustración 30 - Imagen ilustrativa del GHI en el mundo en septiembre 2021 (Fuente: NASA)

- PVGIS

Es una base de datos desarrollada por la Comisión Europea totalmente gratuita, la plataforma, de libre acceso, proporciona datos de radiación para casi todo el planeta, exceptuando los polos. Utiliza 182 puntos de estaciones terrestres de la base ESRA, apoyándose de bases de datos alimentadas por sus satélites.

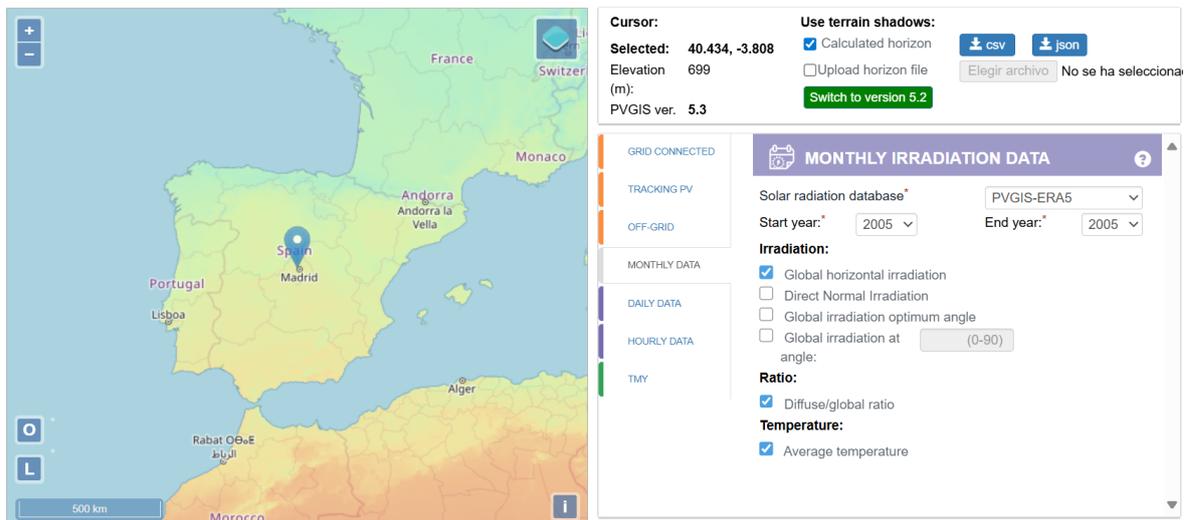


Ilustración 31 - Pantalla de PVGIS (Fuente: PVGIS)

- NREL

Es una base de datos desarrollada por el National Renewable Energy Laboratory, laboratorio nacional del departamento de energía del gobierno de Estados Unidos del que toma nombre la base de datos.

Principalmente solo tiene datos de Norte América, México y el sur de Asia, aunque cuenta con datos de algunas localizaciones externas. De nuestra vivienda tiene datos del NSRDB.

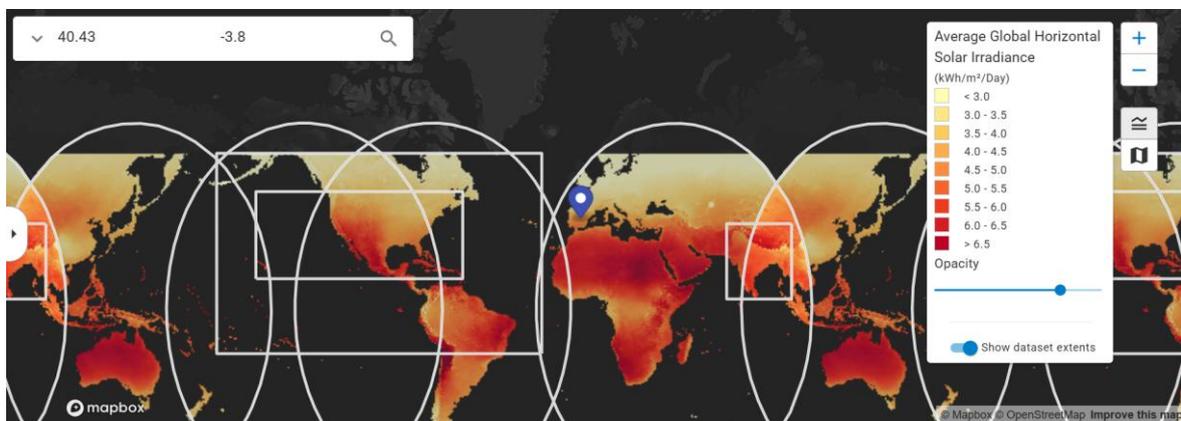


Ilustración 32 - Pantalla de NREL (Fuente: NREL)

4.2.2 DATOS METEOROLÓGICOS

Para el estudio de los datos meteorológicos de la vivienda en primera instancia descartamos los datos de NREL, ya que, aunque existentes presentan muchos huecos dificultando su análisis.

	NASA			
	GHI (kWh/m ²)	DHI (kWh/ m ²)	Ta (°C)	FF (m/s)
Enero	65,54	-	3,50	2,24
Febrero	84,69	-	4,97	2,37
Marzo	132,84	-	8,05	2,47
Abril	160,35	-	10,80	2,45
Mayo	197,81	-	15,37	2,31
Junio	218,90	-	21,11	2,26
Julio	236,73	-	25,05	2,34
Agosto	206,20	-	24,65	2,30
Septiembre	151,13	-	19,68	2,19
Octubre	105,98	-	13,78	2,27
Noviembre	68,30	-	7,74	2,34
Diciembre	55,92	-	4,55	2,19
TMY	1684,40	-	13,27	2,31

Tabla 18 - Datos meteorológicos NASA (Fuente: NASA)

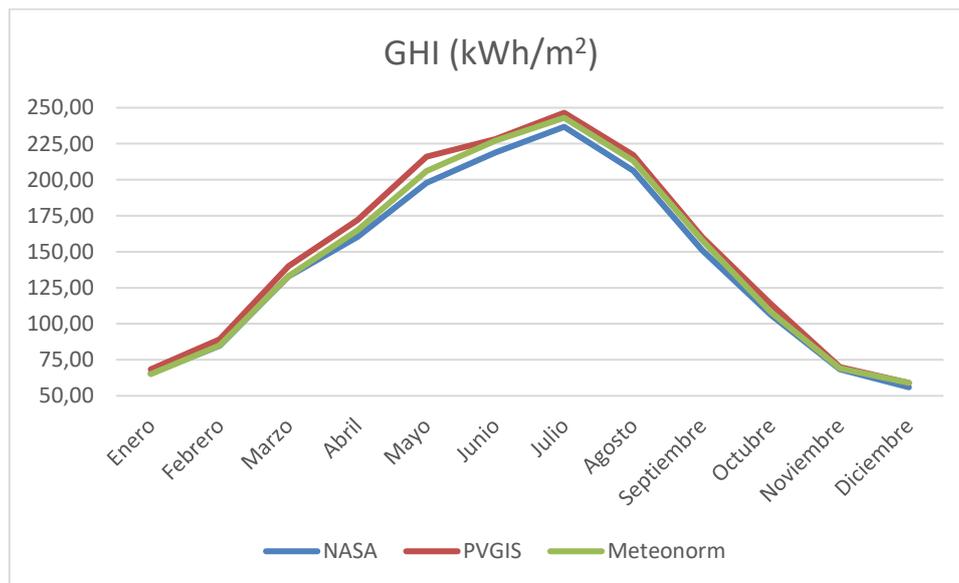
	PVGIS			
	GHI (kWh/m ²)	DHI (kWh/m ²)	Ta (°C)	FF (m/s)
Enero	68,48	23,97	4,62	-
Febrero	89,13	29,04	6,20	-
Marzo	139,95	43,46	9,25	-
Abril	172,03	52,24	12,49	-
Mayo	216,03	58,67	17,27	-
Junio	228,23	53,45	22,42	-
Julio	246,48	45,53	26,42	-
Agosto	217,09	41,70	25,64	-
Septiembre	160,14	38,52	20,46	-
Octubre	113,70	32,44	15,12	-
Noviembre	70,01	24,80	8,76	-
Diciembre	58,95	20,76	5,71	-
TMY	1780,22	464,58	14,53	-

Tabla 19 - Datos meteorológicos PVGIS (Fuente: PVGIS)

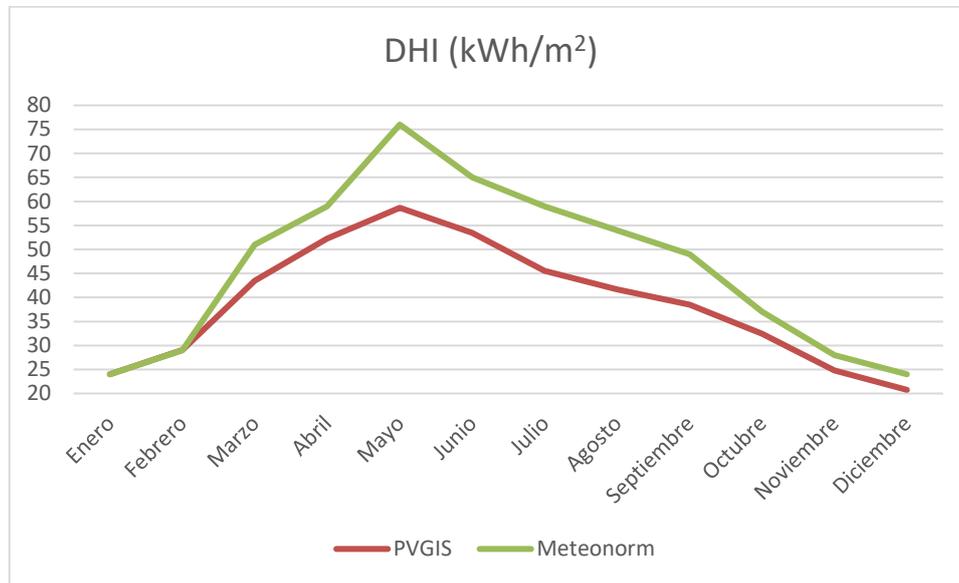
	Meteonorm			
	GHI (kWh/m ²)	DHI (kWh/m ²)	Ta (°C)	FF (m/s)
Enero	65,00	24,00	6,50	2,60
Febrero	85,00	29,00	7,80	3,00
Marzo	133,00	51,00	11,00	3,40
Abril	165,00	59,00	13,70	3,30
Mayo	206,00	76,00	18,30	2,80
Junio	227,00	65,00	24,50	3,00
Julio	243,00	59,00	27,40	3,00
Agosto	213,00	54,00	26,80	2,80
Septiembre	158,00	49,00	22,20	2,40
Octubre	108,00	37,00	16,30	2,30
Noviembre	69,00	28,00	10,10	2,60
Diciembre	59,00	24,00	7,10	2,20
TMY	1731,00	24,00	15,98	2,78

Tabla 20 - Datos meteorológicos Meteonorm (Fuente: Meteonorm)

De las tres bases meteorológicas se obtienen valores muy similares y en todos coherentes con lo que esperaríamos, mayor irradiancia en verano, con a su vez mayores temperaturas. Como se observa de la siguiente gráfica en la GHI, las bases de datos nos dan una información casi idéntica:



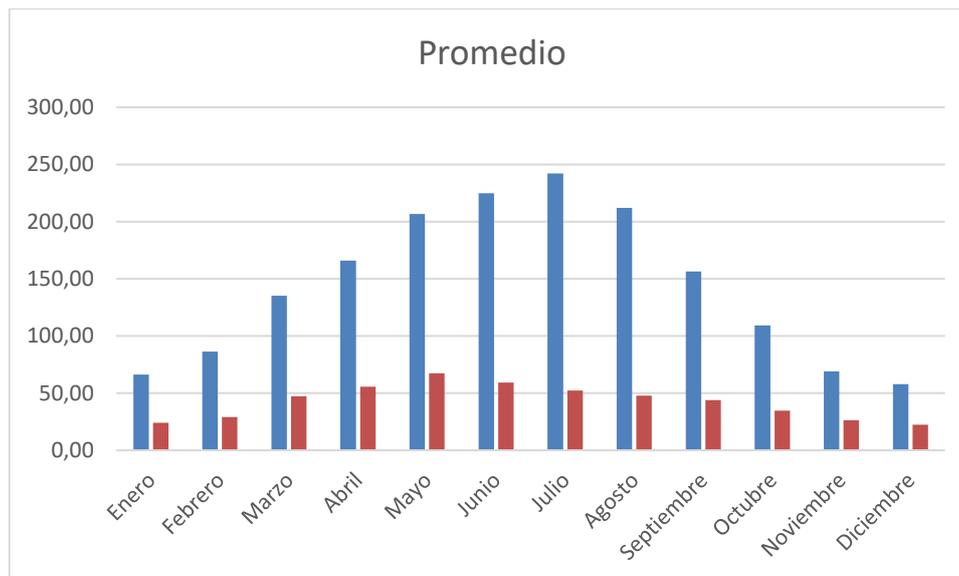
Gráfica 5 - Comparativa por mes de GHI



Gráfica 6 - Comparativa por mes de DHI

Por ello, consideramos los datos de todas las bases de datos como correctos, y se emplearán para obtener un promedio de las medidas de las 3 bases de datos, con el fin de mitigar valores o medidas incorrectas de alguna de las bases de datos, mejorando la posterior simulación.

Se muestra una gráfica de los valores de GHI Y DHI en kWh/m² obtenidos en promedio:



Gráfica 7 - Valores de GHI y DHI en promedio de las bases meteorológicas

Por último, con la base de datos definida, creamos un nuevo sitio geográfico en el programa PVsyst y definimos sus coordenadas y datos meteorológicos.

Para ello nos introducimos en la sección de bases de datos de PVsyst, y creamos un nuevo sitio geográfico introduciendo sus coordenadas y el país en el que se encuentra. Esto es especialmente útil, ya que el programa comprueba que los valores introducidos al programa sean razonables para el lugar geográfico.

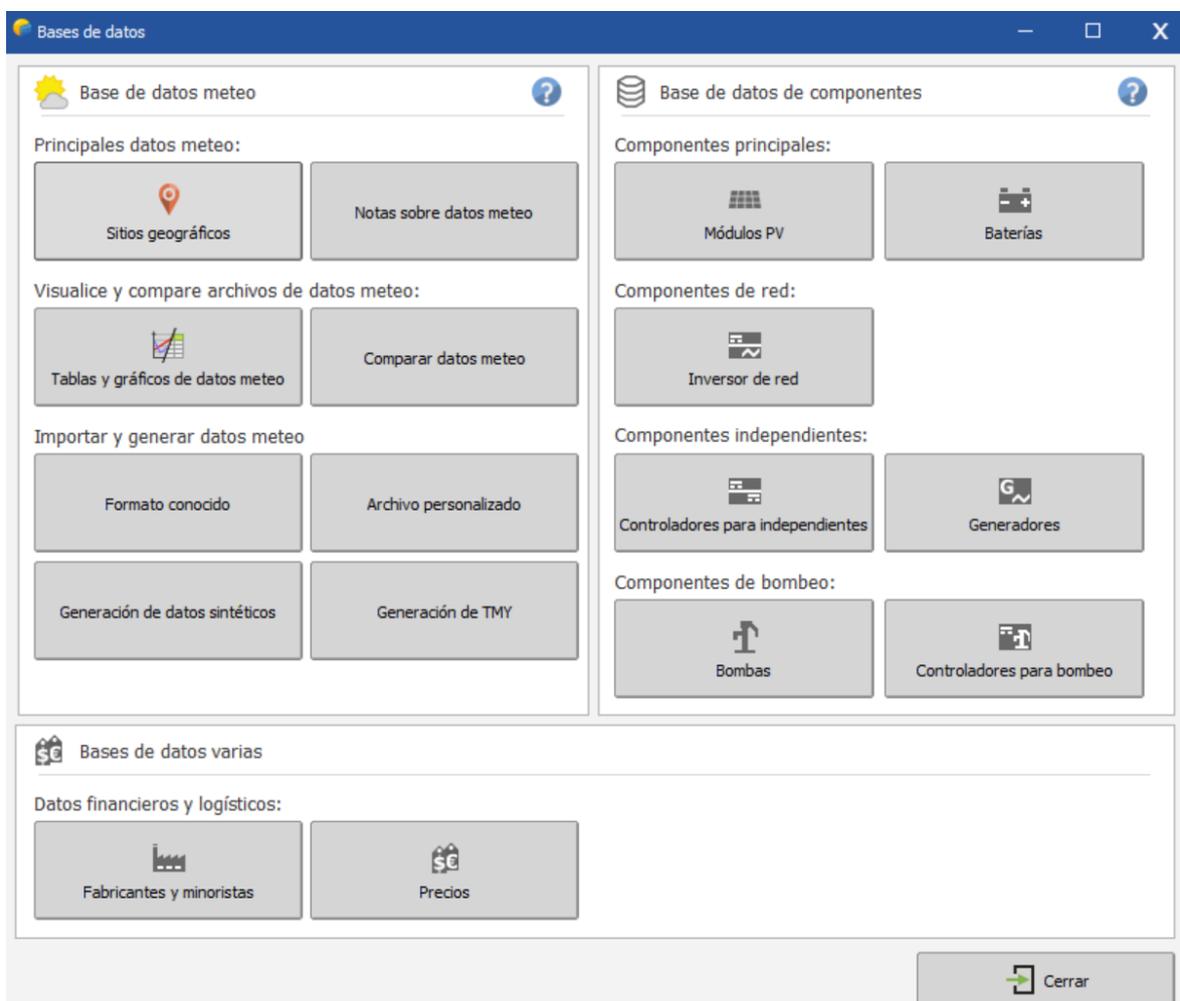


Ilustración 33 - Página principal PVsyst (Fuente PVsyst)

Desde la página principal, entramos a sitios geográficos, donde nos aparece una lista de todos los emplazamientos que vienen de serie, más aquellos que hallamos introducido nosotros.

Como la vivienda de estudio obviamente no viene previamente seleccionada ya que es de elección nuestra, hay que introducirla:

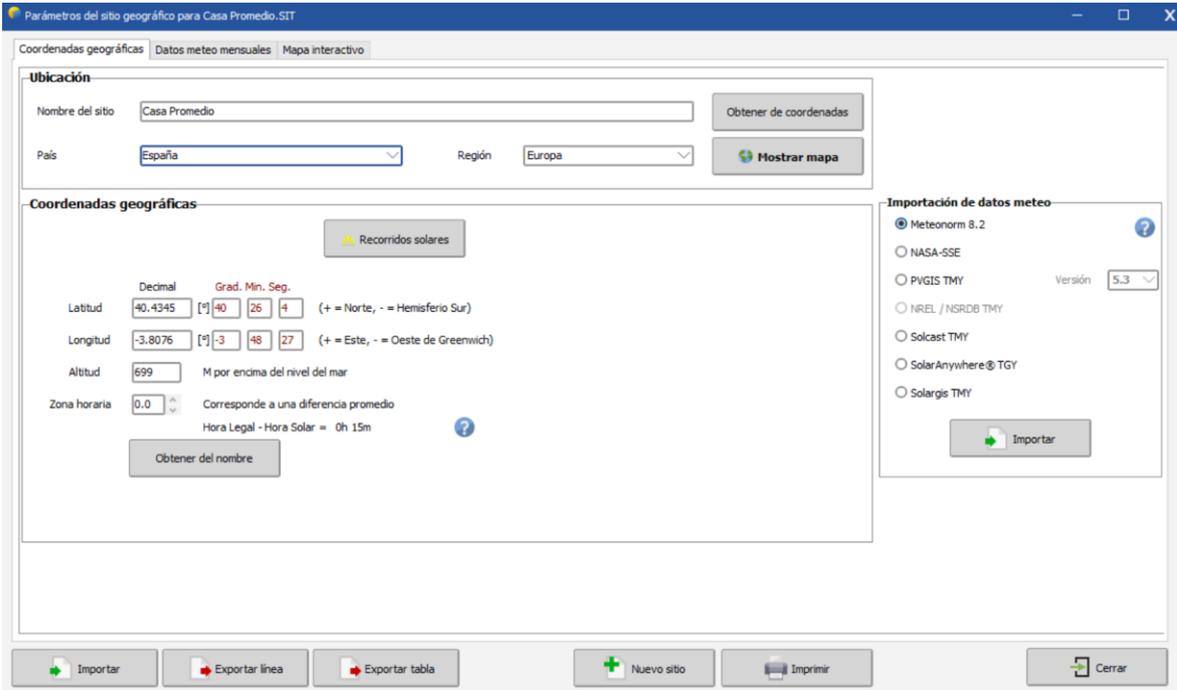


Ilustración 34 - Pantalla de creación de un nuevo sitio geográfico (Fuente: PVsyst)

Una vez introducidos los datos geográficos, pasamos a la pestaña de datos meteo mensuales, para introducir los datos meteorológicos que definimos anteriormente. Como ya se ha dicho, será un promedio de las bases de datos de la NASA Meteonorm y PVGIS.

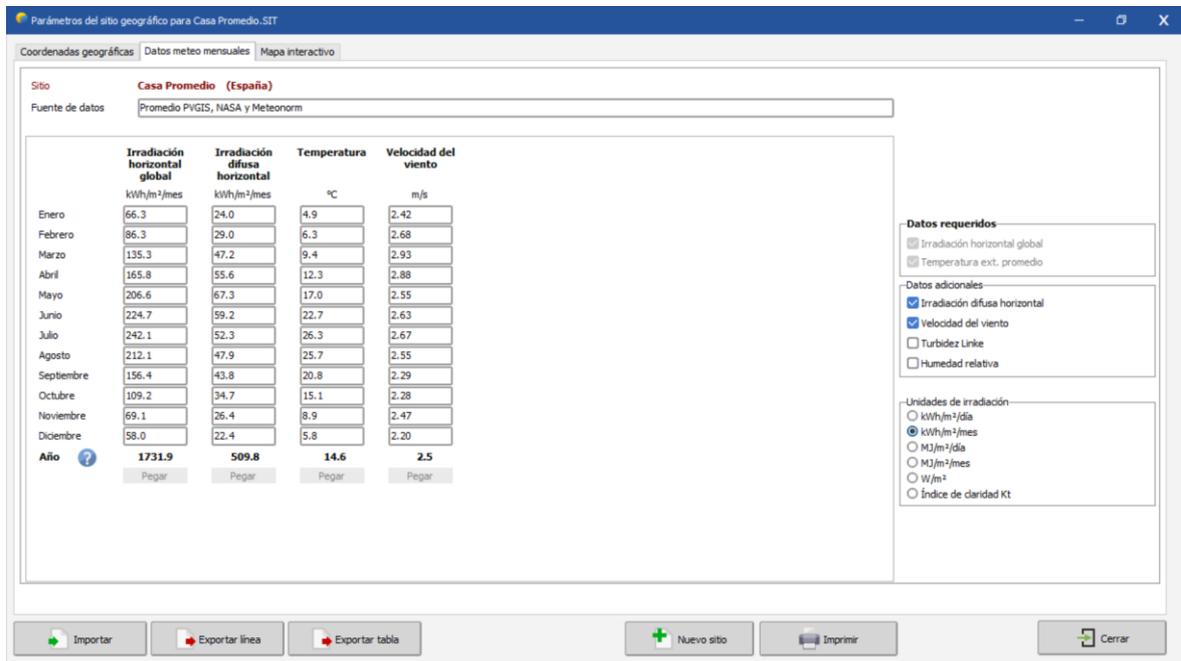


Ilustración 35 - Pantalla de PVsyst con los datos meteorológicos en promedio para la vivienda
 Con esto la toma de datos meteorológicos de la vivienda está completa.

