



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## PLAN DE NEGOCIO DE PROPUESTA DE MEJORA ENERGÉTICA DE VIVIENDA RURAL

Autor: Pablo Alguacil Muñoz

Director: Íñigo Sanz Fernández

Madrid

Agosto de 2025



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título **Plan de negocio de propuesta de mejora energética de vivienda rural** en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico **2024-25** es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Pablo Alguacil Muñoz

Fecha: 19 / 08 / 2025



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Íñigo Sanz Fernández

Fecha: 21/08/2025

**SANZ  
FERNANDEZ  
IÑIGO -  
52367115W**

Firmado digitalmente  
por SANZ FERNANDEZ  
IÑIGO - 52367115W  
Fecha: 2025.08.21  
09:49:32 +02'00'





# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## PLAN DE NEGOCIO DE PROPUESTA DE MEJORA ENERGÉTICA DE VIVIENDA RURAL

Autor: Pablo Alguacil Muñoz

Director: Íñigo Sanz Fernández

Madrid

Agosto de 2025

## Resumen

Actualmente, España cuenta con uno de los parques inmobiliarios más anticuados e ineficientes de Europa, tanto en el ámbito residencial de servicios como industrial. Más del 50% de las viviendas tiene más de 40 años, y el 80% del total presenta una calificación energética de tipo E o inferior, lo que refleja un elevado consumo energético y un mayor impacto ambiental. En el caso del sector industrial, la situación no presenta una mejora sustancial. En España, este es responsable de una parte significativa del consumo energético total del país, y gran parte de sus instalaciones son también antiguas y poco eficientes. [Uci\_24]

El gobierno de España ha lanzado iniciativas en el marco del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima [Mite20] 2021-2030, con fondos europeos Next Generation EU, que buscan impulsar la rehabilitación energética tanto en viviendas como en instalaciones industriales. Se prevé la rehabilitación de millones de viviendas y la modernización de la infraestructura energética en la industria, con el fin de reducir la demanda energética, disminuir las emisiones y promover la competitividad a través de la innovación. [Mite25]

Este proyecto se enfoca en la rehabilitación de un cortijo unifamiliar de 3 plantas y 365 m<sup>2</sup> situado en la provincia de Granada para conseguir reducir al máximo el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a su funcionamiento mediante el uso de energías renovables y tecnologías eficientes, valorando la opción de conseguir un modelo autosuficiente energéticamente (“vivienda cero”), y priorizando en todo momento la viabilidad económica de estas mejoras para llevarlas a cabo de forma objetiva. En la planificación de la rehabilitación se detallarán procesos como la propuesta de mejora, compras e instalación, entre otros.

## Summary

Currently, Spain has one of the most outdated and inefficient housing stocks in Europe, both in the residential, service, and industrial sectors. More than 50% of homes are over 40 years old, and 80% of the total have an energy rating of type E or lower, reflecting high energy consumption and a greater environmental impact. In the case of the industrial sector, the situation has not shown substantial improvement. In Spain, this sector accounts for a significant portion of the country's total energy consumption, and many of its facilities are also old and inefficient.

The Spanish government has launched initiatives within the framework of the National Integrated Energy and Climate Plan 2021-2030, with European Next Generation EU funds, which seek to promote energy renovation in both homes and industrial facilities. The renovation of millions of homes and the modernization of energy infrastructure in industry are planned, with the aim of reducing energy demand, reducing emissions, and promoting competitiveness through innovation.

This project focuses on the renovation of a 365 m<sup>2</sup>, three-story, single-family farmhouse located in the province of Granada. This project aims to minimize energy consumption and associated greenhouse gas emissions through the use of renewable energy and efficient technologies. The project will consider the option of achieving an energy-self-sufficient ("zero-energy home") model, while always prioritizing the economic viability of these improvements to implement them objectively. The renovation plan will detail processes such as the improvement proposal, procurement, and installation, among others.

## Tabla de contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Eficiencia energética</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Eficiencia energética de viviendas</b>	<b>1</b>
<b>1.3. Calificación Energética</b>	<b>2</b>
1.3.1. Estructura y contenido de la etiqueta energética	2
1.3.2. Registro, validez y obligación de exhibición	4
<b>1.4. Sistemas de obtención de Energía Renovable</b>	<b>4</b>
1.4.1. Conceptos de rendimiento energético en sistemas térmicos.	5
1.4.2. Energía Solar	5
1.4.3. Aerotermia	10
1.4.4. Geotermia de baja entalpía	12
1.4.5. Biomasa	13
<b>1.5. Sistemas de almacenamiento. Baterías</b>	<b>14</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>15</b>
<b>2.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)</b>	<b>15</b>
<b>3. Descripción de la vivienda</b>	<b>17</b>
<b>3.1. Superficies construidas y útiles</b>	<b>18</b>
3.1.1. Superficie de fachadas	19
3.1.2. Superficie de cubierta	21
<b>3.2. Memoria Constructiva</b>	<b>21</b>
3.2.1. Sustentación del edificio.	21
3.2.2. Sistema estructural	22
3.2.3. Cubierta	23
3.2.4. Envolverte	23
<b>3.3. Sistemas de acabados</b>	<b>25</b>
3.3.1. Acabados verticales	25
3.3.2. Acabados horizontales	25
<b>3.4. Sistema de acondicionamiento e instalaciones.</b>	<b>25</b>
3.4.1. Saneamiento	25
3.4.2. Fontanería	26
3.4.3. Instalación eléctrica	26
3.4.4. Instalaciones audiovisuales	26
3.4.5. Sistemas de calefacción	26
<b>3.5. Sistemas de servicios</b>	<b>27</b>
<b>3.6. Equipamiento</b>	<b>27</b>
<b>4. Planificación</b>	<b>28</b>
<b>4.1. Definición de tareas</b>	<b>29</b>
<b>4.2. Alcance del proyecto</b>	<b>30</b>
<b>5. Auditoría energética</b>	<b>31</b>
<b>5.1. Metodología del análisis energético</b>	<b>31</b>

<b>5.2.</b>	<b>Estimación de consumo de la vivienda.</b>	<b>32</b>
<b>5.3.</b>	<b>Condiciones térmicas de la vivienda.</b>	<b>34</b>
<b>5.4.</b>	<b>Certificado energético con CE3X</b>	<b>35</b>
5.4.1.	Datos generales de la vivienda en C3EX	36
5.4.2.	Envoltente térmica de la vivienda en CE3X	36
5.4.3.	Instalaciones térmicas de la vivienda en CE3X	39
5.4.4.	Patrón de sombra	40
<b>5.5.</b>	<b>Análisis de patrones de consumo</b>	<b>41</b>
<b>6.</b>	<b>Renovación</b>	<b>43</b>
<b>6.1.</b>	<b>Criterios de análisis de las medidas de mejora</b>	<b>43</b>
<b>6.2.</b>	<b>Aislamiento térmico de los muros exteriores</b>	<b>44</b>
6.2.1.	Tipos de aislamiento térmico para fachadas exteriores.	44
6.2.2.	Valoración comparativa y justificación de la elección	45
6.2.3.	Elección del material aislante para fachadas exteriores	46
<b>6.3.</b>	<b>Aislamiento térmico de las cubiertas</b>	<b>50</b>
<b>6.4.</b>	<b>Sustitución de carpintería exteriores</b>	<b>52</b>
<b>6.5.</b>	<b>Sustitución de instalaciones térmicas</b>	<b>52</b>
6.5.1.	Aerotermia (Bomba de calor aire-agua)	53
6.5.2.	Geotermia de baja entalpía	53
6.5.3.	Sistema de calefacción y ACS basado en biomasa	53
6.5.4.	Elección del sistema de calefacción	54
<b>6.6.</b>	<b>Instalación de sistemas fotovoltaicos</b>	<b>56</b>
6.6.1.	Definición del tipo de instalación, clima y red en PVSOL 2025	56
6.6.2.	Patrones de consumo en PVSOL 2025	59
6.6.3.	Diseño de módulos Fotovoltaicos	59
6.6.4.	Diseño del inversor	63
6.6.5.	Diseño de la batería	64
6.6.6.	Selección de cableado eléctrico	65
6.6.7.	Evaluación económica	66
6.6.8.	Resultados de la simulación en PVSOL 2025	67
<b>7.</b>	<b>Análisis de mejoras</b>	<b>70</b>
<b>8.</b>	<b>Análisis económico</b>	<b>72</b>
<b>8.1.</b>	<b>Ayudas públicas aplicables</b>	<b>73</b>
8.1.1.	AAE Programa 4 y 5, residencial (Autoconsumo fotovoltaico + Batería)	74
8.1.2.	AAE Programa 6 (Biomasa residencial)	74
8.1.3.	Plan EcoVivienda – Línea 4 (Envoltente SATE y aislamiento cubierta)	74
<b>8.2.</b>	<b>Coste total</b>	<b>75</b>
<b>9.</b>	<b>Instalación</b>	<b>76</b>
<b>10.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>78</b>
	<b>Índice de Figuras</b>	<b>80</b>
	<b>Índice de Tablas</b>	<b>81</b>
	<b>Índice de Ecuaciones</b>	<b>82</b>
	<b>Índice de Figuras de Anexo</b>	<b>83</b>

<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>89</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>89</b>
<b>3. Descripción de la vivienda .....</b>	<b>90</b>
<b>5.3. Condiciones térmicas de la vivienda .....</b>	<b>92</b>
<b>5.4 Certificado energético en C3EX.....</b>	<b>94</b>
<b>6.2. Aislamiento térmico de los muros exteriores.....</b>	<b>96</b>
<b>6.3. Aislamiento térmico de las cubiertas .....</b>	<b>98</b>
<b>6.5. Sustitución de instalaciones térmicas.....</b>	<b>99</b>
<b>6.6. instalación de Sistemas Fotovoltaicos .....</b>	<b>100</b>
<b>9. Instalación.....</b>	<b>104</b>
<b>Documento: Análisis de Sistema Fotovoltaico [Fuen25] .....</b>	<b>105</b>
<b>Documento: Certificado energético de la vivienda [Fuen25] .....</b>	<b>129</b>
<b>Documento: Informe descriptivo de la medida de mejora [Fuen25].....</b>	<b>137</b>

# 1. Introducción

## 1.1. Eficiencia energética

La eficiencia energética se ha consolidado como una prioridad para afrontar los desafíos del cambio climático, la seguridad energética y la competitividad económica. Este concepto hace referencia a la capacidad de obtener el mismo resultado energético (o incluso superior), utilizando menos recursos energéticos. En otras palabras, se trata de reducir el consumo sin sacrificar el rendimiento, mediante mejoras tecnológicas, cambios en los hábitos de consumo y marcos regulatorios adecuados. [Uci24]

De acuerdo con la Agencia Internacional de la Energía, mejorar la eficiencia energética podría representar más del 40% de la reducción necesaria de emisiones para cumplir con los objetivos climáticos del Acuerdo de París. A nivel europeo, la Directiva 2012/27/UE establece medidas vinculantes para fomentar una transición energética sostenible, señalando que cada unidad de energía no consumida es la más limpia y económica. [Iea\_23] [Doue12]

En el ámbito técnico, la eficiencia energética abarca desde sistemas de iluminación LED hasta procesos industriales inteligentes, redes eléctricas inteligentes (smart grids) y edificaciones de consumo casi nulo (nZEB). Además, se vincula estrechamente con la transición hacia energías renovables, al permitir una mejor gestión de los recursos y una menor dependencia de combustibles fósiles [Stev15].

## 1.2. Eficiencia energética de viviendas

La eficiencia energética en el sector residencial representa uno de los pilares más importantes para alcanzar los objetivos climáticos y reducir el consumo energético a escala global. Las viviendas son responsables de aproximadamente el 30-40% del consumo energético total en Europa, siendo el principal uso la calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria (ACS). [Comi20]

Una vivienda energéticamente eficiente es aquella que reduce al mínimo las pérdidas de energía, optimizando el aislamiento térmico, la orientación, el uso de energías renovables y la eficiencia de los sistemas mecánicos. Las estrategias incluyen desde mejoras en la envolvente térmica (muros, ventanas, cubiertas) hasta la instalación de sistemas inteligentes de climatización, iluminación LED y energía solar fotovoltaica o térmica. [PZXM21]

En el marco legislativo europeo, la Directiva 2010/31/UE sobre eficiencia energética de los edificios establece que, a partir de 2021, todos los edificios de nueva construcción deben ser Edificios de Consumo Casi Nulo (nZEB). En España, esta directiva se transpone a través del Código Técnico de la Edificación (CTE), particularmente en el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE), que exige una demanda energética limitada y el uso de energías renovables. [Miva22]

Además del beneficio ambiental, una vivienda eficiente mejora el confort térmico, reduce la factura energética y revaloriza el inmueble, generando beneficios tanto para el usuario como para la sociedad en su conjunto. [Miva22].

### 1.3. Calificación Energética

La calificación energética es una herramienta normativa y técnica destinada a estimar y comunicar el comportamiento energético de los edificios. En el contexto español y europeo, esta calificación permite identificar y promover inmuebles más sostenibles, además de fomentar la rehabilitación del parque edificado existente. La Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo establece el marco común para la certificación energética en los estados miembros, y en España fue transpuesta mediante el Real Decreto 390/2021, que regula el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de los edificios. [Mprc21]

Tras la evaluación técnica de una vivienda mediante herramientas oficiales (como CE3X, Cyptherm o CERMA entre otras), se genera el Certificado de Eficiencia Energética (CEE). Este informe debe registrarse en el organismo competente de la comunidad autónoma para que adquiera validez legal. Una vez registrado, se emite la etiqueta energética, que es el documento público y visual que resume los resultados de la calificación. [Cert25a]

#### 1.3.1. Estructura y contenido de la etiqueta energética

La etiqueta energética sigue un modelo estandarizado que facilita su lectura y comprensión por parte de los usuarios. En su parte superior se incluyen datos técnicos y administrativos del inmueble, tales como la normativa de construcción vigente al momento de su edificación, la referencia catastral, el tipo de edificio (vivienda unifamiliar, bloque de viviendas, local comercial, etc.), y su ubicación geográfica completa. [Cert25a]

MOELO-CEE06

## CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO TERMINADO ETIQUETA

**DATOS DEL EDIFICIO**

Normativa vigente: construcción / rehabilitación  Tipo de edificio

Dirección

Municipio

Referencia/s catastrales  C.P.

C. Autónoma

---

**ESCALA DE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA**

	Consumo de energía kWh / m <sup>2</sup> · año	Emissiones kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> · año
<b>A</b> más eficiente		
<b>B</b>		
<b>C</b>		
<b>D</b>		
<b>E</b>		
<b>F</b>		
<b>G</b> menos eficiente		

---

**REGISTRO**

Nº Edif.:

Nº Insc.:

Válido hasta admisión

**GOBIERNO DE EXTREMADURA**  
Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca, Medio Ambiente y Energía

**ESPAÑA**  
Directiva 2010 / 31 / UE



Figura 1: Etiqueta de Certificación Energética de una vivienda [Cert25a]

En la sección central de la etiqueta se representa gráficamente la escala de eficiencia energética, que va de la letra A (verde), para los inmuebles más eficientes, hasta la letra G (rojo), para los menos eficientes. Esta clasificación se basa en dos indicadores principales:

- **Consumo de energía primaria no renovable (kWh/m<sup>2</sup>·año):**

Este parámetro representa la energía necesaria para satisfacer las necesidades de calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación y agua caliente sanitaria en condiciones normales de uso. Se excluye la energía procedente de fuentes renovables. El cálculo tiene en cuenta tanto la envolvente térmica del edificio (muros, ventanas, cubiertas) como las instalaciones térmicas (calderas, sistemas de refrigeración, etc.). [Cert25a]

Según los valores de referencia establecidos por el IDAE, los inmuebles con un consumo inferior a 30,3 kWh/m<sup>2</sup>·año reciben la calificación A, mientras que aquellos que superan los 287,5 kWh/m<sup>2</sup>·año obtienen una G. [Idae25]

- **Emisiones de dióxido de carbono (kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·año):**

Este segundo indicador mide el impacto ambiental del inmueble en términos de gases de efecto invernadero. No está directamente relacionado con el nivel de consumo energético, sino con la fuente energética utilizada. [Cert25a]

Por ejemplo, una vivienda con alta demanda térmica puede emitir poco CO<sub>2</sub> si se alimenta de energías renovables, mientras que otra con baja demanda puede tener mayores emisiones si usa energía fósil. Los umbrales de calificación indican que una vivienda clase A emite menos de 6,8 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·año, mientras que una clase G supera los 70,9 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·año. [Cert25a]

### 1.3.2. Registro, validez y obligación de exhibición

La parte inferior de la etiqueta energética recoge el número de registro oficial asignado por el organismo autonómico correspondiente, así como la fecha de caducidad, que es de diez años desde la emisión del certificado. Según el artículo 6 del Real Decreto 390/2021, esta etiqueta debe mostrarse obligatoriamente en las siguientes situaciones:

- En toda publicidad, promoción, oferta o comercialización de inmuebles en venta o alquiler.
- En edificios públicos de más de 250 m<sup>2</sup> frecuentados por el público.
- En edificios privados de más de 500 m<sup>2</sup> de superficie útil, también accesibles habitualmente al público.

En el resto de casos, su exhibición será voluntaria. [Cert25a]

Más allá del cumplimiento normativo, la etiqueta energética constituye una herramienta informativa fundamental para los consumidores, ya que permite anticipar el coste energético de un inmueble y valorar posibles mejoras. Además, es un requisito indispensable para acceder a las subvenciones públicas destinadas a la rehabilitación energética, como los programas de los fondos Next Generation. [Miva25]

## 1.4. Sistemas de obtención de Energía Renovable

El aprovechamiento de fuentes de energía renovable en el ámbito residencial contribuye no solo a reducir el consumo de energía primaria no renovable, sino también a minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero. La integración de estos sistemas es esencial para cumplir con los requisitos de edificaciones de consumo casi nulo (nZEB), según la Directiva 2010/31/UE y el Código Técnico de la Edificación (CTE) en España, especialmente en su Documento Básico HE. [Doue10][Miva22]

### 1.4.1. Conceptos de rendimiento energético en sistemas térmicos.

Para evaluar la eficiencia de los sistemas de climatización y producción de agua caliente basados en energías renovables, se utilizan indicadores de rendimiento estacional. Estos permiten comparar distintas tecnologías bajo condiciones de uso realistas y homogéneas, y son fundamentales para justificar la viabilidad técnica y económica de estas soluciones en el ámbito de la rehabilitación energética. [Doue10]

Uno de los indicadores más relevantes es el SCOP (Seasonal Coefficient of Performance). Este coeficiente representa la relación entre la energía térmica útil generada a lo largo de una temporada completa y la energía eléctrica consumida para obtener dicha producción. Se define mediante la siguiente fórmula:

$$SCOP = \frac{\text{Energía térmica útil generada (kWh)}}{\text{Energía eléctrica consumida (kWh)}}$$

*Ecuación 1: Coeficiente de Rendimiento Estacional (SCOP)*

Este valor refleja el rendimiento global del sistema en condiciones reales de funcionamiento. Un SCOP de 4, por ejemplo, indica que por cada kilovatio hora (kWh) de electricidad consumida se entregan 4 kWh térmicos útiles. Los sistemas con SCOP altos se consideran más eficientes, y este indicador es ampliamente utilizado en etiquetado energético y en normativa de diseño ecológico. [Doue13]

Junto con el SCOP, también se utiliza el COP (Coefficient of Performance), que expresa el rendimiento instantáneo en condiciones de laboratorio, generalmente bajo la norma EN 14511. [Unen23]

Por su parte, el SPF (Seasonal Performance Factor) se emplea con frecuencia en entornos normativos europeos, como el Reglamento 813/2013 de la Comisión Europea. Este indicador incluye en su cálculo datos reales de uso y pérdidas térmicas del sistema. [Doue13]

### 1.4.2. Energía Solar

La energía solar representa una de las fuentes renovables más accesibles, limpias y eficientes para su aplicación en el sector residencial. Dada la alta disponibilidad de radiación solar en gran parte del territorio español, su incorporación en las viviendas se ha convertido en una estrategia prioritaria dentro de la transición energética y las políticas de descarbonización, especialmente en edificios de nueva construcción o rehabilitación energética profunda.

En términos técnicos, existen dos aplicaciones principales de la energía solar en viviendas:

#### 1.4.1.1 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica convierte la radiación solar en electricidad mediante el efecto fotoeléctrico. Es una de las soluciones más extendidas en viviendas debido a su modularidad, larga vida útil (más de 25 años) y rápido retorno de inversión (hasta 10 años). [Sola25]

Según datos técnicos, en regiones de alta irradiación como Andalucía, una instalación de 4 kWp puede generar entre 6.400 y 7.200 kWh al año (1.600-1.800 kWh por kWp), lo que, frente a un consumo medio residencial de entre 4.000 y 6.000 kWh/año, permitiría cubrir aproximadamente entre el 60 % y el 90 % del consumo eléctrico de una vivienda. [Reno25]

Desde el punto de vista ambiental, los sistemas fotovoltaicos no generan emisiones, no producen residuos durante su operación y son completamente silenciosos. Además, permiten preservar paisajes rurales o espacios protegidos al integrarse en cubiertas y fachadas. [Cert25a]

Existen tres tipos principales de sistemas: conectados a red, aislados e híbridos.

- **Sistemas conectados a la red**

Los sistemas conectados a la red están diseñados para que la vivienda consuma prioritariamente la energía generada por los paneles solares, vertiendo el excedente a la red pública e importando energía cuando sea necesario.

A continuación, se detalla su funcionamiento:

1. **Generación de energía solar (módulo fotovoltaico):** Los paneles captan la radiación solar y la convierten en corriente continua (CC) mediante el efecto fotoeléctrico. [Idae24]
2. **Conversión en corriente alterna (inversor):** La energía CC se dirige al inversor, que la transforma en corriente alterna (CA) con las características adecuadas (230 V, 50 Hz) para el uso doméstico.
3. **Distribución en la vivienda:** La energía se introduce en el sistema eléctrico interno para alimentar iluminación, electrodomésticos, climatización, etc.
4. **Medición de energía (contador bidireccional):** El sistema registra tanto la energía consumida de la red como la energía excedentaria vertida.

5. **Interacción con la red eléctrica:** Permanece conectado a la red para garantizar suministro continuo. Además, permite acogerse a la compensación simplificada de excedentes, según el Real Decreto 244/2019. [Bib123] [Ilum23]



Figura 2: Sistema fotovoltaico conectado a la red [Ilum23]

- **Sistemas aislados**

Una instalación fotovoltaica aislada transforma la energía solar en electricidad útil para la vivienda sin conexión a la red eléctrica convencional. Son comunes en zonas rurales o remotas.

Su funcionamiento incluye:

1. **Captación de energía solar:** Los paneles captan la radiación solar y la convierten en corriente continua (CC).
2. **Regulación de la carga:** Un regulador de carga estabiliza la tensión y protege las baterías de sobrecargas o descargas profundas.
3. **Almacenamiento de energía:** La electricidad estabilizada se almacena en baterías, permitiendo disponer de energía durante la noche o días nublados.
4. **Conversión a corriente alterna:** Desde las baterías, la electricidad se envía al inversor, que la convierte en CA a 220 V, apta para el uso doméstico.
5. **Distribución y consumo:** La energía transformada se distribuye en el sistema eléctrico del edificio, alimentando puntos de consumo a 12 V (iluminación directa) y tomas de 220 V. [Mari21]

En algunos casos, se instala un generador de apoyo conectado al inversor, para garantizar el suministro en momentos de baja producción o alta demanda. [Foto25]



Figura 3: Sistema aislado [Mari21]

- **Sistemas híbridos**

Los sistemas híbridos combinan energía solar con baterías y conexión a red, maximizando el aprovechamiento de la energía generada y garantizando el suministro constante.

Este tipo de instalación permite:

- Consumir directamente la energía solar en tiempo real.
- Almacenar excedentes en baterías para un uso posterior.
- Importar energía de la red cuando sea necesario.
- Verter excedentes si las baterías están cargadas y no hay consumo.

Estos sistemas proporcionan una solución eficiente, flexible y orientada al autoconsumo inteligente, especialmente adecuada para viviendas que buscan reducir su dependencia energética sin renunciar al respaldo de red. [Auto25a]



Figura 4: Sistema fotovoltaico híbrido [Auto25a]

### 1.4.1.2. Energía Solar Térmica

La energía solar térmica es una tecnología que permite aprovechar la radiación solar para calentar agua mediante el uso de colectores solares. Esta energía térmica puede utilizarse para agua caliente sanitaria (ACS), calefacción o procesos industriales. En el sector residencial, su aplicación más común es la producción de ACS, ayudando a reducir el consumo de combustibles fósiles y las emisiones asociadas. [Reps24a]

Este tipo de instalación se basa en un sistema cerrado donde un fluido caloportador circula entre los colectores solares y un acumulador, cediendo calor al agua de uso doméstico mediante un intercambiador. [Ener25]

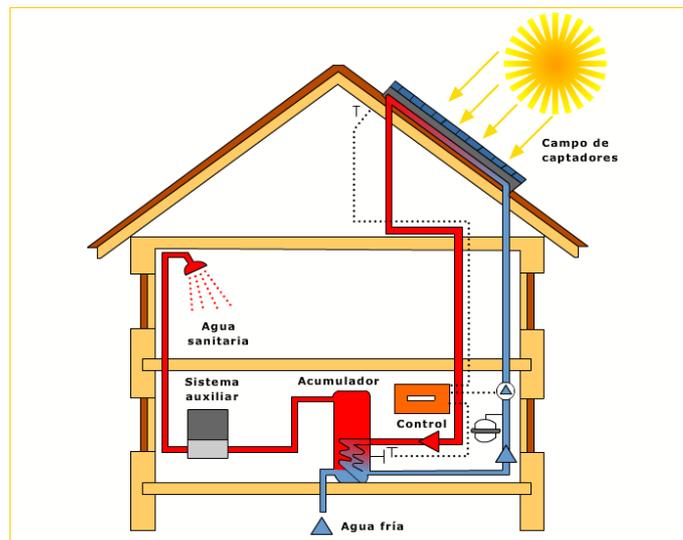


Figura 5: Esquema de funcionamiento de un sistema de energía solar térmica para producción de ACS. [Ener25]

- **Campo de captadores solares:** Instalados en el tejado, los colectores solares captan la radiación solar y calientan un fluido térmico que circula por su interior. Este fluido no es el agua de consumo, sino un líquido que transporta calor (generalmente con propiedades anticongelantes).
- **Circuito primario – Bomba de circulación:** La bomba circuladora, junto con el sistema de control, asegura que el fluido fluya desde los colectores hacia el intercambiador de calor del acumulador.
- **Acumulador:** Dentro del acumulador hay un intercambiador (serpentín) que transfiere el calor del fluido caloportador al agua potable fría. Esta agua caliente se almacena lista para el consumo.
- **Sistema de control y sensores:** Sensores de temperatura permiten al sistema encender o apagar la bomba para optimizar la captación de calor, evitando pérdidas y sobrecalentamientos.

- **Sistema auxiliar:** En días nublados o de alta demanda, una caldera de apoyo o resistencia eléctrica calienta el agua del acumulador para mantener la temperatura requerida.
- **Consumo doméstico (ducha, grifo, etc.):** El agua caliente se distribuye a los puntos de uso como duchas, lavabos o cocina, sin haber entrado en contacto con el fluido caloportador.

### 1.4.3. Aerotermia

La aerotermia es una tecnología basada en el uso de bombas de calor aire-agua capaces de extraer energía térmica del aire exterior y transferirla a un circuito de agua para su uso en calefacción, refrigeración y producción de agua caliente sanitaria (ACS). Esta energía renovable es gratuita, disponible de forma constante y aprovechable incluso a temperaturas bajo cero. De acuerdo con la Directiva 2009/28/CE, se considera una fuente de energía renovable si el equipo alcanza un rendimiento estacional mínimo establecido.

El sistema se basa en un ciclo termodinámico cerrado mediante el cual un refrigerante cambia de estado (líquido ↔ gaseoso) para captar y ceder calor. Esta tecnología está especialmente indicada en viviendas de bajo consumo y resulta ideal en procesos de rehabilitación energética, por su alta eficiencia y facilidad de integración con otros sistemas renovables como la fotovoltaica. [JiSM17]

El funcionamiento práctico de una instalación aerotérmica para uso residencial incluye varios componentes fundamentales, como muestra la figura siguiente:

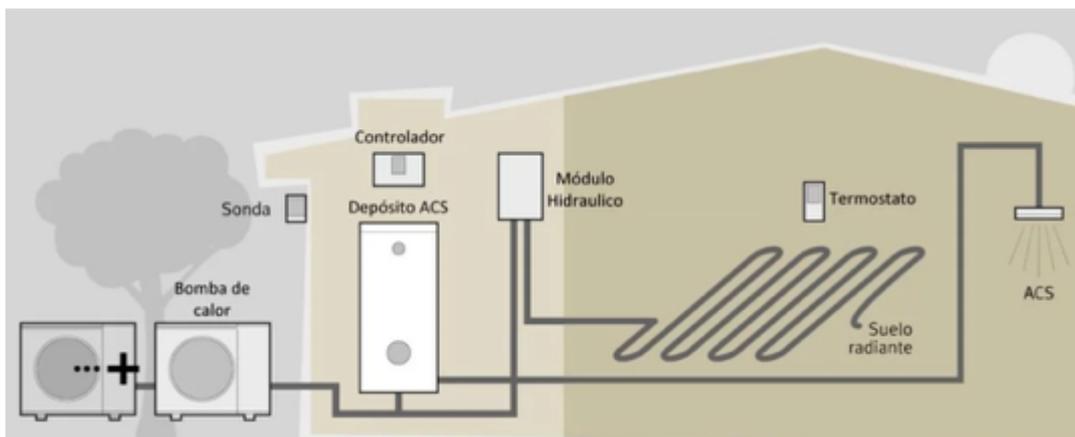


Figura 6: Instalación de Aerotermia [Tecn21]

1. **Bomba de calor exterior:** Capta el calor del aire ambiente y lo transfiere al refrigerante mediante el evaporador.
2. **Sonda exterior:** Mide la temperatura del ambiente y optimiza el funcionamiento de la bomba de calor.

3. **Módulo hidráulico (unidad interior):** Transfiere el calor del refrigerante al agua del sistema hidráulico.
4. **Depósito de ACS:** Almacena el agua caliente sanitaria para su uso posterior.
5. **Controlador electrónico:** Regula el sistema, ajustando la potencia del compresor según la demanda térmica.
6. **Emisores térmicos (suelo radiante):** Distribuyen el calor en el interior de la vivienda de forma uniforme y eficiente.
7. **Termostato:** Permite al usuario seleccionar la temperatura ambiente deseada.

Esta disposición permite cubrir la climatización en invierno y verano, así como la producción de ACS durante todo el año, con mínimo consumo eléctrico y alta eficiencia estacional. [Tecn21]

El núcleo físico del sistema aerotérmico es el ciclo termodinámico que sigue el refrigerante dentro de la bomba de calor. Este ciclo se explica en cinco etapas principales, ilustradas en la siguiente figura:

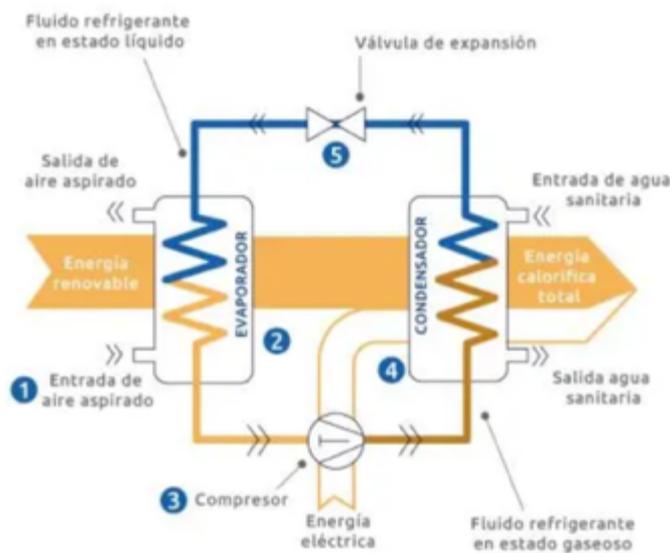


Figura 7: Diagrama de funcionamiento de una bomba de calor [Prec24]

- **Entrada de aire aspirado:** El aire exterior atraviesa el evaporador, donde el refrigerante (más frío) se evapora al absorber el calor del aire.
- **Evaporación del refrigerante:** El refrigerante pasa de estado líquido a gaseoso, absorbiendo la energía renovable del ambiente.
- **Compresión (compresor):** El gas refrigerante es comprimido, aumentando su presión y temperatura. Esta fase consume una pequeña cantidad de energía eléctrica, que representa la única energía externa del ciclo.

- **Condensación (condensador):** El gas caliente cede su calor al agua sanitaria o de calefacción, condensándose y retornando a estado líquido.
- **Expansión (válvula de expansión):** El refrigerante pierde presión y temperatura, volviendo a su estado inicial para reiniciar el ciclo. [Prec24]

Los sistemas aerotérmicos presentan una alta eficiencia energética, destacando especialmente en entornos residenciales con demandas térmicas moderadas y buen aislamiento. Estos equipos muestran un rendimiento estacional elevado, medido mediante el SCOP (Seasonal Coefficient of Performance), que puede superar el valor de 4. Esto implica que por cada kWh eléctrico consumido, se generan más de 4 kWh térmicos útiles para calefacción o producción de agua caliente sanitaria (ACS), situando a la aerotermia por encima de la mayoría de tecnologías térmicas convencionales, incluidas las calderas de condensación a gas. [JiSM17]

En cuanto al ahorro energético, la aerotermia puede suponer reducciones de consumo superiores al 50–60 % en comparación con calderas de gasóleo o sistemas eléctricos tradicionales. Este ahorro se traduce no solo en una disminución directa en la factura energética, sino también en una reducción significativa de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de combustibles fósiles, lo que convierte a la aerotermia en una tecnología clave en las estrategias de descarbonización del sector de la edificación.

Desde el punto de vista económico, la inversión inicial requerida puede amortizarse en plazos inferiores a 10 años, dependiendo del tipo de instalación, el uso combinado con otras energías renovables (como la solar fotovoltaica) y el precio de la energía convencional desplazada. En contextos de rehabilitación energética profunda, la integración de sistemas aerotérmicos permite cumplir con los requisitos del Código Técnico de la Edificación (CTE) en materia de eficiencia energética y contribución renovable, reforzando así su viabilidad tanto técnica como normativa. [Camb25]

#### 1.4.4. Geotermia de baja entalpía

La geotermia de baja entalpía es una tecnología renovable que permite aprovechar la energía térmica acumulada en el subsuelo a profundidades comprendidas entre los 10 y 150 metros, donde la temperatura se mantiene prácticamente constante durante todo el año, oscilando entre los 10 y 16 °C. Esta estabilidad térmica permite alcanzar coeficientes de rendimiento estacional (SCOP) elevados, generalmente comprendidos entre 3,5 y 4,5, lo que implica una eficiencia energética muy superior a la de los sistemas convencionales de climatización. [Junk25]

El sistema se basa en un circuito cerrado de intercambio térmico, en el cual un fluido caloportador transfiere energía térmica entre el subsuelo y una bomba de calor geotérmica, permitiendo la climatización del edificio en función de la estación del año.

Durante el invierno, el calor se extrae del terreno para calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), mientras que en verano se invierte el ciclo para disipar calor desde el edificio hacia el terreno. [Idae12]

La captación de calor puede realizarse mediante distintos métodos, según las características del terreno y la disponibilidad de espacio:

- **Captación horizontal:** se instalan tubos enterrados a una profundidad entre 0,8 y 2 metros. Este sistema es común en obra nueva y destaca por su menor coste y facilidad de instalación, aunque requiere una gran superficie disponible.
- **Captación vertical:** se realizan perforaciones de entre 50 y 150 metros para introducir sondas geotérmicas. Ofrece mayor rendimiento térmico y menor impacto superficial, aunque implica una mayor complejidad técnica y económica.
- **Captación mediante agua subterránea (sistema abierto):** se utiliza un pozo de extracción y otro de reinyección, donde el agua actúa como fluido de intercambio térmico. Aunque eficiente, su viabilidad está condicionada por la disponibilidad y calidad del acuífero, así como por su posible impacto ambiental. [JiSM17]

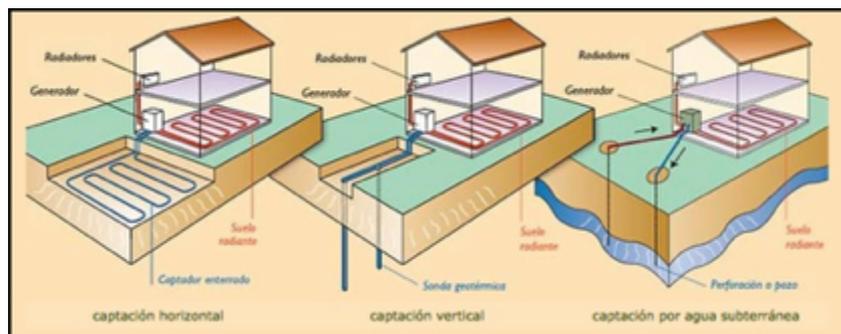


Figura 8: Tipos de captación en sistemas geotérmicos [Unic16]

#### 1.4.5. Biomasa

La biomasa térmica es una fuente de energía renovable que aprovecha materiales orgánicos como pellets, astillas, cáscaras de frutos secos o residuos forestales para generar calor destinado a calefacción y agua caliente sanitaria (ACS). Esta tecnología se considera neutra en emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que el dióxido de carbono liberado durante la combustión se compensa con el absorbido por la vegetación durante su crecimiento. En el contexto de la rehabilitación energética de viviendas rurales, la biomasa representa una opción viable gracias a la disponibilidad local de combustible, su coste estable y su potencial para reducir la dependencia de combustibles fósiles. [Aveb22]

Las calderas de biomasa modernas presentan rendimientos térmicos superiores al 85%, lo que permite cubrir completamente la demanda térmica de una vivienda unifamiliar de

forma eficiente. Pueden integrarse fácilmente con sistemas de calefacción por radiadores o suelo radiante y disponen de sistemas automáticos de alimentación y limpieza que reducen las tareas de mantenimiento. La inversión inicial es moderada, aunque puede ser superior a la de calderas convencionales, y requiere un espacio físico para almacenamiento del combustible y el sistema de carga. Su instalación es especialmente adecuada en zonas rurales con acceso a recursos forestales, donde el suministro puede ser más económico y estable. [JiSM17]

El uso de biomasa en la edificación contribuye también a la valorización de residuos agroforestales y a la dinamización económica de zonas rurales mediante la generación de empleo local. Además, su aprovechamiento adecuado permite disminuir el riesgo de incendios forestales y promueve la gestión sostenible del entorno natural. Por estas razones, la biomasa térmica se alinea con los objetivos de eficiencia energética y sostenibilidad definidos en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) y cumple con los criterios establecidos en el Real Decreto 390/2021 sobre certificación energética de edificios. [Mite20][Idae07]

## 1.5. Sistemas de almacenamiento. Baterías

Las baterías solares permiten almacenar la energía generada por los paneles fotovoltaicos durante las horas de sol para su uso posterior, especialmente durante la noche, días nublados o cortes de suministro. Funcionan mediante reacciones químicas de oxidación-reducción que transforman la energía eléctrica en energía química y viceversa, garantizando el suministro continuo en sistemas aislados o de autoconsumo.

Existen diferentes tecnologías de baterías: de plomo abierto, AGM, de GEL, estacionarias y de litio. Cada una tiene características específicas en cuanto a durabilidad, profundidad de descarga, mantenimiento y coste. Las baterías de litio, por ejemplo, ofrecen una mayor densidad energética, menor volumen, no requieren mantenimiento y tienen una vida útil estimada de unos 10 años, aunque con un precio más elevado respecto al resto.

El correcto dimensionamiento del sistema es clave para optimizar el rendimiento y la vida útil. Para ello, se deben tener en cuenta el consumo energético diario, la tensión del sistema (12 V, 24 V o 48 V) y los días de autonomía deseados. Un error común es sobredimensionar o subdimensionar la capacidad, lo que afecta negativamente a la eficiencia o a la durabilidad del sistema.

Las condiciones de instalación también influyen directamente en el rendimiento. Las baterías deben ubicarse en lugares ventilados, protegidos de altas temperaturas, humedad y exposición solar directa. Además, las nuevas normativas europeas refuerzan criterios de sostenibilidad, reciclaje, seguridad y etiquetado ambiental, con el fin de reducir el impacto medioambiental asociado al uso de acumuladores. [Auto25b]

## 2. Objetivos

El principal objetivo del proyecto se centra en la rehabilitación energética de un cortijo unifamiliar situado en el norte de la provincia de Granada para conseguir reducir al máximo el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a su funcionamiento mediante el uso de energías renovables y tecnologías eficientes, valorando la opción de conseguir un modelo autosuficiente energéticamente (“vivienda cero”), y priorizando en todo momento la viabilidad económica de estas mejoras para llevarlas a cabo de forma objetiva

Para su cumplimiento, se realizarán los siguientes objetivos necesarios/complementarios:

- **Implementar sistemas de generación y almacenamiento de energía renovable:** Instalar sistemas de generación de energía renovable, como pueden ser paneles solares fotovoltaicos, y un sistema de baterías para garantizar la autogeneración y almacenamiento de la energía necesaria, reduciendo la dependencia de la red eléctrica convencional.
- **Optimizar el consumo energético:** Diseñar e implementar soluciones que minimicen el consumo energético de la vivienda a través de mejoras en la envolvente térmica, sistemas de climatización eficientes y el uso de iluminación LED.
- **Optimizar la relación coste-eficiencia mediante el redimensionado y selección de medidas:** Analizar y ajustar el alcance de las actuaciones para priorizar aquellas que ofrecen el mayor impacto en la reducción de la demanda energética y de las emisiones, manteniendo la inversión inicial en niveles económicamente asumibles y compatibles con la obtención de ayudas públicas.
- **Aprovechar las ayudas estatales y de la Unión Europea:** Identificar y gestionar los programas de incentivos disponibles para proyectos de eficiencia energética y energías renovables, como los fondos de recuperación europeos (NextGenerationEU) o planes estatales específicos. Estas ayudas permitirán reducir la carga económica inicial del proyecto, haciendo viable la implementación de tecnologías avanzadas que aceleren la transición hacia un modelo sostenible.

### 2.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Este proyecto, está alineado con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la ONU. Algunos de estos implicados directamente son:

- ODS 7: Energía asequible y no contaminante: Con la realización de la rehabilitación energética que persigue este proyecto, se garantiza el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna.
- ODS 9: Industria, innovación e infraestructura: La mejora energética del proyecto refuerza infraestructuras sostenibles y fomenta la innovación tecnológica.
- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles: Este proyecto persigue el autoabastecimiento energético de una vivienda, lo que marca un precedente a seguir por el resto que componen la comarca.
- ODS 13: Acción por el clima: Este proyecto tiene relación directa con la lucha contra el cambio climático, destacando la reducción de emisiones de efecto invernadero.

### 3. Descripción de la vivienda

La vivienda sobre la que se realizará la rehabilitación energética trata de un cortijo de 3 plantas, vivienda unifamiliar situado al norte de la provincia de Granada, Castril, cercano a la Sierra de Cazorla. Esta vivienda tiene más de 100 años de antigüedad, se le realizó una reforma para su habitabilidad en el año 1976, anterior a cualquier reglamento de edificación regulado en España. Posteriormente en el año 2007 se hicieron obras de reparación, conservación y mantenimiento, en determinadas zonas debido a su estado de conservación.

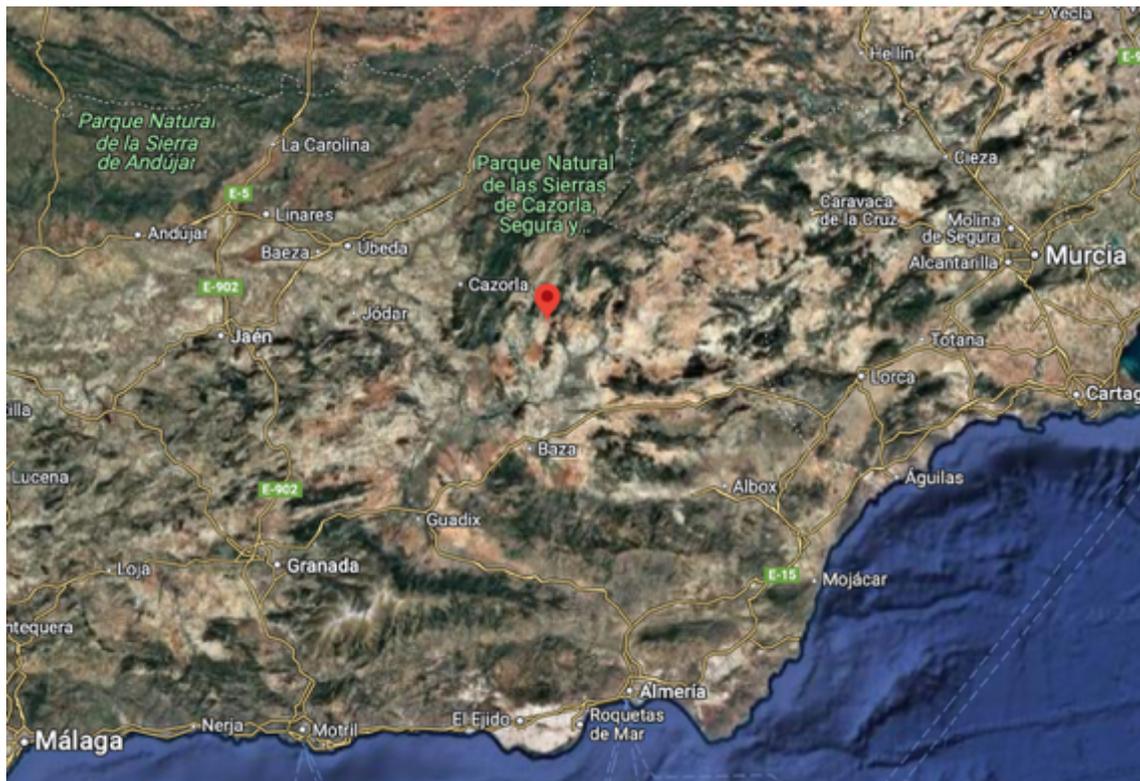


Figura 9: Ubicación de la vivienda en plano geográfico [Goog25]

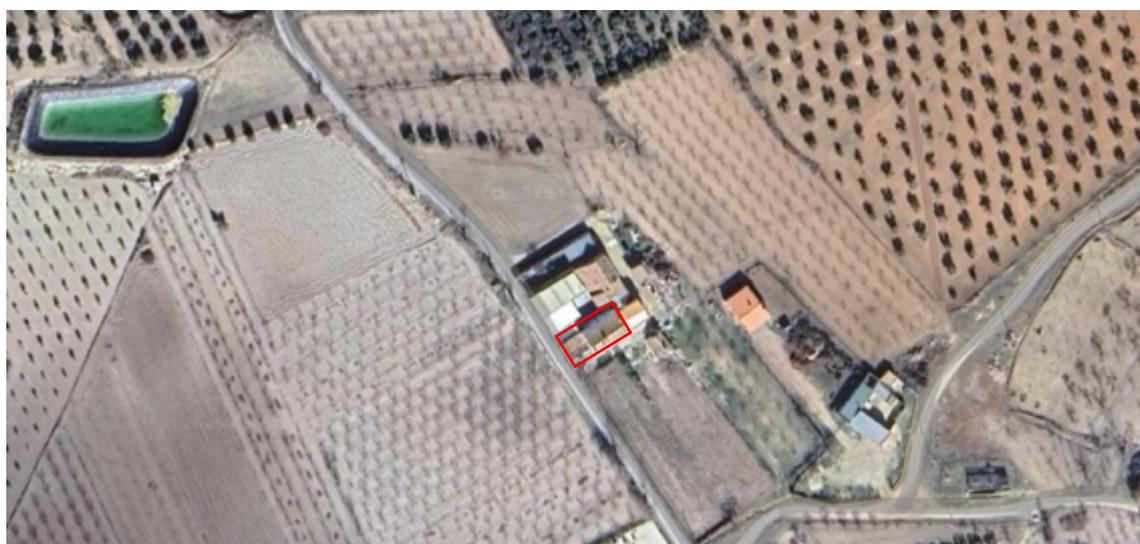


Figura 10: Ubicación detallada de la vivienda [Goog25]



Figura 11: Fachada Sureste de la vivienda (En blanco) [Dire25]

### 3.1. Superficies construidas y útiles

La edificación consta de tres plantas, planta baja, planta primera y altillo (o segunda). La superficie construida de la vivienda se resume en el siguiente cuadro:

Superficie construida (m <sup>2</sup> )	Superficie Cerrada	Superficie abierta cubierta (100%)	Superficie abierta cubierta (50%)
<b>Planta Baja</b>	115,00	31,00	
<b>Planta Primera</b>	148,00		
<b>Planta Altillo</b>	102,00		
<b>Total</b>	365,00	31,00	
<b>Patio Interior</b>		46,95	

Tabla 1: Resumen de superficies construidas por plantas (m<sup>2</sup>) [Fuen25]

Superficie construida (m <sup>2</sup> )	Superficie Cerrada	Superficie abierta cubierta (100%)	Superficie abierta cubierta (50%)
<b>Vivienda</b>	365,00	31,00	

<b>Trastero/Instalaciones (PB)</b>	9,00		
<b>Total</b>	374,00	31,00	
<b>Patio interior</b>	46,95		

Tabla 2: Resumen de superficies construidas por usos (m<sup>2</sup>) [Fuen25]

En total la vivienda tiene una superficie construida de 365 m<sup>2</sup>, de los cuales la planta baja tiene 115 m<sup>2</sup>, la planta primera 148 m<sup>2</sup>, y la planta altillo 102 m<sup>2</sup>.

La superficie útil total es 261,98 m<sup>2</sup>, que por plantas y estancias son la siguientes:

- **Planta baja: 81,46 m<sup>2</sup>**
  - Cocina: 18,12 m<sup>2</sup>
  - Comedor: 35,71 m<sup>2</sup>
  - Rellano: 16,50 m<sup>2</sup>
  - Aseo: 1,73 m<sup>2</sup>
  - Sala de instalaciones: 9,40 m<sup>2</sup>
  
- **Planta 1<sup>a</sup>: 101,35 m<sup>2</sup>**
  - Cuartillo: 2,50 m<sup>2</sup>
  - Estar 1-1: 16,03 m<sup>2</sup>
  - Dormitorio 1-2: 14,40 m<sup>2</sup>
  - Usos múltiples 1-3: 29,75 m<sup>2</sup>
  - Baño 1-1: 13,04 m<sup>2</sup>
  - Baño 1-2: 5,10 m<sup>2</sup>
  - Corredor Escalera 1-2: 20,53 m<sup>2</sup>
  
- **Planta 2<sup>a</sup>- Altillo: 79,17 m<sup>2</sup>**
  - Escalera 2-1: 5,50 m<sup>2</sup>
  - Distribuidor 2-1: 6,66 m<sup>2</sup>
  - Dormitorio 2-1: 10,81 m<sup>2</sup>
  - Dormitorio 2-2: 14,65 m<sup>2</sup>
  - Dormitorio 2-3: 14,80 m<sup>2</sup>
  - Usos Varios 2-4: 16,18 m<sup>2</sup>
  - Baño 2-1: 7,13 m<sup>2</sup>
  - Baño 2-2: 3,44 m<sup>2</sup>

### 3.1.1. Superficie de fachadas

La superficie total de las fachadas del edificio, sin deducir huecos de ventanas o puertas, se distribuye según orientación y tipo de muro (muro con terreno, muro de fachada, medianería...):

- Muros de fachada:
  - Fachada sureste: 110,05 m<sup>2</sup> (97,92 m<sup>2</sup> fachada + 12,12 m<sup>2</sup> canto de los forjados)
    - Planta baja:
      - Patio exterior: 25,15 m<sup>2</sup>
        - Canto del forjado: 1,37 m<sup>2</sup>
    - Planta primera:
      - Patio exterior: 24,97 m<sup>2</sup>
        - Canto del forjado: 2,73 m<sup>2</sup>
      - Patio interior: 31,31 m<sup>2</sup>
        - Canto del forjado: 6,66 m<sup>2</sup>
    - Planta segunda:
      - Patio exterior: 16,49 m<sup>2</sup>
        - Canto del forjado: 1,37 m<sup>2</sup>
  - Fachada suroeste: 84,77 m<sup>2</sup> (79,16 m<sup>2</sup> fachada + 5,61 m<sup>2</sup> canto de los forjados)
    - Planta baja:
      - Patio interior: 23,99 m<sup>2</sup>
        - Canto del forjado: 1,46 m<sup>2</sup>
    - Planta primera:
      - Patio interior: 15,31 m<sup>2</sup>
        - Canto del forjado: 2,06 m<sup>2</sup>
      - Calle: 11,61 m<sup>2</sup>
        - Canto del forjado: 0,71 m<sup>2</sup>
    - Planta segunda:
      - Patio interior: 28,25 m<sup>2</sup>
        - Canto del forjado: 1,38 m<sup>2</sup>
  - Fachada noroeste: 95,75 m<sup>2</sup> (89,58 m<sup>2</sup> fachada + 6,17 m<sup>2</sup> canto de los forjados)
    - Planta baja:
      - Patio trasero: 21,24 m<sup>2</sup>
        - Canto del forjado: 1,54 m<sup>2</sup>
    - Planta primera:
      - Patio trasero: 49,68 m<sup>2</sup>
        - Canto del forjado: 3,09 m<sup>2</sup>
    - Planta segunda:
      - Patio trasero: 18,66 m<sup>2</sup>
        - Canto del forjado: 1,54 m<sup>2</sup>
- Muros con terreno:
  - Fachada Noroeste:
    - Planta baja: 7,22 m<sup>2</sup>
- Medianería:

- Fachada noreste: 87,61 m<sup>2</sup> (81,77 m<sup>2</sup> fachada + m<sup>2</sup> canto de los forjados)
  - Planta baja: 26,83 m<sup>2</sup>
    - Canto del forjado: 1,46 m<sup>2</sup>
  - Planta primera: 26,69 m<sup>2</sup>
    - Canto del forjado: 2,92 m<sup>2</sup>
  - Planta segunda: 28,25 m<sup>2</sup>
    - Canto del forjado: 1,46 m<sup>2</sup>

Lo que supone una **superficie total de fachada de 283,80 m<sup>2</sup>**.

### 3.1.2. Superficie de cubierta

La vivienda dispone de una cubierta inclinada a dos aguas que cubre el conjunto de los volúmenes construidos. La superficie interior total de la cubierta asciende a 115,30 m<sup>2</sup>, distribuida proporcionalmente entre los distintos cuerpos edificados, y una superficie exterior incluidos vuelos de 181,80 m<sup>2</sup>.