	Promedio			
	GHI (kWh/m ²)	DHI (kWh/m ²)	Ta (°C)	FF (m/s)
Enero	66,34	23,98	4,87	2,42
Febrero	86,27	29,02	6,32	2,68
Marzo	135,26	47,23	9,43	2,93
Abril	165,79	55,62	12,33	2,88
Mayo	206,61	67,33	16,98	2,55
Junio	224,71	59,23	22,68	2,63
Julio	242,07	52,27	26,29	2,67
Agosto	212,10	47,85	25,69	2,55
Septiembre	156,42	43,76	20,78	2,29
Octubre	109,23	34,72	15,06	2,28
Noviembre	69,10	26,40	8,87	2,47
Diciembre	57,96	22,38	5,79	2,20
TMY	1731,88	22,38	14,59	2,55

Tabla 21 - - Datos meteorológicos Promedio

Capítulo 5. COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO RESIDENCIAL



Ilustración 36 - Instalación de autoconsumo [15]

Los componentes básicos de una instalación de autoconsumo son:

- Placas solares, generan la energía.
- Inversor, conectan las placas solares con la red.
- Contador, mide el consumo eléctrico y el autoconsumo empleado.
- Soporte, se usa para sostener las placas solares.

5.1 PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

Los paneles solares son la pieza más básica y fundamental para una instalación fotovoltaica, por lo que es imprescindible conocer cómo funcionan y que tipos de paneles existen.

Los paneles solares funcionan mediante las células solares fotovoltaicas, estas son un dispositivo formado por materiales semiconductores capaces de producir mediante una unión p-n electricidad en corriente continua, utilizando como fuente la radiación solar. Las células se montan en serie sobre paneles fotovoltaicos o módulos solares para conseguir un voltaje adecuado.

La radiación incidente en las células es capaz de hacer saltar electrones de una capa a otra creando una corriente proporcional a la radiación incidente, aunque parte de la radiación se pierde ya sea por reflexión o transmisión, es decir, atravesando la propia célula. A su vez, y como ya se ha comentado la eficiencia de las células solares disminuye cuando se incrementa la temperatura tanto por la intensidad de trabajo, pero sobre todo por la disminución que sufre la tensión a circuito abierto. Para células de silicio, las predominantes del mercado, la pérdida de eficiencia es de 0,4-0,5 % por cada grado de aumento de temperatura por encima de 25°C. [13]

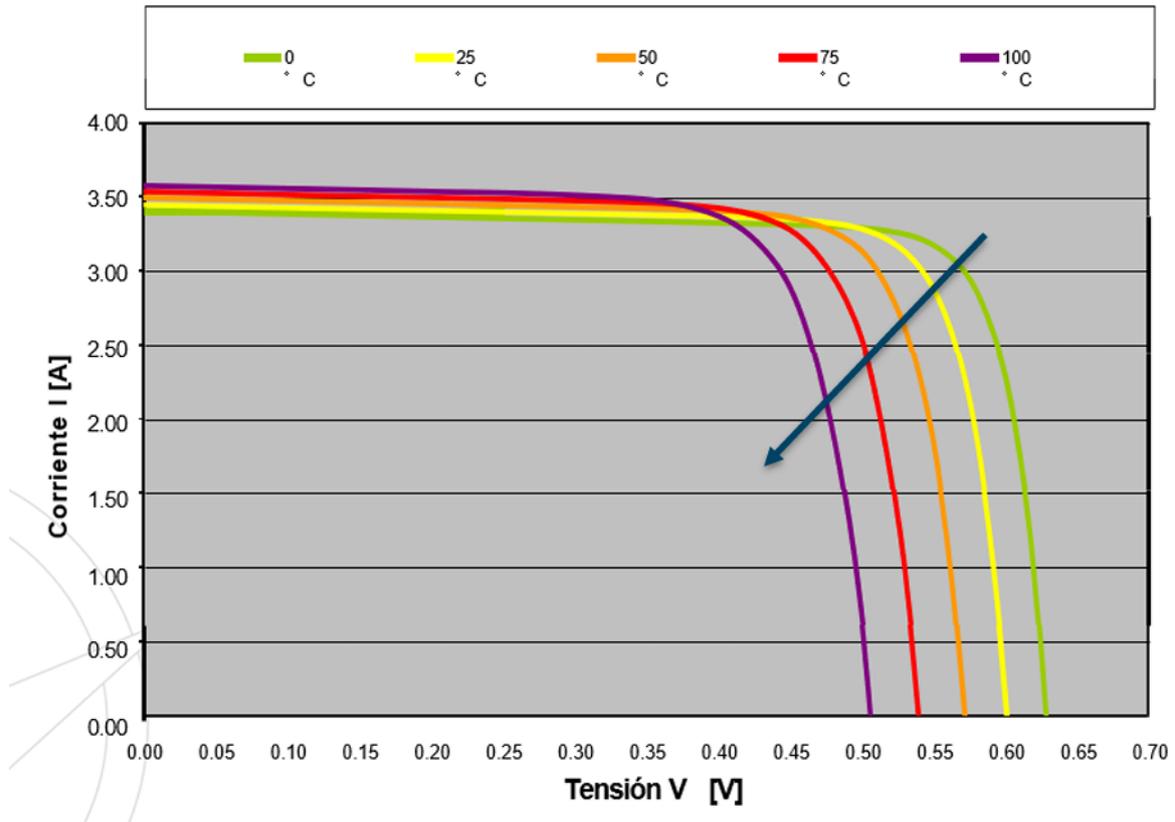


Ilustración 37 - Curva corriente tensión a distintas temperaturas de los paneles solares [13]

Para fabricar un panel solar, se encadenan de 48 a 60 células solares y se colocan cuidadosamente entre dos láminas transparentes de Etilvinilacetato como encapsulante. A continuación, se ubica una capa de la parte trasera (backsheet en inglés, fabricada en Tedlar/fluoruro de polivinilo) y se calienta el apilado de capas para crear una envoltura protectora alrededor de las células solares. Después, para dar estabilidad estructural y protección, se colocan vidrio en la superficie frontal y marcos de aluminio alrededor del perímetro, todos unidos entre sí con un adhesivo resistente al agua. [13]

PARTES DE UN PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO

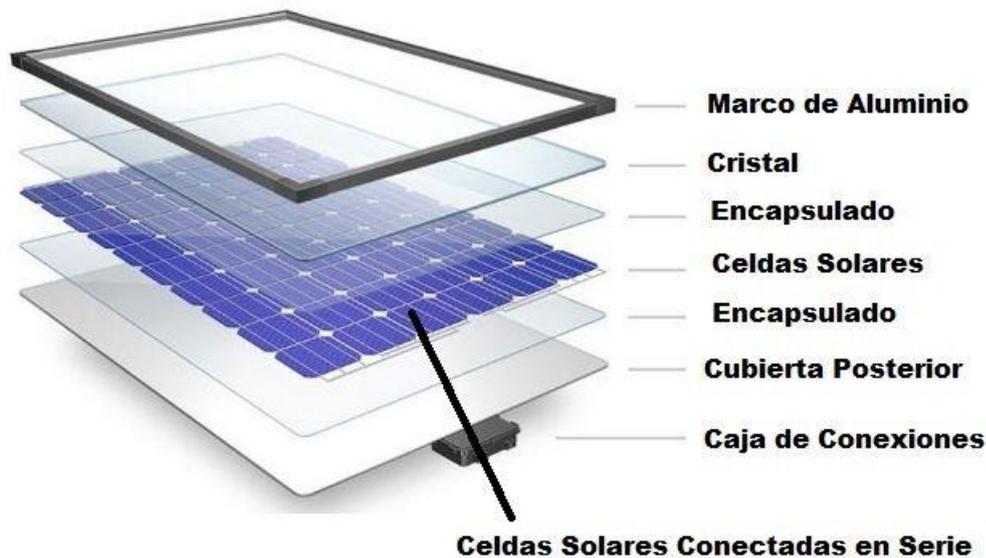


Ilustración 38 - Partes de un panel solar fotovoltaico [16]

La gran mayoría de las células solares que actualmente están disponibles comercialmente son de silicio mono o policristalino, aunque existen otros materiales:

- El silicio monocristalino se obtiene a través de un proceso complejo que elimina las impurezas y permite obtener láminas finas y con bordes redondeados de una gran pureza. Se denomina mono porque está formado por un cristal único, disponiendo de una red cristalina continua. La eficiencia de una célula de silicio monocristalino es capaz de alcanzar el 20%.
- El silicio policristalino se obtiene de un proceso más simple que implica la creación de un bloque de silicio que posteriormente se corta en láminas de bordes con ángulos rectos. Durante este proceso todo el silicio se concentra en una gran masa o bloque, no siendo necesario ningún proceso para separar las impurezas que contiene. Debido a las impurezas su rendimiento baja, pudiendo alcanzar como máximo el 16%
- Lámina Delgada: disminuye la cantidad de material semiconductor dado que las células solares presentan espesores del orden 100 veces inferiores a los de las de silicio cristalino.

Para este proyecto se va a emplear paneles solares monocristalinos, debido a su eficiencia superior, permitiéndonos aprovechar mejor el reducido espacio, además, su vida útil de 25 a 30 años garantiza una inversión sólida y sostenible a largo plazo.

5.2 INVERSORES

Los inversores son otra parte indispensable a de las placas solares, estos actúan como nexo entre la corriente eléctrica de la casa y el generador fotovoltaico, transformando la corriente continua producida por el panel solar en corriente alterna para poder abastecer la vivienda.

A la hora de decidir el inversor, hay que tener en cuenta que este pueda transformar toda la potencia producida por los paneles solares y que un inversor más pequeño es más económico, por ello, y ya que los paneles solares rara vez trabajan a su potencia pico, se busca que la potencia pico de los paneles solares sea aproximadamente un 10% superior a la nominal del inversor.

Existen varios tipos de inversores:

- Inversor Central que se utilizan en grandes plantas (de centenares a varios miles de kW). Permiten centralizar la conversión en un solo inversor reduciendo costos y espacio.
- Inversores “string” de potencia más pequeña desde pocos kW hasta centenares de KW que se utilizan principalmente en pequeñas instalaciones y en tejados medianos. De la misma forma que los centrales permiten centralizar la conversión en un solo inversor reduciendo costos y espacio.
- Micro inversores, cada panel de la instalación tiene su propio micro inversor y cada inversor vuelca su energía al cuadro general eléctrico, permitiendo que cada panel funcione de manera independiente.

Para el proyecto se usará un inversor string al ser el que proporciona el mejor rendimiento técnico económico para las características de la instalación.

5.3 CONTADOR ELÉCTRICO

Es el encargado de medir el consumo eléctrico, en este caso la instalación va a ir conectada a la red general eléctrica por lo que deberemos contar con un contador bidireccional que sea capaz de medir tanto la energía que consumimos de la red eléctrica como la que nuestra instalación solar fotovoltaica vierte a la red que la compañía eléctrica nos compensará económicamente consiguiendo así un ahorro sobre la factura eléctrica.

Es el aparato que se encarga de medir el consumo eléctrico en una vivienda tradicional, pero en instalaciones fotovoltaicas, se emplea uno bidireccional, que nos permita conocer tanto como cuanto consumimos de la red eléctrica como cuanto aportamos a la red, para saber lo que se nos compensará.

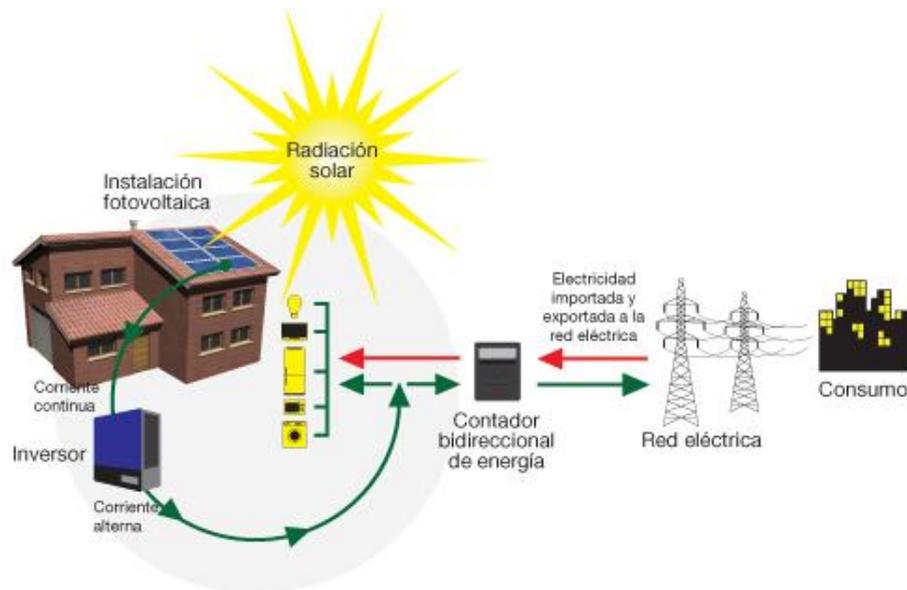


Ilustración 39 - Esquema del sistema solar fotovoltaico conectado a la red [17]

5.4 SOPORTE

Los módulos fotovoltaicos se instalan sobre estructuras estables, rígidas y durables que soporten la fuerza del viento, lluvia, nieve y otras condiciones adversas. Aunque pueda parecer extraño su principal enemigo no es el peso sino la fuerza del viento. Dado el elevado

coste de las placas solares se comprende la necesidad de cuidar que la estructura soporte y la sujeción sea lo suficientemente segura y sólida. Como mínimo la estructura deberá resistir vientos de 150 km/h.

Las estructuras pueden ser de dos tipos:

- Fijas: se utilizan normalmente con módulos planos a ángulos fijos, determinados por la latitud del lugar y las necesidades de generación. Pueden ser para tejado, pared, suelo, poste o para integración arquitectónica.
- Móviles: Seguimiento solar a 1 eje o a 2 ejes. Incrementan la captación de radiación solar y por tanto la generación de energía. Necesitan mayor mantenimiento, mayor superficie y consumen energía eléctrica.

Debido a que la instalación es residencial en un tejado, se cree innecesario y demasiado costoso, la instalación de estructuras móviles. A su vez, requieren un mantenimiento difícilmente factible en un tejado como el de la vivienda.

Capítulo 6. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN CON PVSYST

6.1 PVSYST

Es el programa que se va a emplear para la simulación de la instalación fotovoltaica, PVsyst es un software de simulación fotovoltaica ampliamente reconocido a nivel mundial, diseñado para modelar el comportamiento de sistemas solares desde una perspectiva técnica y económica.

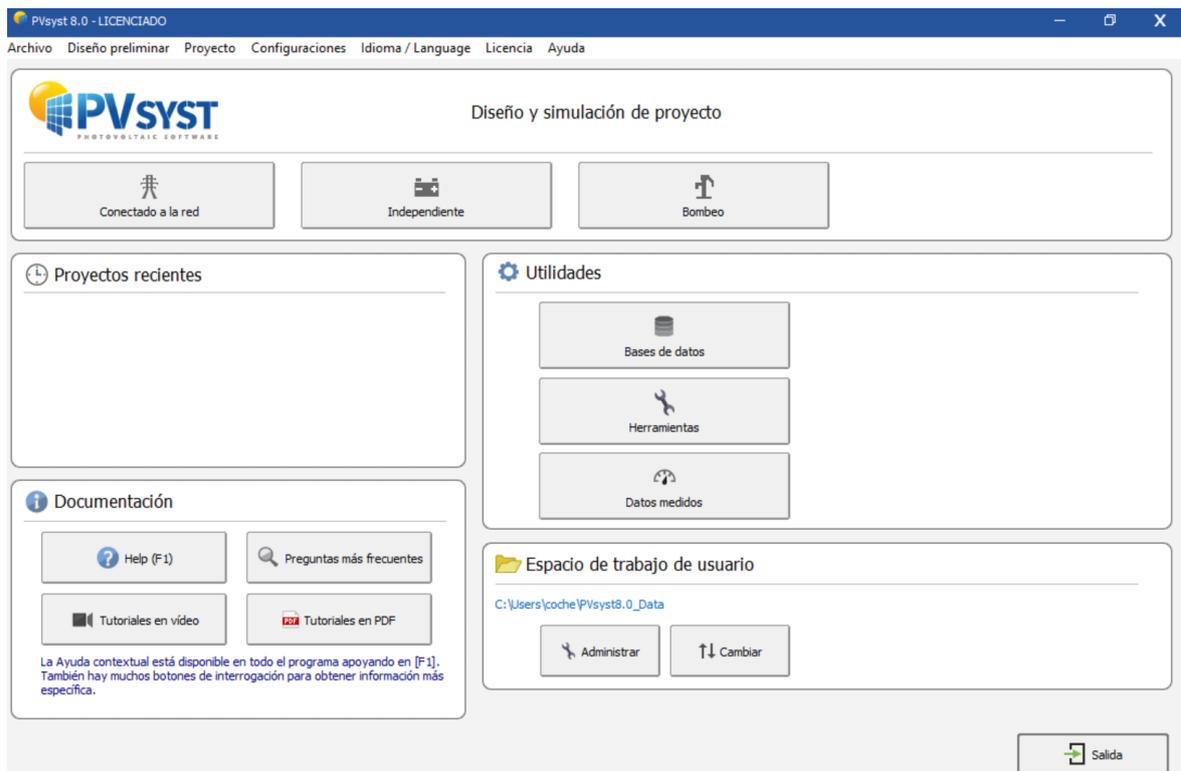


Ilustración 40 - Pantalla de inicio PVsyst

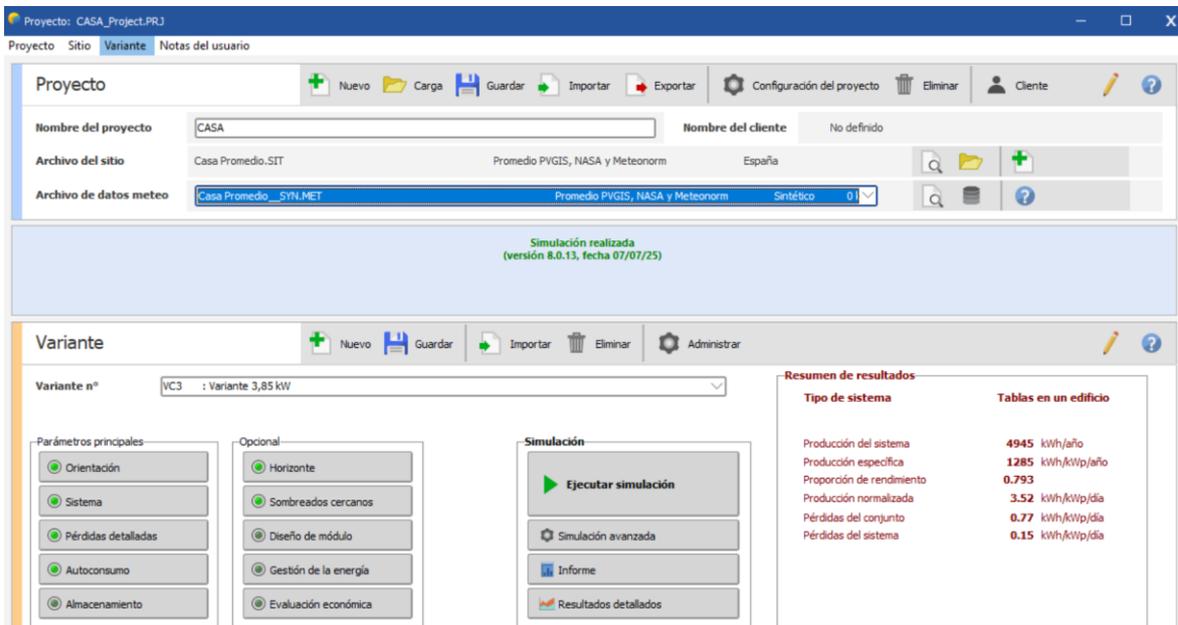


Ilustración 41 - Pantalla de proyecto (Fuente: PVsyst)

6.2 ORIENTACIÓN

Se comienza con el apartado de orientación, éste es importante ya que existe una posición óptima para los paneles, y alejarse de la misma nos hace perder rendimiento. En términos generales, el sistema óptimo tiene una inclinación de 35° y un azimut de 0° , también observable en los máximos de ambas graficas de la siguiente ilustración:

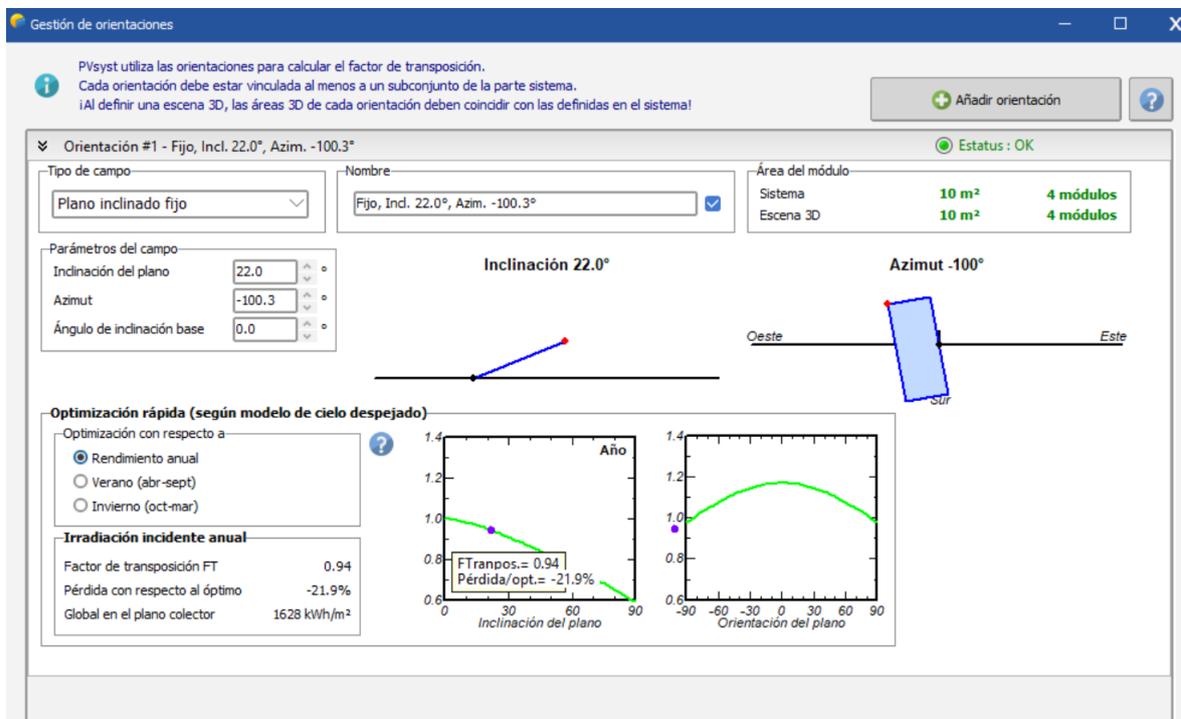


Ilustración 42 - Pantalla gestión de orientación de (Fuente: PVsyst)

Como se van a colocar los paneles solares en el tejado de un edificio, nuestro azimut e inclinación vienen definidos por el tejado, obteniéndose una inclinación de 22° y un azimut de -100°. Como se observa de la ilustración 44, el factor de pérdida es de 21,9% respecto al óptimo teórico.

6.3 SISTEMA

En este apartado, se define el modelo de panel solar que se va a emplear, su número y disposición, a su vez, también se elige el inversor empleado para la instalación.

Este apartado es muy útil ya que nos calcula el tamaño de la instalación y nos ayuda a calcular el dimensionamiento de paneles solares con inversores.

En la siguiente ilustración se demuestra una instalación de ejemplo con 2,2 kW pico y 2kW de potencia nominal, instalando 4 paneles solares de Longi Solar de 550 W y un inversor de Huawei Technologies de 2 kW:

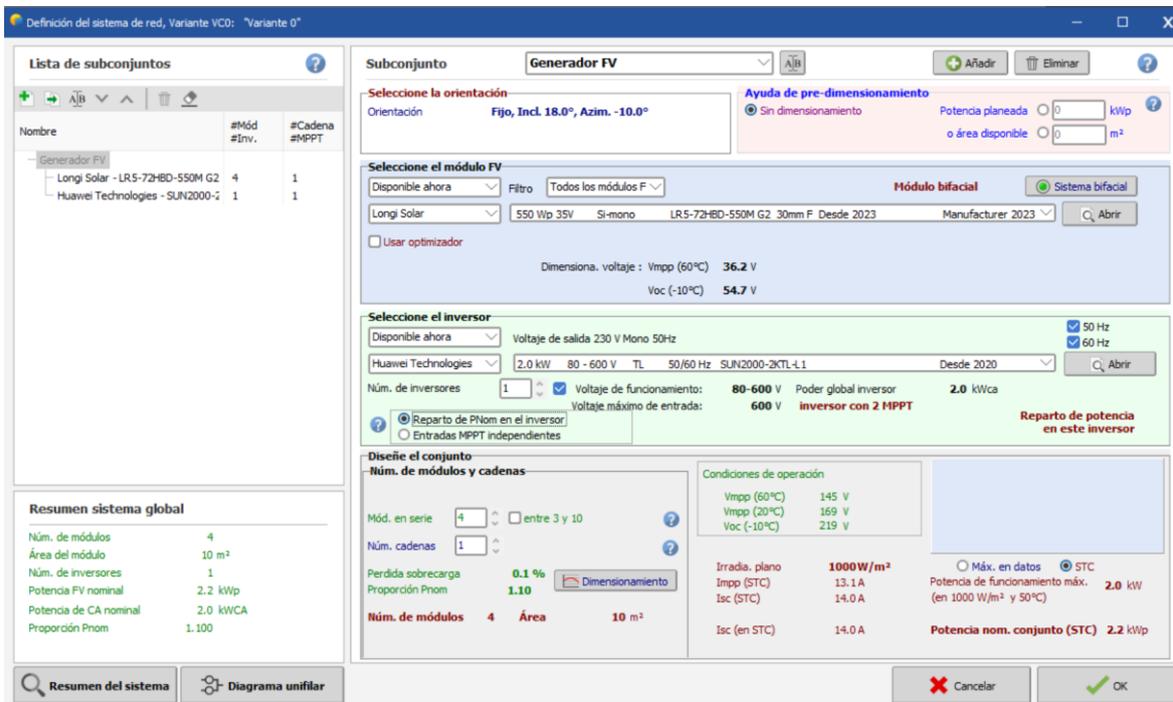


Ilustración 43 - Sistema de ejemplo para el proyecto (Fuente: PVsyst)

La razón por la que no se muestra el sistema final, es que se quiere realizar varias simulaciones de rendimiento para diferentes potencias pico y nominales, es decir, diferentes paneles e inversores, con el fin de obtener el dimensionamiento adecuado para el proyecto.

6.4 PÉRDIDAS

Como ya se ha comentado anteriormente, los paneles solares tienen pérdidas por numerosas razones, ya que las condiciones meteorológicas, del panel y de instalación no son siempre óptimas. A su vez existen pérdidas por factores como el envejecimiento del panel, indisponibilidad o suciedad.

Todas estas pérdidas se analizarán en este apartado:

6.4.1 PÉRDIDAS POR PARÁMETRO TÉRMICO

PVsyst calcula las pérdidas térmicas del sistema (cómo se calientan los paneles y cómo afecta eso al rendimiento) con la siguiente fórmula:

$$U = U_c + U_v * Vel. viento$$

- U_c representa una pérdida constante.
- U_v representa la pérdida debido a la velocidad del viento, es decir, lo que se refrigera.

Estos dependen del lugar de instalación, para el proyecto se ha elegido a opción de integración con respaldo aislado, congruente al ser la instalación en un tejado.

Para estas condiciones PVsyst, nos otorga los valores de $U_c = 15$ y $U_v = 0$. Esto significa que el viento no refrigera el panel solar, y aunque pudiese ser falso, generalmente se emplea el acercamiento más conservador para tener una mayor fidelidad de la instalación.

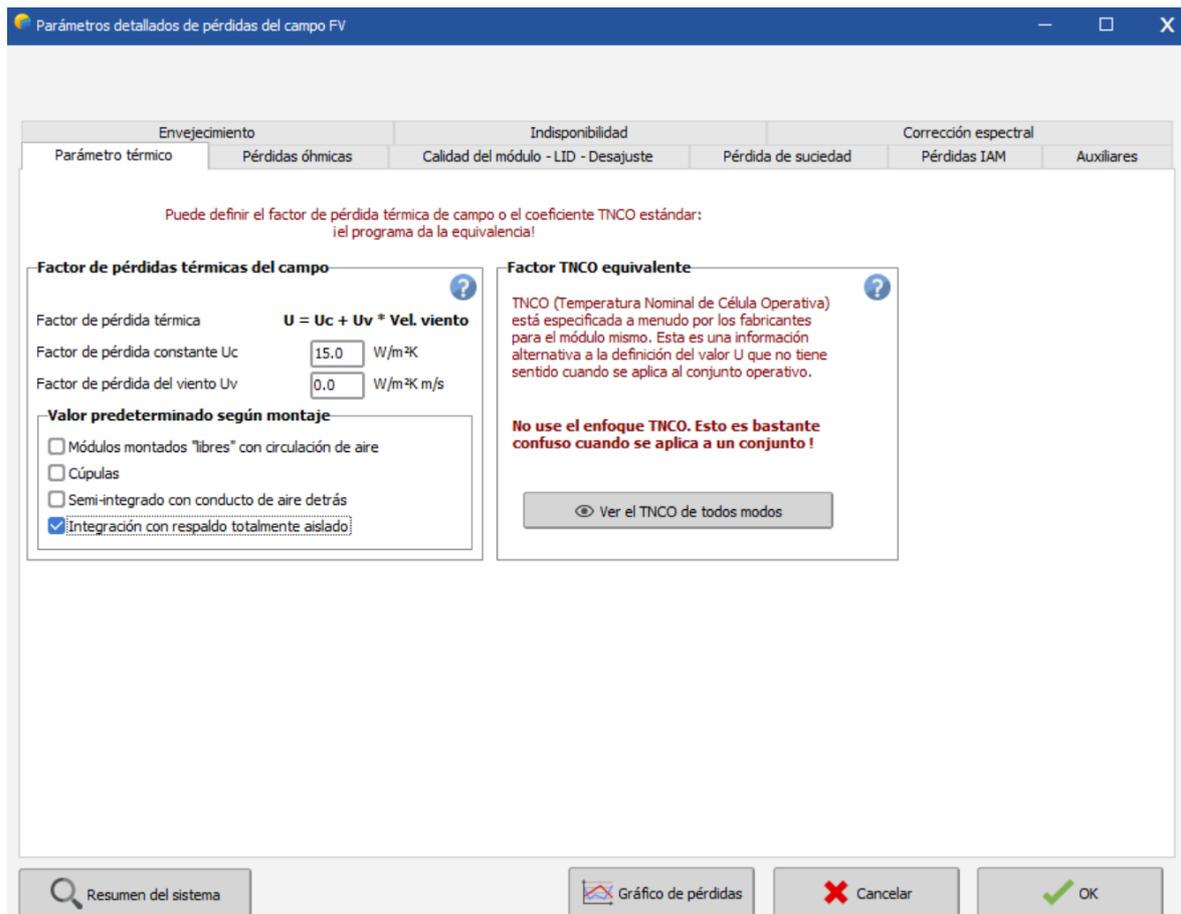


Ilustración 44 - Pantalla de pérdidas por parámetro térmico (Fuente: PVsyst)

6.4.2 PÉRDIDAS ÓHMICAS

Son aquellas pérdidas producidas por la circulación de corriente a través del sistema.

Tenemos dos pérdidas en el sistema, existen las pérdidas por corriente continua, éstas se producen por las conexiones en serie entre las placas solares, habiendo definido dicha pérdida en el 1%. Y las pérdidas por corriente en alterna, producida por la conexión del inversor con las placas solares, las cuales son auto definidas por el programa una vez introducido una distancia y tamaño para el cable.

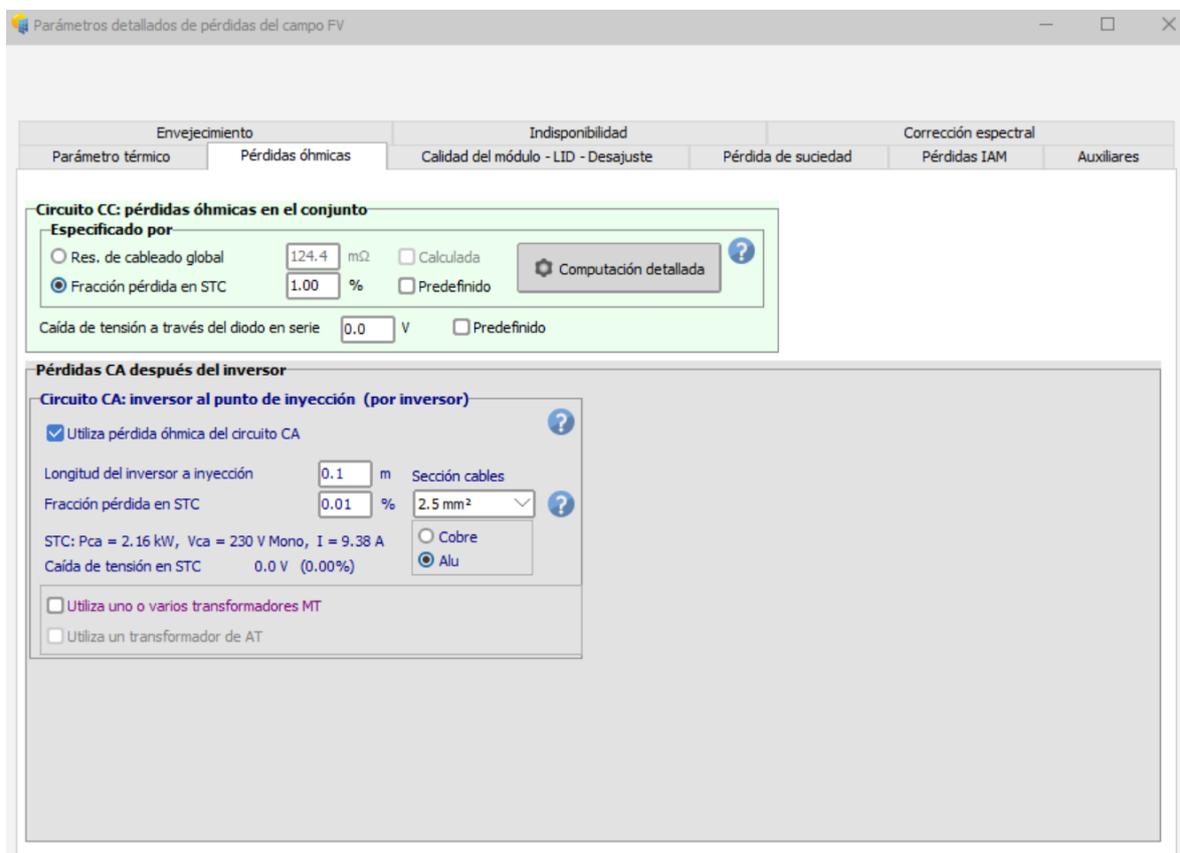


Ilustración 45 - Pantalla de pérdidas óhmicas (Fuente: PVsyst)

6.4.3 PÉRDIDAS POR LA CALIDAD DEL MÓDULO – LID – DESAJUSTE

En este apartado, tenemos varios tipos diferentes de pérdidas:

- Calidad de módulo, para que el panel solar funcione a la potencia prometida en venta durante el ciclo de vida total del panel, los fabricantes hacen los paneles solares de mayor potencia para contrarrestar a la degradación del panel, por ello la pérdida es negativa.
- LID, es la pérdida de eficiencia debido a la degradación de los módulos de silicio en las primeras horas de funcionamiento.
- Pérdidas por desajuste, se producen debido a que la intensidad que circula es igual a la del panel con menor intensidad del string.

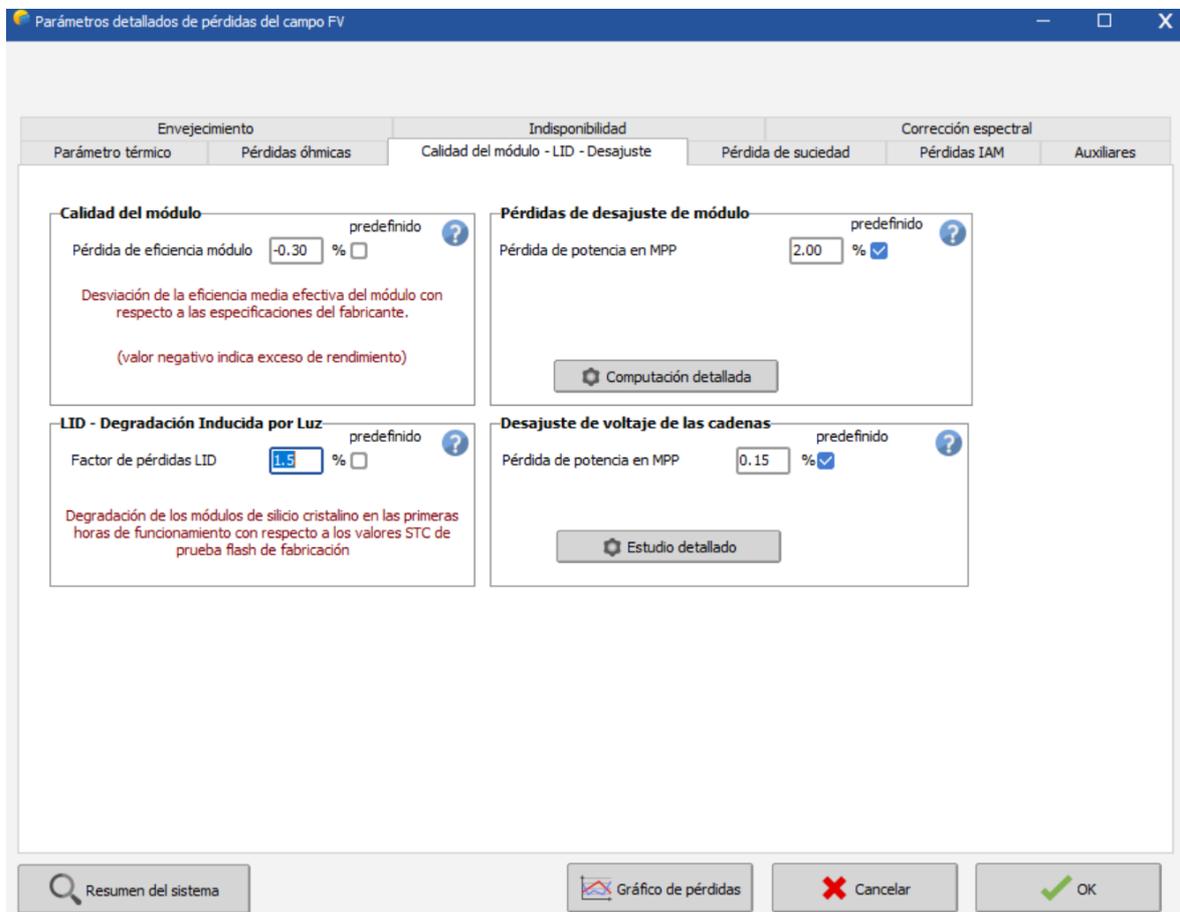


Ilustración 46 – Pantalla de pérdidas por la calidad del módulo – LID – Desajuste (Fuente: PVsyst)

6.4.4 PÉRDIDAS POR SUCIEDAD

Las pérdidas por suciedad se deben a la contaminación, polvo u otras partículas y sustancias presentes en el aire, las cuales pueden depositarse en el panel solar. Éstas tapan las células fotovoltaicas del Sol, reduciendo la eficiencia y aunque se pueden limpiar contratando personal o mediante la lluvia, el 2% es un valor reconocido como sensato para la simulación.

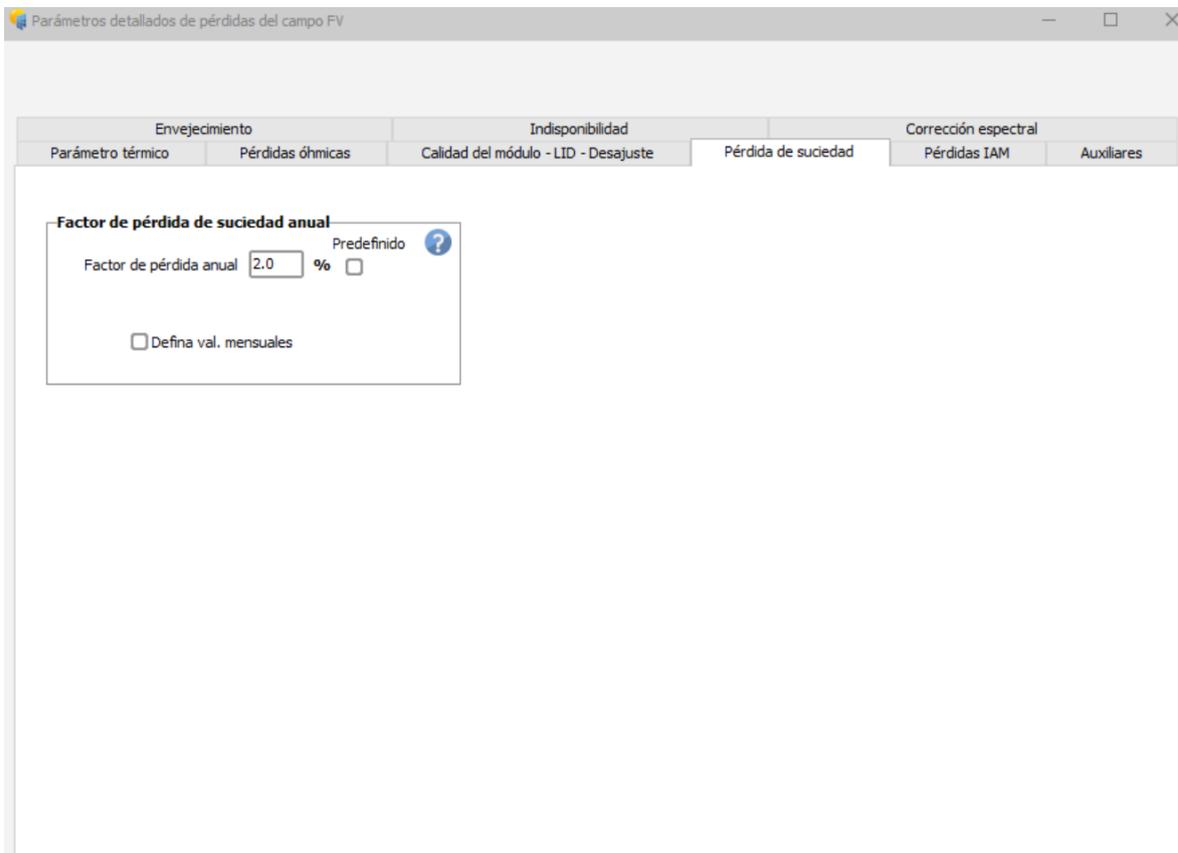


Ilustración 47 - Pantalla de pérdidas por suciedad (Fuente: PVSyst)

6.4.5 PÉRDIDAS IAM

Son las pérdidas debido a que, aunque se tenga el panel solar perpendicular al Sol, el rayo no siempre va a incidir de manera perpendicular perfecta. Por lo que se emplea el modelo de Fresnel con revestimiento AR para calcular estas pérdidas.