Medidas de la cubierta por el exterior:

- Planta primera: 60 m<sup>2</sup>
- Planta segunda:
  - Orientación SE: 60,9 m<sup>2</sup>
  - Orientación NO: 60,9 m<sup>2</sup>

Medidas de la cubierta por el interior:

- Planta primera: 34,01 m<sup>2</sup>
- Planta segunda: 81,29 m<sup>2</sup>

## 3.2. Memoria Constructiva

### 3.2.1. Sustentación del edificio.

La vivienda se encuentra cimentada sobre un terreno de características firmes, con una tensión admisible estimada superior a 2 kg/cm<sup>2</sup>, que, a simple vista, no presenta signos de asentamientos diferenciales ni deformaciones visibles.

No se han identificado fisuras estructurales activas atribuibles a fallos en la cimentación. En el marco de la intervención llevada a cabo en 2007, se realizaron trabajos de mejora para eliminar humedades por capilaridad en los muros perimetrales, mediante el procedimiento de bataches, complementados con zunchos de hormigón armado.

En la zona central del edificio, donde también se presentaban problemas de humedades, se sustituyó el muro portante existente en planta baja por un pórtico estructural compuesto por zapatas aisladas, pilares de hormigón armado y vigas metálicas tipo IPN.

Aunque no se cuenta con estudios geotécnicos ni con ensayos de resistencia de materiales, la tipología estructural basada en muros de carga y cimentaciones rígidas permite suponer que los elementos estructurales están sobredimensionados en favor de la seguridad. La información presentada se fundamenta en observaciones visuales, documentación técnica de la intervención de 2007 y el conocimiento de las soluciones constructivas tradicionales de la zona.

### 3.2.2. Sistema estructural

- **Estructura portante:**

La estructura portante de la vivienda sigue la tipología tradicional de la zona, basada en muros de carga construidos con mampostería de piedra tosca, un material abundante en el entorno. Estos muros están compuestos por un sistema de doble tapial, cogidas con mortero de yeso, y conformados por dos paramentos de piedra dispuestos en hiladas alternas (“hilada sí, hilada no”) con piezas de mayor tamaño. El espacio interior de los muros está macizado con tierra arcillosa, que actúa como aglomerante y aporta propiedades aislantes.

Exteriormente, los muros están revestidos con una capa de mortero de yeso con arena fina, terminada con un enlucido de yeso fino tanto en las caras interiores, hacia las estancias, como exteriores, en fachada.

El espesor de los muros de carga varía según la planta:

- Planta baja: entre 70 y 80 cm.
- Planta primera: entre 50 y 60 cm.
- Planta altillo: aproximadamente 40 cm.

Estos muros se distribuyen por todo el perímetro de la edificación, y se incorporaba un muro central de carga debido a la configuración de doble crujía del edificio. De este modo, la estructura se componía de tres muros paralelos, dispuestos en el sentido transversal de las vigas de los forjados.

- **Estructura horizontal:**

En su origen, los forjados de la planta primera y del altillo abuhardillado estaban contruidos mediante vigas de rollizos de madera de pino con un diámetro medio de 20 cm. Posteriormente, en distintas reparaciones, algunos de estos rollizos fueron sustituidos por otros de madera de chopo, con una separación entre 50 y 60 cm. Sobre estas vigas se apoya una bóveda de yeso, encofrada in situ, con una capa de compresión también de yeso, de entre 6 y 12 cm de espesor, rematada con una terminación fina.

En la planta primera, las estancias principales (dormitorios y sala de estar) estaban acabadas con solado de baldosas de barro cocido (terracota) con terminación satinada. En

el resto de las estancias y en la planta del altillo, el acabado del suelo era la misma capa de compresión con terminación en fino.

En la reforma realizada en 2007 se procedió al reforzamiento de los forjados. Este proceso consistió en la eliminación parcial de la capa de compresión de yeso y de las solerías existentes, así como la sustitución de los rollizos deteriorados por otros de chopo. Tras el apuntalamiento y encofrado adecuado de los forjados, se ejecutó una nueva capa de compresión, esta vez de hormigón armado con mallazo de redondos de hierro del 8 al 20, con un espesor de entre 10 y 15 cm, unida a los rollizos mediante conectores metálicos.

### 3.2.3. Cubierta

La vivienda cuenta con una cubierta a dos aguas, con una reforma de consolidación realizada en el 2007. En su origen construida siguiendo el sistema constructivo tradicional de la zona. La estructura está compuesta por vigas y durmientes de rollizos de madera de pino, sobre los que se dispone una tablazón del mismo material con un espesor aproximado de 3 cm. Encima de esta se aplica una capa de mortero de yeso, con un espesor de entre 3 y 5 cm, que sirve de base para la colocación de teja árabe adherida mediante una mezcla de tierra arcillosa y cal.

Durante la intervención llevada a cabo en 2007 se procedió a la rehabilitación estructural de los forjados inclinados de la cubierta. Esta actuación consistió en la sustitución de los rollizos de madera deteriorados por nuevos elementos de chopo, y la sustitución y mejora de la capa de compresión.

La capa de compresión se sustituyó por hormigón armado. Como aislamiento térmico se proyectó una capa de espuma de poliuretano de 4 cm de espesor y densidad mínima de 30 kg/m<sup>3</sup>. Finalmente, se recolocó la teja árabe previamente desmontada, fijándola con mortero bastardo compuesto de arena, cemento y cal.

### 3.2.4. Envolvente

#### 3.2.4.1. Fachada

La fachada está constituida, en su mayor parte, por los propios muros de carga descritos anteriormente. En la planta baja, como parte de la intervención realizada en 2007, se reforzó el cerramiento mediante la incorporación de una hoja interior de fábrica de ladrillo hueco triple, formando un sistema tipo “capuchina”. Este cerramiento está compuesto por:

- Una hoja exterior: el propio muro de carga original, con un espesor de algo más de dos pies.
- Una cámara de aire intermedia, sin aislamiento térmico.
- Una hoja interior: tabicón de ladrillo hueco triple.

En dicha intervención también se sustituyeron los huecos y ventanas por nuevas carpinterías de madera de pino rojo, estéticamente similares a las existentes, con sistemas

de doble junta de goma de cierre y acristalamiento de doble hoja de 4 mm con lámina de butiral tipo *Secury*, de dimensiones normalizadas para uso residencial.

En las plantas superiores, el cerramiento consta únicamente del muro de carga original, con un espesor ligeramente superior a los dos pies en planta primera, y algo menor en el altillo.

#### 3.2.4.2. Paredes interiores

La compartimentación interior de la vivienda se resuelve mediante tabiques de ladrillo hueco doble para la separación de estancias. En el caso de los cuartos de instalaciones, se emplean tabicones de ladrillo hueco triple, con mayor resistencia y aislamiento.

Los paramentos existentes están revestidos con enlucido de yeso, mientras que los nuevos tabiques se terminan con enfoscado de capa fina de mortero.

#### 3.2.4.3. Suelos

En la planta baja, en contacto directo con el terreno, la solución constructiva del suelo consistió en una solera de encachado de piedra, sobre la que se coloca una lámina impermeabilizante plástica, seguida de una losa de hormigón armado con aditivo hidrófugo. Como acabado superficial, se dispone una solería de baldosas porcelánicas adheridas con mortero tipo *Pegolan*.

En las plantas primera y altillo, los suelos están acabados con pavimento de tarima imitación madera, colocado sobre una lámina plástica de asiento destinada a reducir el impacto acústico.

#### 3.2.4.4. Cerrajería y carpintería

- **Puertas:** La puerta de acceso principal es de madera de pino, con estructura de peinazos y tablazón. Las puertas de salida a patios siguen la misma tipología. Las puertas interiores han sido recicladas, también en madera de pino o chopo, de fabricación tradicional. Se alternan puertas de paso lisas, de tablazón y de cuarterones, según la estancia.
- **Ventanas:** Todas las ventanas de la vivienda están fabricadas en madera.
- **Elementos de protección y acristalamientos:** Los huecos acristalados disponen de doble vidrio tipo *Secury* 4+4, con dimensiones normalizadas para uso residencial. Las barandillas son de forja, respetando la estética tradicional de la construcción.

### 3.3. Sistemas de acabados

#### 3.3.1. Acabados verticales

Los paramentos exteriores están acabados con enfoscado de mortero bicapa rastreado en color blanco, en la fachada norte o posterior, y en la fachada sur se emplea un acabado de enlucido de yeso.

En el interior de la vivienda, los paramentos se resuelven mediante pintura plástica lisa aplicada sobre enlucido de yeso. En las zonas húmedas (cocina y baños), se sustituyen por revestimientos cerámicos: alicatado cerámico en la cocina y revestimiento porcelánico en los baños.

#### 3.3.2. Acabados horizontales

El pavimento de la planta baja y los cuartos húmedos está resuelto mediante solería de gres porcelánico. En el resto de estancias, el acabado se realiza con tarima flotante de imitación madera.

Los patios exteriores cuentan con solería de baldosa tipo ferrogres, adecuada para uso exterior.

En cuanto a los techos, en la cocina se instalan falsos techos de escayola. En el resto de estancias, los techos se mantendrán vistos, con madera de los rollizos tratada previamente con productos antixilófagos y acabados con pintura a base de pasta de cal sobre las bóvedas, entre vigas, de los forjados.

### 3.4. Sistema de acondicionamiento e instalaciones.

#### 3.4.1. Saneamiento

El sistema de saneamiento de la vivienda está diseñado para evacuar de forma independiente las aguas negras y las aguas pluviales, mediante colectores de tubería de PVC. Las aguas residuales se conducen hacia una depuradora, y las aguas de lluvia a un sistema de almacenamiento para su reutilización en riego.

La conexión con la depuradora se realiza a través de una arqueta sifónica. La red vertical de evacuación está compuesta por bajantes también en PVC, mientras que la recogida de aguas de cubierta se efectúa mediante canalones y bajantes distribuidos a lo largo del perímetro del tejado.

### 3.4.2. Fontanería

El abastecimiento de agua potable proviene de la red pública. La acometida a la vivienda se realiza desde la red enterrada, incluyendo las correspondientes llaves de corte y contador individual.

La red interior de fontanería está ejecutada con tuberías de cobre de distintos diámetros y espesores, adecuadas tanto para agua fría como para agua caliente sanitaria. Se han dispuesto llaves de corte independientes en los distintos cuartos húmedos, así como una llave general para toda la instalación.

La producción de agua caliente se lleva a cabo mediante una caldera de gasoil instalada en el cuarto de instalaciones de la vivienda.

### 3.4.3. Instalación eléctrica

La instalación eléctrica de la vivienda está conectada a la red pública y se compone de una caja general de protección y medida, un contador individual, derivación individual e instalación interior.

La electrificación es del tipo "elevado", con un interruptor general de protección diferencial y varios circuitos independientes, dimensionados según el tipo de consumo (iluminación, fuerza, electrodomésticos, etc.), todos ellos protegidos mediante interruptores magnetotérmicos.

Toda la red se instala empotrada, utilizando tubo flexible con conductores de cobre con aislamiento de PVC. Además, se ha dispuesto una red de protección de tierra conforme a la normativa vigente, con conductores protegidos contra la corrosión.

### 3.4.4. Instalaciones audiovisuales

La instalación de telecomunicaciones incluye una antena de televisión instalada en la cubierta, compuesta por un equipo de captación, mezclador y distribuidor de señal.

La canalización de distribución de señal se realiza a través de las divisiones interiores de la vivienda, mediante tubo corrugado empotrado. Todos los elementos utilizados en esta instalación están debidamente homologados y cumplen con la normativa técnica aplicable.

### 3.4.5. Sistemas de calefacción

El sistema de calefacción de la vivienda se basa en una caldera de gasoil, que también se utiliza para la producción de agua caliente sanitaria. El calor se distribuye mediante radiadores de aluminio por elementos, instalados en todas las estancias, dimensionados

con superficie de radiación suficiente para cubrir las necesidades térmicas de cada espacio.

### 3.5. Sistemas de servicios

La parcela dispone de los servicios urbanos básicos: conexión a la red pública de abastecimiento de agua potable, evacuación de aguas residuales, suministro eléctrico y servicio municipal de recogida de residuos sólidos urbanos.

### 3.6. Equipamiento

Los cuartos de baño y aseos están equipados según se indica en los planos del proyecto. Todos ellos cuentan, como mínimo, con inodoro y lavabo, y en función de su ubicación se completan con bidet, segundo lavabo, ducha o bañera.

Los aparatos sanitarios son de porcelana vitrificada en color blanco, y la grifería instalada corresponde a una gama de calidad media, adecuada para uso doméstico habitual.

## 4. Planificación

Para la realización de la mejora energética de la vivienda y alcanzar una reducción considerable de las emisiones, se seguirá una metodología estructurada en varias fases.



Figura 12: Planificación del proyecto[Fuen25]

### 1. Planificación

Se desarrollará un plan detallado que incluya:

- Definición de objetivos específicos del proyecto.
- Análisis inicial del estado de la vivienda, identificando posibles limitaciones mediante auditorías.

### 2. Auditoría Energética

Durante esta fase se llevará a cabo:

- **Recopilación de datos:** Evaluación del consumo energético actual, identificación de puntos críticos y comprobación del estado de los sistemas existentes.
- **Cálculo de consumo energético:** Determinación de la eficiencia energética de los sistemas actuales y el nivel de aislamiento térmico de la vivienda.
- **Diseño de soluciones eficientes:** Propuestas de intervención en generación, almacenamiento y reducción de consumo. Esto incluirá el dimensionamiento de paneles solares, baterías de almacenamiento, sistemas de climatización eficientes y mejoras en la envolvente térmica.

### 3. Renovación

Esta fase consiste principalmente en:

- **Análisis y selección de soluciones:** Evaluación comparativa de alternativas, priorizando eficiencia, viabilidad técnica y coste-beneficio, seleccionando las medidas más efectivas para reducir demanda y emisiones.
- **Análisis económico de las mejoras:** Estudio del coste total, subvenciones y retorno de inversión, optimizando la relación coste-eficiencia para asegurar la viabilidad económica del proyecto.

#### 4. Instalación

Esta fase incluye las acciones específicas para modernizar la vivienda:

- **Subcontratación de personal especializado:** Contratación de técnicos especializados para tareas específicas como la instalación de sistemas solares, la mejora de aislamiento o la integración de sistemas inteligentes.
- **Adquisición de productos y equipamientos:** Selección de materiales y tecnologías que aseguren la sostenibilidad, como paneles fotovoltaicos, bombas de calor, ventanas con rotura de puente térmico y materiales aislantes.

#### 5. Implementación, Evaluación y Mantenimiento

Una vez finalizadas las obras y adaptación, se realizará:

- **Mantenimiento inicial:** Verificación de la funcionalidad y eficiencia de todos los sistemas instalados.
- **Adaptación:** Comprensión y aprendizaje de uso de los sistemas instalados.

### 4.1. Definición de tareas

Para la realización del proyecto, se llevarán a cabo las siguientes tareas:

Fase	Tarea
Planificación	Definición de objetivos generales y específicos del proyecto
Planificación	Inspección visual de la vivienda
Planificación	Obtención de documentación técnica y planos existentes
Auditoría energética	Recopilación de datos de consumo energético
Auditoría energética	Caracterización de la envolvente térmica
Auditoría energética	Modelado de la vivienda mediante software CE3X
Auditoría energética	Caracterización de instalaciones térmicas existentes
Auditoría energética	Realización de termografías para detectar puentes térmicos
Auditoría energética	Identificación de puntos críticos y propuestas de mejora

<b>Renovación</b>	Análisis de y selección de soluciones
<b>Renovación</b>	Cálculo de demanda térmica y dimensionado del sistema de calefacción
<b>Renovación</b>	Diseño del sistema de producción ACS
<b>Renovación</b>	Cálculo y dimensionado de la instalación fotovoltaica
<b>Renovación</b>	Cálculo y elección del sistema de almacenamiento en baterías
<b>Renovación</b>	Valoración de mejora de aislamiento térmico en fachadas
<b>Renovación</b>	Análisis económico de las mejoras
<b>Instalación</b>	Coordinación y planificación de obra
<b>Instalación</b>	Adquisición de materiales
<b>Evaluación y mantenimiento continuo</b>	Estado de las obras
<b>Evaluación y mantenimiento continuo</b>	Plan de mantenimiento

*Tabla 3: Definición de tareas [Fuen25]*

## 4.2. Alcance del proyecto

Este Proyecto Final de Máster se centrará en las 3 primeras fases de la planificación. Quedando las 2 últimas fuera del alcance de este.

## 5. Auditoría energética

### 5.1. Metodología del análisis energético

La auditoría energética constituye el punto de partida para identificar el comportamiento energético real de la vivienda y establecer estrategias de mejora en términos de eficiencia y ahorro. Para llevarla a cabo, se ha seguido un enfoque metodológico basado en la recopilación de datos constructivos y de uso del edificio, el análisis del estado actual mediante herramientas reconocidas y la interpretación de los resultados obtenidos.

El procedimiento seguido se alinea con las recomendaciones de la normativa nacional para la certificación energética de edificios existentes, recogida en el Real Decreto 390/2021, que establece la obligación de contar con un certificado energético válido para todo inmueble que sea objeto de venta, alquiler o rehabilitación significativa.

Para el desarrollo de la auditoría energética se ha utilizado el programa **CE3X**, herramienta oficial reconocida por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) y por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con capacidad para evaluar el desempeño energético de edificios existentes mediante una metodología simplificada.

El análisis con CE3X se ha dividido en varias fases:

- **Introducción de datos generales del inmueble:** zona climática, uso de la vivienda, año de construcción, número de plantas, superficie habitable, etc.
- **Modelado de la envolvente térmica:** definición de cerramientos, cubiertas, particiones interiores, puentes térmicos y huecos, utilizando tanto datos obtenidos in situ como información del Catastro y planos disponibles.
- **Análisis de sombra:** información relativa a posibles obstáculos exteriores que puedan generar sombreado sobre los cerramientos y huecos acristalados.
- **Caracterización de las instalaciones térmicas:** descripción del sistema de calefacción, producción de ACS y ventilación natural, así como rendimientos y energías utilizadas.

Esta herramienta permite determinar el consumo de energía primaria no renovable y las emisiones de CO<sub>2</sub> anuales, además de clasificar la vivienda dentro de una escala energética (A-G) en base a su eficiencia relativa.

El empleo de CE3X ha sido complementado con observaciones cualitativas realizadas durante la visita técnica a la vivienda y con el apoyo de imágenes termográficas, que han facilitado la localización de puntos críticos de pérdidas térmicas, no siempre evidentes desde el análisis geométrico. Esta combinación de análisis cuantitativo y visual aporta

una visión más completa y precisa del comportamiento energético del inmueble en su estado inicial.

Además del análisis mediante esta herramienta, se ha llevado a cabo una estimación detallada del consumo eléctrico anual de la vivienda en su estado actual, con el objetivo de disponer de una referencia realista y cuantificada del perfil energético de uso. Esta estimación considera las características de ocupación, los hábitos de consumo y el equipamiento existente, y servirá como base comparativa para evaluar el impacto de las medidas de mejora propuestas en fases posteriores del proyecto.

## 5.2. Estimación de consumo de la vivienda.

Antes de aplicar cualquier medida de mejora, se ha estimado el consumo eléctrico anual de la vivienda en su estado actual (año 2024). Esta estimación se ha basado en:

- El uso real de la vivienda por una o dos personas durante la mayor parte del año.
- El hecho de que la calefacción y el agua caliente sanitaria (ACS) funcionan mediante una caldera de gasoil, por lo que no están reflejadas en el consumo eléctrico.
- La existencia de electrodomésticos convencionales, iluminación tipo LED y uso moderado de equipos electrónicos.

<b>Mes</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
Enero	178
Febrero	168
Marzo	170
Abril	158
Mayo	144
Junio	138
Julio	133
Agosto	142
Septiembre	140
Octubre	159
Noviembre	180
Diciembre	186
<b>Total</b>	<b>1,896 kWh</b>

Tabla 4: Consumo eléctrico mensual de la vivienda en kWh[Fuen25]

Se observa un mayor consumo eléctrico durante los meses de invierno (noviembre a febrero), principalmente por el uso intensivo de iluminación artificial debido a la reducción de horas de luz natural o el uso de la bomba de calefacción. En los meses de verano (junio a agosto), el consumo disminuye considerablemente gracias a la elevada disponibilidad de luz diurna.

Picos puntuales en marzo, agosto y diciembre coinciden con períodos de mayor ocupación de la vivienda, como Semana Santa, vacaciones de verano y Navidad.

El consumo anual estimado se sitúa en torno a los 1.900 kWh, un valor coherente con el número de habitantes habituales en la vivienda (1-2) y la ausencia de climatización o producción de ACS mediante sistemas eléctricos. Este perfil servirá como referencia base para las simulaciones energéticas y la posterior comparación con escenarios reformados más eficientes.

A continuación, se incluye el desglose por cargas eléctricas para el escenario 2024, que complementa la tabla mensual previa y deja claro qué usos representan la mayor parte del consumo.

<b>Elemento</b>	<b>Consumo estimado (kWh/año)</b>	<b>% del total</b>	<b>Justificación</b>
<b>Frigorífico + Congelador</b>	400	21.1%	Clase A+, 24/7 funcionamiento continuo.
<b>Iluminación (LED)</b>	250	13.2%	Uso medio de 3–4 h/día por una persona.
<b>Placa de cocina (inducción)</b>	280	14.8%	Uso diario moderado (1–2 h/día).
<b>Horno eléctrico</b>	120	6.3%	Uso ocasional (2–3 veces/semana).
<b>Microondas</b>	30	1.6%	Uso esporádico (5–10 min/día).
<b>Grupo de presión de agua</b>	100	5.3%	Uso automático y ocasional cuando baja la presión.
<b>TV y electrónica (router, etc.)</b>	200	10.6%	Uso frecuente de TV, ordenadores y dispositivos.
<b>Bombas de circuito de calefacción</b>	200	10.6%	4 bombas pequeñas ~40 W, activas en invierno.
<b>Bomba de ACS (intercambiador gasoil)</b>	120	6.3%	Funcionamiento asociado al uso de agua caliente.
<b>Otros consumos menores / pérdidas</b>	96	5.1%	Pequeños aparatos, cargadores, stand-by
<b>Total</b>	<b>1896 kWh</b>	<b>100%</b>	

*Tabla 5: Desglose de consumo eléctrico anual de la vivienda [Fuen25]*

Sobre esta tabla, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Frigorífico + congelador y placa de inducción son los mayores contribuyentes (> 35 % del total).

- La iluminación LED mantiene una cuota moderada gracias a la alta eficiencia luminosa, aunque su peso crece en los meses de invierno.
- Los sistemas auxiliares de agua y calefacción (bombas) suman cerca del 17 % anual; este valor será clave cuando se electrifique la producción térmica en la fase de reforma.

Con este perfil detallado de cargas y el consumo mensual ya establecido, se dispone de una referencia completa que permitirá evaluar el impacto de las futuras medidas de mejora.

### 5.3. Condiciones térmicas de la vivienda.

Con el objetivo de detectar posibles pérdidas térmicas invisibles al ojo humano y complementar el análisis energético realizado mediante CE3X, se ha llevado a cabo una inspección con cámara termográfica. Esta técnica permite evaluar el estado térmico real de la envolvente, localizando puentes térmicos, filtraciones de aire, humedades y discontinuidades de aislamiento.

Las imágenes termográficas se obtuvieron utilizando una cámara FLIR T4xx, facilitada por el Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Granada, en una jornada de medición realizada en condiciones de invierno, con una diferencia de temperatura exterior-interior suficiente para garantizar el contraste térmico ( $\Delta T > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

A continuación, se presentan algunos de los resultados más relevantes:



*Figura 13: Análisis termográfico – Puente térmico en dintel de puerta [Fuen25]*

La inspección de la zona superior de la puerta principal (Figura 12) revela la existencia de un puente térmico lineal a lo largo del dintel. La temperatura en esa zona desciende hasta  $13,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , lo que sugiere una importante transmisión de calor desde el interior hacia el exterior. Esta pérdida está probablemente asociada a una falta de aislamiento en la unión entre el muro y la carpintería.

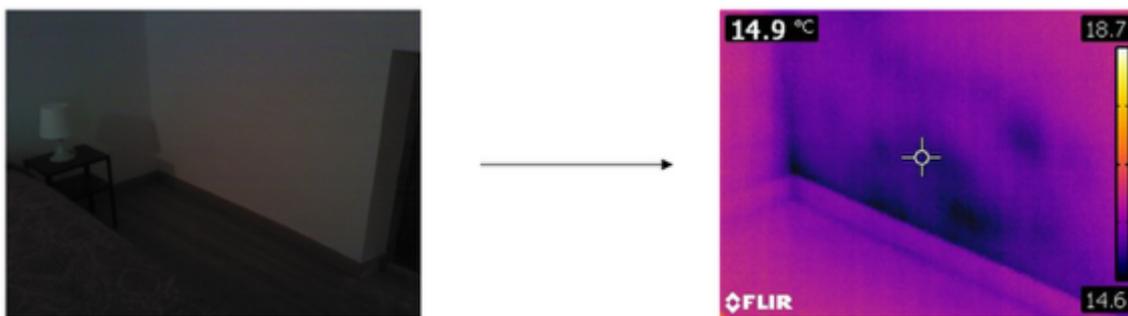


Figura 14: Análisis termográfico – Comportamiento heterogéneo en muro de mampostería [Fuen25]

En esta imagen tomada en una esquina de la planta alta de la vivienda, se observa una distribución irregular de temperaturas superficiales, con zonas frías puntuales en torno a 14,9 °C. A diferencia de una condensación superficial común, este patrón responde a la naturaleza del muro de mampostería: un cerramiento tradicional formado por dos hojas de piedra trabadas entre sí con mampuestos pasantes. Estos elementos de mayor densidad y conductividad térmica actúan como vías preferentes de transmisión de calor, provocando una falta de homogeneidad térmica que se manifiesta en la imagen termográfica. La elevada transmitancia localizada en las zonas de traba reduce el rendimiento global del cerramiento.

Zona inspeccionada	Anomalía detectada	Temperatura mínima	Diagnóstico técnico	Actuación recomendada
Dintel puerta salón	Puente térmico	13,6	Pérdida térmica en junta entre muro y carpintería	Sustitución de carpintería o aislamiento puntual
Muro mampostería (esquina)	Transmitancia térmica localizada en traba	14,9	Material heterogéneo con elementos estructurales de alta conductividad	Aislamiento interior continuo o trasdosado térmico

Tabla 6: Ejemplos de diagnóstico del análisis termográfico de la vivienda [Fuen25]

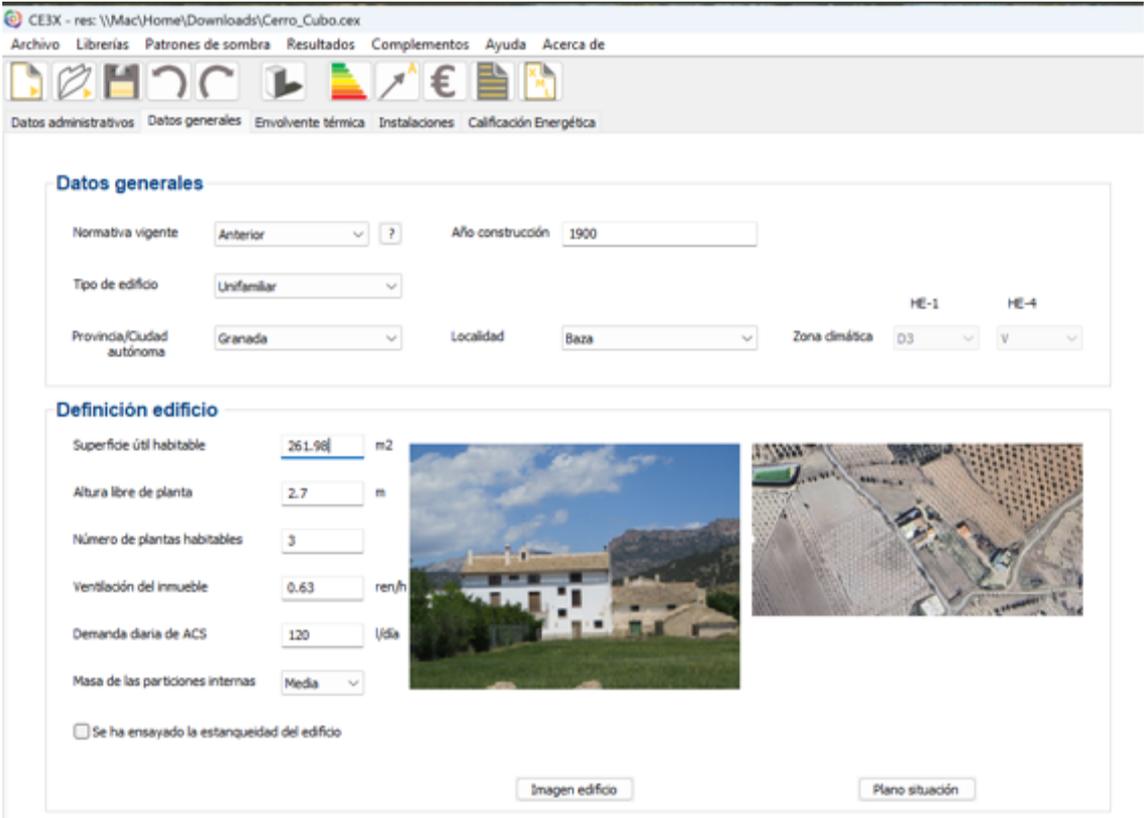
Este análisis justifica la necesidad de actuar sobre la envolvente, especialmente en cerramientos tradicionales, con soluciones que corrijan la heterogeneidad térmica sin comprometer la transpirabilidad ni el comportamiento higrotérmico del muro original.

#### 5.4. Certificado energético con CE3X

Una vez realizado el análisis previo y recogida toda la información necesaria sobre la edificación, se procede a introducir los datos en el software CE3X, herramienta oficial reconocida para la certificación energética de edificios existentes en España. Esta plataforma permite modelar la envolvente térmica, caracterizar las instalaciones, analizar los patrones de uso y obtener el certificado energético final de la vivienda.

### 5.4.1. Datos generales de la vivienda en C3EX

La primera pantalla del programa CE3X corresponde a la definición de los datos generales del edificio. En ella se introducen aspectos básicos como la localización (zona climática D3), superficie útil habitable, altura libre por planta, número de plantas y parámetros estándar de ventilación y demanda de ACS.



The screenshot shows the CE3X software interface. The top menu bar includes 'Archivo', 'Librerías', 'Patrones de sombra', 'Resultados', 'Complementos', 'Ayuda', and 'Acerca de'. Below the menu is a toolbar with various icons. The main window is divided into two sections: 'Datos generales' and 'Definición edificio'. The 'Datos generales' section contains several dropdown menus and text input fields: 'Normativa vigente' (Anterior), 'Año construcción' (1900), 'Tipo de edificio' (Unifamiliar), 'Provincia/Ciudad autónoma' (Granada), 'Localidad' (Baza), 'Zona climática' (D3), and 'V'. The 'Definición edificio' section contains text input fields for 'Superficie útil habitable' (261.96 m2), 'Altura libre de planta' (2.7 m), 'Número de plantas habitables' (3), 'Ventilación del inmueble' (0.63 ren/h), and 'Demanda diaria de ACS' (120 l/día). There is also a dropdown for 'Masa de las particiones internas' (Meda) and a checkbox for 'Se ha ensayado la estanqueidad del edificio'. Two images are displayed: 'Imagen edificio' and 'Plano situación'.

Figura 15: Datos generales de la vivienda en CE3X [Fuen25]

### 5.4.2. Envoltente térmica de la vivienda en CE3X

A continuación, se modela en detalle la envoltente térmica del edificio. Para ello, se definen los distintos tipos de cerramientos siguiendo la estructura de CE3X. En este caso: muros en contacto con el terreno, muros de fachada, medianerías, cubiertas y un suelo en contacto con el aire exterior (en el patio interior en la planta primera).

Para cada elemento se especifica:

- La superficie (calculada sin incluir los cantos de forjado).
- La orientación según su exposición (SE, SO o NO).
- La zona (planta baja, primera o altillo/segunda).
- Las propiedades térmicas, definidas a través de la opción de “librería de cerramientos”.

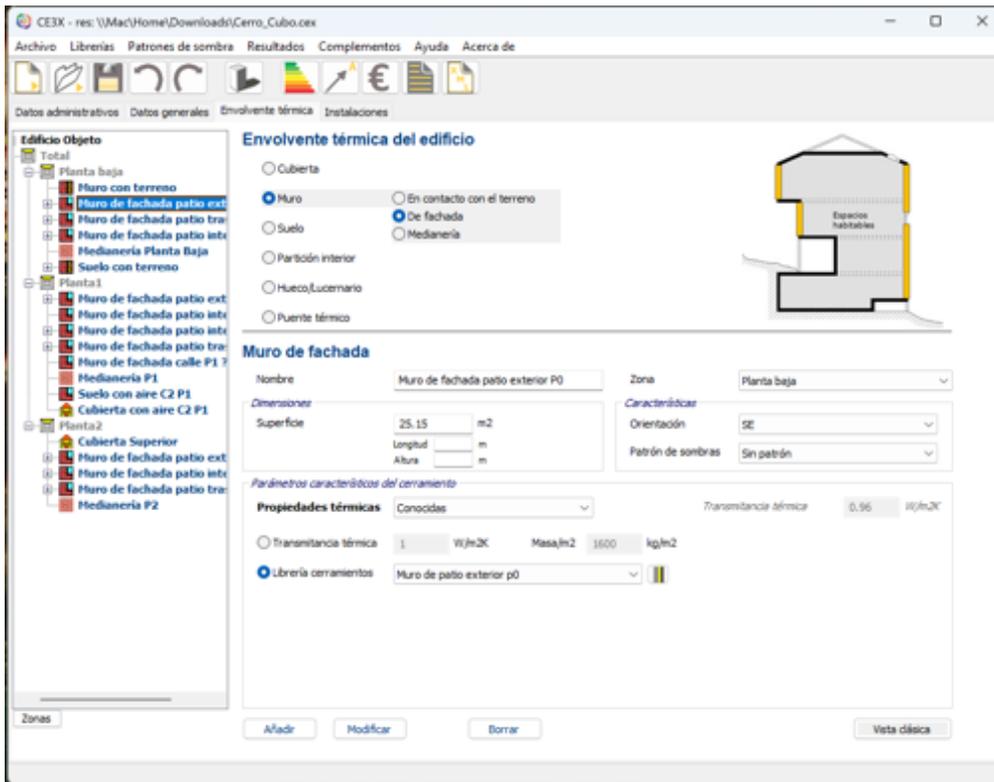


Figura 16: Envlovente térmica en CE3X [Fuen25]

Las propiedades térmicas de cada muro se determinan mediante la composición detallada del cerramiento, reflejando los materiales reales presentes en la vivienda. En la librería de cerramientos se introducen los distintos materiales de cada capa, ordenados de exterior a interior, así como sus espesores, conductividades térmicas ( $\lambda$ ), densidades ( $\rho$ ) y calores específicos ( $C_p$ ), permitiendo así obtener la resistencia térmica total del cerramiento ( $R$ ) y su correspondiente transmitancia térmica ( $U$ ).

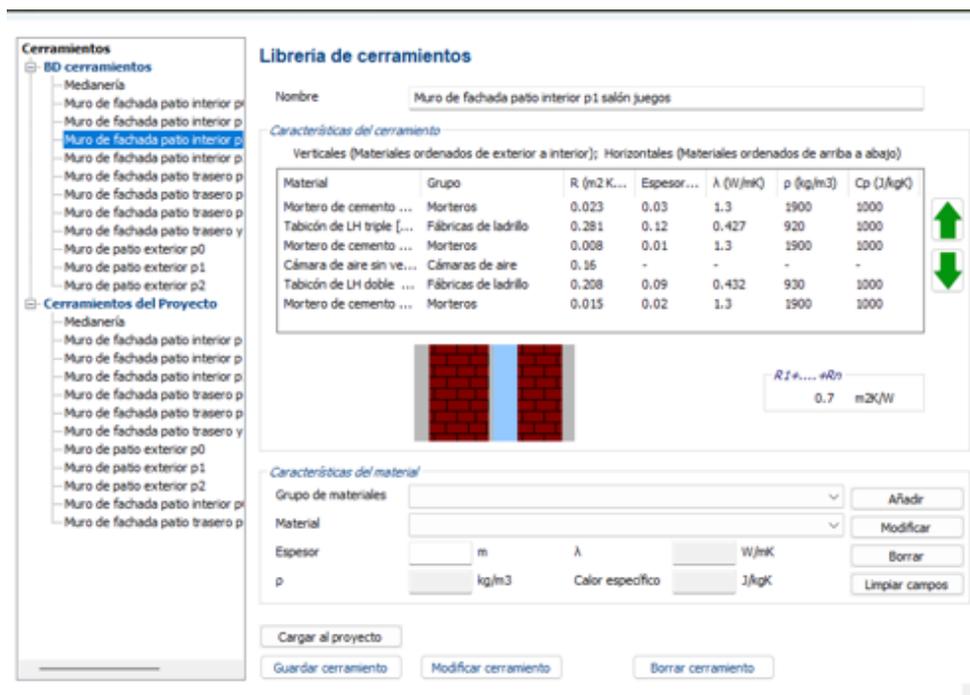


Figura 17: Librería de cerramientos en CE3X [Fuen25]

La composición de los cerramientos se especifica detalladamente, incluyendo combinaciones reales de materiales utilizados en la vivienda, tales como:

- Mortero de cemento o cal ( $1800 < \rho < 2000 \text{ kg/m}^3$ )
- Yeso de alta dureza ( $900 < \rho < 1200 \text{ kg/m}^3$ )
- Piedra caliza dura ( $2000 < \rho < 2190 \text{ kg/m}^3$ )
- Cámaras de aire sin aislamiento
- Tabicón de ladrillo hueco (doble y triple, 90–120 mm)

Estas configuraciones varían según el tipo de fachada (norte, sur, oeste, este) y la planta (baja, primera o altillo), replicando fielmente las capas y espesores descritos en la memoria constructiva de la vivienda. En general, se detectan niveles de aislamiento térmico bajos, con valores de transmitancia en el rango de 0,7 a 2,38  $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Una vez definida la envolvente, se incorporan los huecos y carpinterías. Los huecos se han definido con sus dimensiones, orientación, tipo de vidrio (simple, doble), marco de madera sin rotura de puente térmico y nivel de permeabilidad al aire. Los valores térmicos obtenidos ( $U_g \approx 3,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ,  $U_f \approx 2,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ) con una permeabilidad al aire media ( $50 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ ). Esto confirma lo ya observado durante la inspección termográfica: baja estanqueidad. [Unen20]

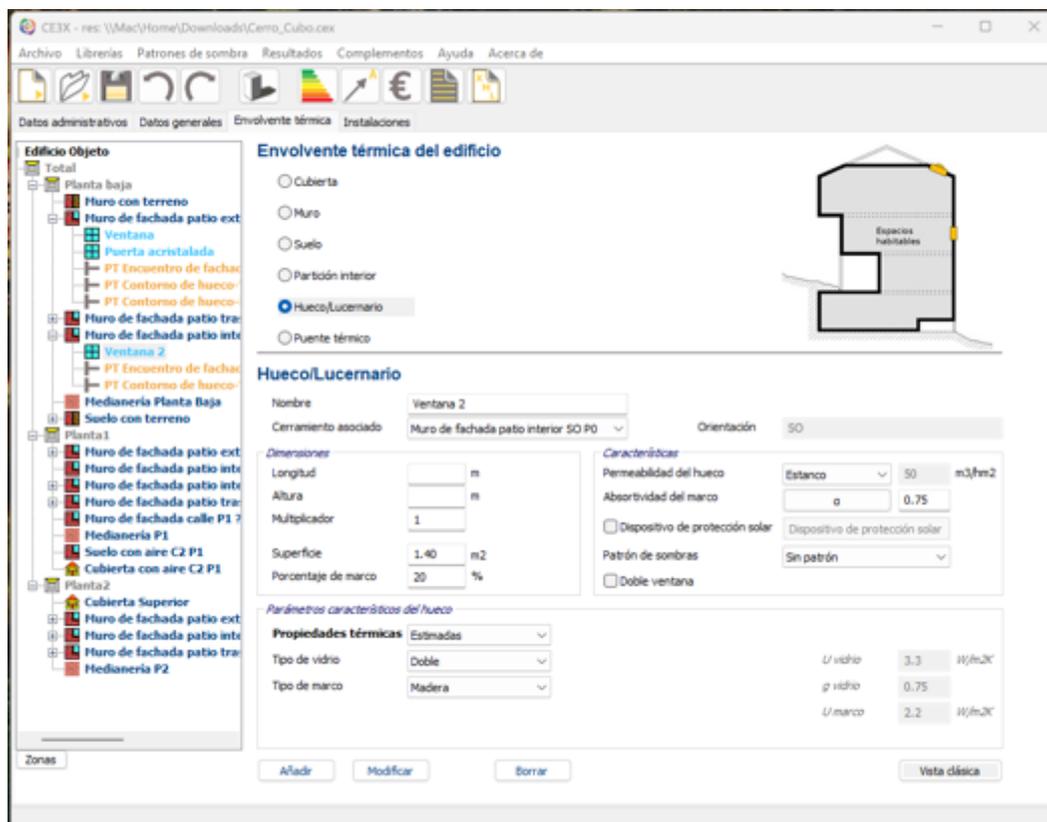


Figura 18: Definición de huecos/lucernarios en CE3X [Fuen25]

Para concluir con la envolvente térmica, se definen los puentes térmicos lineales más representativos: encuentros entre forjados y fachadas, dinteles de huecos y esquinas salientes. Cada uno de estos elementos fue caracterizado con su longitud y valor de transmitancia lineal ( $\psi$ ), según los valores orientativos del catálogo de elementos constructivos del CTE o mediante estimaciones propias ajustadas al tipo de construcción tradicional. La correcta introducción de estos permite cuantificar de forma más precisa las pérdidas lineales y ajustar el comportamiento energético real del edificio.

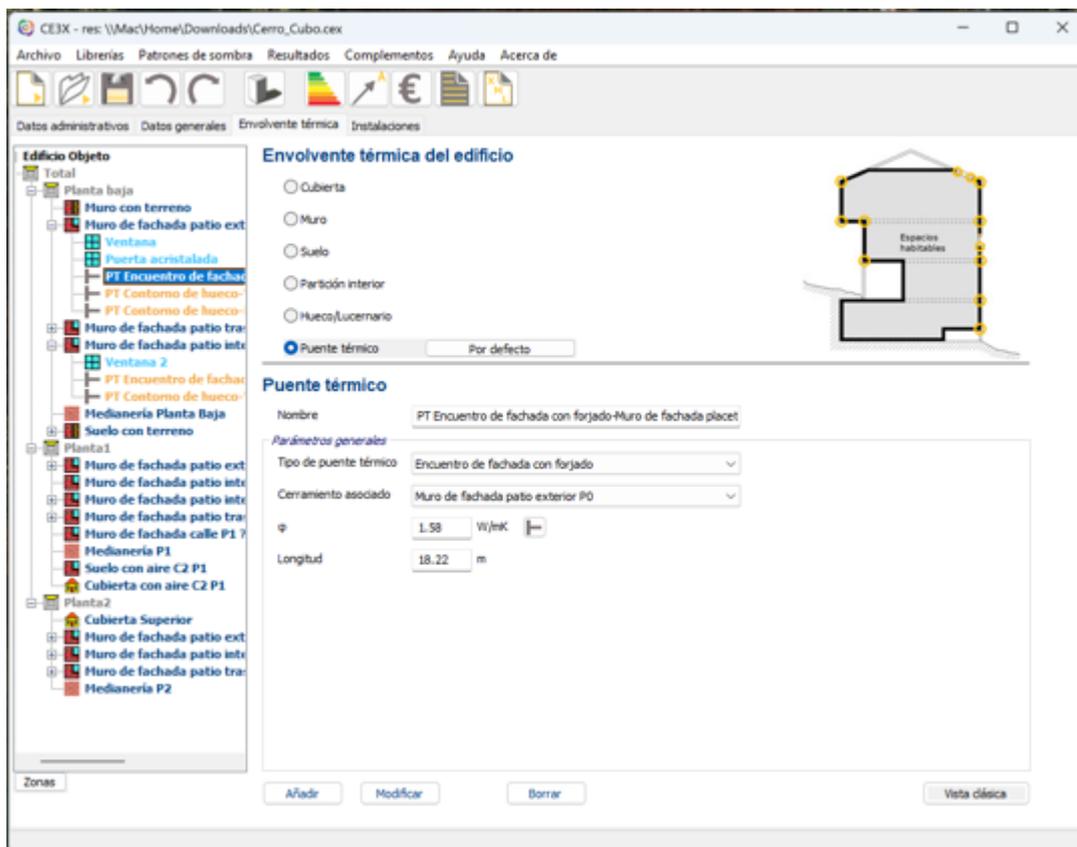


Figura 19: Puentes térmicos en CE3X [Fuen25]

#### 5.4.3. Instalaciones térmicas de la vivienda en CE3X

En lo referente a las instalaciones térmicas existentes, la vivienda dispone de un sistema mixto de calefacción y producción de agua caliente sanitaria (ACS) basado en una caldera de gasóleo tipo C, configurada como “caldera estándar” en CE3X. Este sistema cubre el 100 % de la superficie útil del edificio para ambos servicios, sin apoyo de energías renovables.

La caldera cuenta con una potencia nominal de 24,0 kW, una carga media relativa muy baja (0,2), y un rendimiento de combustión del 90 %. Considerando las pérdidas del sistema y el aislamiento del equipo, CE3X estima un rendimiento medio estacional del 66,0 %, lo cual está por debajo de los valores recomendables para sistemas térmicos actuales según el CTE [Miva22] y las directrices de rehabilitación del IDAE [Idae21].

El sistema incluye un acumulador de ACS de 50 litros con un coeficiente global de pérdidas  $UA = 3,9 \text{ W/K}$ , lo que sugiere un nivel de aislamiento térmico medio-alto, pero sin sistemas de control avanzado ni adaptación automática de temperatura.

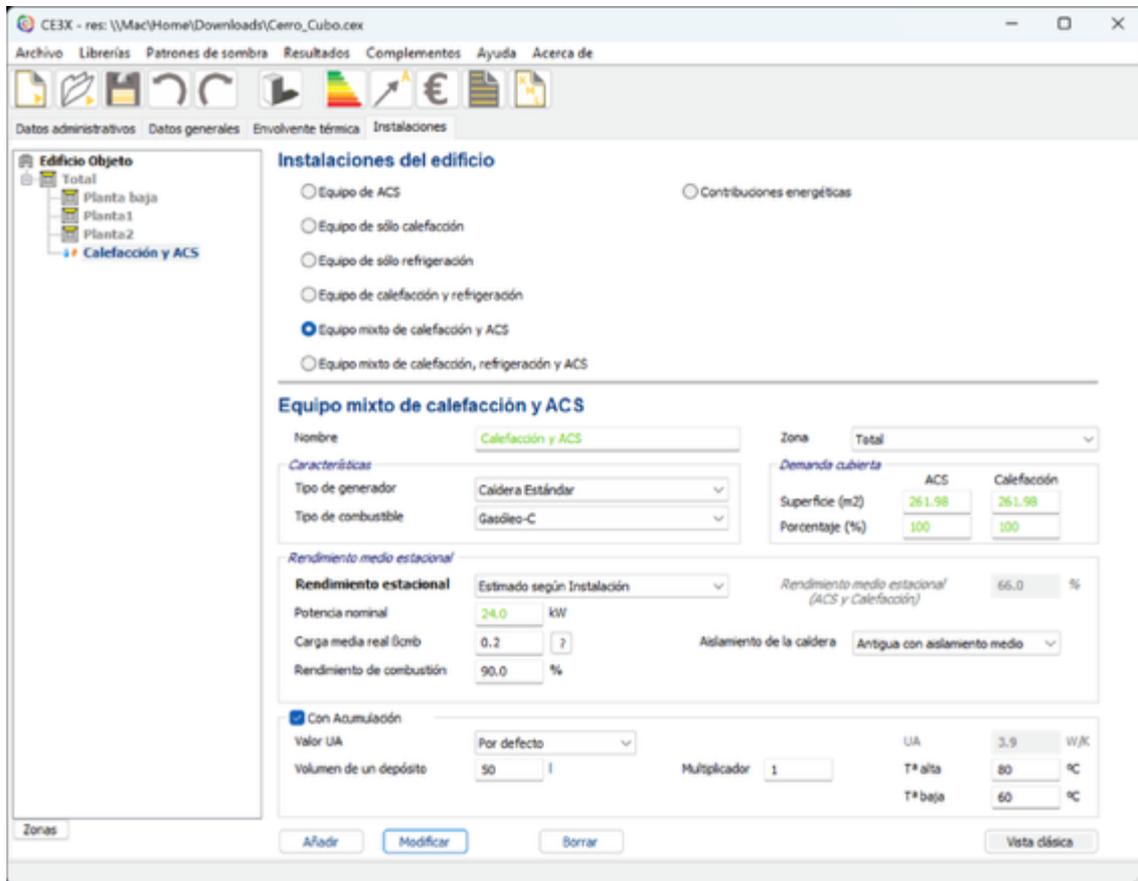


Figura 20: Instalaciones térmicas de la vivienda en CE3X [Fuen25]

#### 5.4.4. Patrón de sombra

Se ha evaluado la posible afección de elementos externos (edificaciones colindantes, vegetación, relieves del entorno) sobre las superficies captadoras y huecos acristalados de la envolvente. En el caso particular de esta vivienda, no se presentan elementos cercanos de gran altura que supongan un sombreado significativo.

Con este último paso, termina la definición detallada de las características de la vivienda que nos permitirá obtener una estimación precisa del consumo de energía primaria no renovable, así como de las emisiones de CO<sub>2</sub> anuales. Esto servirá como base para simular escenarios de mejora en el capítulo 7.

## 5.5. Análisis de patrones de consumo

Los resultados del certificado energético inicial (ver apartado 5.4) reflejan una calificación global E, correspondiente a un indicador de emisiones de CO<sub>2</sub> de 67,6 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·año, lo que pone de manifiesto que la vivienda presenta un consumo elevado de energía primaria no renovable y unas emisiones significativas en comparación con los valores de referencia establecidos por el Código Técnico de la Edificación (CTE).

Según los datos extraídos del software CE3X:

- **Demanda de calefacción:** 123,8 kWh/m<sup>2</sup>·año → Letra E
- **Demanda de refrigeración:** 14,3 kWh/m<sup>2</sup>·año → Letra C
- **Emisiones de calefacción:** 58,3 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·año → Letra E
- **Emisiones de refrigeración:** 2,4 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·año → Letra A
- **Emisiones de ACS:** 6,9 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·año → Letra F



Figura 21: Resultados certificado energético de la vivienda en CE3X [Fuen25]

Considerando una superficie útil habitable de 261,98 m<sup>2</sup>, se estima que el consumo total asociado a calefacción asciende a aproximadamente 32.418 kWh/año, y las emisiones de CO<sub>2</sub> vinculadas únicamente a calefacción y ACS superan los 17.000 kg/año, lo que sitúa a la vivienda dentro de los rangos menos eficientes en el contexto residencial actual.

## 5.6. Diagnóstico y puntos críticos

Aunque CE3X no desglosa porcentualmente los usos, del análisis combinado del modelo y de los sistemas instalados se infiere que:

- La calefacción representa el mayor porcentaje del consumo energético anual, debido a las bajas temperaturas de la zona (clima D3) y al bajo rendimiento de la caldera de gasóleo.
- El ACS, también generado por la misma caldera, representa otro porcentaje significativo.
- La refrigeración tiene un peso menor gracias a la inercia térmica del edificio y a las condiciones climáticas, aunque sigue siendo relevante en verano.
- El resto del consumo (iluminación, electrodomésticos, ventilación natural, etc.) es bajo, como ya se ha analizado en el apartado 5.2.

Además del estado de los sistemas constructivos y de las instalaciones, los hábitos de uso y ocupación también condicionan el comportamiento energético. En este caso, se ha considerado un perfil de uso residencial estándar con:

- Ocupación continua durante todo el año (1–2 personas).
- Uso moderado de calefacción durante el invierno (estimado en 6–8 h/día).
- Producción de ACS durante todo el año mediante caldera de gasóleo.
- Ventilación natural sin sistemas de recuperación de calor.

La ausencia de tecnologías de alta eficiencia (como aerotermia, ventilación con recuperación o aislamiento avanzado en fachada y cubierta), unida a la presencia de carpinterías de madera sin rotura de puente térmico, cerramientos heterogéneos sin aislamiento continuo y puentes térmicos no resueltos, justifica los resultados obtenidos y refuerza la necesidad de una intervención integral sobre la envolvente y las instalaciones térmicas, que se desarrollará en el capítulo siguiente.

Las medidas de mejora que se proponen a continuación se analizarán tanto de manera manual como con la ayuda de C3EX, el cual proporcionará estimaciones precisas que ayudarán a cumplir el objetivo de reducir significativamente el consumo energético de la vivienda.

## 6. Renovación

### 6.1. Criterios de análisis de las medidas de mejora

Tras la auditoría energética desarrollada en el Capítulo 5, en la que se ha definido el perfil de consumo actual de la vivienda y se han identificado las principales deficiencias térmicas, se plantean diversas estrategias de mejora orientadas a incrementar la eficiencia energética del inmueble. Entre los elementos con mayor potencial de intervención destacan la envolvente térmica y el sistema de calefacción centralizado con consumo de combustible de origen fósil (basado en una caldera de gasóleo).

A partir de esta situación de partida, se procederá al análisis comparativo de diversas medidas de mejora, tanto pasivas como activas, con el objetivo de evaluar su idoneidad y viabilidad técnica, económica y energética en el contexto específico de la vivienda.

Para ello, se utilizarán los siguientes criterios:

- **Impacto energético estimado:** Se valorará el potencial de reducción de la demanda energética o del consumo final asociado a cada medida. Se prestará especial atención a aquellas soluciones que incidan directamente sobre los elementos responsables de las mayores pérdidas térmicas detectadas.
- **Viabilidad técnica:** Se considerarán las características constructivas de la vivienda (estructura de muros, accesibilidad a cubierta, espacio para instalaciones...), así como la compatibilidad de cada intervención con el uso cotidiano de la misma.
- **Rentabilidad y retorno económico:** Se estimarán los costes de ejecución y el ahorro energético asociado a cada medida, con el objetivo de calcular su período de amortización. Las decisiones se apoyarán en un análisis coste-beneficio que se desarrollará en el capítulo 8.
- **Contribución a la autosuficiencia energética:** Se valorarán especialmente aquellas soluciones que permitan reducir la dependencia de fuentes externas, en particular la red eléctrica y los combustibles fósiles, avanzando hacia un modelo de autoconsumo basado en energías renovables.
- **Cumplimiento normativo y alineación con objetivos nZEB:** Se comprobará el grado de adecuación de cada medida con los requisitos del Documento Básico HE del Código Técnico de la Edificación (CTE) y con los objetivos de edificación de consumo casi nulo definidos por la Directiva 2010/31/UE.