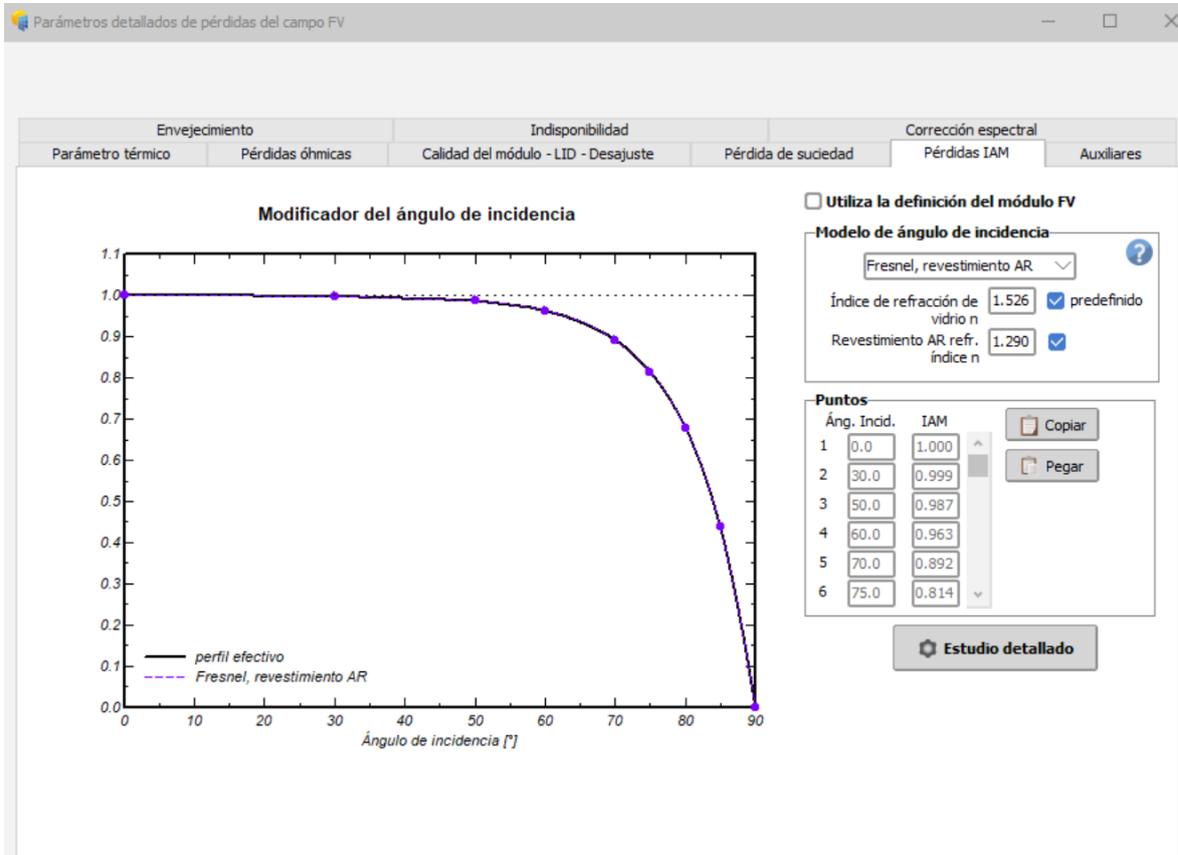


Ilustración 48 – Pantalla de pérdidas IAM (Fuente: Pvsyst)

6.4.6 PÉRDIDAS AUXILIARES

Son las pérdidas producidas por los elementos adyacentes y conectados a la instalación, como el inversor, o un soporte seguidor si lo hubiese.

Como solo se tiene un seguidor la pérdida es de 5W por kW convertido.

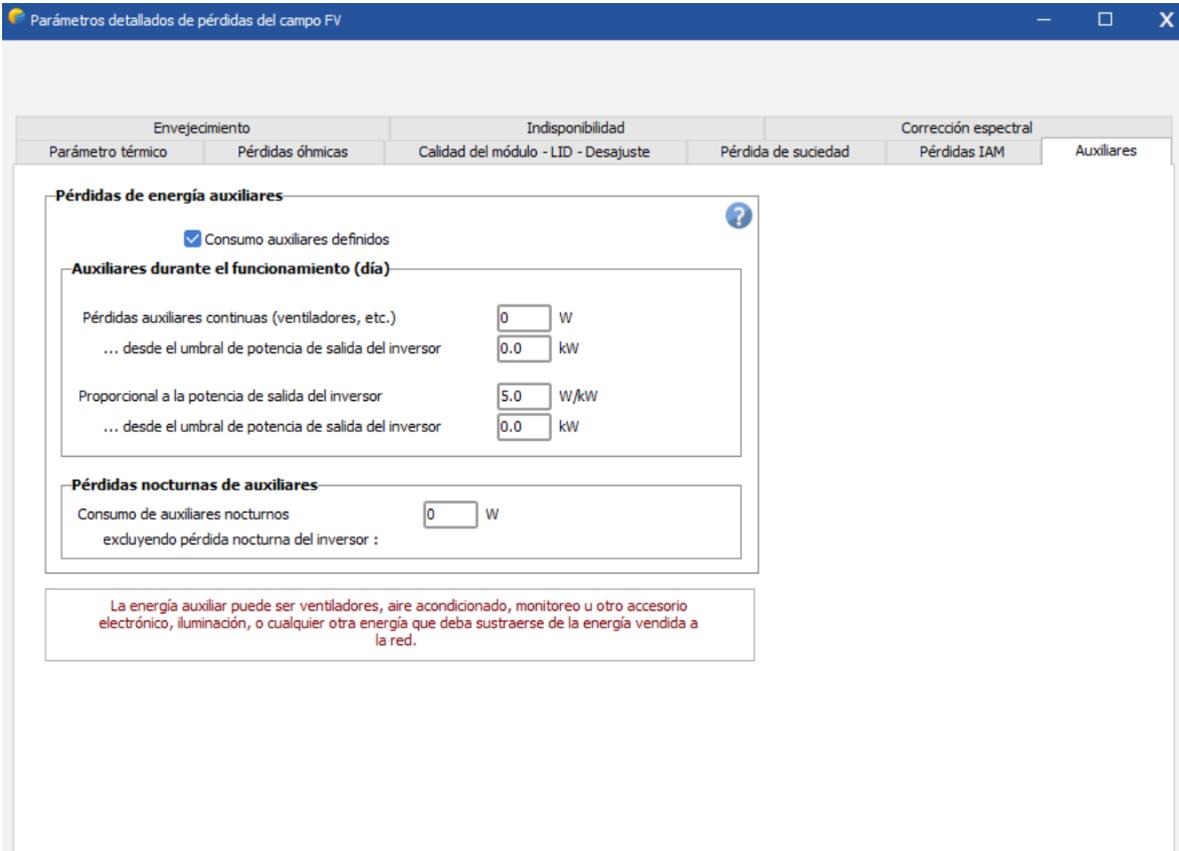


Ilustración 49 - Pérdidas auxiliares (Fuente: PVSyst)

6.4.7 PÉRDIDAS POR ENVEJECIMIENTO

Las células fotovoltaicas se degradan con el tiempo de uso, por lo que es importante evaluar estas pérdidas para la simulación. Esta degradación viene indicada en la ficha técnica de cada panel solar, en el que estamos usando de ejemplo de Longi Solar es del 0,45% anual.

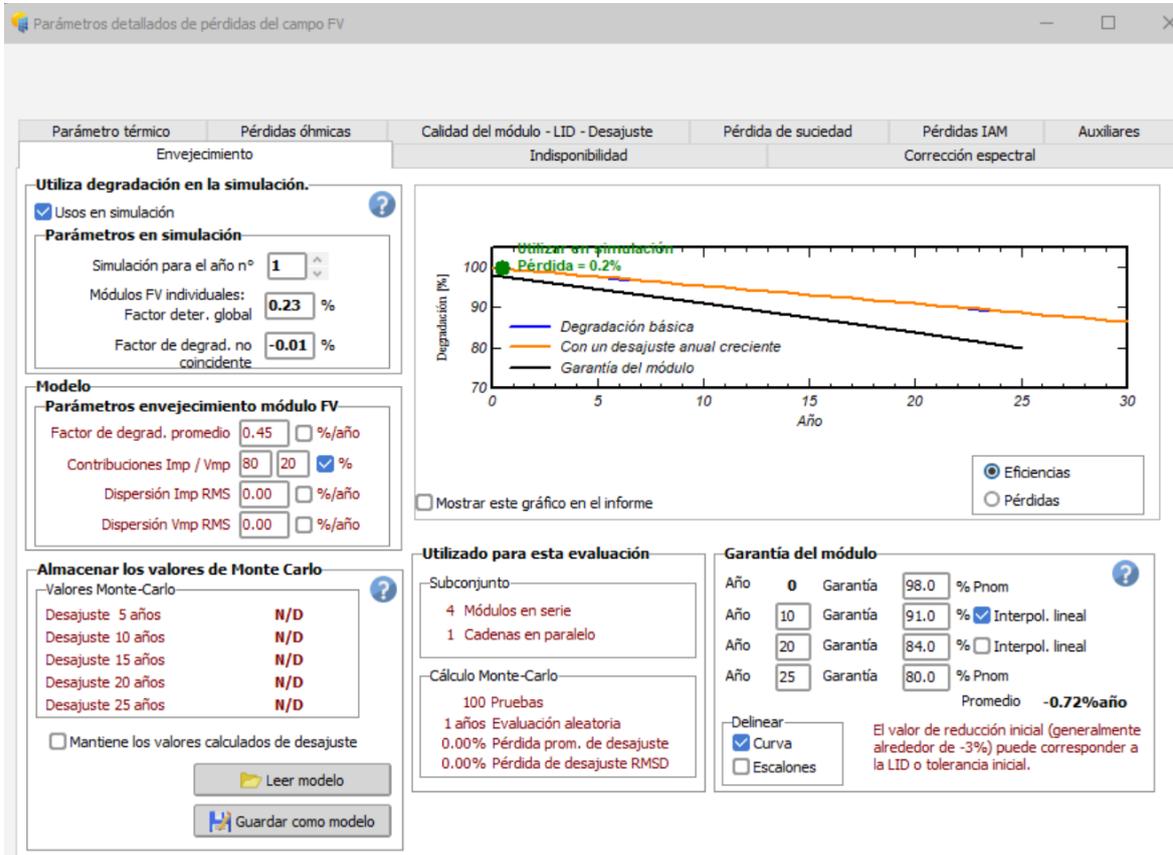


Ilustración 50 - Pantalla pérdidas por envejecimiento (Fuente: PVsyst)

6.4.8 PÉRDIDAS POR INDISPONIBILIDAD

Estas pérdidas se deben a los momentos en los que el panel no va a poder usarse, ya sea por servicios de mantenimiento o de limpieza, o por averías. Suele establecerse en un 2%, es decir, la instalación estará disponible el 98% del año.

Pero si se trata de introducir dicho 2% en el programa, se nos pide asignar los momentos del año en los que se no se tendrá dicha disponibilidad, los cuales no se conocen, por lo que para simular estas pérdidas se realizarán postproceso, es decir se considerarán 0 al simular y sobre los datos se dirá que se pierde un 2% por indisponibilidad.

6.5 AUTOCONSUMO

En el apartado de autoconsumo se introducen los valores de consumo mensuales, obtenidos del promedio de las facturas, detallados ya anteriormente.

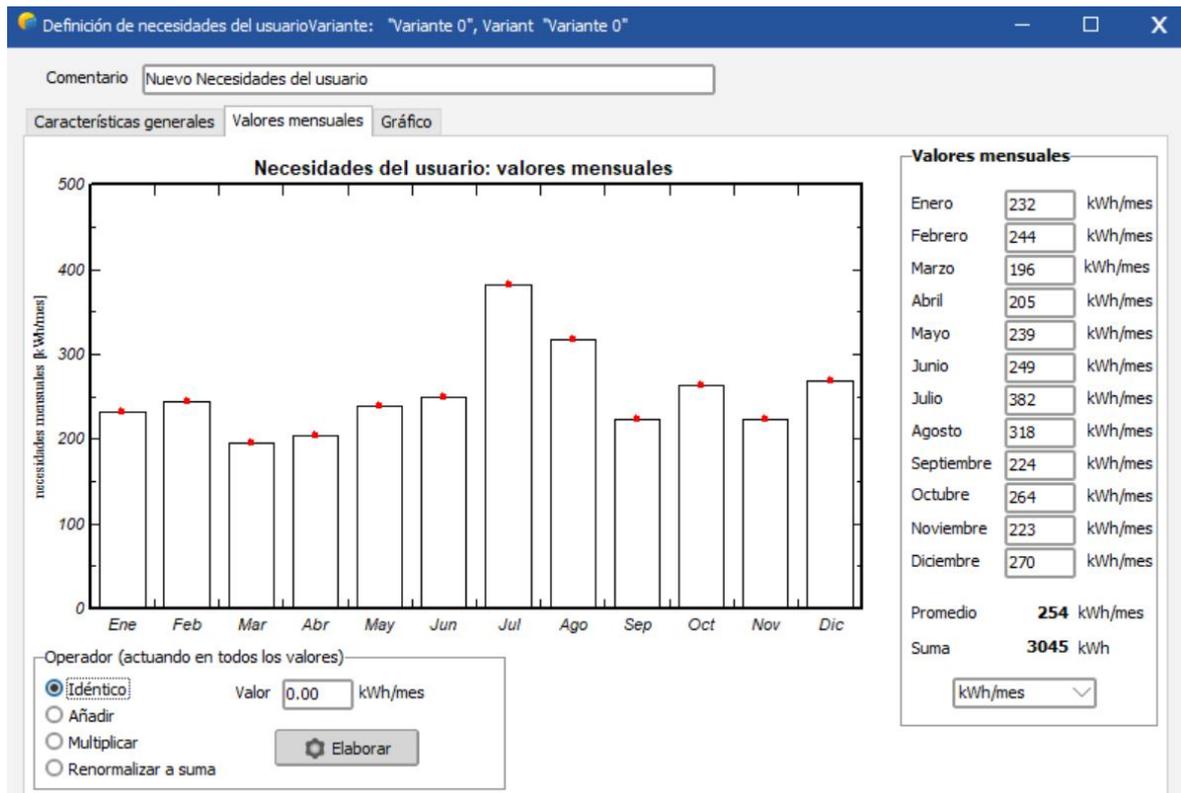


Ilustración 51 - Pantalla autoconsumo (Fuente: PVsyst)

6.6 HORIZONTE

Este apartado simula la sombra que proyecta la orografía lejana sobre la instalación. Es decir, montañas, o si la instalación está en un valle aparecerán diferentes sombras.

Se obtiene el grafico de horizonte para la ubicación de la base de datos de PVGIS instalada en PVsyst.

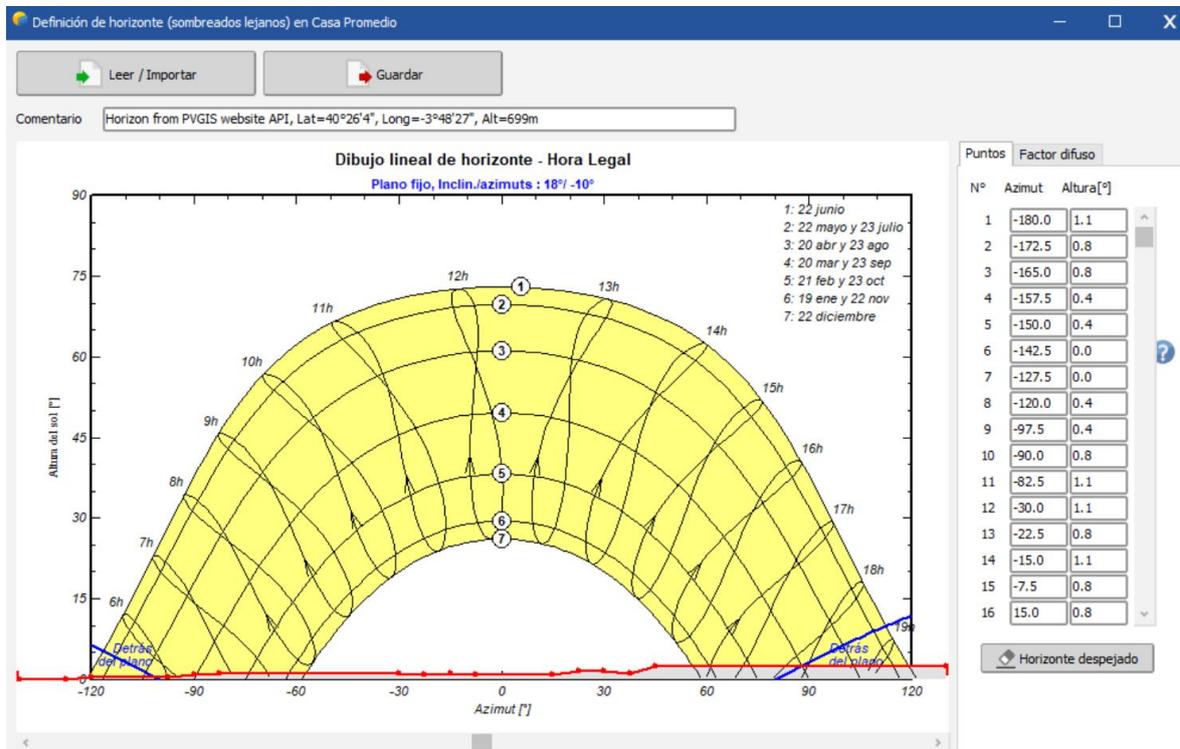


Ilustración 52 - Pantalla de Horizonte (Fuente: PVsyst)

6.7 SOMBREADOS CERCANOS

Al contrario, que, para horizonte, en este apartado se detalla la localización cercana para poder establecer las sombras producidas por objetos cercanos como árboles. Ya que los paneles se instalan en el tejado no hay objetos que pudiesen hacer sombra a nuestra instalación.

En la siguiente ilustración se demuestra el diagrama 3D empleado para proyectar las sombras cercanas:

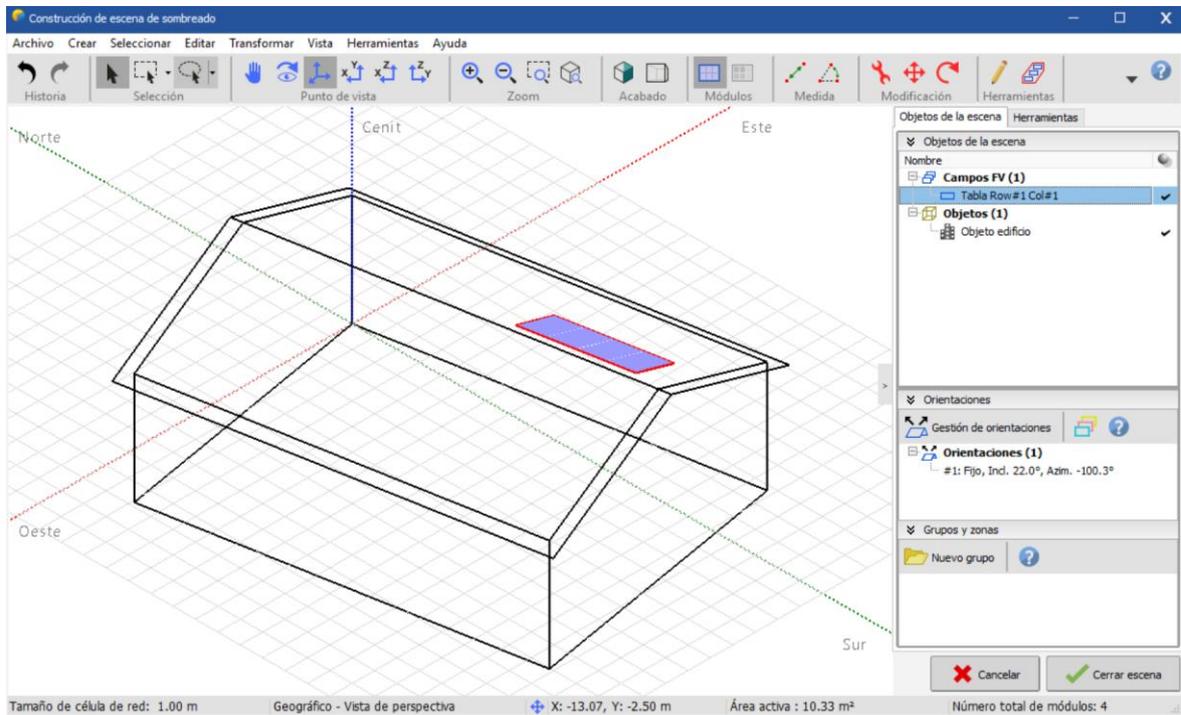


Ilustración 53 - Construcción para sombreado cercano (Fuente: PVsyst)

6.8 DISEÑO

Una vez realizado el acercamiento técnico a los diferentes elementos que se emplearán para hacer la simulación de instalación se pasa a dimensionar la misma y elegir la instalación final deseada.

6.8.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

Los apartados anteriores se han realizado con una instalación de ejemplo con 2,2 kW pico y 2kW de potencia nominal, formada por 4 paneles solares de Longi Solar de 550 W y un inversor de Huawei Technologies de 2 kW.

Esta instalación se queda un poco corta para la potencia contratada que se tiene en la vivienda del proyecto, de 5kWh. A su vez como se demuestra de la siguiente ilustración sacado del informe de ejemplo, no llegamos unos buenos valores de exportación e importación de potencia a la red, considerando una buena estimación que la compra de potencia a la red sea

la mitad de la que exportemos para así reducir la factura a 0. Cabe destacar que de los resultados obtenidos de PVsyst hay que eliminar el 2% de pérdidas debido a indisponibilidad.

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EFrGrid kWh
January	66.3	23.98	4.87	61.1	55.3	116.1	232.0	62.9	44.3	169.1
February	86.3	29.02	6.32	75.7	70.1	144.6	244.0	70.8	64.5	173.2
March	135.3	47.23	9.43	124.3	117.6	235.7	196.0	73.6	149.3	122.4
April	165.8	55.62	12.33	158.9	151.3	298.2	204.5	89.4	194.1	115.1
May	206.6	67.33	16.98	198.8	190.2	361.7	239.0	111.7	232.9	127.3
June	224.7	59.23	22.68	215.2	205.8	381.5	249.0	124.3	239.7	124.7
July	242.1	52.27	26.29	228.8	218.9	398.6	382.0	175.9	204.7	206.1
August	212.1	47.85	25.69	200.8	191.9	353.8	318.0	139.9	197.2	178.1
September	156.4	43.76	20.78	144.7	137.0	261.7	224.0	90.1	158.1	133.9
October	109.2	34.72	15.06	100.4	94.0	187.4	263.5	86.8	89.3	176.7
November	69.1	26.40	8.87	59.9	54.3	112.4	223.0	60.1	43.4	162.9
December	58.0	22.38	5.79	50.3	44.9	94.1	269.5	62.5	23.3	207.0
Year	1731.9	509.79	14.64	1619.0	1531.6	2945.8	3044.5	1147.9	1641.0	1896.6

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

Ilustración 54 - Informe de resultados variante 2,2 kW pico (Fuente: PVsyst)

Como primer acercamiento se realizará una estimación con los mismos paneles solares de Longi Solar, pero buscando acercarnos a la potencia contratada, para ello se emplean 9 paneles solares como los anteriores, obteniendo una potencia pico de 5kW y se cambia a un inversor también de Huawei Technologies, de 4,6 kW, manteniendo la relación de 1,1 entre potencia pico y nominal.

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EFrGrid kWh
January	66.3	23.98	4.87	61.1	55.3	261.1	232.0	74.5	177.9	157.5
February	86.3	29.02	6.32	75.7	70.1	325.4	244.0	83.3	232.0	160.7
March	135.3	47.23	9.43	124.3	117.6	530.4	196.0	82.0	433.0	114.0
April	165.8	55.62	12.33	158.9	151.3	671.0	204.5	98.1	553.9	106.4
May	206.6	67.33	16.98	198.8	190.2	813.8	239.0	121.7	668.1	117.3
June	224.7	59.23	22.68	215.2	205.8	858.4	249.0	133.2	699.5	115.8
July	242.1	52.27	26.29	228.8	218.9	896.9	382.0	190.2	679.4	191.8
August	212.1	47.85	25.69	200.8	191.9	795.9	318.0	151.5	620.2	166.5
September	156.4	43.76	20.78	144.7	137.0	588.8	224.0	98.3	472.8	125.7
October	109.2	34.72	15.06	100.4	94.0	421.8	263.5	98.9	309.9	164.6
November	69.1	26.40	8.87	59.9	54.3	252.9	223.0	73.4	170.7	149.6
December	58.0	22.38	5.79	50.3	44.9	211.7	269.5	78.2	125.6	191.3
Year	1731.9	509.79	14.64	1619.0	1531.6	6628.1	3044.5	1283.2	5143.0	1761.3

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

Ilustración 55 - Informe de resultados variante 5 kW pico (Fuente: PVsyst)

En esta nueva instalación se observa un sobredimensionamiento, obteniéndose un ratio de exportación importación de 3.

Por último, se simula una instalación de 7 paneles solares, es decir, 3,85 kW pico, y un inversor de 3,7 kW. Aunque reducimos el ratio potencia pico potencia nominal, obtenemos el ratio de 2,02 entre exportación importación a la red.

Una vez conocido el ratio aceptable se ha hecho un análisis económico preliminar para así poder continuar. Para ello se ha buscado la potencia pico que acercase lo máximo a una factura de 0 y se ha calculado el ahorro debido a la inversión y su tiempo de amortización para valores de potencia inferiores, no tienen sentido más potencia pico una vez se deja la factura a 0.

Sin autoconsumo	
Energía total	3044,50 kWh
Coste de energía	0,14 €/kWh
Importe anual	431,10 €
Con autoconsumo	
Energía total	1825,28 kWh
Coste de energía	0,14 €/kWh
Importe anual sin compensación excedentes	258,46 €
Ahorro sin compensación	172,64 €
Precio venta energía	0,07 €/kWh
Exportación de energía	3627,86 kWh
Ahorro por venta	253,95 €
Factura final	4,51 €
Ahorro total	426,59 €
Coste de inversión e instalación	5082,00 €
Importe real inversión	5082,00 €
Periodo de recuperación	11,91 años
Ahorro en 30 años	7715,75 €

Tabla 22 - Análisis económico instalación 3,85 kW pico

En el análisis, se ha estudiado cuanto se ahorra debido al autoconsumo, y cuanto se paga por exportar energía a la red, a la tasa de 0,07 €/kWh de Iberdrola, la empresa contratada de electricidad.

		Años hasta amortizar			
Sin fondos	3,85 kW pico	3,3 kW pico	2,75 kW pico	2,2 kW pico	
	11 años y 11 meses	11 años y 11 meses	11 años y 3 meses	10 años y 9 meses	
		Ahorro en 30 años			
Sin fondos	3,85 kW pico	3,3 kW pico	2,75 kW pico	2,2 kW pico	
	7.715,75 €	6.602,14 €	6.062,87 €	5.251,93 €	

Tabla 23 - Análisis económico preliminar

Como se observa no se ha estudiado si se podía acceder a los fondos Next Gen, ya que, aunque son el principal fondo con el que se cuenta cuando se realiza una instalación de autoconsumo llevan parados varios años y no es real considerar su obtención. Por lo que se ha decidido que, debido al mayor retorno en la inversión, se empleará la instalación con 3,85 kW pico.

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EFrGrid kWh
January	66.3	23.98	4.87	61.1	55.3	203.1	232.0	71.2	121.9	160.8
February	86.3	29.02	6.32	75.7	70.1	253.1	244.0	79.4	162.5	164.6
March	135.3	47.23	9.43	124.3	117.6	412.5	196.0	79.4	316.5	116.6
April	165.8	55.62	12.33	158.9	151.3	521.9	204.5	95.5	406.2	109.0
May	206.6	67.33	16.98	198.8	190.2	632.9	239.0	118.7	490.1	120.3
June	224.7	59.23	22.68	215.2	205.8	667.6	249.0	130.2	512.3	118.8
July	242.1	52.27	26.29	228.8	218.9	697.6	382.0	187.2	484.3	194.8
August	212.1	47.85	25.69	200.8	191.9	619.1	318.0	148.0	447.3	170.0
September	156.4	43.76	20.78	144.7	137.0	457.9	224.0	95.8	343.7	128.2
October	109.2	34.72	15.06	100.4	94.0	328.0	263.5	95.5	218.2	168.0
November	69.1	26.40	8.87	59.9	54.3	196.7	223.0	69.6	117.0	153.4
December	58.0	22.38	5.79	50.3	44.9	164.6	269.5	73.7	81.9	195.8
Year	1731.9	509.79	14.64	1619.0	1531.6	5155.2	3044.5	1244.1	3701.9	1800.4

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

Ilustración 56 - Informe de resultados variante 3,85 kW pico (Fuente: PVsyst)

Una vez calculado las placas solares que se quiere emplear, hay que calcular también la sección de cable para corriente continua que se quiere, es decir, la sección del cable que conecta las placas solares con el inversor, para la instalación se usará un cable TECSUN -

H1Z2Z2-K, diseñado específicamente para fotovoltaica a baja tensión. El cable es monofásico, está instalado en modo B1 y tiene una longitud de 12 metros desde la placa solar más alejada hasta el inversor. Una vez conocida la instalación del cable, para conocer la sección del cable, hay que elegir aquella sección que cumpla los 3 siguientes criterios:

- Cálculo de sección por intensidad admisible (lado cc)

$$I'_{int} = I_{cc} * \frac{T}{A} = 13,99 * \frac{1,4}{1} = 19,586A$$

Siendo I_{cc} (A), la corriente de cortocircuito del panel solar, T el tipo de instalación, para instalación fotovoltaica generadora 1,4 según el IEC 62548 y A el tipo de agrupamiento teniendo un solo circuito según el UNE-HD 60364-5-52, tabla C.52.3.

Una vez obtenido I'_{int} se mira la TABLA C.52-1 bis de la UNE-HD 60364-5-52: 2014, en la columna XLPE 2, que es el tipo de cable que se ha elegido, y se observa que no se superan 20 de I'_{int} par un cable de cobre de 1,5 mm² de sección.

- Cálculo de sección por caída de tensión (lado cc)

$$\Delta U = \frac{1,5}{100} * n * U_{mpp} = \frac{1,5}{100} * 7 * 41,95 = 4,405V$$

1,5% es la pérdida de tensión normal debido a la conexión del inversor con la red eléctrica, n es el número de paneles y U_{mpp} (V), la tensión en el punto de máxima potencia.

Una vez obtenido la pérdida de tensión se calcula la sección del cable que garantiza que no afecte dicha caída.

$$S = \frac{2 * L * I_{mpp}}{\gamma * \Delta U} = \frac{2 * 12 * 13,12}{45,5 * 4,405} = 1,571 \text{ mm}^2$$

Siendo L (m), la distancia desde la placa solar más alejada hasta el inversor, I_{mpp} (A) la intensidad en el punto de potencia máxima y γ (m/(Ω /mm²)) la conductividad normal del cobre.

- Cálculo de sección por cortocircuito (lado cc)

Este cálculo es implícito al criterio de la intensidad admisible pues hemos partido de la intensidad de cortocircuito para calcular la sección. Por ello si cumple el cálculo de sección por intensidad admisible este criterio también se cumple.

Se observa que el criterio de sección por caída de tensión obliga a dimensionar el cable con una sección superior a 1,5 mm² por lo que 2,5mm² es la sección elegida para la instalación.

6.8.2 FINAL

Por ello la instalación será de 7 paneles solares de Longi Solar, es decir, 3,85 kW pico, y un inversor de 3,7 kW de Huawei Technologies y cable TECSUN - H1Z2Z2-K de sección 2,5 mm².

Ppico	3,85 kW
Pnom	3,7 kW
Panel	LR5-72HBD-550M G2_30mm Frame Bifacial
N paneles	7
Inversor	SUN2000-3.68KTL-L1
N inversor	1
Ppico/Pnom	1,04
Egrid/Efgrid	1,99
Cable	TECSUN - H1Z2Z2-K
Sección	2,5 mm ²

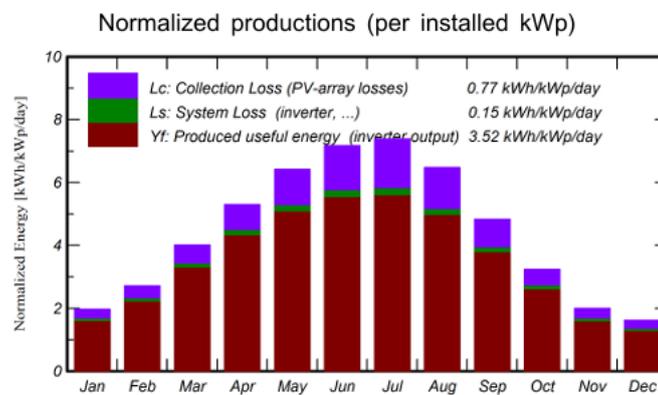
Tabla 24 - Especificaciones instalación

6.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez decidida la instalación final se realizará el análisis técnico de la misma, éste se realizará de forma extensa en el primer año y luego de forma conjunta para los 29 restantes de vida de la instalación. Para ello se emplea el informe de simulación generado por PVsyst incluido en el Anexo I.

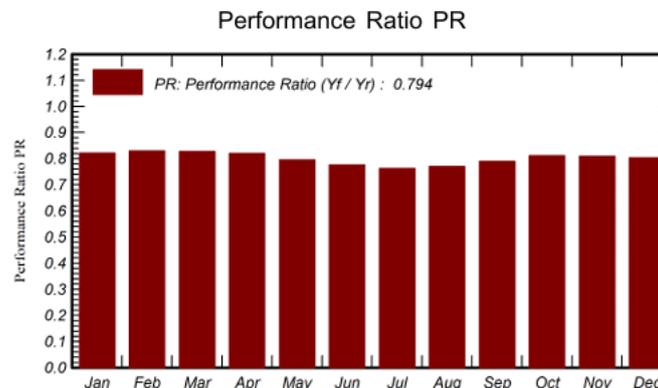
6.9.1 PRIMER AÑO

En la gráfica 7, podemos observar el desglose de la potencia obtenida por nuestra instalación en granate, y a su vez las pérdidas, azules debido a la instalación fotovoltaica y verdes debido al inversor. Como se espera en los meses de verano se capta más energía solar y en invierno es el momento de menor producción.



Gráfica 8 - Producción total diaria desglosada en pérdidas y energía producida (Fuente: PVsyst)

En segundo lugar, en la gráfica 8, se observa la evolución de la eficiencia del sistema. Y como ya se indicaba en el anterior grafico los meses de verano tienen las mayores pérdidas y por ende menor eficiencia.



Gráfica 9 - Eficiencia de la instalación (Fuente: PVsyst)

En tercer lugar, se destaca el diagrama de Sankey de la Ilustración 59 que nos proporciona un desglose detallado de las pérdidas del sistema y el intercambio de energía con la red.

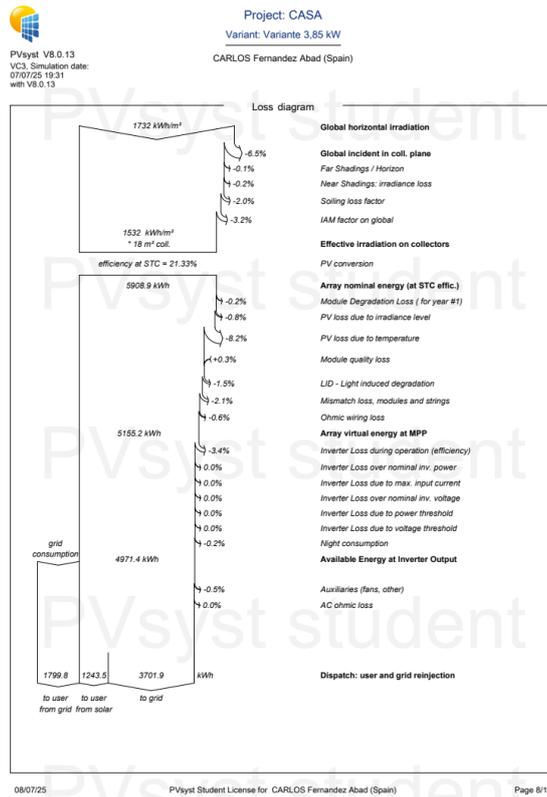


Ilustración 57 - Diagrama de Sankey (Fuente: PVsyst)

Por último, PVsyst proporciona un esquema unifilar para comprender la instalación de forma sencilla, observándose los 7 paneles solares, el inversor y el punto de conexión con la red.



Ilustración 58 – Diagrama unifilar de la instalación (Fuente PVsyst)

Representado de una forma más simple en la siguiente ilustración:

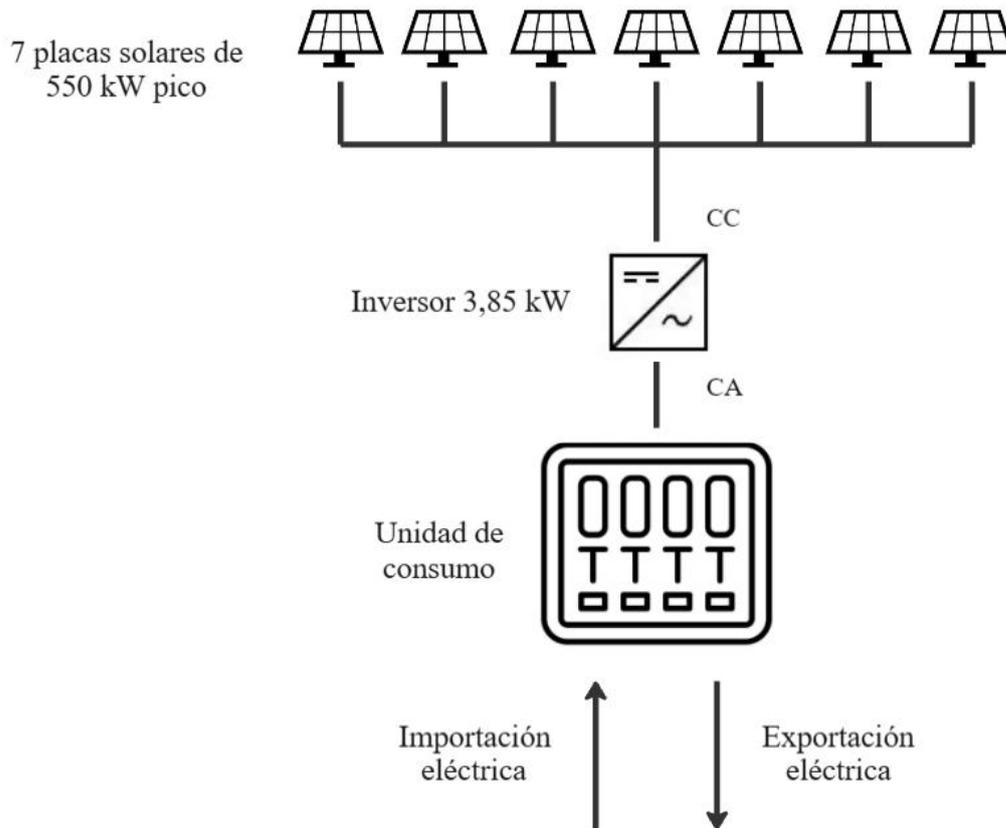
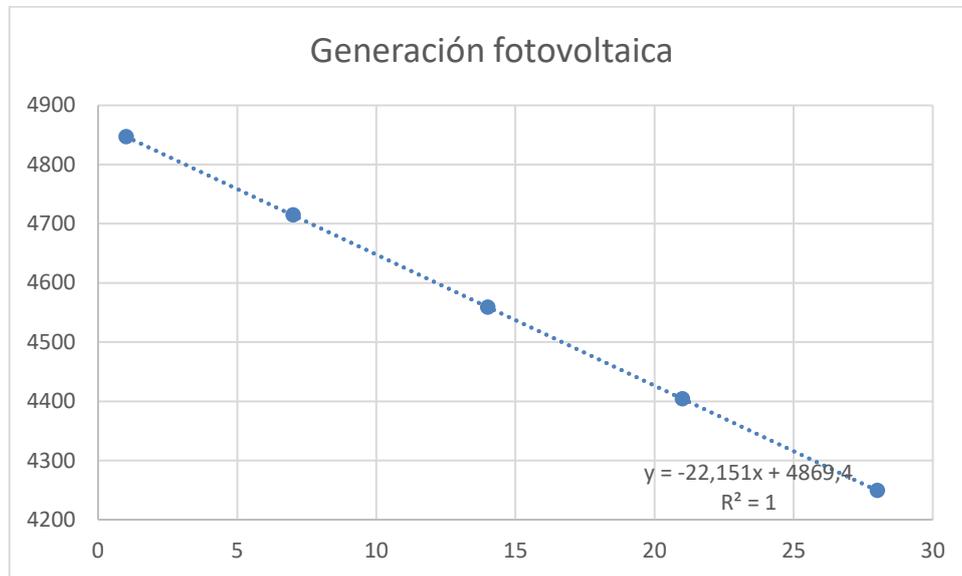


Ilustración 59 - Diagrama unifilar de la instalación (Fuente: Miro)

6.9.2 30 AÑOS

Debido a las pérdidas de envejecimiento, las células solares perderán rendimiento y cada año la instalación producirá menos energía y por ende se ahorrará menos dinero de la instalación.

Como se observa de la gráfica 9 las pérdidas por envejecimiento son lineales teniendo un $R^2 = 1$ indicando una relación lineal perfecta entre la pérdida de generación y los años.



Gráfica 10 - Generación fotovoltaica en los 30 años de la instalación

Debido a la pérdida de generación del sistema, el autoconsumo instantáneo y la exportación a la red también caen año a año, solo subiendo lo que se tiene que importar de la red.

En la siguiente tabla se muestra de forma extensa la evolución de las variables previamente mencionadas:

Año	Generación fotovoltaica (kWh)	Autoconsumo instantaneo (kWh)	Exportación de energia (kWh)	Importación de energia (kWh)
1	4847	1219	3628	1825
2	4825	1214	3611	1831
3	4803	1208	3595	1836
4	4781	1203	3578	1842
5	4759	1197	3562	1847
6	4737	1191	3545	1853
7	4715	1186	3529	1859
8	4693	1180	3512	1864
9	4670	1175	3496	1870
10	4648	1169	3479	1875
11	4626	1164	3462	1881
12	4603	1158	3446	1887
13	4581	1152	3429	1892
14	4559	1147	3412	1898
15	4537	1141	3396	1903
16	4515	1136	3379	1909
17	4493	1130	3363	1914
18	4470	1124	3346	1920
19	4448	1119	3329	1926
20	4426	1113	3313	1931
21	4404	1108	3296	1937
22	4382	1102	3280	1942
23	4360	1097	3263	1948
24	4338	1091	3247	1953
25	4316	1086	3230	1959
26	4294	1080	3214	1965
27	4271	1074	3197	1970
28	4249	1069	3180	1976
29	4227	1063	3164	1981
30	4205	1058	3147	1987
Promedio	4526	1138	3388	1906

Tabla 25 - Balance energético en la vida de la instalación

Capítulo 7. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA Y BENEFICIOS AMBIENTALES

El estudio de la viabilidad económica se va a dividir en 3 partes, primero se va a cuantificar el valor de la inversión, con la finalidad de tener un presupuesto del proyecto, en segundo lugar, se estudiará los retornos y ahorros que se van a generar por la instalación, ampliando el análisis económico preliminar que se hizo, y por último se va a cuantificar el volumen de contaminación evitado por la instalación.

7.1 PRESUPUESTO

Para ello primero habrá que cuantificar los costes de la instalación, tanto de los equipos, como los soportes, como la mano de obra y la legalización de la misma.

En la siguiente tabla se muestran los precios de los diferentes elementos empleados en la instalación, observamos que el 60% del presupuesto va a comprar los elementos de la instalación y el 40% restante a la instalación y legalización de ésta. Se ha estimado 1200€ de instalación [18] y 500€ de legalización obteniendo el precio de los componentes de páginas web de venta .

Elemento	Unidades (ud)	Coste por unidad (€/ud)	Coste total (€)
LR5-72HBD-550M G2_30mm Frame Bifacial	7	137,48 €	962,35 €
SUN2000-3.68KTL-L1	1	999,00 €	999,00 €
Soporte coplanar	2	-	270,00 €
Contador			120,00 €
Mano de obra	-	-	1.200,00 €
Legalización	-	-	500,00 €
Total			4.051,35 €

Tabla 26 - Inversión inicial de la instalación

7.2 RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN

Para conocer la rentabilidad de la inversión se debe hacer un análisis económico a fondo, para ello, se repetirá el análisis económico anterior, añadiendo las pérdidas de envejecimiento y el coste real de la instalación.