La combinación de estos criterios permitirá construir una propuesta de actuación racional, adaptada a las características del inmueble y con base técnico-económica justificada.

## 6.2. Aislamiento térmico de los muros exteriores

Tras la auditoría energética realizada, se han identificado deficiencias significativas en la envolvente térmica de la vivienda, especialmente en los muros exteriores de mampostería sin aislamiento, con transmitancias térmicas elevadas entre 1,00 y 2,38 W/m<sup>2</sup>·K.

### 6.2.1. Tipos de aislamiento térmico para fachadas exteriores.

Para mejorar la eficiencia energética y el confort térmico, se consideran las siguientes opciones de aislamiento:

#### 6.2.1.1. *Trasdosado interior aislante*

Consiste en la instalación de un sistema térmico por la cara interna del muro. Para ello se emplean paneles de lana mineral, XPS o paneles multicapa rígidos, protegidos mediante un trasdosado de cartón-yeso, tal como se recoge en las guías técnicas del IDAE [Idae21]. Esta solución resulta especialmente adecuada en casos en los que, por razones estéticas o urbanísticas, no sea posible intervenir sobre la fachada exterior.

Entre sus principales ventajas destaca su capacidad para reducir la transmitancia térmica hasta valores próximos a 0,30 W/m<sup>2</sup>·K, empleando espesores de aislamiento de entre 6 y 10 cm, conforme a los valores de referencia establecidos por el CTE [Miva22]. No obstante, esta solución presenta algunos inconvenientes, como la pérdida de superficie útil interior y el riesgo de condensaciones intersticiales si no se instala una barrera de vapor correctamente. Además, no resuelve los puentes térmicos estructurales, ya que estos permanecen sin aislamiento.

Desde el punto de vista técnico, su viabilidad es alta, especialmente en viviendas con restricciones para actuar por el exterior. El coste estimado oscila entre 25 y 40 €/m<sup>2</sup>, dependiendo del tipo de trasdosado y material aislante utilizado [Cron25].

#### 6.2.1.2. *Sistema SATE (aislamiento exterior)*

Esta técnica consiste en la fijación de placas aislantes directamente sobre la cara externa del muro, las cuales se revisten posteriormente con una capa de mortero armado y un acabado exterior continuo.

El sistema ofrece múltiples beneficios: mejora la capacidad aislante global del edificio, incrementa la inercia térmica interior, reduce de forma significativa los puentes térmicos lineales y proporciona una mayor protección frente a la intemperie. Además, mejora el comportamiento higrotérmico del cerramiento, al disminuir las oscilaciones de temperatura en el muro soporte [Idae21]. Como principal desventaja, requiere una intervención directa sobre la fachada, lo que puede verse limitado por regulaciones urbanísticas o exigencias estéticas.

También presenta un coste más elevado respecto al trasdosado interior, situándose entre 71,87 y 88,86 €/m<sup>2</sup> en función del tipo de aislamiento y acabado final empleados [Cron25] [Aisl25]. Siempre que las condiciones normativas lo permitan, se considera una solución de alta viabilidad técnica y excelente rendimiento energético.

#### 6.2.1.3. *Inyección de aislamiento en cámara*

Esta técnica es habitual en edificaciones con doble hoja de fábrica separadas por cámara, ya que permite incorporar material aislante sin alterar el aspecto exterior o interior del muro.

En el caso particular de esta vivienda, dicha intervención, según lo descrito en el punto 3.2.4.1, es viable sólo en la planta baja, donde en la rehabilitación del inmueble en 2007 se añadió un muro de fábrica de ladrillo hueco triple en su interior, dejando una cámara de aire. En las plantas superiores, esto no es viable [Idae21].

#### 6.2.2. Valoración comparativa y justificación de la elección

Tras el análisis técnico y energético de las posibles soluciones de mejora para los muros exteriores (SATE por el exterior, trasdosado interior e insuflado en cámara), se concluye que todas permiten alcanzar valores de transmitancia térmica compatibles con los objetivos de eficiencia energética del proyecto. No obstante, la elección definitiva debe considerar no solo la eficiencia térmica, sino también la viabilidad constructiva, el impacto económico global de la intervención y el grado de afectación sobre la vivienda existente.

En un primer análisis, el trasdosado interior con aislamiento térmico parecía una solución económicamente atractiva ( $\approx 25\text{--}40$  €/m<sup>2</sup> [Cron25]), con buenos resultados térmicos si se ejecuta correctamente. Sin embargo, en este caso concreto, esta alternativa presenta una serie de inconvenientes que elevan notablemente su complejidad y coste real de ejecución:

- Necesidad de desmontar y reubicar elementos interiores como radiadores, enchufes, marcos de puertas, zócalos, etc.
- Pérdida de superficie útil habitable en todas las estancias afectadas.
- Mayor impacto en los tiempos de obra y en la habitabilidad durante la intervención.
- Riesgo de condensaciones si no se instala adecuadamente la barrera de vapor.
- No resuelve los puentes térmicos estructurales. [Calo23]

Por el contrario, la aplicación de un sistema SATE (Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior), aunque con un coste por metro cuadrado más elevado ( $\approx 75\text{--}90$  €/m<sup>2</sup> [Rhon25a]), se revela como una solución más eficiente, duradera y coherente con los

principios de rehabilitación sostenible que plantea este proyecto. Entre sus principales ventajas destacan:

- Eliminación efectiva de puentes térmicos, especialmente en frentes de forjados y pilares.
- Conservación de la inercia térmica del muro original, lo que mejora el comportamiento pasivo del edificio.
- Ausencia de afectación sobre el interior de la vivienda, evitando reubicación de instalaciones.
- Mejora del comportamiento higrotérmico global del cerramiento.
- Reducción de las pérdidas energéticas y mayor confort térmico.

Por tanto, se opta por el aislamiento exterior mediante sistema SATE como solución preferente y prioritaria.

Esta estrategia permite intervenir de forma eficiente sobre toda la envolvente opaca, reservando recursos para otras actuaciones clave (como la mejora del sistema térmico o la incorporación de energías renovables), con un mejor equilibrio entre rendimiento energético, durabilidad y viabilidad económica.

### 6.2.3. Elección del material aislante para fachadas exteriores

Una vez definida la solución constructiva basada en la instalación de un sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE), se procede a la selección del material aislante más adecuado. Esta elección se fundamenta en criterios como el rendimiento térmico, la resistencia mecánica, la compatibilidad con el sistema SATE, el comportamiento frente a la humedad, la facilidad de instalación y el coste económico. [Lero25a]

Entre los materiales disponibles en el mercado, se han evaluado dos materiales comercialmente disponibles en Obramat, ambos compatibles con sistemas SATE, con características adecuadas para fachadas exteriores:

#### 1. Poliestireno Extruido (XPS)

- **Producto:** Poliestireno extruido SL XPS 300KPa Thermogreen 125x60x40cm
- **Conductividad térmica ( $\lambda$ ):** 0,032 W/m·K
- **Resistencia térmica (R):** 1,20 m<sup>2</sup>·K/W
- **Espesor:** Disponible en varios espesores entre 4 y 10 cm
- **Precio:** 4,27 €/m<sup>2</sup> (IVA incluido, 4 cm de espesor)
- **Ventajas:** Alta resistencia mecánica, baja absorción de agua, fácil manipulación.
- **Aplicación ideal:** Zonas con alta humedad o riesgo de condensación.
- **Referencia:** 25047119 [Obra25a]



Figura 22: Poliestireno extruido SL XPS 300KPa Thermogreen 125x60x40cm [Obra25a]

## 2. Poliestireno Expandido (EPS)

- **Producto:** Poliestireno expandido EPS SATE 20 kg/m<sup>3</sup> 100x50x2 cm (o 6cm de espesor)
- **Conductividad térmica ( $\lambda$ ):** 0,046 W/m·K
- **Resistencia térmica (R):** 0,43 m<sup>2</sup>·K/W (para 2 cm de espesor) y 1,3 m<sup>2</sup>·K/W (para 6 cm de espesor)
- **Espesor:** Disponible en dos espesores en versión SATE (de 2 y 6 cm); se seleccionará espesor según cálculo.
- **Precio:** 2,42 €/m<sup>2</sup> (IVA incluido, 2 cm espesor) y 7,26 €/m<sup>2</sup> (IVA incluido, 6 cm espesor)
- **Ventajas:** Buena eficiencia térmica, ligero, fácil de instalar, adecuado para SATE, precio muy competitivo.
- **Aplicación ideal:** Fachadas exteriores completas mediante sistema SATE con mortero y malla.
- **Referencia:** 10784501 (2 cm) /10748535 (6 cm) [Obra25b]



Figura 23: Poliestireno Expandido EPS SATE 20Kg/m<sup>3</sup> (2 cm) [Obra25b]

Dependiendo del análisis de grosor necesario y precio, se elegirá un material u otro (y su espesor) para cada fachada, manteniendo uniformidad de espesor por fachada para evitar resaltes.

### 6.2.3.1. Condiciones actuales de los muros

Como se ha descrito previamente en el punto 3 y según los valores proporcionados por CE3X al introducir la composición de los muros en el programa, se presentan las diferentes fachadas con las siguientes resistencias térmicas ( $R_m$ ):

Orientación	Fachada	$R_m$ (m <sup>2</sup> K W <sup>-1</sup> )
Sureste	Patio exterior (Pb, P1, P2)	0,40 / 0,47 / 0,40
	Patio interior (P1)	0,37
Suroeste	Patio interior (Pb, P1, P2)	0,42 / 0,33 / 0,33
	Calle (P1)	0,75
Noroeste	Patio trasero (Pb, P1, P2)	0,82 / 0,72 / 0,44

Tabla 7: Resistencia térmica de las fachadas exteriores según CE3X [Fuen25]

Para elegir el valor que se debe mejorar, se considerará el más desfavorable por fachada ( $R_m$ , min), debido a que no se pueden instalar aislantes de diferentes grosores en cada fachada por motivos estéticos y de ejecución.

### 6.2.3.2. Cálculo del espesor de aislamiento

Aunque el CTE vigente fija límites más exigentes para obra nueva (p.ej.,  $U \approx 0,30 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  en D3), en rehabilitación de este inmueble se adopta  $U \leq 0,80$  como objetivo razonable y coste-efectivo para reducir demanda sin afectar significativamente a la estética ni disparar el coste. [Cert25b]

Modelo de cálculo según UNE-EN ISO 6946:

$$U = \frac{1}{R_{total}} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

Ecuación 2: Transmitancia térmica (U)

La resistencia total de la fachada se calcula como:

$$R_{total} = R_{si} + R_{muro} + R_{aislamiento} + R_{se}$$

Ecuación 3: Resistencia térmica total de la fachada

Donde:

- $R_{si}$ : Resistencia superficial interior ( $\approx 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ )
- $R_{se}$ : Resistencia superficial exterior ( $\approx 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ )
- $R_{muro}$ : Resistencia del muro existente (según el muro)
- $R_{aislamiento} = \frac{e}{\lambda}$

De tal forma, para calcular el espesor, queda la siguiente fórmula:

$$e = R_{\text{aislamiento}} \cdot \lambda$$

Ecuación 4: Espesor del aislante térmico de la fachada

Aplicando esto a cada fachada se puede obtener el material y espesor que se necesita para cada una de ellas [Une21].

Fachada	$R_{\text{muro}}$	$R_{\text{aislamiento}}$	Material candidato ( $\lambda$ )	Espesor teórico (cm)	Espesor comercial
SE – Patio exterior	0,4	0,68	XPS (0,032)	2,18	4
SE – Patio interior	0,37	0,71	XPS (0,032)	2,27	4
SO – Patio interior	0,33	0,75	XPS (0,032)	2,4	4
SO - Calle	0,75	0,33	EPS (0,046)	1,52	2
NO – Patio trasero	0,44	0,64	XPS (0,032)	2,05	4

Tabla 8: Elección de material aislante para fachadas exteriores [Fuen25]

Se ha optado por una solución mixta que combina XPS 4 cm en las fachadas SE-Patio exterior, SE-Patio interior, SO-Patio interior y NO-Patio trasero, y EPS SATE 2 cm en SO-Calle. El XPS, con  $\lambda = 0,032 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ , alta resistencia mecánica y baja absorción de agua, es idóneo para zonas expuestas y permite cumplir el objetivo  $U \leq 0,80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  con espesor reducido. El EPS ( $\lambda = 0,046 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) es más económico y ligero, adecuado para paños protegidos; sin embargo, en fachadas principales requeriría 6 cm para alcanzar el objetivo, encareciendo la instalación frente al XPS. Esta combinación, en línea con las recomendaciones técnicas de sistemas SATE, optimiza coste, prestaciones y durabilidad. [Rhon25b]

### 6.2.3.3. Coste estimado

Para calcular el coste total de la instalación del SATE, se calculará el material necesario para cada fachada y se añadirá su coste de instalación.

Fachada	Superficie (sin cantos) $\text{m}^2$	Coste de material €	Coste total €
SE-Patio ext.	66,61	XPS 4cm: 4,27€/m <sup>2</sup>	284,4
SE-Patio int.	31,31	XPS 4cm: 4,27€/m <sup>2</sup>	133,7
SO-Patio int.	67,55	XPS 4cm: 4,27€/m <sup>2</sup>	288,4
SO-Calle	11,61	EPS 2cm: 2,42€/m <sup>2</sup>	28,1
NO-Patio	89,58	XPS 4cm: 4,27€/m <sup>2</sup>	382,5
<b>Total</b>	266,66		1.117

Tabla 9: Coste del material aislante de las fachadas exteriores [Fuen25]

A pesar de haber conseguido una mejora económica al mezclar dos materiales distintos, el material aislante representa una fracción pequeña del coste total; la diferencia por elegir XPS 4 cm vs. EPS 6 cm en paños críticos sería varios cientos de euros, pero no altera de forma significativa el presupuesto global.

Coste del sistema SATE instalado (adhesivo, espigas, malla, mortero/acabado y mano de obra):  $\approx 60 \text{ €/m}^2 \rightarrow 266,66 \text{ m}^2 \times 60 \approx 16.000 \text{ €}$ .

La solución propuesta es la más económica que cumple el objetivo  $U \leq 0,80$ , manteniendo prestaciones y durabilidad ronda los 17.000€ en total, un gran desembolso que sin embargo supone una mejora significativa de la eficiencia energética de la vivienda.

### 6.3. Aislamiento térmico de las cubiertas

El aislamiento térmico de la cubierta es tan relevante como el de las fachadas exteriores, ya que puede suponer una reducción significativa de la demanda de calefacción gracias a la disminución de pérdidas energéticas por transmisión.

La cubierta actual, reformada en 2007 (ver punto 3.2.3), presenta las siguientes propiedades según la modelización en CE3X:

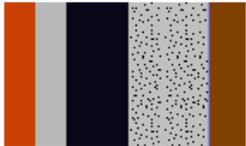
#### Librería de cerramientos

Nombre:

Características del cerramiento

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior); Horizontales (Materiales ordenados de arriba a abajo)

Material	Grupo	R (m <sup>2</sup> K...)	Espesor...	$\lambda$ (W/mK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_p$ (J/kgK)
Teja de arcilla cocida	Cerámicos	0.02	0.02	1	2000	800
Mortero de cemento ...	Morteros	0.015	0.02	1.3	1900	1000
Espuma de poliuretano...	Sellantes	0.8	0.04	0.05	70	1500
Hormigón armado 230...	Hormigones	0.022	0.05	2.3	2400	1000
Cloruro de polivinilo [...]	Plásticos	0.012	0.002	0.17	1390	900
Frondosade peso me...	Maderas	0.111	0.02	0.18	660	1600



$R_{1+...+R_n}$   
0.98 m<sup>2</sup>K/W

Figura 24: Composición de la cubierta antes de la reforma [Fuen25]

- Resistencia térmica total (R):  $0,98 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
- Transmitancia térmica (U):  $\approx 1,02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Estos valores se consideran mejorables mediante la incorporación de un aislamiento adicional por el interior. Para ello, se propone la instalación de una capa de lana de roca

bajo la cubierta existente, seleccionando el siguiente producto de Obramat como ocurrió con las fachadas exteriores:

### 1. PANEL LANA DE ROCA:

- **Producto:** Panel de lana de roca semirrígido no revestido Sonorock Eco 135x60x4cm
- **Conductividad térmica ( $\lambda$ ):** 0,036 W/m·K
- **Resistencia térmica (R):** 1,10 m<sup>2</sup>·K/W (para 4cm de espesor)
- **Espesor:** 4cm
- **Precio:** 3,86 €/m<sup>2</sup> (IVA incluido)
- **Ventajas:** Alto poder aislante, tanto térmico como acústico.
- **Aplicación ideal:** Para aislamiento térmico y acústico para parámetros verticales y horizontales sobre falso techo.
- **Referencia:** 25046668 [Obra25c]



Figura 25: Panel Lana de Roca Sonorock Eco 135x60x4cm [Obra25c]

De esta forma, a la cubierta ya existente se le añadiría:

- Cámara de aire no ventilada, 5cm.
- Aislamiento de lana de roca, e=4cm.
- Placa de yeso laminado (PYL), 1 cm, como acabado interior.

Añadiendo estas mejoras a CE3X la nueva cubierta quedaría de la siguiente forma:

#### Librería de cerramientos

Nombre

*Características del cerramiento*

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior); Horizontales (Materiales ordenados de arriba a abajo)

Material	Grupo	R (m <sup>2</sup> K...)	Espesor...	$\lambda$ (W/mK)
Hormigón armado 2300 < d < 2500	Hormigones	0.022	0.05	2.3
Cloruro de polivinilo [PVC]	Plásticos	0.012	0.002	0.17
Frondosade peso medio 565 < d < 750	Maderas	0.111	0.02	0.18
Cámara de aire sin ventilar horizontal 5 cm	Cámaras de aire	0.16	-	-
MW Lana mineral [0.04 W/[mK]]	Aislantes	0.988	0.04	0.0405
Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	Yesos	0.04	0.01	0.25

*RI+... +Rn*  
2.17 m<sup>2</sup>K/W

Figura 26: Composición de la nueva cubierta [Fuen25]

- Resistencia térmica total (R): 2,17 m<sup>2</sup>·K/W
- Transmitancia térmica (U): ≈ 0,46 W/m<sup>2</sup>·K

Esto supone una mejora del 54 % en resistencia térmica respecto a la situación inicial, suficiente para alcanzar los objetivos de eficiencia energética establecidos para la rehabilitación.

Para calcular el coste total de la instalación, hay que tener en cuenta también el coste de instalación y de otros materiales:

- Material aislante (4cm, 3,86 €/m<sup>2</sup>): ≈ 553€ para 143,5 m<sup>2</sup>
- Placa de yeso laminado, subestructura metálica y accesorios: incluido en mano de obra.
- Mano de obra (consulta a empresa instaladora local): ≈ 19 m<sup>2</sup>

Todo esto supone un coste total estimado:

$$143,5 \text{ m}^2 * (3,86 + 19) \approx 3.300 \text{ €}$$

## 6.4. Sustitución de carpintería exteriores

Tal y como se describe en el punto 3.2.4.4, la vivienda dispone de carpinterías exteriores de madera, con acristalamientos dobles tipo Secury 4+4, que ofrecen un buen comportamiento térmico de base y un alto valor estético, manteniendo la coherencia arquitectónica de la construcción.

Dado el material y el tipo de acristalamiento, no se considera prioritaria la sustitución de las carpinterías para alcanzar los objetivos de eficiencia energética del proyecto. No obstante, sí se identifican aspectos mejorables en términos de estanqueidad al aire y en la eliminación de puentes térmicos en la junta marco–cerramiento.

La estrategia adoptada para resolver estas deficiencias se integra en la ejecución del SATE, que permitirá aislar por el exterior los recercos y contornos de huecos, solapando parcialmente el marco y sellando las juntas. Con esta intervención se reducirá significativamente la infiltración de aire y la pérdida de calor en los puntos singulares, sin necesidad de sustituir las ventanas existentes, conservando así su valor patrimonial y reduciendo el coste de la actuación.

## 6.5. Sustitución de instalaciones térmicas

Como ya se ha mencionado previamente. El sistema actual de climatización de la vivienda se basa en una caldera de gasóleo estándar, destinada a cubrir tanto la calefacción como

la producción de agua caliente sanitaria (ACS), sin apoyo de energías renovables. Según la simulación realizada en CE3X (ver Capítulo 5), este equipo presenta un rendimiento medio estacional del 66 %, con una potencia nominal de 24 kW y una carga media de operación baja (0,2). Este valor está claramente por debajo del mínimo exigido por la normativa actual y se traduce en un consumo elevado de energía primaria no renovable y en emisiones significativas de CO<sub>2</sub>.

Con el objetivo de reducir la dependencia de combustibles fósiles y avanzar hacia un modelo más eficiente y sostenible, se consideran tres alternativas técnicas principales para satisfacer las demandas térmicas de la vivienda (calefacción y producción de ACS):

### 6.5.1. Aerotermia (Bomba de calor aire-agua)

Este tipo de sistema ofrece un rendimiento estacional muy elevado ( $SCOP \geq 4$ ), y se considera una de las soluciones renovables más implantadas actualmente en viviendas unifamiliares de consumo casi nulo [IDAE23]. Su capacidad para proporcionar calefacción, refrigeración y ACS con una sola unidad, su compatibilidad con sistemas fotovoltaicos y su bajo mantenimiento hacen que sea una opción atractiva. No obstante, en climas fríos de interior, como el de la vivienda, el rendimiento puede disminuir en los momentos de mayor demanda, coincidiendo con temperaturas exteriores muy bajas. Además, la instalación de una bomba de calor de alta potencia (10–12 kW) supone una inversión inicial elevada, estimada entre 5.200 y 8.200 €, incluyendo acumulador de ACS y adaptación hidráulica del sistema existente. [JiSM17]

### 6.5.2. Geotermia de baja entalpía

Esta tecnología, si bien presenta un rendimiento incluso más estable y elevado ( $SCOP > 4,5$ ) que la aerotermia y no se ve afectada por las oscilaciones térmicas estacionales, tiene como principal limitación su elevado coste de instalación. Este puede superar fácilmente los 20.000 €, especialmente si se opta por captación vertical, y requiere perforaciones especializadas y estudios geotécnicos que, en este caso, no están disponibles. Aunque su rendimiento a largo plazo es excelente, se ha descartado como opción prioritaria debido a su escasa viabilidad económica y constructiva en el contexto específico del proyecto [Idae12][Unic16].

### 6.5.3. Sistema de calefacción y ACS basado en biomasa

Esta tecnología destaca por su bajo coste operativo, su alta eficiencia en zonas climáticas frías y su uso de combustibles renovables, que contribuyen a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> [Aveb22]. Además, la biomasa térmica está especialmente indicada para entornos rurales como el presente, donde puede garantizarse un suministro estable y accesible.

Para el caso particular de la vivienda podría instalarse una caldera de madera aprovechando el espacio utilizado para la chimenea. Este sistema se plantea como

solución centralizada de calefacción y producción de agua caliente sanitaria, a través de radiadores por elementos ya existentes en la vivienda. La caldera incluiría un sistema de evacuación de humos mediante chimenea metálica de doble pared, con tiro natural, y elementos de seguridad: válvula de presión con muelle, calderín de expansión, sistema automático de llenado de agua fría y bomba de recirculación controlada mediante termostato.

#### 6.5.4. Elección del sistema de calefacción

Considerando las tres alternativas planteadas (aeroterminia, geotermia y biomasa), se ha llevado a cabo una comparativa técnica y económica que permite justificar la solución más adecuada para el contexto específico del proyecto.

La geotermia ha sido descartada desde el inicio por su elevado coste de instalación, que puede oscilar entre los 10.000 y 40.000€, especialmente en sistemas de captación vertical, y por la necesidad de perforaciones geotécnicas y estudios del terreno, no disponibles en esta intervención. Esta limitación, sumada a la complejidad de la obra civil y su escasa rentabilidad en viviendas aisladas de uso habitual, la convierte en una solución poco viable en este caso [Acti22].

En cuanto a la aeroterminia, aunque es una de las soluciones más implantadas en viviendas de consumo casi nulo y ofrece un elevado rendimiento estacional ( $SCOP > 3,8$ ), presenta limitaciones importantes en el entorno específico del proyecto. Su eficiencia disminuye notablemente con temperaturas exteriores bajas, especialmente por debajo de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , situación habitual en el municipio de Castril (Granada), donde se han registrado mínimas de hasta  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  en los últimos inviernos. Además, su dependencia total de la red eléctrica es un punto negativo, al querer reducir al mínimo la dependencia de esta, y teniendo otras opciones independientes de la red que no comprometen la autonomía energética. [Lero25b][Lero25c] [Weat25]

La biomasa térmica, por su parte, ofrece un rendimiento constante incluso en climas fríos, es independiente del suministro eléctrico y utiliza un recurso renovable y abundante en la zona, como es la leña. Su coste de operación es muy competitivo (prácticamente cero), y su inversión inicial es similar o inferior a la de la aeroterminia, situándose entre 5.000 y 7.000 €. Además, se trata de una tecnología consolidada en zonas rurales, compatible con instalaciones de radiadores existentes, y con un impacto ambiental muy bajo, al tratarse de una fuente renovable neutra en emisiones de  $\text{CO}_2$ . [Aveb22][Idae07]

Por todo ello (compatibilidad climática, disponibilidad local de combustible, independencia energética, eficiencia en invierno y viabilidad económica) se concluye que la biomasa es la solución más adecuada para sustituir el sistema actual de gasóleo.

Para ello, se ha seleccionado el modelo **Bronpi TecnoHydro 80 V-SP**, un equipo de biomasa robusto y eficiente, especialmente indicado para viviendas unifamiliares en entornos rurales.

Este sistema presenta las siguientes características técnicas:

- Potencia térmica nominal: 30 kW
- Rendimiento energético: superior al 80 %
- Capacidad del depósito de carga: 30 kg de leña
- Autonomía de combustión estimada: entre 4 y 8 horas según régimen de uso
- Tipo de combustible: leña seca (contenido de humedad < 20 %)
- Evacuación de humos: chimenea metálica de doble pared con tiro natural
- Sistema hidráulico integrado: incluye bomba de recirculación, válvula de seguridad, vaso de expansión y termostato de control
- Producción de ACS: mediante acumulador externo de 50 litros, compatible con otras ampliaciones (ej. solar térmica, resistencia eléctrica...)

Este modelo permite mantener la instalación hidráulica existente, conectándose directamente al circuito de radiadores de la vivienda. Además, su funcionamiento es totalmente autónomo desde el punto de vista energético, lo que refuerza la resiliencia energética del edificio en caso de fallos de red eléctrica.

No obstante, debido a que la generación térmica mediante biomasa está principalmente asociada a los meses de calefacción (otoño e invierno), se ha previsto una solución auxiliar para la producción de ACS durante los meses de verano. En esta época del año no resulta eficiente ni práctico mantener la caldera de leña encendida solo para calentar agua sanitaria.

Para ello, se ha incorporado al sistema un apoyo eléctrico mediante resistencia tipo Joule, instalada en el mismo acumulador donde se almacena el agua caliente procedente de la caldera de biomasa. Esta resistencia eléctrica, de unos 1,5–2 kW de potencia permite cubrir la demanda puntual de ACS de forma automática y sin intervención del sistema principal.

Su funcionamiento es simple, silencioso y completamente integrado: la resistencia se activa únicamente cuando no hay aporte térmico de la caldera y la temperatura del

acumulador desciende por debajo del umbral establecido. De esta manera, se garantiza un suministro continuo de agua caliente sanitaria incluso en periodos sin uso de biomasa, sin comprometer el confort ni la eficiencia energética global del sistema.