Año	Autoconsumo (kWh)	Exportación (kWh)	Ahorro (€)
1	1219,22	3627,86	426,59 €
2	1213,67	3611,36	424,65 €
3	1208,13	3594,85	422,71 €
4	1202,58	3578,35	420,77 €
5	1197,03	3561,85	418,83 €
6	1191,49	3545,34	416,89 €
7	1185,94	3528,84	414,95 €
8	1180,34	3512,18	412,99 €
9	1174,74	3495,52	411,03 €
10	1169,14	3478,86	409,07 €
11	1163,54	3462,20	407,11 €
12	1157,94	3445,54	405,15 €
13	1152,34	3428,88	403,19 €
14	1146,75	3412,21	401,23 €
15	1141,18	3395,66	399,29 €
16	1135,62	3379,10	397,34 €
17	1130,05	3362,55	395,39 €
18	1124,49	3345,99	393,45 €
19	1118,93	3329,43	391,50 €
20	1113,36	3312,88	389,55 €
21	1107,80	3296,32	387,61 €
22	1102,23	3279,77	385,66 €
23	1096,67	3263,21	383,71 €
24	1091,11	3246,65	381,77 €
25	1085,54	3230,10	379,82 €
26	1079,98	3213,54	377,87 €
27	1074,41	3196,99	375,93 €
28	1068,85	3180,43	373,98 €
29	1063,29	3163,87	372,03 €
30	1057,72	3147,32	370,09 €
Total	34154,07	101627,66	11950,15

Tabla 27 - Tabla de ahorro anual

De la tabla anterior se obtiene el ahorro anual debido al autoconsumo de la instalación, cabe destacar que debido al correcto dimensionamiento de la instalación se seguirá pagando una factura debido a la electricidad importada, ya que la empresa eléctrica solo paga excedentes hasta reducir la factura a 0, como ya se analizó en el estudio económico preliminar,

Ya conocido el ahorro ahora se puede calcular el VAN, TIR y el payback

VAN : mide la rentabilidad de una inversión descontando al valor presente todos los flujos de caja futuros esperados, es decir, calcula los costes y ganancias futuras a precio actual. Si el VAN es positivo, la inversión es rentable, ya que los flujos de caja acabarán dando beneficios.

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

Donde:

- Ft : Flujo de caja en el año t
- r: Tasa de descuento
- t: Año (desde 1 hasta n)
- n: Vida útil del proyecto
- I_0 : Inversión inicial

TIR : es la tasa de descuento que hace que el VAN sea cero, representa la rentabilidad anual esperada de la inversión. Cuanto mayor sea la TIR, más atractiva será la inversión. Esto nos permite diferenciar entre diferentes inversiones, con más criterios que solo el beneficio en presente, lo que permite diferenciar entre la rentabilidad de diferentes proyectos con diferentes horizontes temporales.

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

Payback : indica el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial a partir de los ahorros generados por la instalación. Es un criterio sencillo y útil para evaluar el riesgo y la liquidez del proyecto, ya que nos permite conocer a partir de qué momento se ha recuperado el dinero de la inversión y está generando beneficios.

$$Payback = \frac{I_0}{\sum_{t=1}^n Ft}$$

Para hacer el cálculo de las 3 métricas primero se ha de realizar el cálculo de los flujos de caja de la inversión. Para realizar los flujos de caja se va a estimar un coste de mantenimiento y limpieza de la instalación de 100€ cada 2 años y se va a cambiar el inversor cada 15 años, su vida útil, cabe destacar también la reducción del IBI del 50% por la instalación fotovoltaica si la misma genera más del 50% del consumo de la vivienda[19]. Se calcularán los flujos de caja haciendo la diferencia entre el ahorro y la inversión en ese mismo año. A su vez se empleará una tasa de descuento de un 4% para calcular el VAN.

Año	Inversión (€)	Ahorro (€)	Ahorro IBI (€)	Ft
0	4.051,35 €	0,00 €		-4.051,35 €
1	0,00 €	426,59 €	281,25 €	707,84 €
2	100,00 €	424,65 €	281,25 €	605,90 €
3	0,00 €	422,71 €	281,25 €	703,96 €
4	100,00 €	420,77 €		320,77 €
5	0,00 €	418,83 €		418,83 €
6	100,00 €	416,89 €		316,89 €
7	0,00 €	414,95 €		414,95 €
8	100,00 €	412,99 €		312,99 €
9	0,00 €	411,03 €		411,03 €
10	100,00 €	409,07 €		309,07 €
11	0,00 €	407,11 €		407,11 €
12	100,00 €	405,15 €		305,15 €
13	0,00 €	403,19 €		403,19 €
14	100,00 €	401,23 €		301,23 €
15	999,00 €	399,29 €		-599,71 €
16	100,00 €	397,34 €		297,34 €
17	0,00 €	395,39 €		395,39 €
18	100,00 €	393,45 €		293,45 €
19	0,00 €	391,50 €		391,50 €
20	100,00 €	389,55 €		289,55 €
21	0,00 €	387,61 €		387,61 €
22	100,00 €	385,66 €		285,66 €
23	0,00 €	383,71 €		383,71 €
24	100,00 €	381,77 €		281,77 €
25	0,00 €	379,82 €		379,82 €
26	100,00 €	377,87 €		277,87 €
27	0,00 €	375,93 €		375,93 €
28	100,00 €	373,98 €		273,98 €
29	0,00 €	372,03 €		372,03 €
30	100,00 €	370,09 €		270,09 €
Total	6.550,35 €	11.950,15 €	843,75 €	6.243,56 €

Tabla 28 - Flujos de caja de la inversión

De los flujos de caja se obtiene un $VAN = 2.311,73$ €, $TIR = 9\%$ y un *payback* de 8 años y 5 meses.

Se observa que el *TIR*, superior a la tasa de descuento, asumida para el *VAN*, lo que indicaría que la inversión es rentable en el tiempo. A su vez, se observa un *VAN* de 1066,50€ lo que

confirma la rentabilidad de la inversión. Aunque cabe reconocer que es una inversión con una rentabilidad ajustada.

7.3 CONTAMINACIÓN EVITADA

Una vez obtenidos los datos de producción de energía mediante generación fotovoltaica por parte de la instalación, se puede estimar la reducción de emisiones de gases con efecto invernadero, como es el caso del CO_2 , gracias al autoconsumo y la no compra de electricidad a la red.

Según los datos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [4] y realizando una media de lo que supone producir 1 kWh de energía en los últimos 25 años, se obtiene que producir 1 kWh de energía supone aproximadamente 0,3 kg de CO_2 emitidos a la atmósfera.

	Autoconsumo (kWh)	Exportación (kWh)	Ahorro CO ₂ kg
1	1219,22	3627,86	1454
2	1213,67	3611,36	1448
3	1208,13	3594,85	1441
4	1202,58	3578,35	1434
5	1197,03	3561,85	1428
6	1191,49	3545,34	1421
7	1185,94	3528,84	1414
8	1180,34	3512,18	1408
9	1174,74	3495,52	1401
10	1169,14	3478,86	1394
11	1163,54	3462,20	1388
12	1157,94	3445,54	1381
13	1152,34	3428,88	1374
14	1146,75	3412,21	1368
15	1141,18	3395,66	1361
16	1135,62	3379,10	1354
17	1130,05	3362,55	1348
18	1124,49	3345,99	1341
19	1118,93	3329,43	1335
20	1113,36	3312,88	1328
21	1107,80	3296,32	1321
22	1102,23	3279,77	1315
23	1096,67	3263,21	1308
24	1091,11	3246,65	1301
25	1085,54	3230,10	1295
26	1079,98	3213,54	1288
27	1074,41	3196,99	1281
28	1068,85	3180,43	1275
29	1063,29	3163,87	1268
30	1057,72	3147,32	1262
Total	34154,07	101627,66	40735

Tabla 29 - Reducción de emisiones de CO₂

Como se observa de la tabla, gracias al autoconsumo se reduce la huella carbono en más de 1 tonelada de CO₂ anual, acumulando en los 30 años de vida algo más de 40 toneladas de CO₂ reducido.

Capítulo 8. CONCLUSIONES

Como ya se ha explicado, la energía fotovoltaica es una gran opción para apoyar la transición energética, y tanto el gobierno español como el europeo apuestan por la misma para apoyar y continuar en su objetivo de lograr los objetivos ODS de la ONU.

Para el proyecto se ha diseñado una instalación fotovoltaica para el autoconsumo en una vivienda de Pozuelo de Alarcón, teniendo en cuenta la fachada y localización de la vivienda, sus necesidades energéticas y la climatología de la zona. Con dichos datos se ha decidido para la instalación el uso de 7 paneles solares Longi Solar, obteniéndose una potencia pico de 3,85kW y una potencia nominal de 3,7kW de un inversor Huawei. Esta combinación es la más adecuado para cubrir la mayor parte de la factura eléctrica, maximizando la producción de electricidad y disminuyendo las pérdidas.

Con una inversión de 4051,35€, para la compra de los componentes, la instalación y la legalización, se obtiene un VAN de 1464,08€ y un TIR de 8%, comprobando la viabilidad económica del proyecto. La instalación empezará a generar beneficios a partir del décimo año, momento en el que habremos recuperado la inversión inicial gracias a los ahorros obtenidos. Cabe incluir que el ayuntamiento de Pozuelo de Alarcón concede un ahorro del 50% del IBI durante los tres primeros años, a aquellas personas con una instalación fotovoltaica .

Retomando el compromiso europeo y los ODS, la instalación reduce la huella de carbono de la vivienda en algo más de 40 toneladas de CO₂ durante su vida útil permitiendo a individuos contribuir su granito de arena, su vez, cabe destacar la replicabilidad de la metodología empleada para otros emplazamientos y viviendas apoyando la autosuficiencia y el compromiso con el medio ambiente.

Considero que el estudio pone en manifiesto los beneficios de las instalaciones fotovoltaicas, y que es un proyecto no solo rentable si no muy positivo para el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Appa Renovables, «Informe sobre Real Decreto de Autoconsumo APPA», APPA.
- [2] K. Calvin *et al.*, «IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.», Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), jul. 2023. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- [3] Appa Renovables, «2024 Informe Anual Energías Renovables», 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.appa.es/wp-content/uploads/2025/02/Informe-anual-Energias-Renovables-2024.pdf>
- [4] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), «Plan Nacional Integrado de Energía y Clima», Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), Madrid, sep. 2024.
- [5] Appa Renovables, «2024 INFORME ANUAL DEL AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO», 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.appa.es/wp-content/uploads/2025/02/Informe-Autoconsumo-Fotovoltaico-2024.pdf#:~:text=Durante%20el%20a%C3%B1o%202024%20se%20instalaron%20en%20Espa%C3%B1a,los%20fondos%20Next%20Generation%20de%20la%20Uni%C3%B3n%20Europea.>
- [6] M. Moran, «La Agenda para el Desarrollo Sostenible», Desarrollo Sostenible. Accedido: 26 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- [7] «Sede Electrónica del Catastro - Consulta y certificación de Bien Inmueble». Accedido: 27 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.sedecatastro.gob.es/CYCBienInmueble/OVCConCiud.aspx?UrbRus=U&RefC=1665501VK3716N0127MO&del=28&mun=115&final=tfg>
- [8] «Geografía de Pozuelo de Alarcón», portalpueblos.com. Accedido: 28 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://portalpueblos.com/pozuelo-de-alarcon/geografia-de-pozuelo-de-alarcon>
- [9] O. Planas, «¿Qué es la potencia eléctrica? Concepto y definición». Accedido: 29 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://solar-energia.net/electricidad/corriente-electrica/potencia-electrica>
- [10] RAE, «energía», «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Accedido: 29 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dle.rae.es/energía>
- [11] «Precio de la tarifa de luz por horas HOY». Accedido: 29 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://tarifaluzhora.es/>
- [12] «Solar Radiation», en *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, Ltd, 2013, pp. 3-42. doi: 10.1002/9781118671603.ch1.
- [13] Consuelo Alonso Alonso, «ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA RECURSO SOLAR».

- [14] «Radiación solar difusa directa», Hogar Sense. Accedido: 9 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.hogarsense.es/placas-solares/radiacion-solar-directa-e-indirecta>
- [15] Fiterra, «Instaladores de paneles solares de autoconsumo», Fontanería y aerotermia en Valencia | Fiterra. Accedido: 9 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://fiterra.es/autoconsumo-solar-valencia/instaladores-de-paneles-solares-de-autoconsumo-que-son-y-por-que-son-importantes-para-el-medio-ambiente/>
- [16] «Partes de un Panel Solar - Save Energy». Accedido: 3 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://saveenergysolar.com/partes-de-un-panel-solar/>
- [17] AUTOCONSUMO, «Autoconsumo funcionamiento.», ENERGÍA SOLAR. Accedido: 3 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://asesorautoconsumo.wordpress.com/2013/03/09/autoconsumo-funcionamiento/>
- [18] «¿Cuánto cuesta instalar placas solares? Guía de precios en 2025». Accedido: 10 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/instalar-placas-solares>
- [19] «Ayuntamiento de Pozuelo de Alarcón». Accedido: 11 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://sede.pozuelodealarcon.es/sede/action/tramitesinfo?method=enter&id=178>
- [20] Idae, «Para Energías Renovables en autoconsumo, almacenamiento, y térmicas sector residencial (RD 477/2021. PRTR) | Idae». Accedido: 26 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-energias-renovables-en-autoconsumo-almacenamiento-y-termicas-sector>
- [21] «Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible», Naciones Unidas, 2024.
- [22] Google, «Google Earth». Accedido: 27 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://earth.google.com/web/@40.43450431,-3.80769167,701.97889658a,75.9875509d,34.9999998y,-82.49593206h,38.18189374t,0r/data=CgRCAggBMikKJwolCiExakNDZIRBT2ZONV82cGtOaFhRUFowZUxTX29tMUZndEQgAToDCgEwQgIIAEoICNb3yocFEAE>
- [23] Google, «Google Maps», 40°26'04.2"N 3°48'27.4"W · 40.434500, -3.807611. Accedido: 27 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.google.es/maps/@40.4385813,-3.8087775,14.68z?entry=tu&g_ep=EgoyMDI1MDYyMy4yIKXMDSOASAFQAw%3D%3D
- [24] I. S.A.U, «Cuántos kWh consume una casa al mes», Iberdrola. Accedido: 29 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.iberdrola.es/-/cuantos-kwh-consume-una-casa-al-mes>
- [25] «Fundamentals», en *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, Ltd, 2013, pp. 1-1. doi: 10.1002/9781118671603.part1.
- [26] «Tarifa solar de Iberdrola | La luz para tus placas solares». Accedido: 7 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://selectra.es/autoconsumo/companias/smart-solar-iberdrola/tarifa-solar>
- [27] Appa Renovables, «Marco regulatorio». Accedido: 9 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.appa.es/appa-autoconsumo/marco-regulatorio-autoconsumo/>

- [28] «¿Sabes qué es la radiación solar? Directa e indirecta». Accedido: 9 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.hogarsense.es/placas-solares/radiacion-solar-directa-e-indirecta>
- [29] «Bifacial LONGI Solar - LR5-72HBD 550 Bi-facial», Secondsol der Photovoltaik Marktplatz. Accedido: 10 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.secondsol.com/en/anzeige/36413/pv-module/kristallin/bifacial/longi-solar/lr5-72hbd-550-bi-facial>

ANEXO I INFORME DE PVSYST



PVsyst V8.0.13

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: CASA

Variant: Variante 3,85 kW

Tables on a building

System power: 3850 Wp

Casa Promedio - Spain

Author
CARLOS Fernandez Abad (Spain)



PVsyst V8.0.13
VC3, Simulation date:
07/07/25 19:31
with V8.0.13

Project: CASA

Variant: Variante 3,85 kW

CARLOS Fernandez Abad (Spain)

Project summary

Geographical Site		Situation		Project settings	
Casa Promedio	España	Latitude	40.43 °(N)	Albedo	0.20
		Longitude	-3.81 °(W)		
		Altitude	699 m		
		Time zone	UTC		
Weather data					
Casa Promedio					
Promedio PVGIS, NASA y Meteonom - Sintético					

System summary

Grid-Connected System		Tables on a building		User's needs	
Simulation for year no 1		Near Shadings		Monthly values	
Orientation #1		Linear shadings : Fast (table)			
Fixed plane					
Tilt/Azimuth	22 / -100.3 °				
System information					
PV Array		Inverters			
Nb. of modules	7 units	Nb. of units		1 unit	
Pnom total	3850 Wp	Total power		3.7 kWac	
		Pnom ratio		1.05	

Results summary

Produced Energy	4945.4 kWh/year	Specific production	1285 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	79.34 %
Used Energy	3043.3 kWh/year			Solar Fraction SF	40.86 %

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Horizon definition	5
Near shading definition - Iso-shadings diagram	6
Main results	7
Loss diagram	8
Predef. graphs	9
Single-line diagram	10



PVsyst V8.0.13
VC3, Simulation date:
07/07/25 19:31
with V8.0.13

Project: CASA

Variant: Variante 3,85 kW

CARLOS Fernandez Abad (Spain)

General parameters

Grid-Connected System				Tables on a building									
Orientation #1				Models used				Horizon					
Fixed plane				Transposition		Perez		Average Height		1.3 °			
Tilt/Azimuth				Diffuse		Perez, Meteonorm							
22 / -100.3 °				Circumsolar		separate							
Near Shadings				User's needs									
Linear shadings : Fast (table)				Monthly values									
Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
232	244	196	204	239	249	382	318	224	263	223	270	3045	kWh

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model LR5-72HBD-550M G2_30mm Frame Bifacial		Model	SUN2000-3.68KTL-L1
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	550 Wp	Unit Nom. Power	3.68 kWac
Number of PV modules	7 units	Number of inverters	1 unit
Nominal (STC)	3850 Wp	Total power	3.7 kWac
Modules	1 strings x 7 In series	Operating voltage	80-600 V
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1.05
Pmpp	3532 Wp	Power sharing within this inverter	
U mpp	264 V		
I mpp	13 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	3.85 kWp	Total power	3.7 kWac
Total	7 modules	Number of inverters	1 unit
Module area	18.1 m ²	Pnom ratio	1.05
Cell area	16.7 m ²		

Array losses

Array Soiling Losses		Thermal Loss factor		DC wiring losses	
Loss Fraction	2.0 %	Module temperature according to irradiance		Global array res.	218 mΩ
		Uc (const)	15.0 W/m ² K	Loss Fraction	1.00 % at STC
		Uv (wind)	0.0 W/m ² K/m/s		
LID - Light Induced Degradation		Module Quality Loss		Module mismatch losses	
Loss Fraction	1.5 %	Loss Fraction		Loss Fraction	
		-0.30 %		2.00 % at MPP	
Strings Mismatch loss		Module average degradation			
Loss Fraction	0.15 %	Year no		1	
		Loss factor		0.46 %/year	
		Imp / Vmp contributions		80% / 20%	
		Mismatch due to degradation			
		Imp RMS dispersion		0 %/year	
		Vmp RMS dispersion		0 %/year	



Project: CASA

Variant: Variante 3,85 kW

PVsyst V8.0.13
 VC3, Simulation date:
 07/07/25 19:31
 with V8.0.13

CARLOS Fernandez Abad (Spain)

Array losses

IAM loss factor

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

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

System losses

Auxiliaries loss

Proportional to Power 5.0 W/kW
 0.0 kW from Power thresh.

AC wiring losses

Inv. output line up to injection point

Inverter voltage 230 Vac mono

Loss Fraction 0.02 % at STC

Inverter: SUN2000-3.68KTL-L1

Wire section (1 Inv.) Alu 1 x 2 x 3 mm²

Wires length 0 m

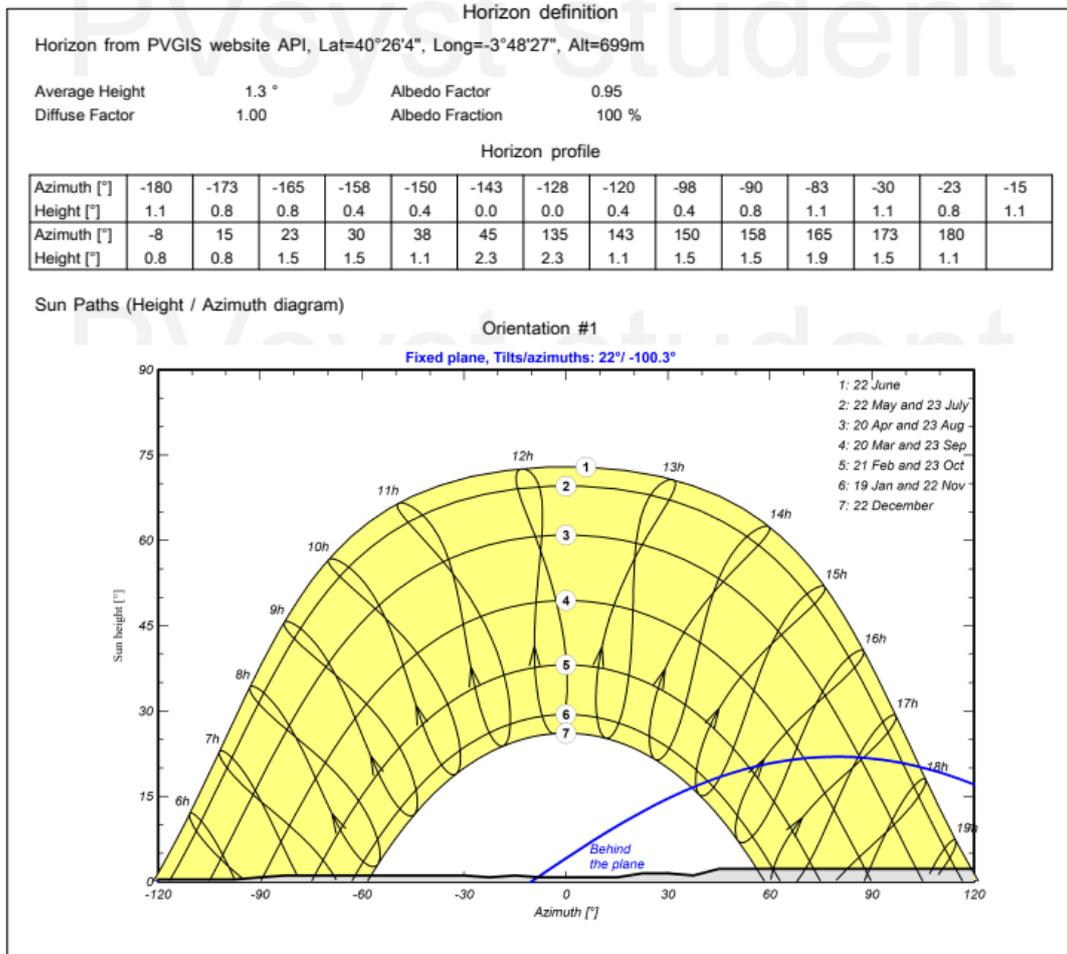


PVsyst V8.0.13
VC3, Simulation date:
07/07/25 19:31
with V8.0.13

Project: CASA

Variant: Variante 3,85 kW

CARLOS Fernandez Abad (Spain)