Además, al estar alimentada con energía procedente del sistema fotovoltaico, este apoyo eléctrico no implica un incremento significativo del consumo de red, alineándose con el objetivo general de reducción de emisiones y disminuir el consumo eléctrico que proviene directamente de la red.[Idae07] [Aveb22]

En cuanto a la instalación, se plantea ubicar la caldera en el espacio ocupado actualmente por la chimenea, optimizando el aprovechamiento del espacio disponible y facilitando la conexión con el sistema de evacuación de humos. La carga de combustible se realizará de forma manual, lo cual es aceptable dado el contexto rural y la disponibilidad de madera en la zona.

La elección de este modelo responde a su relación calidad-precio, facilidad de mantenimiento, compatibilidad con sistemas existentes y fiabilidad contrastada en aplicaciones similares. Su uso permite alcanzar un alto grado de eficiencia energética y reducir significativamente la huella de carbono del sistema térmico de la vivienda. [Bron25]

## 6.6. Instalación de sistemas fotovoltaicos

La instalación de un sistema fotovoltaico en una vivienda unifamiliar representa una de las soluciones más comunes, eficientes y sostenibles para el aprovechamiento de energía renovable. Estos sistemas permiten transformar la radiación solar en energía eléctrica mediante módulos solares, contribuyendo significativamente a la reducción del consumo energético de la red y a la disminución de emisiones de gases contaminantes. [Idae21]

Para el diseño técnico y simulación energética del sistema se ha utilizado el software profesional PVSOL 2025 en su versión gratuita (pues la de pago asciende a más de 500€).

Esta herramienta permite realizar simulaciones dinámicas detalladas del comportamiento del sistema fotovoltaico bajo condiciones reales.

### 6.6.1. Definición del tipo de instalación, clima y red en PVSOL 2025

El primer paso a realizar en el diseño de un sistema fotovoltaico para una vivienda unifamiliar es definir el tipo de instalación que se desea realizar. En el caso de este proyecto, al querer reducir al máximo el consumo de la red, o intentar conseguir que sea cero emisiones, se tendrá la posibilidad de elegir entre una de las siguientes opciones:

- **Sistema fotovoltaico conectada a la red con consumidores eléctricos y sistemas de batería:** Este tipo de sistema combina la producción solar con

almacenamiento en baterías, mientras mantiene una conexión a la red eléctrica. Permite consumir directamente la energía solar generada, almacenar los excedentes, y recurrir a la red solo en momentos puntuales, como días nublados prolongados o picos de consumo. Además, posibilita la compensación de excedentes vertidos a la red.

- **Sistema fotovoltaico autónomo:** Esta configuración opera sin conexión a la red. Toda la energía consumida debe ser generada y almacenada localmente. Requiere una planificación muy precisa y un sistema sobredimensionado para asegurar la cobertura energética en todos los escenarios posibles, lo que conlleva mayores costes y limitaciones ante condiciones meteorológicas adversas.
- **Sistema fotovoltaico autónomo con generador adicional:** Variante del sistema aislado que incorpora un generador de apoyo (generalmente de combustión) para cubrir la demanda cuando la generación solar y el almacenamiento no son suficientes. Esta solución garantiza el suministro eléctrico, pero introduce un componente de consumo fósil y baja eficiencia energética.

En el presente proyecto se ha descartado la opción de incluir sistemas FV contactados a cargadores para vehículos eléctricos, ya que no forma parte del alcance actual ni de las necesidades energéticas de la vivienda, pues se busca optimizar el sistema exclusivamente para el consumo doméstico habitual, evitando sobredimensionar la instalación con elementos no necesarios.

También se han descartado opciones de sistemas FV que no incluyen opciones de almacenamiento de energía, pues se consideran menos eficientes al tener que recurrir en mayor medida al consumo eléctrico de la red.

En cuanto a las opciones contempladas, aunque un sistema aislado con generador puede ofrecer una mayor autonomía, no se considera la opción más adecuada en este caso. Este tipo de instalación requiere el uso de un generador externo para garantizar el suministro en situaciones de baja producción solar o baterías descargadas. Esto introduce varias limitaciones:

- **Menor eficiencia energética:** Los generadores tienen un rendimiento muy bajo comparado con la red eléctrica.
- **Consumo de combustibles fósiles:** Aumenta las emisiones y contradice el objetivo del proyecto de reducir al máximo la huella de carbono de la vivienda.
- **Mayor coste y mantenimiento:** Los generadores requieren revisiones periódicas, combustible, y pueden generar ruido.

Dado que la vivienda ya se encuentra conectada a la red eléctrica, no supone un obstáculo técnico ni económico mantener esta conexión como respaldo. Por tanto, se ha optado por un sistema fotovoltaico conectado a la red con baterías, ya que:

- Permite una alta autosuficiencia energética, aprovechando al máximo la energía solar disponible.
- Reduce el consumo de red a momentos muy puntuales, sin necesidad de combustibles.
- Evita el uso de generadores y mejora la eficiencia del sistema global.
- Es compatible con la legislación vigente para autoconsumo (RD 244/2019), incluyendo la posibilidad de compensación de excedentes.

Con esta configuración, se logra un equilibrio óptimo entre sostenibilidad, eficiencia, seguridad de suministro y viabilidad técnica.

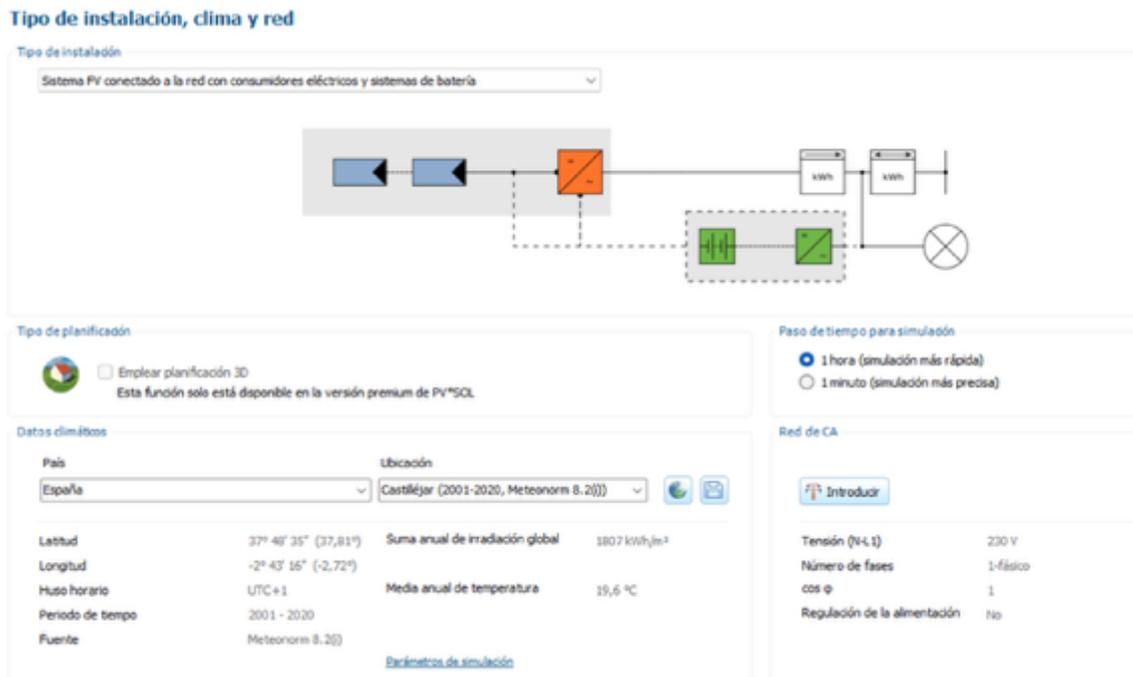


Figura 27: Vista del tipo de instalación, clima y red en PVSOL 2025 [Fuen25]

Una vez seleccionada la configuración del sistema, se introducen en el software los datos correspondientes a la ubicación geográfica de la vivienda, así como las condiciones climáticas y los parámetros de red. En este caso, se tendrá una tensión de red de 230 V en sistema monofásico, característica habitual en viviendas unifamiliares en el ámbito residencial español.

## 6.6.2. Patrones de consumo en PVSOL 2025

Una vez definido el tipo de instalación, el siguiente paso es establecer el perfil de consumo eléctrico de la vivienda, aspecto fundamental para poder realizar una simulación precisa y dimensionar adecuadamente tanto los módulos fotovoltaicos como el sistema de almacenamiento. En este caso, se ha tomado como referencia el consumo anual detallado en el apartado 5.2, el cual asciende a un total de 1.896 kWh/año.

El software PVSOL 2025 permite introducir manualmente todos los equipos consumidores (electrodomésticos, climatización, iluminación, etc.) para obtener un perfil de carga horario. No obstante, también dispone de una base de datos con perfiles de consumo predefinidos basados en estadísticas reales, ajustados a diferentes tipologías de vivienda y ubicaciones geográficas.

En este proyecto se ha optado por seleccionar un patrón de consumo predefinido para una vivienda unifamiliar con clima templado, que se ajusta de forma razonable a la distribución mensual del consumo registrada.

El pico de carga estimado por el software es de 5,4 kW, valor importante para determinar la capacidad del inversor y la respuesta del sistema en situaciones de alta demanda puntual.

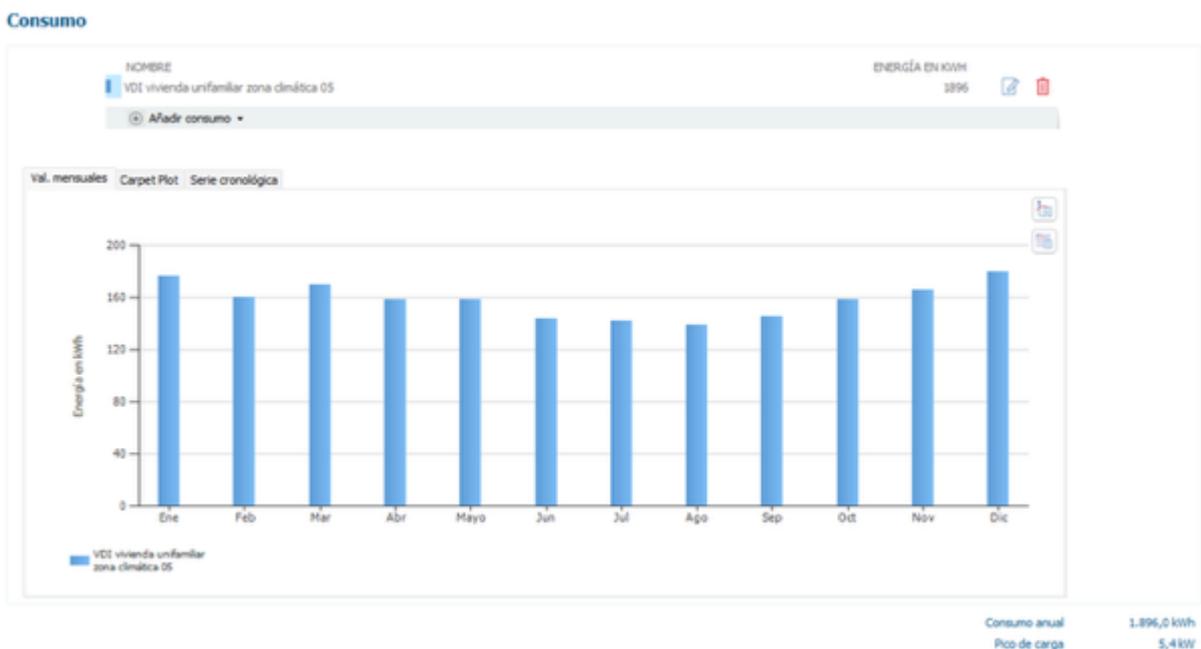


Figura 28: Patrones de consumo en PVSOL 2025 [Fuen25]

## 6.6.3. Diseño de módulos Fotovoltaicos

Para el diseño y cálculo del número de módulos fotovoltaicos necesarios, se deben tener en cuenta dos condiciones fundamentales:

- Que la energía anual generada por los paneles solares sea suficiente para cubrir el consumo eléctrico total de la vivienda, que en este caso es de 1.896 kWh/año.
- Que la potencia instantánea suministrada por el sistema sea capaz de responder a los picos de demanda, estimados en 5,4 kW, sin depender completamente de la red.

Ambas condiciones determinan, en conjunto, la cantidad óptima de módulos que deberá instalarse para alcanzar una vivienda eficiente, equilibrada y autosuficiente durante la mayor parte del año.

Para realizar estos cálculos, es imprescindible conocer las características técnicas del módulo fotovoltaico que se va a utilizar. En este proyecto se ha optado por el modelo **Tensite N-Type TOPCon 500W** [Auto25c], un panel solar de fabricación española que ofrece una potencia pico de 500 W y una eficiencia del 22,5%, disponible en el mercado a través de proveedores como Amazon o AutoSolar.

#### 6.6.3.1. Cálculo según consumo anual

Para calcular el número de paneles necesarios para cubrir el consumo anual, es necesario conocer también la irradiación solar media anual en la ubicación del proyecto. Según el software PVSOL 2025, para el municipio de Castelléjar se obtiene una irradiación global media de 1.807 kWh/m<sup>2</sup>·año.

Tomando como referencia una producción estimada de unos 1.600 kWh/kWp·año considerando pérdidas del sistema (por orientación, temperatura, cableado, etc.), se estima que cada panel de 500 W puede producir aproximadamente:

$$0,5 \text{ kWp} \times 1.600 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp} \cdot \text{año}} = 800 \text{ kWh/año}$$

*Ecuación 5: kWh de FV necesarios para cubrir demanda anual*

Entonces, el número mínimo de módulos necesarios para cubrir el consumo anual sería:

$$\frac{1.896 \text{ kWh/año}}{800 \text{ kWh/panel} \cdot \text{año}} \simeq 2,37 \text{ paneles}$$

*Ecuación 6: Número de paneles FV (500W) necesarios para cubrir demanda anual*

Aplicando un factor de seguridad del 25% para garantizar cobertura en condiciones reales (variabilidad solar, pérdidas adicionales, envejecimiento del sistema, etc.):

$$2,37 \times 1,25 \approx 2,96 \rightarrow \mathbf{3 \text{ paneles (mínimo)}}$$

*Ecuación 7: Número de paneles FV (500W) necesarios para cubrir demanda anual tras aplicar factor de seguridad*

Sin embargo, este valor cubre únicamente la energía anual, pero no garantiza que se pueda abastecer la vivienda durante lo momento de máxima demanda.

#### 6.6.3.2. Cálculo según pico de carga

El sistema debe también ser capaz de responder a una demanda instantánea máxima de 5,4 kW. Para cubrir esta potencia sin depender de la red ni de la batería en ese instante, se necesitaría:

$$\frac{5.400 \text{ W}}{500 \text{ W/panel}} = 10,8 \rightarrow \mathbf{11 \text{ paneles}}$$

*Ecuación 8: Número de paneles FV (500W) necesarios para cubrir demanda + batería de 5,4 kW*

Este cálculo supone condiciones óptimas de radiación (irradiación cercana a 1.000 W/m<sup>2</sup> y temperatura ideal), por lo que representa un caso límite. En la práctica, los picos pueden ser cubiertos con apoyo de la batería o la red eléctrica si se opta por no sobredimensionar el sistema en exceso. [Reps24b]

#### 6.6.3.3. Elección del número de paneles fotovoltaicos

Tras el análisis energético y considerando tanto el consumo anual de la vivienda como los picos de demanda, se ha optado por instalar un total de **8 módulos fotovoltaicos** de 500 W cada uno, lo que supone una potencia pico instalada de 4.000 W (4 kW<sub>p</sub>).

Esta configuración permitirá cubrir de forma eficiente el consumo anual previsto y, en la mayoría de los casos, también satisfacer la demanda instantánea de la vivienda. Para los momentos en los que la generación solar no sea suficiente (ya sea por baja radiación, nubosidad o consumo elevado puntual) el sistema podrá recurrir a la batería como respaldo.

Únicamente en situaciones excepcionales, en las que ni la generación fotovoltaica ni el almacenamiento disponible puedan atender el pico de consumo, se recurrirá de forma puntual a la red eléctrica. Este enfoque permite lograr un equilibrio óptimo entre eficiencia energética, sostenibilidad y seguridad de suministro, alineado con el objetivo de reducir al mínimo la dependencia de fuentes externas y avanzar hacia una vivienda de bajo impacto ambiental.

#### 6.6.3.4. Implementación en PVSOL 2025

Una vez definidos el tipo de sistema y el número de módulos fotovoltaicos, el siguiente paso consiste en su implementación sobre la cubierta de la vivienda mediante la interfaz 3D del software PVSOL 2025.

En primer lugar, se introduce el modelo seleccionado de panel solar, en este caso el Tensite N-Type TOPCon de 500 W, con sus dimensiones y características técnicas previamente descritas. A continuación, se definen las dimensiones reales de la cubierta disponible para la instalación, así como los posibles elementos bloqueantes como chimeneas, ventanas de tejado o claraboyas, que impiden la colocación de módulos en esas zonas.

Para este proyecto, se ha elegido una cubierta con orientación sureste (aproximadamente  $155^\circ$ ) y una inclinación de  $30^\circ$ , condiciones que permiten un buen aprovechamiento de la radiación solar anual.

Una vez definido el espacio útil, PVSOL 2025 realiza automáticamente una distribución optimizada de los módulos sobre la superficie disponible, teniendo en cuenta las restricciones espaciales y de sombreado. El resultado se muestra en la Figura 22, donde puede observarse la disposición final de los 8 módulos fotovoltaicos sobre la cubierta.

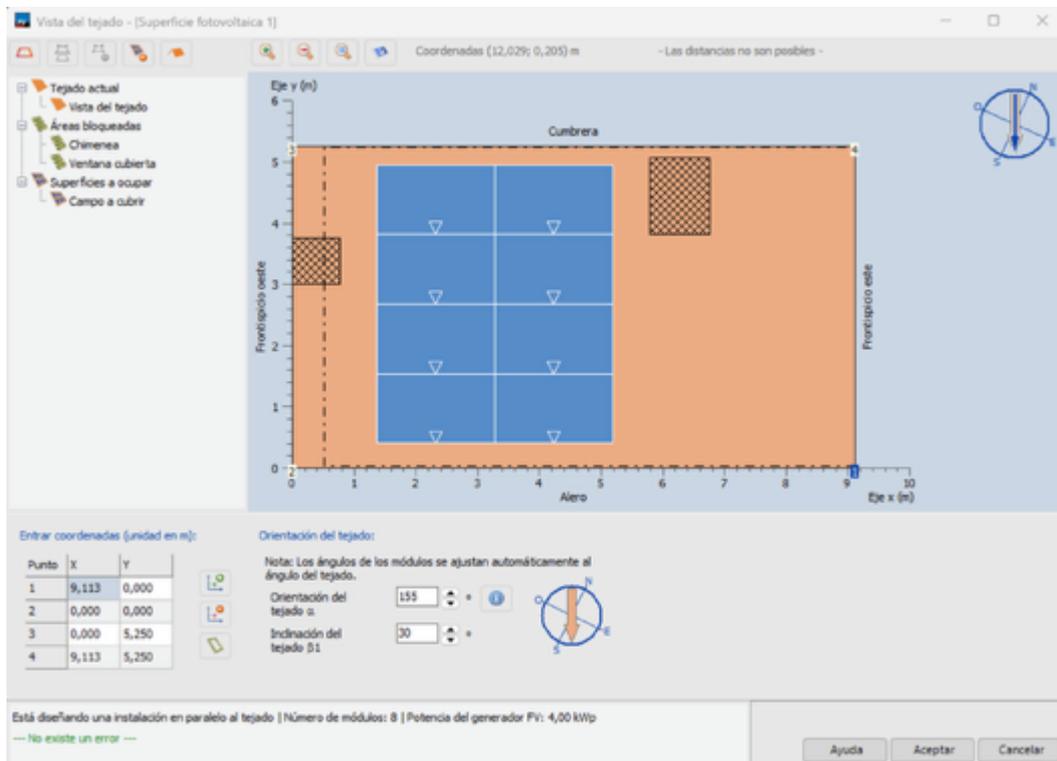


Figura 29: Distribución de los paneles fotovoltaicos en PVSOL 2025 [Fuen25]

Con esta configuración, los paneles quedan correctamente alineados y distribuidos sobre una superficie total de aproximadamente  $17,3 \text{ m}^2$ , cumpliendo con las condiciones de orientación, separación y no interferencia con obstáculos. Esta representación permite anticipar el aspecto real de la instalación y validar su viabilidad física.

#### 6.6.4. Diseño del inversor

Para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del sistema fotovoltaico, es fundamental seleccionar un inversor cuya potencia nominal se ajuste a la potencia total instalada en los paneles solares, que en este caso es de 4.000 Wp (8 módulos de 500 W cada uno).

Por este motivo, se ha optado por un inversor monofásico de conexión a red de la marca Tensite, modelo AR4M-2, con una potencia nominal de salida de 4.000 W. Este inversor se adapta perfectamente a las necesidades del sistema, ya que permite transformar la energía generada por los paneles solares en corriente alterna para su uso doméstico o vertido a red. Además, al tratarse de la misma marca que los paneles fotovoltaicos, optimiza la compatibilidad del sistema.

Una característica destacada de este inversor es que dispone de dos seguidores MPPT (Maximum Power Point Tracker), cada uno con una capacidad máxima de 3.000 W. Para asegurar un rendimiento óptimo y evitar sobrepasar la capacidad de ninguno de los MPPT, se ha realizado la siguiente configuración:

- Se han distribuido los 8 módulos solares en dos ramas (strings) de 4 paneles cada una.
- Cada string se conecta a un MPPT independiente, de forma que cada uno gestiona una potencia de 2.000 W ( $4 \times 500$  W), lo cual está por debajo del límite permitido por el fabricante.

Esta distribución garantiza el aprovechamiento total de la capacidad del inversor, evitando situaciones de clipping (limitación de potencia) o pérdidas por sobrecarga.

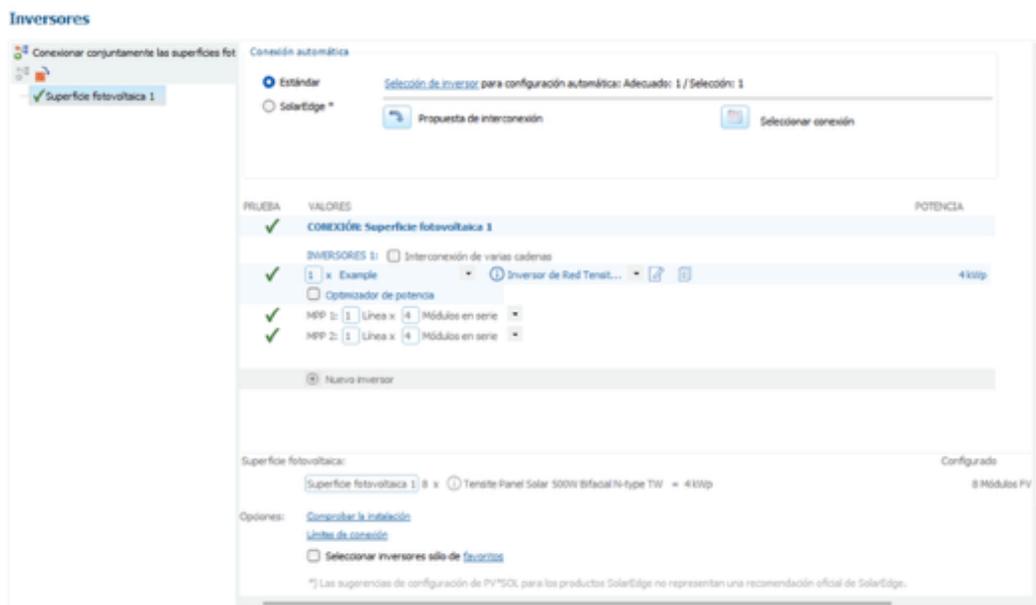


Figura 30: Diseño del inversor en PVSOL2025 [Fuen25]

La Figura 23 muestra la configuración final introducida en el software PVSOL 2025, donde puede observarse cómo se asignan los módulos a los dos MPPT del inversor y se valida la compatibilidad del mismo con la instalación diseñada.

#### 6.6.5. Diseño de la batería

Para la elección de la batería, se ha tenido en cuenta la necesidad de disponer de un sistema de almacenamiento capaz de suministrar electricidad durante las horas nocturnas, así como de apoyar la generación fotovoltaica en momentos de picos de consumo, con el objetivo de reducir al mínimo la dependencia de la red eléctrica.

Desde el punto de vista técnico, se opta por una batería de tecnología de litio ( $\text{LiFePO}_4$ ), dado que este tipo ofrece mayor rendimiento, durabilidad y eficiencia frente a otras tecnologías como el plomo-ácido. Además, cuentan con una mayor profundidad de descarga, menor pérdida energética por ciclo y un mantenimiento prácticamente nulo, lo que las hace especialmente indicadas para sistemas de autoconsumo residencial.

En cuanto al fabricante, se ha seleccionado una batería de la marca Pylontech, una de las referencias en el sector del almacenamiento residencial. Estas baterías ofrecen un excelente equilibrio entre prestaciones, calidad y precio, así como una amplia gama de modelos adaptables a las diferentes configuraciones energéticas de vivienda.

Dentro de la gama disponible, se opta por un modelo del tipo ESS residencial híbrido, concretamente el Pylontech FH3X3.6K-HY-1PEU-5, con una capacidad útil de 5,12 kWh y una potencia de descarga adecuada para cubrir las necesidades de la instalación. [Pylo25]

Esta variante se elige en lugar de una solución AC-acoplada, ya que los modelos híbridos, si bien presentan un coste inicial algo superior, ofrecen mayores prestaciones al incluir un inversor de batería integrado, lo que mejora la eficiencia energética, simplifica la instalación y garantiza una mejor conectividad y gestión del sistema.

Este modelo permite cubrir la mayoría de las necesidades energéticas nocturnas y dar soporte durante periodos de baja generación solar, siendo además escalable en caso de que se requiera una mayor capacidad en el futuro.

Al introducir este sistema en el software PVSOL 2025, se confirma que el modelo seleccionado cumple con las condiciones de diseño energético de la instalación, ajustándose a los requerimientos técnicos del sistema definido. La Figura 24 muestra el resumen de configuración del sistema de baterías dentro del entorno de simulación. [Auto25b]

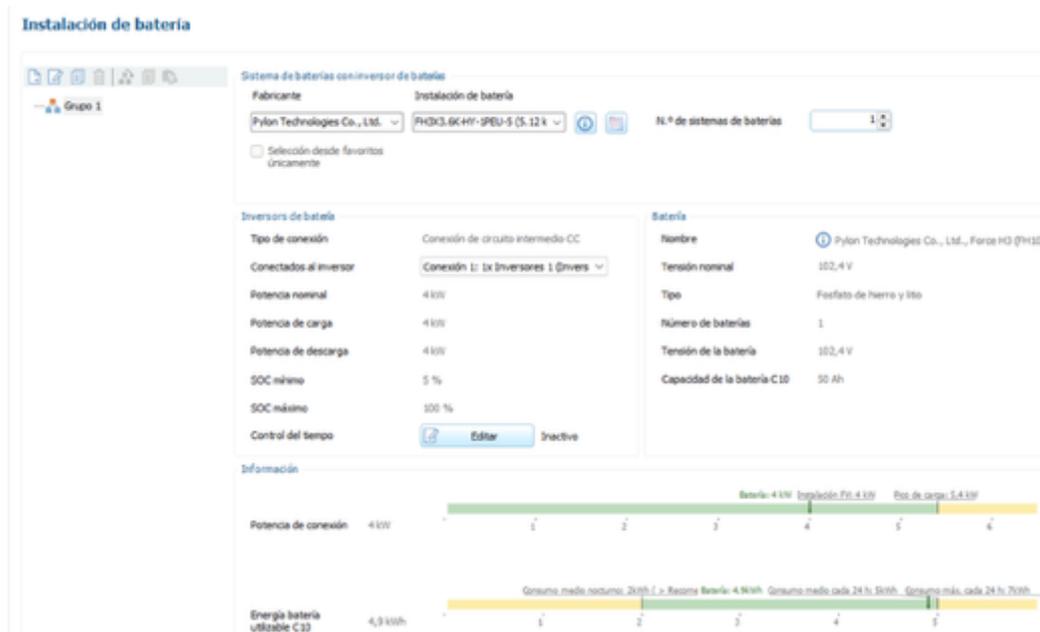


Figura 31: Especificaciones de la batería en PVSOL 2025 [Fuen25]

### 6.6.6. Selección de cableado eléctrico

Para finalizar el diseño de la instalación fotovoltaica, se procede a la selección del cableado de corriente continua y alterna, que conectará tanto los módulos fotovoltaicos al inversor, como el inversor a la red eléctrica de la vivienda.