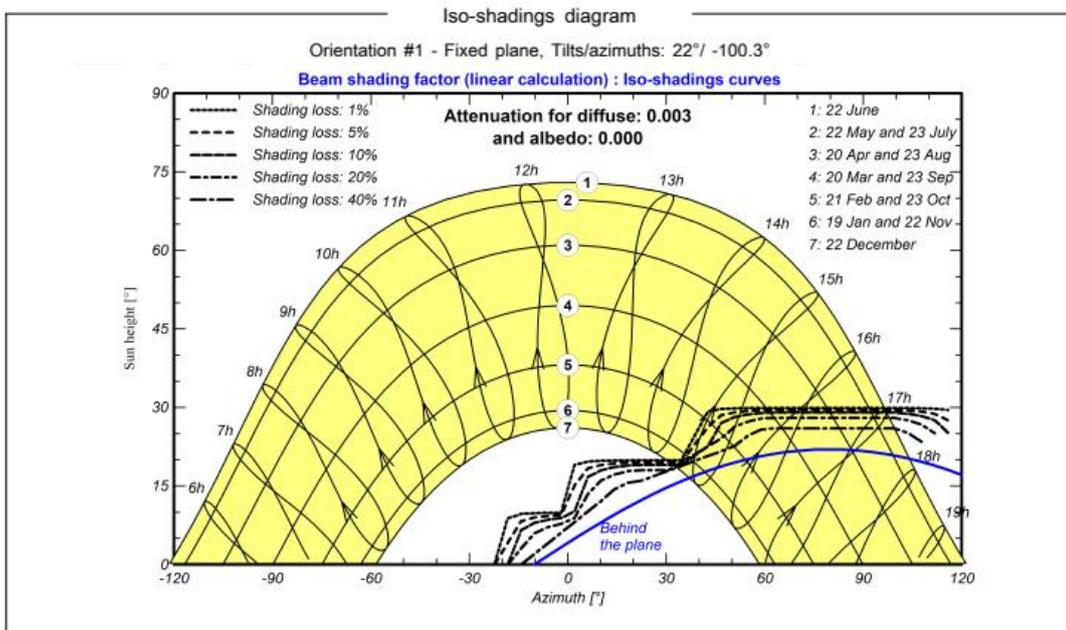
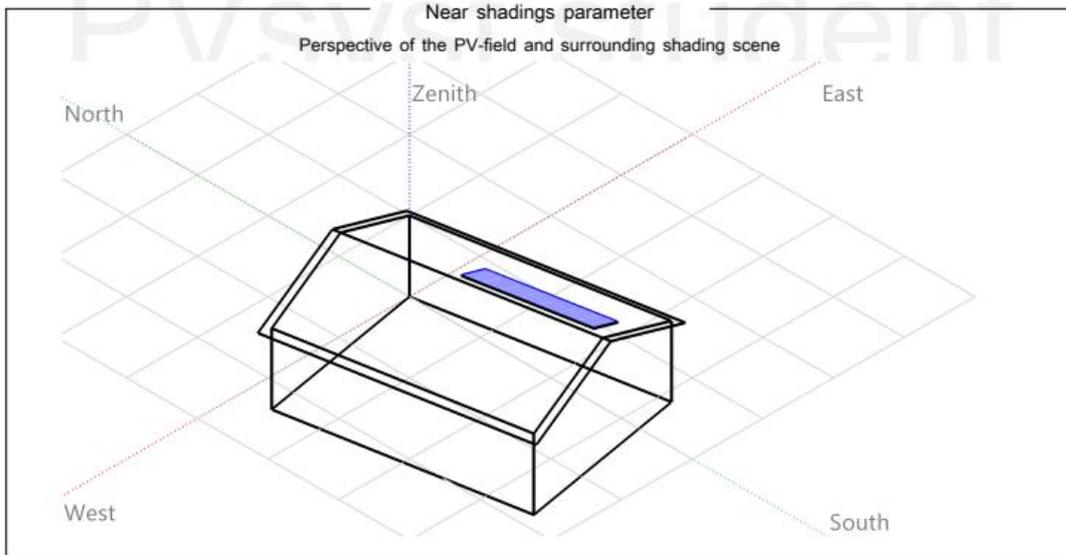


PVsyst V8.0.13
VC3, Simulation date:
07/07/25 19:31
with V8.0.13

Project: CASA

Variant: Variante 3,85 kW

CARLOS Fernandez Abad (Spain)





Project: CASA

Variant: Variante 3,85 kW

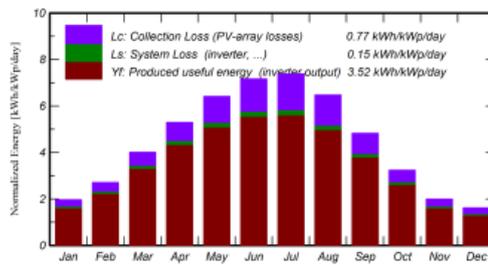
PVsyst V8.0.13
VC3, Simulation date:
07/07/25 19:31
with V8.0.13

CARLOS Fernandez Abad (Spain)

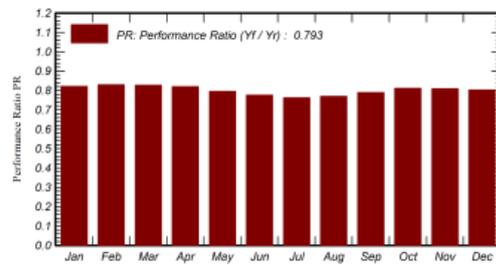
Main results

System Production			
Produced Energy	4945.4 kWh/year	Specific production	1285 kWh/kWp/year
Used Energy	3043.3 kWh/year	Perf. Ratio PR	79.34 %
		Solar Fraction SF	40.86 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EFrGrid kWh
January	66.3	23.98	4.87	61.1	55.3	203.1	232.1	71.3	121.9	160.9
February	86.3	29.02	6.32	75.7	70.1	253.1	243.9	79.3	162.5	164.6
March	135.3	47.23	9.43	124.3	117.6	412.5	195.7	79.3	316.5	116.4
April	165.8	55.62	12.33	158.9	151.3	521.9	204.5	95.5	406.2	109.0
May	206.6	67.33	16.98	198.8	190.2	632.9	238.8	118.6	490.1	120.2
June	224.7	59.23	22.68	215.2	205.8	667.6	249.1	130.3	512.3	118.9
July	242.1	52.27	26.29	228.8	218.9	697.6	381.7	187.0	484.3	194.7
August	212.1	47.85	25.69	200.8	191.9	619.1	317.7	147.9	447.3	169.8
September	156.4	43.76	20.78	144.7	137.0	457.9	223.9	95.8	343.7	128.1
October	109.2	34.72	15.06	100.4	94.0	328.0	263.4	95.5	218.1	167.9
November	69.1	26.40	8.87	59.9	54.3	196.7	223.2	69.6	117.0	153.6
December	58.0	22.38	5.79	50.3	44.9	164.6	269.3	73.6	81.9	195.7
Year	1731.9	509.79	14.64	1619.0	1531.6	5155.2	3043.3	1243.5	3701.9	1799.8

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

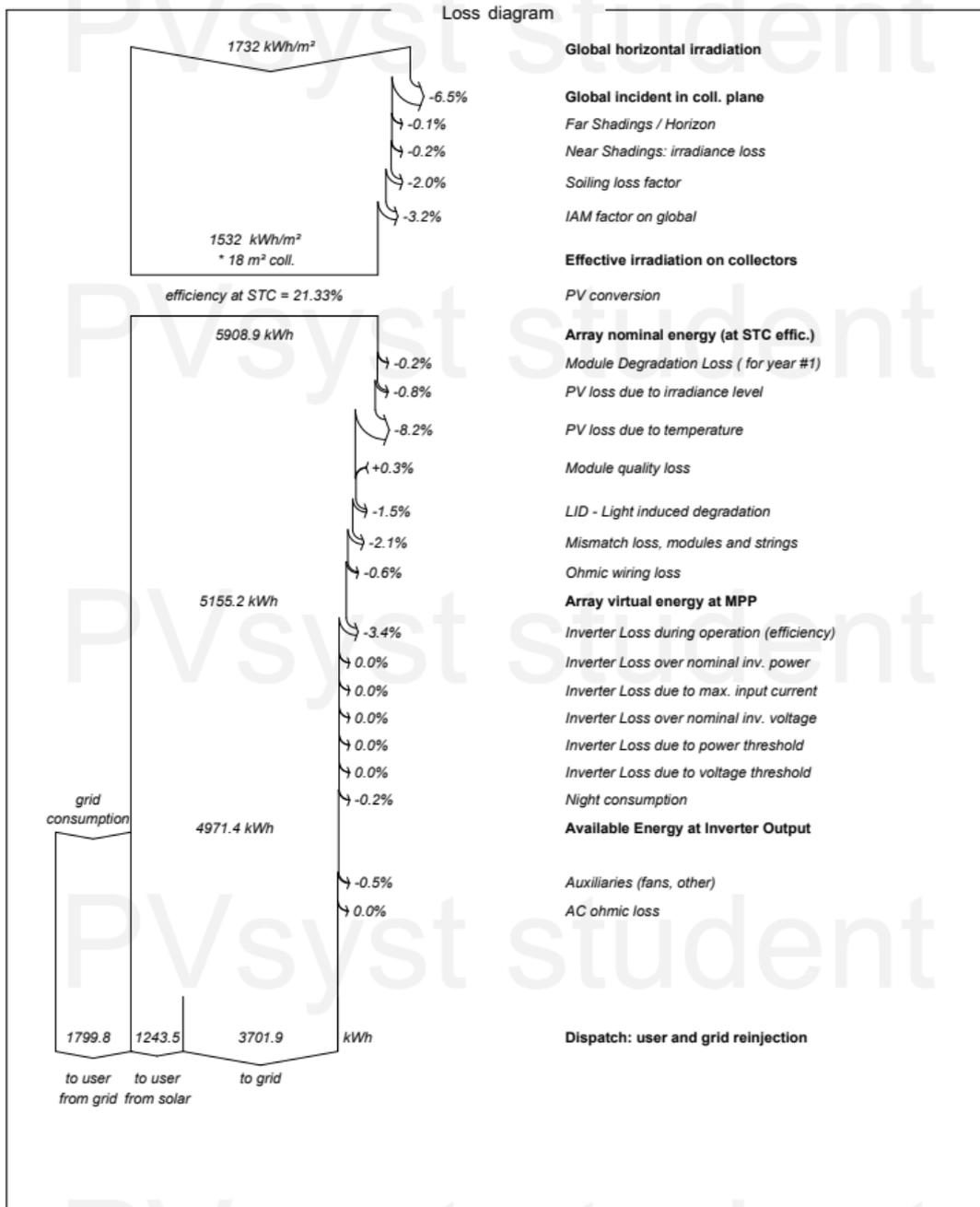


PVsyst V8.0.13
VC3, Simulation date:
07/07/25 19:31
with V8.0.13

Project: CASA

Variant: Variante 3,85 kW

CARLOS Fernandez Abad (Spain)



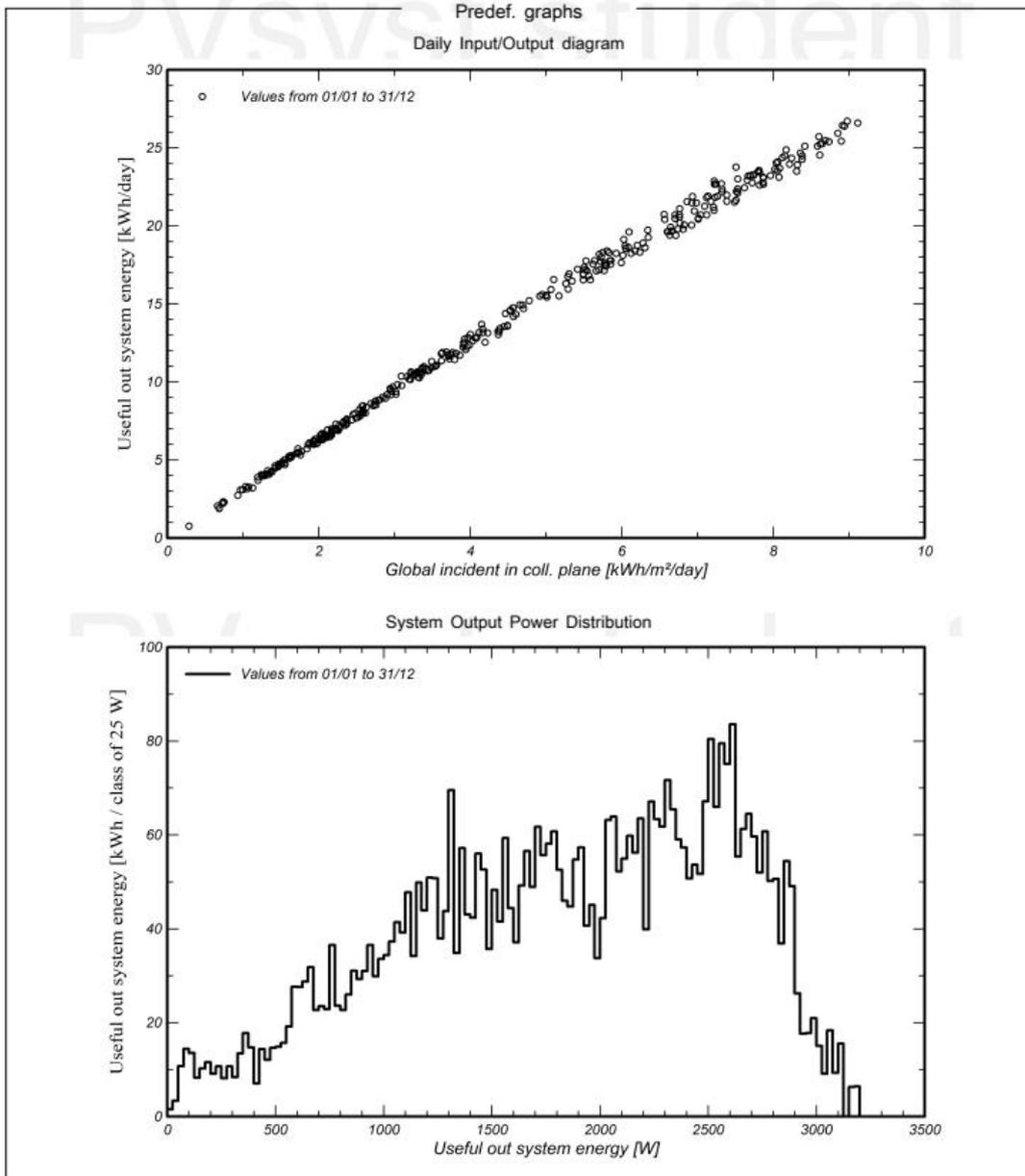


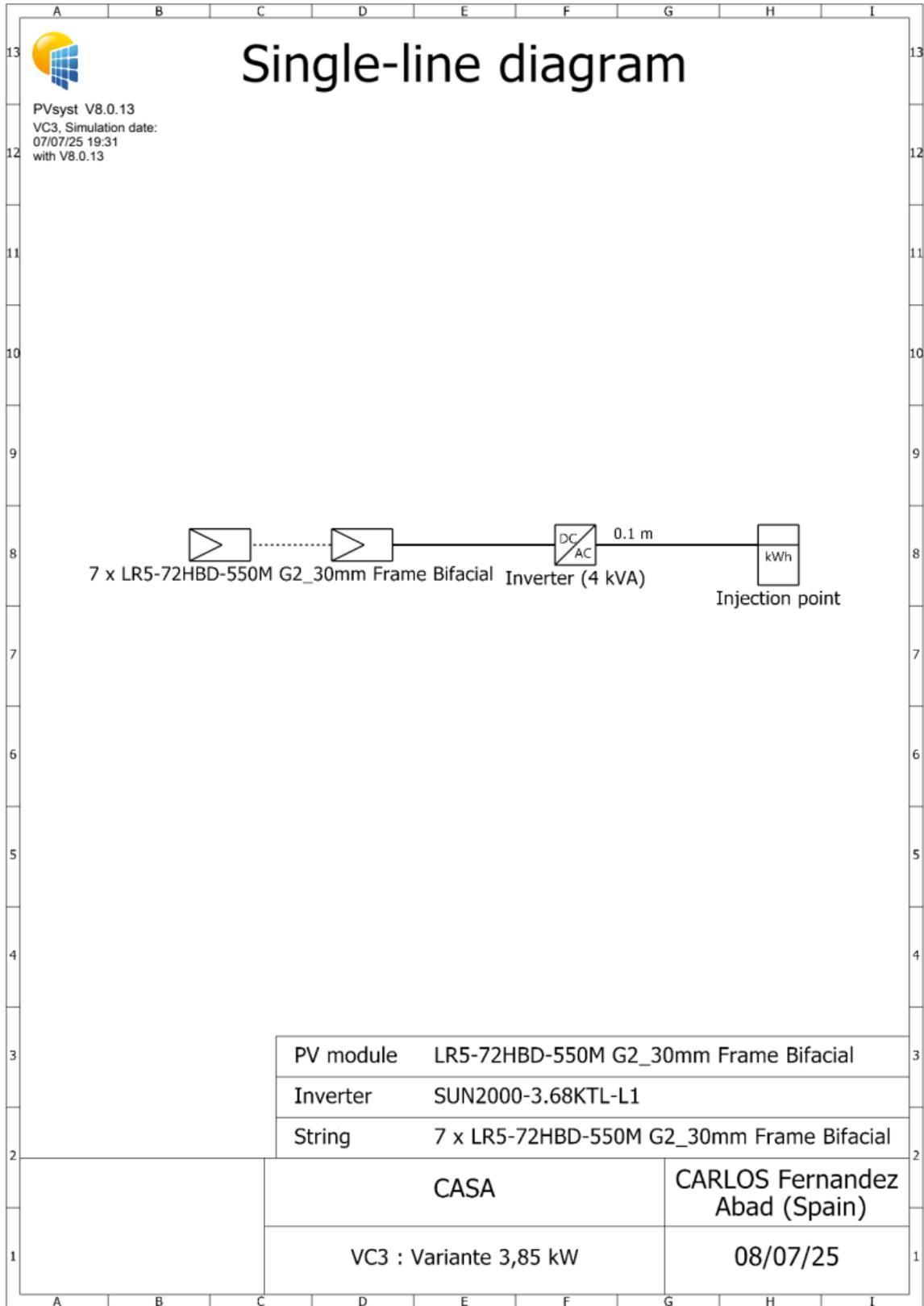
PVsyst V8.0.13
VC3. Simulation date:
07/07/25 19:31
with V8.0.13

Project: CASA

Variant: Variante 3,85 kW

CARLOS Fernandez Abad (Spain)





ANEXO II FICHA TÉCNICA PLACA SOLAR

Hi-MO 5

(G2)

LR5-72HBD 535~555M

- Based on M10 wafer, best choice for ultra-large power plants
- Advanced module technology delivers superior module efficiency
 - M10 Gallium-doped Wafer • Integrated Segmented Ribbons • 9-busbar Half-Cut Cell
- Globally validated bifacial energy yield
- High module quality ensures long-term reliability

12

12-year Warranty for Materials and Processing

30

30-year Warranty for Extra Linear Power Output

Complete System and Product Certifications

IEC 61215, IEC 61730, UL 61730
ISO9001:2015: ISO Quality Management System
ISO14001:2015: ISO Environment Management System
ISO45001:2018: Occupational Health and Safety
IEC62941: Guideline for module design qualification and type approval

LONGI

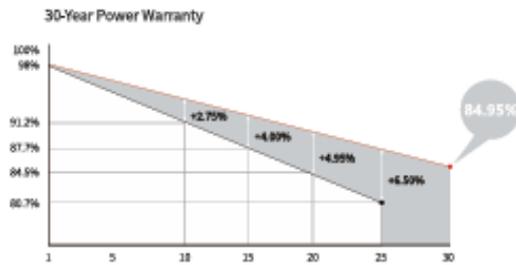


Hi-MO 5

LR5-72HBD 535~555M

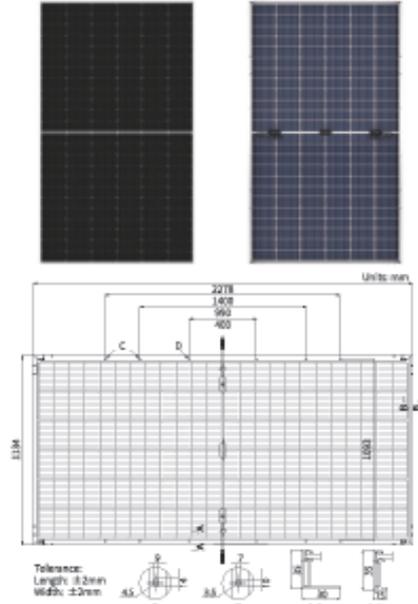
21.5% MAX MODULE EFFICIENCY	0~3% POWER TOLERANCE	<2% FIRST YEAR POWER DEGRADATION	0.45% YEAR 2-30 POWER DEGRADATION	HALF-CELL Lower operating temperature
--	-----------------------------------	--	--	---

Additional Value



Mechanical Parameters

Cell Orientation	144 (6x24)
Junction Box	IP68, three diodes
Output Cable	4mm ² , +400, -200mm/±1400mm length can be customized
Glass	Dual glass, 2.0+2.0mm heat strengthened glass
Frame	Anodized aluminum alloy frame
Weight	32.6kg
Dimension	2278 x 1134 x 35mm
Packaging	31pcs per pallet / 155pcs per 20' GP / 620pcs per 40' HC



Electrical Characteristics

Module Type	STC: AM1.5 1000W/m ² 25°C		NOCT: AM1.5 800W/m ² 20°C 1m/s		Test uncertainty for Pmax: ±3%	
	LR5-72HBD-535M	LR5-72HBD-540M	LR5-72HBD-545M	LR5-72HBD-550M	LR5-72HBD-555M	
Testing Condition	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax/W)	535	399.9	540	403.6	545	407.4
Open Circuit Voltage (Voc/V)	49.35	46.40	49.50	46.54	49.65	46.68
Short Circuit Current (Isc/A)	13.78	11.12	13.85	11.17	13.92	11.23
Voltage at Maximum Power (Vmp/V)	41.50	38.72	41.65	38.86	41.80	39.00
Current at Maximum Power (Imp/A)	12.90	10.33	12.97	10.39	13.04	10.45
Module Efficiency(%)	20.7		20.9		21.1	

Electrical characteristics with different rear side power gain (reference to 545W front)

Pmax/W	Voc/V	Isc/A	Vmp/V	Imp/A	Pmax gain
572	49.65	14.61	41.80	13.69	5%
600	49.65	15.31	41.80	14.34	10%
627	49.75	16.00	41.90	14.99	15%
654	49.75	16.70	41.90	15.65	20%
681	49.75	17.39	41.90	16.30	25%

Operating Parameters

Operational Temperature	-40°C ~ +85°C
Power Output Tolerance	0 ~ 3%
Voc and Isc Tolerance	±3%
Maximum System Voltage	DC1500V (IEC/UL)
Maximum Series Fuse Rating	30A
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C
Protection Class	Class II
Bifocality	70±5%
Fire Rating	UL type 29 IEC Class C

Mechanical Loading

Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m/s

Temperature Ratings (STC)

Temperature Coefficient of Isc	+0.050%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.265%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.340%/°C

ANEXO III FICHA TÉCNICA INVERSOR

SUN2000-2-6KTL-L1
Smart Energy Controller



Seguridad activa

Protección contra arcos eléctricos
active con tecnología de IA



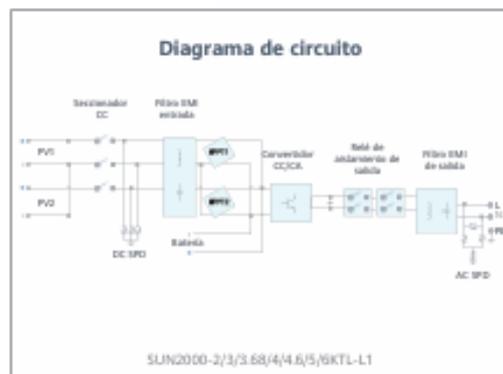
Mayor generación

Hasta un 30 % más de
energía con optimizadores



2x POTENCIA de Batería

5kW de Salida en CA más
5kW de Carga en Baterías



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 ¹						
Tensión de arranque	100 V						
Rango de tensión de operación de MPPT	90 V - 560 V ²						
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						
Máx. 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-ísla	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 diseñan y conectan al conjunto de optimizadores de potencia SUN2000-450W/600W-P.
² El límite máximo de tensión de entrada y de operación se reducirá a 400 V cuando el inversor se conecta y funciona con la batería LIS.