En este caso, se opta por utilizar cable de cobre de sección 4 mm<sup>2</sup>, una solución estándar y adecuada para instalaciones residenciales de baja tensión, que garantiza una buena capacidad de conducción y un equilibrio entre eficiencia, coste y facilidad de instalación.

En cuanto a la distribución:

- Para la conexión de los módulos fotovoltaicos al inversor, se utilizan dos líneas independientes (una por cada MPPT), con una longitud de 12 metros cada una, desde las agrupaciones de paneles hasta la entrada del inversor.
- Para la conexión del inversor a la red de alterna de la vivienda, se utiliza un tramo de 8 metros con la misma sección.

En total, el sistema queda conectado mediante 32 metros de cable de cobre de 4 mm<sup>2</sup>. Esta configuración ha sido introducida en el software PVSOL 2025, que estima unas pérdidas eléctricas por caída de tensión de tan solo el 1%, lo que equivale a aproximadamente 40,1 W, valor completamente aceptable y dentro de los límites recomendados en instalaciones de autoconsumo según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT).

### 6.6.7. Evaluación económica

A pesar de que el análisis económico completo se desarrollará en el apartado 8, el software PVSOL 2025 permite configurar una evaluación económica preliminar, basada en los componentes seleccionados, los parámetros de inyección a red y la evolución estimada del precio de la electricidad. Esta funcionalidad resulta útil para obtener una visión general del ahorro, el retorno de la inversión y la viabilidad económica del sistema instalado.

Para esta instalación se han definido los siguientes parámetros económicos:

- Se estima un coste total de inversión de 5.000 €, que incluye módulos fotovoltaicos, inversor híbrido, sistema de almacenamiento, cableado, estructura y mano de obra.
- El modelo económico seleccionado se basa en el balance energético con inyección de excedentes a la red, permitiendo aprovechar los momentos de sobreproducción para reducir el importe de la factura eléctrica.
- El precio de venta directa de energía al mercado se ha fijado en 0,0000 €/kWh, ya que la instalación se acoge al régimen de compensación simplificada (Tipo 1), donde no se vende energía, sino que se compensa hasta cubrir el consumo mensual neto.
- Se ha seleccionado la tarifa de inyección correspondiente al Real Decreto 244/2019, que regula la compensación económica por excedente vertido a la red en instalaciones residenciales de autoconsumo.
- Se establece un factor de crecimiento del coste de la electricidad del 2 % anual, lo cual es una previsión conservadora basada en la evolución media histórica del precio eléctrico en España.
- El factor de cambio del precio de la remuneración por excedente se mantiene en 0 % anual, al no existir una previsión clara de incremento en el valor de compensación en los próximos años.

Con todos estos datos correctamente definidos en el entorno de simulación, PVSOL 2025 permite calcular automáticamente indicadores económicos clave como el periodo de amortización, el ahorro acumulado a lo largo de la vida útil del sistema, y la rentabilidad estimada de la inversión.

A partir de esta configuración, ya es posible proceder a la simulación global del sistema para conocer el rendimiento energético y económico de la instalación, lo cual se analizará con detalle más adelante.

### 6.6.8. Resultados de la simulación en PVSOL 2025

La simulación realizada en PVSOL 2025, con resolución minatural, confirma que la instalación diseñada (compuesta por 8 módulos fotovoltaicos de 500 Wp y una batería de litio de 5,12 kWh) ofrece un alto rendimiento energético y una notable rentabilidad económica para la vivienda ubicada en Castril (Granada).

Durante el año de simulación, la producción total alcanzó 5.590 kWh, reflejando un excelente aprovechamiento de la radiación solar local. De esta energía:

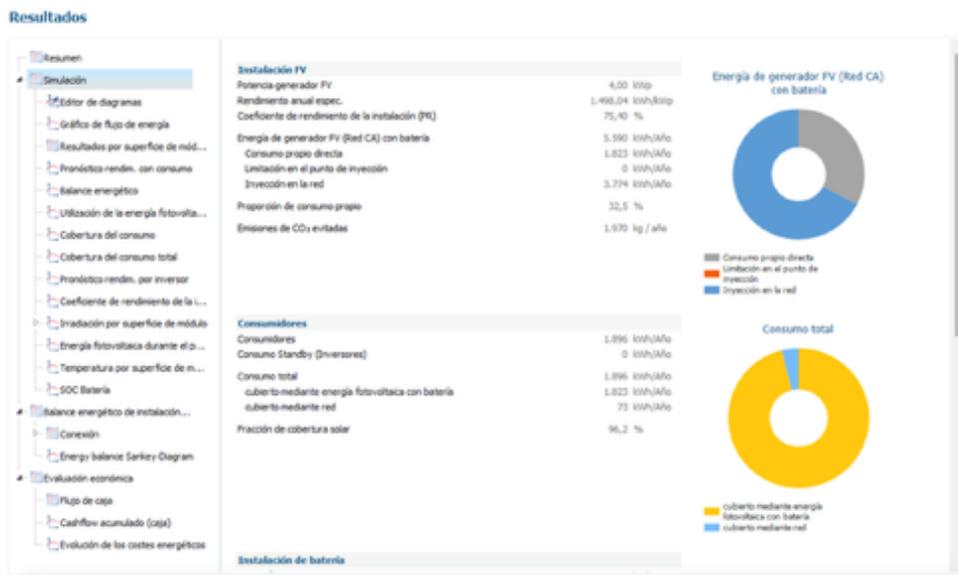


Figura 32: Resultado de la simulación en PVSOL 2025 [Fuen25]

- 3.774 kWh fueron inyectados a la red en régimen de compensación de excedentes.
- 1.816 kWh fueron consumidos por la vivienda, ya sea de forma directa o a través de la batería.
- El consumo desde la red se redujo drásticamente de 1.896 kWh/año a 73 kWh/año, logrando un grado de autosuficiencia del 96,2 %.

En cuanto a la gestión energética interna:

- El consumo directo desde el generador FV fue de 1.010 kWh/año.
- La batería aportó 806 kWh/año, cargados principalmente con excedentes solares.
- Las pérdidas de batería se situaron en 278 kWh/año, un valor bajo y esperable por efectos térmicos y de conversión.
- El PR (Performance Ratio) del sistema alcanzó un 91,7 %, indicador de un diseño optimizado y mínimas pérdidas operativas.

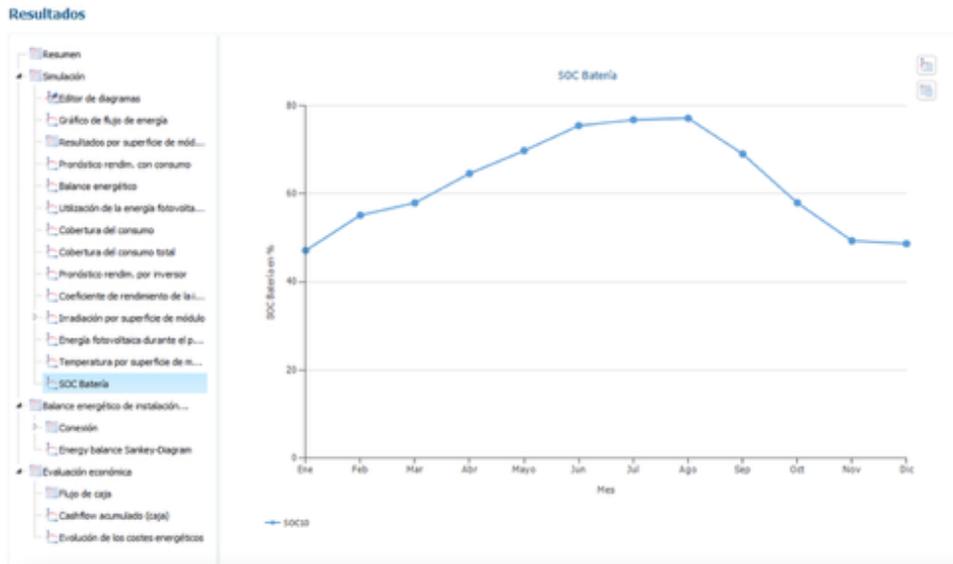


Figura 33: SOC de la batería en PVSOL 2025 [Fuen25]

El análisis del estado de carga (SOC) de la batería mostró una alta disponibilidad (>90 %) entre marzo y septiembre, reduciéndose progresivamente en otoño e invierno, en consonancia con la menor irradiación estacional.



Figura 34: Resumen de la simulación en PVSOL 2025 [Fuen25]

- Energía autoconsumida (FV directa + batería): 1.816 kWh.
- Energía inyectada a red: 3.774 kWh.
- Energía cubierta por la red: 73 kWh.
- Grado de aprovechamiento de la energía generada: 32,5 % (el resto se vierte a red por limitaciones de almacenamiento).

Con respecto a los resultados económicos del software, estos no reflejan con exactitud la situación real del mercado español. La simulación asume que la totalidad del excedente inyectado a red se remunera a un precio elevado (0,21 €/kWh), lo cual no ocurre actualmente en la compensación simplificada (RD 244/2019), donde el valor medio es de 0,05–0,10 €/kWh y no se generan ingresos netos más allá de reducir la factura hasta 0 €. [Ende25]

Además, no se han considerado posibles subvenciones o ayudas públicas, que podrían mejorar la rentabilidad real (se estudiarán en punto 8).

El sistema fotovoltaico propuesto no solo cumple con los objetivos de eficiencia energética y sostenibilidad, sino que también demuestra ser económicamente viable y técnicamente equilibrado. La combinación de una producción elevada, un almacenamiento dimensionado adecuadamente y una gestión óptima de excedentes garantiza una drástica reducción de la dependencia de la red, situando a la vivienda en un escenario cercano al cero emisiones. Con una recuperación de inversión en poco más de seis años y un ahorro significativo a largo plazo, la instalación se presenta como una solución sólida y rentable para el autoconsumo residencial.

## 7. Análisis de mejoras

Antes de la reforma de la vivienda, se partía de una calificación energética E con 67,6 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·año. En gran parte causado por una elevada demanda debido a pérdidas en la envolvente y a un sistema térmico ineficiente (caldera de gasóleo).

Por ello, y con todo lo mencionado en el punto anterior, se procede a analizar cómo sería el resultado de la vivienda con todas las mejoras planteadas:

- **FV + batería:** 8 módulos de 500 Wp con batería (5,12 kWh) que reducen el consumo de red >95 % y emisiones asociadas, maximizando autoconsumo diurno y nocturno.
- **Biomasa + resistencia:** caldera de biomasa con apoyo eléctrico (resistencia) para ACS en verano que sustituye el combustible fósil en calefacción/ACS por recurso renovable de alto rendimiento en clima frío; la resistencia se apoya en FV en verano para ACS sin encender la caldera.
- **SATE en fachadas (solución mixta XPS/EPS según paños):** ataca el principal foco de pérdidas, elimina puentes térmicos y mejora estanqueidad, con impacto directo en demanda de calefacción.
- **Cubierta (interior):** Instalación de Lana de Roca que refuerza el balance térmico en el plano más expuesto, mejorando confort y reduciendo picos de demanda.

Introduciendo todas estas en CE3X nos quedaría lo siguiente:

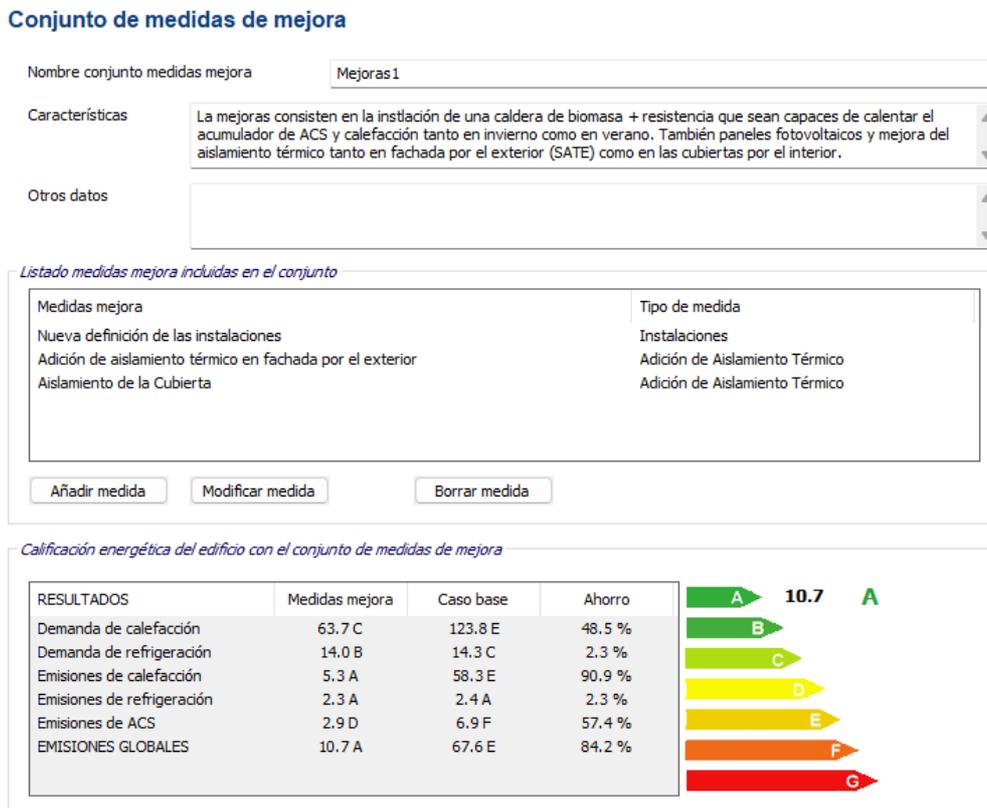


Figura 35: Conjunto de medidas de mejora en CE3X [Fuen25]

Estas mejoras arrojan un resultado de A ( $<12,2 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\cdot\text{año}$ ) en la calificación global del edificio con  $10,7 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\cdot\text{año}$ . Este margen respecto al umbral verifica que, incluso excluyendo el aislamiento interior de cubierta, la vivienda mantendría la letra A. Aun así, la mejora de cubierta se mantiene como recomendable por confort de invierno (reducción de pérdidas y riesgo de condensaciones) y estabilidad térmica, pero no es crítica para alcanzar la A en este caso.

## 8. Análisis económico

- **Sistema FV**

La siguiente tabla recoge el desglose de costes estimados para la instalación fotovoltaica propuesta, incluyendo paneles, inversor, batería, componentes auxiliares, mano de obra y trámites administrativos:

Material	Unidades	Coste unitario	Coste Total
Paneles solares	8 uds	83,37€	666,95€
Inversor	1 ud	450,00€	450,00€
Batería 5,12	1 ud	2.473,00€	2.473,00€
Cables, estructura, protecciones (aprox.)	-	-	450€
Mano de obra (aprox.)	-	-	600€
Trámites	-	-	200€
<b>Total</b>	-	-	4.839,95€
<b>Total (+ 4/5% margen)</b>			≈ 5.000€

Tabla 10: Coste total del Sistema FV [Auto25d]

- **Biomasa**

En la tabla siguiente se detalla el presupuesto asociado a la sustitución de la caldera de gasóleo por una caldera de biomasa Bronpi TecnoHydro 80 V-SP, incluyendo todos los elementos auxiliares necesarios para su integración en el sistema actual:

Material	Unidades	Coste unitario	Coste Total
Bronpi TecnoHydro 80 V-SP	1	1	1.300€
Caldera	0	0	0
Serpentín (Resistencia)	1	1	150€
Chimenea (Parcialmente instalada)	1	1	120€
Conductos, válvulas, bombas...	-	-	2.000€
Mano de obra (aprox.)	-	-	1.000€
<b>Total</b>			4.570€
<b>Total (+ 4/5% margen)</b>			≈ 4.750€

Tabla 11: Coste total de la caldera de biomasa [Fuen25]

- **Aislante térmico SATE**

A continuación, se presentan los costes correspondientes a la instalación de un sistema de aislamiento térmico exterior (SATE) con materiales EPS y XPS, incluyendo el coste de mano de obra especializada:

Material	Unidades	Coste unitario	Coste Total
<b>Materiales aislantes (EPS y XPS)</b>	-	-	1.117€
<b>Instalación</b>	-	-	15.999,6€
<b>Total</b>	-	-	17.116,6€
<b>Total (+ 4/5% margen)</b>	-	-	≈ 17.900€

Tabla 12: Coste total del aislamiento térmico de fachadas exteriores SATE [Fuen25]

- **Aislante térmico interior**

En la siguiente tabla se recogen los costes previstos para la mejora del aislamiento térmico de la cubierta mediante la incorporación de lana de roca, así como su instalación:

Material	Unidades	Coste unitario	Coste Total
<b>Materiales aislantes (Lana de Roca)</b>	-	-	553€
<b>Coste de instalación</b>	-	-	2.726,5€
<b>Total</b>	-	-	3.279,5€
<b>Total (+ 4/5% margen)</b>	-	-	≈ 3.500€

Tabla 13: Coste total del aislamiento térmico de las cubiertas [Fuen25]

- **Coste total**

Finalmente, se presenta el resumen del coste total de las actuaciones propuestas, que permitirá analizar la inversión necesaria antes de la aplicación de las posibles ayudas públicas:

Material	Unidades	Coste unitario	Coste Total
<b>Sistema FV</b>	-	-	4.839,95€
<b>Biomasa</b>	-	-	4.570€
<b>Sistema aislante SATE</b>	-	-	17.116,6€
<b>Sistema aislante cubierta</b>	-	-	3.279,5€
<b>Total</b>	-	-	29.806€
<b>Total (+ 4/5% margen)</b>	-	-	≈31.000€

Tabla 14: Coste total de la reforma [Fuen25]

## 8.1. Ayudas públicas aplicables

Las ayudas al autoconsumo y a renovables térmicas proceden del RD 477/2021 (fondos Next Generation) y se gestionan en Andalucía por la Agencia Andaluza de la Energía (AAE) [Agen25]. Para viviendas, destacan:

- **Programa 4** (autoconsumo FV/eólico, con o sin almacenamiento) y **Programa 5** (solo almacenamiento en instalaciones existentes). En Andalucía, para viviendas, debe justificarse que se consumirá  $\geq 80$  % de la energía generada al año (criterio de elegibilidad).
- **Programa 6** (renovables térmicas en residencial): módulos de ayuda específicos (biomasa, solar térmica, etc.).

Además, para envolvente (SATE y/o cubierta) se aplica el **Plan EcoVivienda – Línea 4**: 40 % del coste con tope 3.000 € por vivienda (convocatoria sujeta a apertura). [Junt24]

### 8.1.1. AAE Programa 4 y 5, residencial (Autoconsumo fotovoltaico + Batería)

En el caso del sistema fotovoltaico con batería, el Programa 4 establece ayudas que varían entre 300 y 600 €/kWp instalado, siendo este último valor el aplicable a potencias inferiores a 10 kWp, como es nuestro caso (4 kWp). A ello se suma un complemento de 55 €/kWp en municipios de reto demográfico, condición que cumple el emplazamiento del proyecto. Para el almacenamiento, la cuantía oscila entre 140 y 490 €/kWh, siendo aplicable este último tramo para capacidades domésticas como la prevista (5,12 kWh). Sin embargo, la normativa andaluza impone un requisito fundamental: el beneficiario debe garantizar que al menos el 80 % de la energía generada anualmente será consumida in situ. La simulación actual de la instalación, con un autoconsumo del 32,5 % y gran parte de la producción vertida a red, no cumpliría este criterio, por lo que en el diseño actual la ayuda para fotovoltaica y batería no sería concedible. Para acceder a ella sería necesario ajustar la configuración, reduciendo potencia FV, incrementando la capacidad de almacenamiento o implementando una gestión de cargas más intensiva.

### 8.1.2. AAE Programa 6 (Biomasa residencial)

En lo que respecta a la biomasa, el Programa 6 del mismo Real Decreto contempla una ayuda fija de 250 €/kW instalado, con un límite máximo de 3.000 € por vivienda en el caso de calderas domésticas. Considerando que la caldera prevista en el proyecto es de unos 30 kW, se alcanza el tope máximo subvencionable. Esta medida no está condicionada por requisitos de autoconsumo eléctrico, sino únicamente por el cumplimiento de criterios de eficiencia y emisiones establecidos en la convocatoria.

### 8.1.3. Plan EcoVivienda – Línea 4 (Envolvente SATE y aislamiento cubierta)

Por otro lado, para las actuaciones sobre la envolvente térmica (SATE en fachadas y aislamiento interior de cubierta) se aplica el Plan EcoVivienda en su Línea 4, que establece una subvención del 40 % del coste elegible con un límite de 3.000 € por vivienda. Este tope se aplica al conjunto de actuaciones, no de forma individual, de modo

que la suma de SATE y cubierta no podría recibir más de 3.000 € en total. En este estudio, para efectos de desglose, este importe se ha repartido proporcionalmente al peso económico de cada actuación: aproximadamente 2.517,63 € para el SATE y 482,37 € para el aislamiento de cubierta.

## 8.2. Coste total

Con los costes aportados por el promotor (4.839,95 € para el sistema fotovoltaico, 4.570 € para la biomasa, 17.116,60 € para el SATE y 3.279,50 € para la cubierta) el total de la inversión asciende a 29.806,05 €. En el escenario actual, sin cumplir el requisito de autoconsumo del 80 %, la ayuda máxima alcanzable sería de 6.000 €, compuesta por 3.000 € del Programa 6 para biomasa y 3.000 € del Plan EcoVivienda para la envolvente. Esto dejaría un coste final neto de 23.806,05 €.

<b>Material</b>	<b>Coste</b>	<b>Subvención</b>	<b>Coste Total</b>
<b>Sistema FV</b>	4.839,95€	No aplica (<80%)	4.839,95€
<b>Biomasa</b>	4.570€	- 3.000€	1.570€
<b>Sistema aislante SATE</b>	17.116,6€	- 3.000€	14.116€
<b>Sistema aislante cubierta</b>	3.279,5€	Aplicado en conjunto con Sistema Aislante SATE	3.297€
<b>Total</b>	29.806€	- 6.000€	23.806€
<b>Total (+ 4/5% margen)</b>	-	-	≈ 24.750€

*Tabla 15: Coste total de la reforma descontando ayudas [Junt24] [Agen25]*

Si, por el contrario, se ajustara el diseño de la instalación fotovoltaica para cumplir el requisito del 80 %, el paquete completo de ayudas alcanzaría los 10.839,95 €, resultado de sumar los 4.839,95 € correspondientes a FV y batería (límite impuesto por el coste real), los 3.000 € para biomasa y los 3.000 € para la envolvente. En este escenario, el coste final neto se reduciría a 18.966,10 €, lo que mejoraría sensiblemente la rentabilidad económica del proyecto.

En resumen, la cuantía de las ayudas en Andalucía para este caso concreto sobre los 6.000 € (10.839,95 € si se planteara modificar la instalación fotovoltaica), dependiendo fundamentalmente de la disponibilidad presupuestaria en el momento de pedir las, de si las convocatorias están abiertas o cerradas o del cumplimiento de requisitos.

## 9. Instalación

Tras el análisis técnico y económico de las distintas medidas propuestas, se ha tomado la decisión de no llevar a cabo la instalación del sistema de aislamiento térmico exterior (SATE). Si bien esta actuación resulta clave para alcanzar la calificación energética A, su elevado coste y el largo periodo de retorno hacen que no sea económicamente prioritaria en el contexto del presente proyecto. En su lugar, se optará por una mejora de la estanqueidad de las ventanas y mejora del aislamiento en zonas concretas donde se detectaron puentes térmicos (punto 5.3), actuación que, si bien no sustituye completamente las prestaciones térmicas del SATE, contribuye de forma significativa a la reducción de infiltraciones y a la mejora del confort interior con un coste mucho más contenido.

El resto de medidas previstas se mantienen sin cambios, dado su impacto directo y significativo en la reducción de la demanda energética y de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Entre ellas, destacan el aislamiento interior de la cubierta, que contribuye a limitar las pérdidas térmicas en invierno y las ganancias en verano, y la instalación de una caldera de biomasa con resistencia eléctrica para ACS, que sustituirá a la actual caldera de gasóleo, reduciendo de forma notable las emisiones asociadas al uso de energía térmica.

Asimismo, se llevará a cabo la instalación de paneles fotovoltaicos para autoconsumo, lo que permitirá reducir considerablemente la dependencia de la red eléctrica y, por ende, la factura energética.

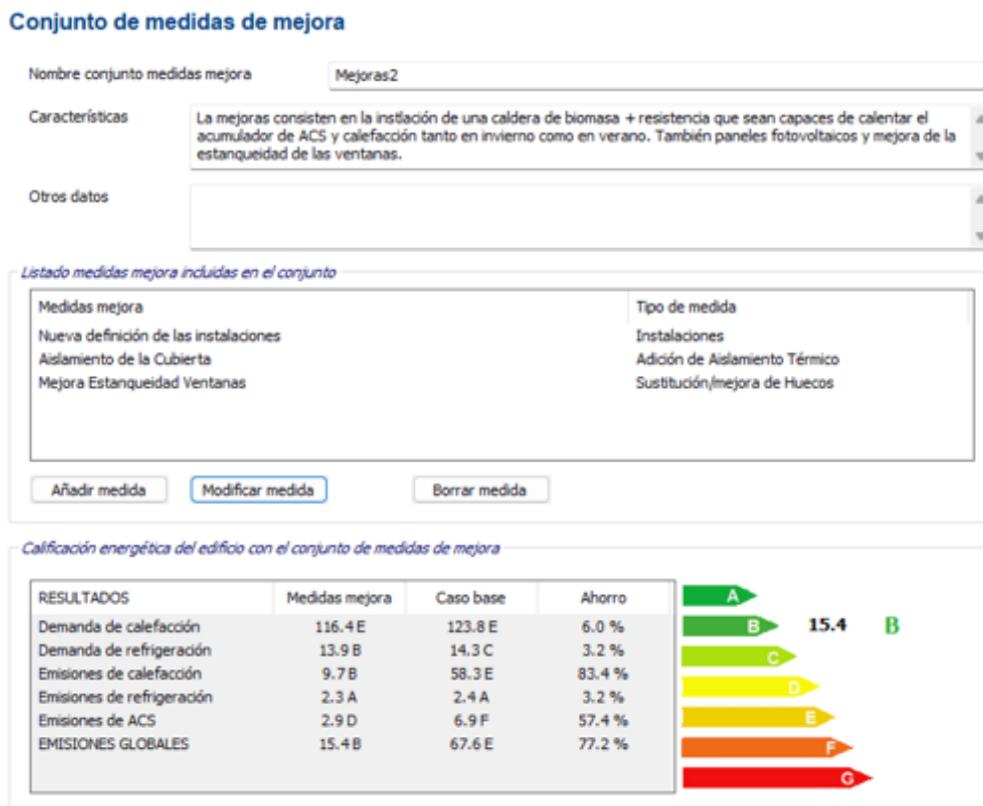


Figura 36: Conjunto de medidas de mejora en CE3X 2 [Fuen25]

Con la implementación de estas mejoras, sin la instalación del SATE, la vivienda alcanzará una calificación energética B, con unas emisiones globales de 15,4 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·año frente a las 67,6 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·año del estado inicial, lo que supone una reducción de aproximadamente el 77 % en las emisiones de gases de efecto invernadero.