³ 2,500 W con las baterías HUAWEI ESS de 5kWh

ANEXO IV FICHA TÉCNICA SOPORTE



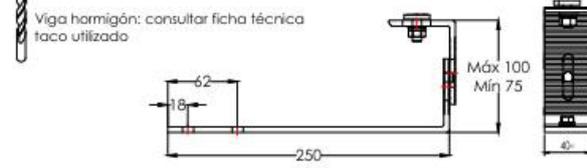
- Soporte coplanar para anclaje a losa de hormigón y/o madera.
- Para cubiertas de pizarra.
- Válido para espesores de módulos de 28 hasta 40 mm.
- No recomendado para viguetas de hormigón prefensado.
- Kits disponibles de 1 a 6 módulos.

Viento: Hasta 150 Km/h (Ver documento de velocidades de viento)
Materiales: Perfilera de aluminio EN AW 600 5A T6

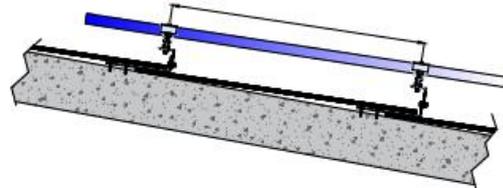
Comprobar el buen estado y la capacidad portante de la cubierta antes de cualquier instalación.
Comprobar la impermeabilidad de la fijación una vez colocada.



Carga de nieve 40 kg/m²



Para la distancia de anclajes de los módulos consultar ficha técnica del módulo



Tipos de montaje

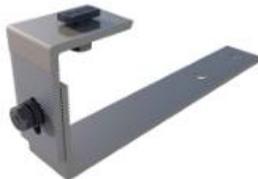
Par de apriete	
Tornillo Presor	7 Nm
Tornillo M8 Hexagonal	20 Nm
Tornillo M10 Hexagonal	40 Nm
Tornillo M4.2/4.8 Hexagonal	6 Nm



Perfiles paralelos a la cumbre



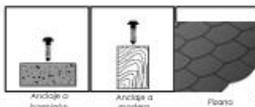
Perfiles perpendiculares a la cumbre



Herramientas necesarias:



Seguridad



100% reciclable
Marcado ES19/86524 CE

Reservado el derecho a efectuar modificaciones. Las ilustraciones de productos son un modo de ejemplo y pueden diferir de la realidad



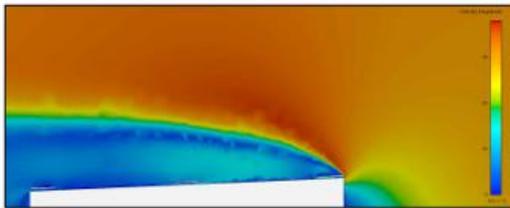
 Cuadro de velocidades máx. admisibles de viento

Tamaño del módulo 	1	2	3	4	5	6	nº de módulos
2400x1150	150	150	150	150	150	150	Velocidad del viento km/h

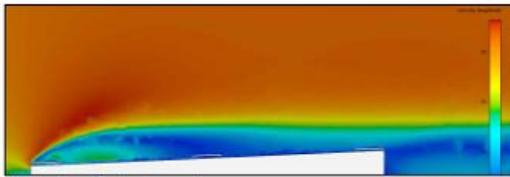
Tabla 1 - Velocidades máximas de viento admisibles.

Reservado el derecho a efectuar modificaciones - Las ilustraciones de productos son a modo de ejemplo y pueden diferir del original.

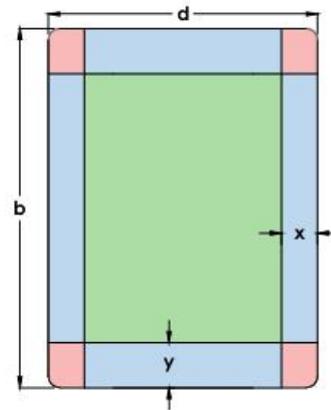
- **Cargas de viento:** Según túnel del viento en modelo computacional CFD
- **Cálculo estructural:** Modelo computacional comprobado mediante EUROCÓDIGO 9 "PROYECTO ESTRUCTURAS DE ALUMINIO"



Flujo viento norte - En estructura coplanar.



Flujo viento sur - En estructura coplanar.



-  Zona segura de instalación
-  Zona con turbulencia
-  Zona con turbulencia extrema

- Para garantizar la resistencia a la velocidad máxima de diseño se deberán utilizar anclajes.

- Para evitar turbulencias y otros efectos nefastos, se debe instalar los paneles fotovoltaicos dentro de la zona verde. No se debe instalar paneles fotovoltaicos en las zonas de turbulencia.

$$e = \min [b, 2h]$$

$$x = \text{Max} [e/10, 0,5m]$$

$$y = \text{Max} [e/4, 0,5m]$$



Para cumplir con las velocidades máximas admisibles de viento especificadas en la tabla 1, se deberán respetar todas las instrucciones indicadas en los planos de montaje. Se debe comprobar que los puntos de anclaje para los módulos son compatibles con las especificaciones del fabricante.

Marcado CE
 ES19/86524

ANEXO V FICHA TÉCNICA CONTADOR

Smart Power Sensor



Preciso

Precisione della misurazione: classe 1



Semplice e facile

Display LCD, facile da usare



Energia efficiente

Consumo di energia complessivo ≤ 1 W

Specifiche tecniche	DDSU666-H	DTSU666-H 250A/50mA
Dati generali		
Dimensione (H x L x P)	100 x 36 x 65.5 mm	100 x 72 x 65.5 mm
Tipo montaggio	DIN35 Rail	
Peso (cavi inclusi)	1.2 kg	1.5 kg
Alimentazione		
Tipo rete elettrica	1P2W	3P4W
Tensione di ingresso	176 Vac ~ 288 Vac	
Consumo di energia	≤ 0.8 W	≤ 1 W
Gamma di misurazione		
Tensione di linea	/	304 Vac ~ 499 Vac
Tens fase	176 Vac ~ 288 Vac	
Corrente	0 ~ 100 A	0 ~ 250 A
Accuratezza di misurazione		
Tensione	± 0.5 %	
Corrente / Potenza / Energia	± 1 %	
Frequenza	± 0.01 Hz	
Comunicazione		
Interfaccia	RS485	
Velocità in baud	9,600 bps	
Protocollo di comunicazione	Modbus-RTU	
Ambiente		
Temperatura operativa	-25 °C ~ 60 °C	
Temperatura di stoccaggio	-40 °C ~ 70 °C	
Umidità d'esercizio	5 %RH ~ 95 %RH (senza condensa)	
Altri		
RS485 Cable (10 m)		
	1 CT 100 A / 40 mA (5 m)	3 CT 250 A / 50 mA (5 m)
		

Accessori

Version No.:02-(20190512)

SOLAR.HUAWEI.COM/IT/

ANEXO VI FICHA TÉCNICA CABLE

Fotovoltaicos

Baja tensión

TECSUN - H1Z2Z2-K

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



D_{ca}-s2,d2,a2
(secciones desde 1,5 a 10 mm²)



E_{ca}
(secciones superiores a 10 mm²)



N° DoP 1016009 (D_{ca}-s2,d2,a2)
N° DoP 1007351 (E_{ca})

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

Ensayos de fuego que superan todas las secciones.



No propagación de la llama
UNE-EN 60332-1-2
IEC 60332-1-2
NFCS2070-C2



No propagación de incendio
UNE-EN 50305-9



Libre de halógenos
UNE-EN 50525-1



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



Baja emisión de gases corrosivos
UNE-EN 50305 (ITC<3)

Ensayos de fuego adicionales para cables con secciones inferiores a 16 mm² (D_{ca}-s2,d2,a2)



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



Baja emisión de humos
UNE-EN 50399



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



Baja emisión de calor
UNE-EN 50399



Máxima resistencia al agua (A08)



Resistencia al frío



Cable flexible



Resistencia a los rayos ultravioleta



Resistencia a los agentes químicos



Resistencia al ozono



Resistencia al calor húmedo



Resistencia a las grasas y aceites



Resistencia a los golpes



Resistencia a la abrasión



Apto para enterrar directamente

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

Reacción al fuego

Prestaciones frente al fuego en la Unión Europea (secciones inferiores a 16 mm²):

- Clase de reacción al fuego (CPR): D_{ca}-s2,d2,a2.
- 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 (incluidas normas aplicables a países no pertenecientes a la Unión Europea) (secciones inferiores a 16 mm²):

- No propagación de la llama:
UNE-EN 60332-1-2; IEC 60332-1-2; NFC 32070-C2

- No propagación del incendio:
UNE-EN 50305-9.
- Libre de halógenos:
UNE-EN 60754-2; UNE-EN 50525-1.
- 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.
- Baja emisión de gases tóxicos:
UNE-EN 60754-2; UNE-EN 50305 (ITC<3).
- Baja emisión de calor:
UNE-EN 50399.

Prysmian

A brand of
Prysmian Group

Fotovoltaicos

Baja tensión

TECSUN - H1Z2Z2-K

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



Reacción al fuego

Prestaciones frente al fuego en la Unión Europea (secciones superiores a 10 mm²):

- Clase de reacción al fuego (CPR): E_{ca}
- 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](#).

Normativa de fuego completa (incluidas normas

aplicables a países no pertenecientes a la Unión Europea) (secciones superiores a 10 mm²):

- No propagación de la llama: [UNE-EN 60332-1-2](#); IEC 60332-1-2; NFC 32070-C2
- No propagación del incendio: [UNE-EN 50305-9](#).
- Libre de halógenos: [UNE-EN 50525-1](#).
- Baja opacidad de humos: [UNE-EN 61034-2](#); IEC 61034-2.
- Baja emisión de gases tóxicos: [UNE-EN 50305 \(ITC<3\)](#).

Construcción

1. Conductor

Metal: cobre recocido estañado.

Flexibilidad: flexible, clase 5, según UNE EN 60228.

Temperatura máxima en el conductor: 120 °C, 20 000 h; 90 °C (30 años). 250 °C en cortocircuito.

2. Aislamiento

Material: compuesto reticulado libre de halógenos según tabla B.1 de anexo B de EN 50618.

3. Cubierta

Material: compuesto reticulado libre de halógenos según tabla B.1 de anexo B de EN 50618.

Colores: negro o rojo.

Aplicaciones

Especialmente diseñado para instalaciones solares fotovoltaicas interiores, exteriores, industriales, agrícolas, fijas o móviles (con seguidores...). Pueden ser instalados en bandejas, conductos y equipos. Adecuado para soterramiento directo (sin tubo o conducto).

Indicado para el lado de corriente continua en instalaciones de autoconsumo solar fotovoltaico.

Sistemas de corriente continua (ITC-BT 53).

Fotovoltaicos

Baja tensión

TECSUN - H1Z2Z2-K



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



✓ Ensayos adicionales cable TECSUN

Vida estimada	30 años
Certificación	TÜV y VDE
Apto para instalación directamente enterrado	Sí
Doble aislamiento (clase II)	Sí
Temperatura máxima del conductor	90 °C (120 °C, 20000 h) 250 °C (cortacircuito)
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/mm ² durante el tendido 15 N/mm ² 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 los rayos UVA	IEC 62930 Anexo E; UNE-EN 50618 Anexo B Resistencia a la tracción y elongación a la rotura después de 720 h (360 ciclos) de exposición a los rayos UVA según UNE-EN 50289-4-17, (Método A)
Resistencia a la absorción agua	EN 60811-402
Protección contra el agua	AD8 (sumersión permanente)
Resistencia a aceites minerales	VDE 0473-811-404, EN 60811-404 (24 h; 100 °C)
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)
Resistencia al amoníaco	Ensayo especial de Prysmian: 30 días en atmósfera saturada de amoníaco.
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.21000h a 90 °C y 85% de humedad para 85% IEC 60068-2-78, UNE-EN-60068-2-78
Respetuoso con el medio ambiente	Directiva RoHS 2014/35/UE de la Unión Europea

Penetración dinámica	IEC 62930 Anexo D; EN 50618 Anexo D
Doblado y alargamiento a baja temperatura	Doblado y alargamiento a -40 °C según IEC 62930 Tab.2 según IEC 60811-504 y -505 y UNE-EN 50618 Tab.2 según UNE-EN 60811-1-4 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
Presión a temperatura elevada	< 50% según UNE-EN 60811-508
Dureza Prysmian	Test interno Prysmian: Tipo A: 85 según DIN EN ISO 868
Resistencia a la abrasión	Ensayo especial Prysmian DIN ISO 4649 • Contra papel abrasivo. • Cubierta contra cubierta. • Cubierta contra metal. • Cubierta contra plásticos.
Durabilidad del marcado	IEC 62930; UNE-EN 50396

Fotovoltaicos

Baja tensión

TECSUN - H1Z2Z2-K



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



Datos técnicos

Número de conductores x sección (mm ²)	Diámetro máximo del conductor (mm) (1)	Diámetro exterior del cable (valor máximo) (mm)	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 (2) (A)	Intensidad admisible al aire. T ambiente 60 °C y T conductor 120 °C (3)	Intensidad admisible enterrado directamente o bajo tubo enterrado (4) (A)	Caída de tensión (V/A km) (2)
1x1,5	1,6	4,4	20	15	35	13,7	24	30	24	27,4
1x2,5	1,9	4,8	22	17	46	8,21	34	41	32	16,42
1x4	2,4	5,3	24	18	61	5,09	46	55	42	10,18
1x6	2,9	5,9	26	20	80	3,39	59	70	53	6,78
1x10	4	7,0	30	23	122	1,95	82	98	70	3,90
1x16	5,6	9,0	39	30	200	1,24	110	132	91	2,48
1x25	6,4	10,3	45	34	290	0,795	140	176	116	1,59
1x35	7,5	11,7	63	50	400	0,565	182	218	140	1,13
1x50	9	13,5	73	58	560	0,393	220	276	166	0,786
1x70	10,8	15,5	83	66	750	0,277	282	347	204	0,554
1x95	12,6	17,7	94	75	970	0,210	343	416	241	0,42
1x120	14,2	19,2	122	82	1220	0,164	397	488	275	0,328
1x150	15,8	21,4	136	91	1500	0,132	458	566	311	0,264
1x185	17,4	23,7	151	101	1840	0,108	523	644	348	0,216
1x240	20,4	27,1	171	114	2400	0,0817	617	775	402	0,1634

(1) Valores aproximados.

(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).

(4) Instalación enterrada directamente o bajo tubo con (4) Instalación enterrada directamente o bajo tubo con resistencia térmica del terreno estándar de 2,5 K·m/W. XLPE2 con instalación tipo D1/D2 (Cu) (monofásica o continua).

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 (25 años).

ANEXO VII UNE-HD_60364-5-52_2014

TABLA B.52-1 (UNE-HD 60364-5-52: 2014) Métodos de instalación de referencia

Instalación de referencia		Tabla y columna			
		Intensidad admisible para los circuitos simples			
		Aislamiento PVC		Aislamiento XLPE o EPR	
		Número de conductores			
		2	3	2	3
	A1	Tabla C.52-1 bis columna 4	Tabla C.52-1 bis columna 3	Tabla C.52-1 bis columna 7b	Tabla C.52-1 bis columna 6b
	A2	Tabla C.52-1 bis columna 3	Tabla C.52-1 bis columna 2	Tabla C.52-1 bis columna 6b	Tabla C.52-1 bis columna 5b
	B1	Tabla C.52-1 bis columna 6a	Tabla C.52-1 bis columna 5a	Tabla C.52-1 bis columna 10b	Tabla C.52-1 bis columna 8b
	B2	Tabla C.52-1 bis columna 5a	Tabla C.52-1 bis columna 4	Tabla C.52-1 bis columna 8b	Tabla C.52-1 bis columna 7b
	C	Tabla C.52-1 bis columna 8a	Tabla C.52-1 bis columna 6a	Tabla C.52-1 bis columna 11	Tabla C.52-1 bis columna 9b
	D1	Tabla C.52-2 bis columna 3	Tabla C.52-2 bis columna 4	Tabla C.52-2 bis columna 5	Tabla C.52-2 bis columna 6
	D2				
	E	Tabla C.52-1 bis columna 9a	Tabla C.52-1 bis columna 7a	Tabla C.52-1 bis columna 12	Tabla C.52-1 bis columna 10b
	F	Tabla C.52-1 bis columna 10a	Tabla C.52-1 bis columna 8a	Tabla C.52-1 bis columna 13	Tabla C.52-1 bis columna 11
	G	Ver UNE-HD 60364-5-52			

XLPE: Polietileno reticulado (90°C) EPR: Etileno-propileno (90°C) PVC: Policloruro de vinilo (70°C)

Cobre: $\rho_{20} = 1/56 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$; Aluminio: $\rho_{20} = 1/35 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$
Para el cobre y el aluminio: $\theta = 70^\circ\text{C} \rightarrow K_{\theta} = 1,20$; $\theta = 90^\circ\text{C} \rightarrow K_{\theta} = 1,28$

POTENCIAS NORMALIZADAS DE TRANSFORMADORES (EN KVA):

5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000

FACTORES DE MAYORACIÓN K_Q : 1,25 para motores y 1,8 para lámparas de descarga

TABLA C.52-1 bis (UNE-HD 60364-5-52: 2014)
Intensidades admisibles en amperios Temperatura ambiente 40 °C en el aire

Metodo de instalación de la tabla B.52-1	Número de conductores cargados y tipos de aislamiento																	
	Intensidades admisibles en amperios Temperatura ambiente 40 °C en el aire																	
	PVC 3	PVC 2	PVC 3	PVC 2	PVC 3	PVC 2	PVC 3	PVC 2	PVC 3	PVC 2	PVC 3	PVC 2	PVC 3					
A1																		
A2																		
B1																		
B2																		
C																		
E																		
F																		
1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13
Sección mm²																		
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	-
2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	-
4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	-
6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	-
10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	-
16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	-
25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146
35	-	-	-	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182
50	-	-	-	116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220
70	-	-	-	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282
95	-	-	-	180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343
120	-	-	-	207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397
150	-	-	-	-	-	-	247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	458
185	-	-	-	-	-	-	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	523
240	-	-	-	-	-	-	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	617
Alu. mini																		
2,5	11,5	12	13	14	15	16	16,5	17	17,5	18	19	20	20	20	21	23	25	-
4	15	16	17	19	20	21	22	22	23	24	25	26	28	27	29	31	34	-
6	20	20	22	24	25	27	29	28	30	31	32	33	35	36	38	40	44	-
10	26	27	31	33	35	38	40	40	41	42	44	46	49	50	52	56	60	-
16	35	37	41	46	48	50	52	53	55	57	60	63	66	66	70	76	82	-
25	46	49	54	60	63	63	66	67	70	72	75	78	81	84	88	91	98	110
35	-	-	-	74	78	78	81	83	87	89	93	97	101	104	109	114	122	136
50	-	-	-	90	94	95	100	101	106	108	113	118	123	127	132	140	149	167
70	-	-	-	115	121	121	127	130	136	139	145	151	158	162	170	180	192	215
95	-	-	-	140	146	147	154	159	166	169	177	183	192	197	206	219	233	262
120	-	-	-	161	169	171	179	184	192	196	205	213	222	228	239	254	273	306
150	-	-	-	-	-	-	196	205	213	222	227	237	246	257	264	276	294	314
185	-	-	-	-	-	-	222	232	243	254	259	271	281	293	301	315	337	361
240	-	-	-	-	-	-	261	273	287	300	306	320	332	347	355	372	399	427
Aislamientos termoestables (90°C)																		
Aislamientos termoplásticos (70°C)																		

ANEXO VIII UNE-HD_60364-5-52

Punto	Disposición	Número de circuitos o cables multiconductores										Instalación tipo
		1	2	3	4	6	9	12	16	20		
1	Empotrados, embutidos (dentro de un mismo tubo, canal o grapados sobre una superficie al aire)	1,0	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40		A a F
2	Capa única sobre los muros o los suelos o bandejas no perforadas	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70		C 
3	Capa única en el techo	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60		
4	Capa única sobre bandejas perforadas horizontales o verticales	1,0	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70		E y F
5	Capa única sobre escaleras de cables, abrazaderas, etc.	1,0	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80		

Aislamiento	Temperatura ambiente (θ_a) (°C)											
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Tipo PVC (termoplástico)	1,40	1,34	1,29	1,22	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,70	0,57	
Tipo XLPE o EPR (termoestable)	1,26	1,23	1,19	1,14	1,10	1,05	1,00	0,96	0,90	0,83	0,78	