Desde el punto de vista económico, se plantea además una optimización de la instalación fotovoltaica. El redimensionado de la potencia FV de 4 kWp a 2,5 kWp, manteniendo la batería de 5,12 kWh y aplicando una gestión activa de cargas, permitiría alcanzar un autoconsumo superior al 80 % (1.516 kWh/año), requisito indispensable para acceder a las ayudas públicas del Programa 4 en Andalucía. Esta reducción no tendría impacto en la calificación energética de la vivienda, pero sí en la viabilidad económica, tanto por el ahorro de inversión inicial como por la posibilidad de percibir la subvención. Esta quedaría de la siguiente forma:

<b>Material</b>	<b>Coste</b>	<b>Subvención</b>	<b>Coste Total</b>
<b>Sistema FV (reducido aprox.)</b>	4.200€	- 4.200€ (>80%)	0€
<b>Biomasa</b>	4.570€	- 3.000€	1.570€
<b>Estanqueidad ventanas y mejora puentes térmicos (aprox.)</b>	1.500€	Se calcula junto con el aislante de la cubierta	1.500€
<b>Sistema aislante cubierta</b>	3.279,5€	- 1.911,8€ (40% del total)	1.367,7€
<b>Total</b>	13.549,5€	- 9111,8€	4.437,7€
<b>Total (+ 4/5% margen)</b>	-	-	≈ 4.600€

*Tabla 16: Coste total de la nueva propuesta de reforma descontando ayudas [Junt24] [Agen25]*

Cabe destacar que esta optimización supone una reducción aproximada de 20.000 € respecto a la estimación inicial del escenario anterior (24.750 € frente a los ~ 4.600 € actuales, incluyendo un pequeño margen para imprevistos).

## 10. Conclusiones

El presente proyecto tenía como meta principal la rehabilitación energética de un cortijo unifamiliar en el norte de la provincia de Granada, buscando la máxima reducción del consumo energético y de las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la integración de energías renovables y soluciones constructivas eficientes. Además, se planteó como referencia la posibilidad de acercarse a un modelo de “vivienda cero”, es decir, autosuficiente energéticamente, pero siempre priorizando la viabilidad económica de las medidas propuestas.

A lo largo del trabajo se han desarrollado e implementado soluciones encaminadas a cumplir los objetivos parciales definidos inicialmente:

- Generación y almacenamiento de energía renovable mediante la instalación de un sistema fotovoltaico con almacenamiento en baterías, reduciendo la dependencia de la red eléctrica.
- Optimización de la demanda energética gracias a la mejora de la envolvente térmica mediante el aislamiento de la cubierta y la mejora de la estanqueidad de ventanas y eliminación de puentes térmicos localizados.
- Sustitución de la caldera de gasóleo por biomasa, con el consiguiente descenso de emisiones y mejora del aprovechamiento energético.
- Aprovechamiento de ayudas públicas como las derivadas del RD 477/2021 y del Plan EcoVivienda, reduciendo significativamente la inversión inicial.

Durante el análisis técnico y económico, se determinó que la instalación de un SATE (si bien necesaria para alcanzar la calificación energética A) no resultaba económicamente prioritaria en este contexto, dado su alto coste y su limitado retorno a medio plazo. En su lugar, se apostó por medidas más asequibles, pero igualmente efectivas para mejorar la eficiencia, como la intervención en carpinterías y puentes térmicos concretos. Asimismo, el dimensionado de la instalación fotovoltaica se ajustó de 4 kWp a 2,5 kWp, manteniendo la batería de 5,12 kWh, para cumplir con los requisitos de subvencionabilidad del Programa 4, optimizando así la relación coste-beneficio.

El nuevo escenario propuesto supone una reducción aproximada de 20.000 € respecto al presupuesto inicial (de 24.750 € a unos 4.600 € estimados), siempre condicionado a la disponibilidad efectiva de ayudas. Aunque esta configuración implica renunciar a ciertos objetivos como la máxima autosuficiencia energética o la reducción total de la dependencia de la red eléctrica, los resultados obtenidos son notables: una mejora de la calificación energética de E a B, una reducción del 77 % en las emisiones (de 67,6 a 15,4 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·año) y un alto grado de autoconsumo superior al 80 %, todo ello con una inversión mucho más asumible para el propietario.

En definitiva, el proyecto demuestra que, mediante un diseño técnico riguroso, una selección estratégica de medidas y un uso inteligente de las ayudas disponibles, es posible

compatibilizar sostenibilidad, eficiencia y viabilidad económica en la rehabilitación energética de viviendas rurales, logrando un impacto ambiental positivo y mejorando de forma sustancial el confort y el rendimiento energético de la edificación.

# Índice de Figuras

Figura 1: Etiqueta de Certificación Energética de una vivienda [Cert25a].....	3
Figura 2: Sistema fotovoltaico conectado a la red [Illum23] .....	7
Figura 3: Sistema aislado [Mari21] .....	8
Figura 4: Sistema fotovoltaico híbrido [Auto25a].....	8
Figura 5: Esquema de funcionamiento de un sistema de energía solar térmica para producción de ACS. [Ener25] .....	9
Figura 6: Instalación de Aerotermia [Tecn21] .....	10
Figura 7: Diagrama de funcionamiento de una bomba de calor [Prec24].....	11
Figura 8: Tipos de captación en sistemas geotérmicos [Unic16].....	13
Figura 9: Ubicación de la vivienda en plano geográfico [Goog25] .....	17
Figura 10: Ubicación detallada de la vivienda [Goog25].....	17
Figura 11: Fachada Sureste de la vivienda (En blanco) [Dire25].....	18
Figura 12: Planificación del proyecto[Fuen25] .....	28
Figura 13: Análisis termográfico – Puente térmico en dintel de puerta [Fuen25] .....	34
Figura 14: Análisis termográfico – Comportamiento heterogéneo en muro de mampostería [Fuen25].....	35
Figura 15: Datos generales de la vivienda en CE3X [Fuen25] .....	36
Figura 16: Envoltente térmica en CE3X [Fuen25].....	37
Figura 17: Librería de cerramientos en CE3X [Fuen25].....	37
Figura 18: Definición de huecos/lucernarios en CE3X [Fuen25] .....	38
Figura 19: Puentes térmicos en CE3X [Fuen25].....	39
Figura 20: Instalaciones térmicas de la vivienda en CE3X [Fuen25] .....	40
Figura 21: Resultados certificado energético de la vivienda en CE3X [Fuen25] .....	41
Figura 22: Poliestireno extruido SL XPS 300KPa Thermogreen 125x60x40cm [Obra25a].....	47
Figura 23: Poliestireno Expandido EPS SATE 20Kg/m3 (2 cm) [Obra25b].....	47
Figura 24: Composición de la cubierta antes de la reforma [Fuen25].....	50
Figura 25: Panel Lana de Roca Sonorock Eco 135x60x4cm [Obra25c].....	51
Figura 26: Composición de la nueva cubierta [Fuen25].....	51
Figura 27: Vista del tipo de instalación, clima y red en PVSOL 2025 [Fuen25].....	58
Figura 28: Patrones de consumo en PVSOL 2025 [Fuen25].....	59
Figura 29: Distribución de los paneles fotovoltaicos en PVSOL 2025 [Fuen25] .....	62
Figura 30: Diseño del inversor en PVSOL2025 [Fuen25] .....	63
Figura 31: Especificaciones de la batería en PVSOL 2025 [Fuen25] .....	65
Figura 32: Resultado de la simulación en PVSOL 2025 [Fuen25] .....	67
Figura 33: SOC de la batería en PVSOL 2025 [Fuen25] .....	68
Figura 34: Resumen de la simulación en PVSOL 2025 [Fuen25] .....	68
Figura 35: Conjunto de medidas de mejora en CE3X [Fuen25] .....	70
Figura 36: Conjunto de medidas de mejora en CE3X 2 [Fuen25] .....	76

## Índice de Tablas

Tabla 1: Resumen de superficies construidas por plantas (m2) [Fuen25].....	18
Tabla 2: Resumen de superficies construidas por usos (m2) [Fuen25].....	19
Tabla 3: Definición de tareas [Fuen25] .....	30
Tabla 4: Consumo eléctrico mensual de la vivienda en kWh[Fuen25].....	32
Tabla 5: Desglose de consumo eléctrico anual de la vivienda [Fuen25].....	33
Tabla 6: Ejemplos de diagnóstico del análisis termográfico de la vivienda [Fuen25]...	35
Tabla 7: Resistencia térmica de las fachadas exteriores según CE3X [Fuen25].....	48
Tabla 8: Elección de material aislante para fachadas exteriores [Fuen25].....	49
Tabla 9: Coste del material aislante de las fachadas exteriores [Fuen25] .....	49
Tabla 10: Coste total del Sistema FV [Auto25d] .....	72
Tabla 11: Coste total de la caldera de biomasa [Fuen25].....	72
Tabla 12: Coste total del aislamiento térmico de fachadas exteriores SATE [Fuen25].	73
Tabla 13: Coste total del aislamiento térmico de las cubiertas [Fuen25].....	73
Tabla 14: Coste total de la reforma [Fuen25].....	73
Tabla 15: Coste total de la reforma descontando ayudas [Junt24] [Agen25].....	75
Tabla 16: Coste total de la nueva propuesta de reforma descontando ayudas [Junt24] [Agen25].....	77

## Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Coeficiente de Rendimiento Estacional (SCOP).....	5
Ecuación 2: Transmitancia térmica (U).....	48
Ecuación 3: Resistencia térmica total de la fachada.....	48
Ecuación 4: Espesor del aislante térmico de la fachada .....	49
Ecuación 5: kWh de FV necesarios para cubrir demanda anual .....	60
Ecuación 6: Número de paneles FV (500W) necesarios para cubrir demanda anual.....	60
Ecuación 7: Número de paneles FV (500W) necesarios para cubrir demanda anual tras aplicar factor de seguridad.....	61
Ecuación 8: Número de paneles FV (500W) necesarios para cubrir demanda + batería de 5,4 kW.....	61

## Índice de Figuras de Anexo

Figura de Anexo 1: Tipologías Residenciales de inmuebles por Comunidad Autónoma [Uci24].....	89
Figura de Anexo 2: Planos de la vivienda 1 [Fuen25] .....	90
Figura de Anexo 3: Datos de la vivienda 2 [Fuen25].....	91
Figura de Anexo 4: Captura de cámara termográfica 1 [Fuen25] .....	92
Figura de Anexo 5: Captura de cámara termográfica 2 [Fuen25] .....	92
Figura de Anexo 6: Captura de cámara termográfica 3 [Fuen25] .....	92
Figura de Anexo 7: Captura de cámara termográfica 4 [Fuen25] .....	93
Figura de Anexo 8: Captura de cámara termográfica 5 [Fuen25] .....	93
Figura de Anexo 9: Datos administrativos en CE3X [Fuen25].....	94
Figura de Anexo 10: Datos generales en CE3X [Fuen25] .....	94
Figura de Anexo 11: Datos catastrales de la vivienda [Dire25] .....	95
Figura de Anexo 12: Ficha técnica Poliestireno Expandido EPS [Obra25b].....	96
Figura de Anexo 13: Ficha técnica Poliestireno Extruido XPS [Obra25a].....	97
Figura de Anexo 14: Ficha técnica Lana de Roca [Obra25c].....	98
Figura de Anexo 15: Ficha técnica Tecno-Hydrobronpi 80 Vision [Bron25].....	99
Figura de Anexo 16: Ficha técnica Panel Fotovoltaico [Auto25c] .....	100
Figura de Anexo 17: Ficha técnica Inversor [Tens25] .....	101
Figura de Anexo 18: Ficha técnica de la Batería 1 [Pylo25].....	102
Figura de Anexo 19: Ficha técnica de la Batería 2 [Pylo25].....	103
Figura de Anexo 20: Cálculo de amortización de las medidas de mejora en CE3X [Fuen25].....	104

## REFERENCIAS

- [Acti22] ACTIVA RENOVABLES: *Todo lo que necesitas saber sobre instalaciones geotérmicas en casa*. URL <https://www.activaenergiasrenovables.com/instalacion-geotermica/>. - 2025-07-18
- [Agen25] AGENCIA ANDALUZA DE LA ENERGÍA: *Incentivos para energías renovables en autoconsumo, almacenamiento y para térmicas en sector residencial*. URL <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/todos-los-programas/incentivos-para-energias-renovables-en-autoconsumo-almacenamiento-y-para-termicas-en-sector-residencial>. - 2025-08-10
- [Aisl25] AISLAENERGY: *SATE económico en Granada*. URL <https://aislaenergy.com/aislamiento-termico-granada/sate/economico/>. - 2025-07-06
- [Auto25a] AUTOSOLAR: *¿Qué es un sistema fotovoltaico híbrido?* . URL [https://autosolar.pe/energia-solar/que-es-un-sistema-fotovoltaico-hibrido?srsltid=AfmBOooOxf\\_GoGxa9DfNTDbdWtGM7NRCwO8RF2Wdkdi5F4Kvje-z6fMo](https://autosolar.pe/energia-solar/que-es-un-sistema-fotovoltaico-hibrido?srsltid=AfmBOooOxf_GoGxa9DfNTDbdWtGM7NRCwO8RF2Wdkdi5F4Kvje-z6fMo). - 2025-07-05
- [Auto25b] AUTOSOLAR: *Baterías para placas solares* . URL <https://autosolar.es/baterias>. - 2025-07-06
- [Auto25c] AUTOSOLAR: *Panel Solar TW 500W N-type Bifacial*. URL <https://autosolar.es/paneles-de-conexion-a-red/panel-solar-500w-bifacial-n-type-tw>. - 2025-07-06
- [Auto25d] AUTOSOLAR: *Precio instalación placas solares 2025 | ¿Cuánto cuesta?* URL <https://autosolar.es/mi-experiencia-placas-solares/cuanto-cuesta-una-instalacion-fotovoltaica> - 2025-08-10
- [Aveb22] AVEBIOM: *Redes de calor con Biomasa, 2022*
- [Bibl23] BIBLUS: *Sistema fotovoltaico conectado a la red*. URL <https://biblus.accasoftware.com/es/sistema-fotovoltaico-conectado-a-la-red/> - 2025-07-05
- [Bron25] BRONPI: *TECNO HYDROBRONPI 80 V*. URL <https://bronpi.com/index.php/es/productos/87-productos/equipos-de-lena/calderas/5857-tecno-hydrobronpi-80-v-sp>. - 2025-07-18
- [Calo23] CALORYFRÍO: *Rehabilitación de fachadas: SATE vs otros sistemas de aislamiento de viviendas*. URL <https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/aislamiento-y-humedad/rehabilitacion-de-fachadas-sate-vs-otros-sistemas-de-aislamiento-de-viviendas.html>. - 2025-07-29
- [Camb25] CAMBIO ENERGETICO: *Aeroterminia: Cómo funciona y sus ventajas*. URL <https://www.cambioenergetico.com/blog/como-funciona-aeroterminia/>. - 2025-07-05
- [Cert25a] CERTICALIA: *Cómo es la etiqueta energética*. URL <https://www.certicalia.com/blog/como-es-la-etiqueta-energetica>. - 2025-07-05
- [Cert25b] CERTICALIA: *Cálculo del aislamiento térmico*. URL <https://www.certicalia.com/blog/calculo-del-aislamiento-termico>. - 2025-08-08
- [Comi20] COMISIÓN EUROPEA: *Oleada de renovación para Europa: ecologizar nuestros edificios, crear empleo y mejorar vidas*. In: , 2020
- [Cron25] CRONO SHARE: *¿Cuánto cuesta poner trasdosados? | Guía de precios para 2025*. URL <https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/poner-trasdosados>. - 2025-07-06

- [Dire25] DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO: *Sede Electrónica del Catastro* . URL <https://www.sedecatastro.gob.es/>. - 2025-08-19
- [Doue10] DOUE: DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA: Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios (2010)
- [Doue12] DOUE: DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA: DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética (2012)
- [Doue13] DOUE: DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA: REGLAMENTO (UE) N o 813/2013 (2013)
- [Ende25] ENDESA: *Compensación de Excedentes de Autoconsumo*. URL <https://www.endesa.com/es/luz-y-gas/autoconsumo-endesa/compensacion-excedentes>. - 2025-08-09
- [Ener25] ENERGÍAS PLASENCIA: *Cómo se genera agua caliente sanitaria con energía solar térmica*. URL <https://www.energiasplasencia.es/como-se-genera-agua-caliente-sanitaria-con-energia-solar-termica/>. - 2025-07-05
- [Foto25] FOTOVOL: *Todo sobre Instalaciones solares aisladas o sistemas off grid*. URL <https://fotovol.com/energias-renovables/instalaciones-solares-aisladas/> - 2025-07-05
- [Fuen25] FUENTE PROPIA: *Fuente propia*. . - 2025-08-10
- [Goog25] GOOGLE: *Google Maps*. URL <https://www.google.com/maps/>. - 2025-08-19
- [Idae07] IDAE: *Energía de la Biomasa*. URL [https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones\\_idae/documentos\\_10374\\_energia\\_de\\_la\\_biomasa\\_07\\_b954457c.pdf](https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_10374_energia_de_la_biomasa_07_b954457c.pdf). - 2025-07-06
- [Idae12] IDAE: INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA: *Diseño de sistemas de intercambio de intercambio geotérmico de geotérmico de circuito cerrado* (2012)
- [Idae21] IDAE: *Guía Práctica para la gestión de ayudas a la Rehabilitación Energética de Edificios*. URL [https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/ayudas\\_y\\_financiacion/GUIA\\_PRACTICA\\_PARA\\_LA\\_GESTION\\_DE\\_AYUDAS\\_A\\_LA\\_REHABILITACION\\_ENERGÉTICA\\_EDIFICIOS\\_2021.pdf](https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/ayudas_y_financiacion/GUIA_PRACTICA_PARA_LA_GESTION_DE_AYUDAS_A_LA_REHABILITACION_ENERGÉTICA_EDIFICIOS_2021.pdf). - 2025-07-06
- [Idae24] IDAE: INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA: *Guía de autoconsumo colectivo, 2024*
- [Idae25] IDAE: INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA: *Calificación Energética de Edificios*. URL <https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/calificacion-energetica-de-edificios>. - 2025-07-05
- [Iea23] IEA: *Energy Efficiency 2023* (2023)
- [Illum23] ILUMINADA CAPACITA: *Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red | On Grid | Interactivo - ilumin | Cursos de Energía Solar*. URL <https://ilumin.online/sistema-fotovoltaico-conectado-a-la-red-on-grid-interactivo/>. - 2025-07-05
- [JiSM17] JIMÉNEZ MACÍAS, ESTHER ; SÁENZ-DÍEZ MURO, JUAN CARLOS ; MARTÍNEZ CÁMARA, EDUARDO: *Análisis económico, energético y ambiental del uso de la aerotermia*, Universidad de La Rioja (2017)
- [Junk25] JUNKERS BOSCH: *Bomba de calor geotérmica* . URL <https://www.bosch-homecomfort.com/es/es/conocimiento/aerotermia/bomba-de-calor-geotermica/> - 2025-07-05

- [Junt24] JUNTA DE ANDALUCÍA: *Plan Eco Vivienda: Programa de ayudas a la mejora de la eficiencia energética en viviendas (Línea 4)* . URL <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/fomentoarticulaciondelterritorioyvienda/areas/vivienda-rehabilitacion/plan-eco-vivienda/paginas/plan-eco-viv-p4.html>. - 2025-08-10
- [Lero25a] LEROY MERLIN: *Cómo elegir aislamiento térmico*. URL <https://www.leroymerlin.es/ideas-y-consejos/como-elegir/como-elegir-aislamiento-termico.html>. - 2025-07-06
- [Lero25b] LEROY MERLIN: *Aeroterminia: Climatización Eficiente y Sostenible*. URL <https://www.leroymerlin.es/productos/energias-renovables/aeroterminia/>. - 2025-07-18
- [Lero25c] LEROY MERLIN: *Aeroterminia para calefacción y ACS: Eficiencia energética y ahorro*. URL <https://www.leroymerlin.es/productos/energias-renovables/aeroterminia/aeroterminia-para-calefaccion-y-acs/>. - 2025-07-18
- [Mari21] MARIN PONS & ASOCIADOS SRL: *Energía Solar Fotovoltaico (2021)*
- [Mite20] MITECO: MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICO Y RETO DEMOGRÁFICO: *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (2020)*
- [Mite25] MITECO: MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICO Y RETO DEMOGRÁFICO: *Eficiencia Energetica*. URL <https://www.miteco.gob.es/es/energia/eficiencia.html>. - 2025-07-05
- [Miva22] MIVAU: MINISTERIO DE VIVIENDA Y AGENDA URBANA: *CTE: Código Técnico de la Edificación*. URL <https://www.codigotecnico.org/>. - 2025-07-05
- [Miva25] MIVAU: MINISTERIO DE VIVIENDA Y AGENDA URBANA: *Ayudas europeas para la rehabilitación de edificios residenciales y viviendas | Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana*. URL <https://www.mivau.gob.es/vivienda/ayudas-europeas-rehabilitacion-edificios-viviendas>. - 2025-07-05
- [Mprc21] MPRCMD: MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA, RELACIONES CON LAS CORTES Y MEMORIA DEMOCRÁTICA: BOE núm. 131 Bd. Sec. I. (2021), S.67351
- [Obra25a] OBRAMAT: *POLIESTIRENO EXTRUIDO SL XPS 300KPA THERMOGREEN 125X60X4CM*. URL <https://www.obramat.es/productos/poliestireno-extruido-sl-xps-300kpa-thermogreen-125x60x4cm-25047119.html>. - 2025-07-06
- [Obra25b] OBRAMAT: *POLIESTIRENO EXPANDIDO EPS GRAFITO SATE 15KG/M3 100X50 CM 8 CM ESPESOR*. URL <https://www.obramat.es/productos/poliestireno-expandido-eps-grafito-sate-15kg-m3-100x50-cm-8-cm-espesor-10784592.html>. - 2025-07-06
- [Obra25c] OBRAMAT: *PANEL LANA DE ROCA ALPHAROCK PREMIUM 135X60X4CM* . URL <https://www.obramat.es/productos/panel-lana-de-roca-alpharock-premium-135x60x4cm-25046700.html>. - 2025-07-06
- [Prec24] PRECIO GAS BY SELECTRA: *Aeroterminio: Precios, instalación y opiniones de los usuarios*. URL <https://preciogas.com/instalaciones/aeroterminia/aeroterminio>. - 2025-07-06
- [Pylo25] PYLONTECH: *Force H3X Hybrid*. URL <https://en.pylontech.com.cn/products/forceh3xdc>. - 2025-08-19
- [PZXM21] PUNGERCAR, VESNA ; ZHAN, QIAOSHENG ; XIAO, YIQIANG ; MUSSO, FLORIAN ; DINKEL, ARNULF ; PFLUG, THIBAUT: *A new retrofitting strategy for the improvement of indoor environment quality and energy efficiency in residential buildings in temperate climate using prefabricated elements*. In: *Energy and Buildings* Bd. 241, Elsevier (2021), S.110951

- [Reno25] RENOVAE ENERGY: *How Much Solar Energy Can You Generate Depending on Where You Live?* URL <https://www.renovaenergy.es/en/how-much-solar-energy-can-you-generate-depending-on-where-you-live/> - 2025-07-05
- [Reps24a] REPSOL: *Energía termosolar: qué es y beneficios.* URL <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-termosolar/index.cshtml>. - 2025-07-05
- [Reps24b] REPSOL: *¿Cuántas placas solares necesito instalar?* URL <https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/cuantas-placas-solares-necesito/>. - 2025-07-06
- [Rhon25a] RHONATHERM: *Precio m2 SATE: ¿Cuánto cuesta en fachadas?* URL <https://www.saterhonatherm.com/blog/precio-m2-sate-fachada>. - 2025-07-06
- [Rhon25b] RHONATHERM: *Aislamiento EPS Vs Aislamiento poliestireno extruido XPS.* URL <https://www.saterhonatherm.com/blog/aislamiento-eps-placas-poliestireno-extruido/>. - 2025-08-08
- [Sola25] SOLARREVIEWS: *Solar Panel Payback Period And ROI: How Long Does It Take For Solar Panels To Pay For Themselves?* URL <https://www.solarreviews.com/blog/how-to-calculate-your-solar-payback-period> - 2025-07-05
- [Stev15] STEVE SORELL: Reducing energy demand: A review of issues, challenges and approaches. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 47 Bd. 74–82 (2015)
- [Tecn21] TECNIGRADO: *Aeroterminia: Qué es y cómo funciona.* URL <https://www.tecnigrado.com/aeroterminia-que-es/>. - 2025-07-05
- [Tens25] TENSITE ENERGY: *Inversor de conexión a red Monofásico Tensite 4kW.* URL <https://www.tensite-energy.com/inversores-solares/red/inversor-de-conexion-a-red-monofasico-tensite-4kw/>. - 2025-08-19
- [Uci24] UCI: *España suspende en eficiencia energética en los hogares: el 87% de las viviendas tiene una calificación energética E, F o G.* URL <https://uci.com/es/sala-de-comunicacion/nota-de-prensa/espana-suspende-en-eficiencia-energetica-en-los-hogares-el-87-de-las-viviendas-tiene-una-calificacion-energetica-e-f-o-g/>. - 2025-07-05
- [Une21] UNE: *UNE-EN ISO 6946:2021 Componentes y elementos para la edificación.* URL <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0065066>. - 2025-08-08
- [Unen20] UNE: NORMALIZACIÓN ESPAÑOLA: *UNE-EN ISO 10077-1:2020 Comportamiento térmico de ventanas, puertas y persianas. Cálculo de la transmitancia térmica. Parte 1: Generalidades.* URL <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0063191>. - 2025-07-06
- [Unen23] UNE: NORMALIZACIÓN ESPAÑOLA: *UNE-EN 14511-1:2023 Acondicionadores de aire, enfriadoras de l...* URL <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0071361>. - 2025-07-06
- [Unic16] UNICEN: *Geotermia somera: una energía renovable al alcance de todos.* URL <https://www.unicen.edu.ar/content/geotermia-somera-una-energ%C3%ADa-renovable-al-alcance-de-todos>. - 2025-07-05
- [Weat25] WEATHER SPARK: *El clima en Castril, el tiempo por mes, temperatura promedio (España) .* URL <https://es.weatherspark.com/y/38271/Clima-promedio-en-Castril-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>. - 2025-07-18



# ANEXO

## Antecedentes

CCAA	A	B	C	D	E	F	G	Total
Nacional	0,70%	0,90%	2,20%	9,26%	55,87%	10,85%	20,22%	100,00%
Andalucía	0,96%	1,22%	2,77%	11,37%	59,96%	8,26%	15,43%	100,00%
Aragón	0,91%	1,01%	2,63%	9,42%	58,84%	10,87%	16,30%	100,00%
Asturias	0,41%	0,41%	1,65%	8,82%	50,69%	11,04%	26,96%	100,00%
Islas Baleares	0	0	0	0	0	0	0	0
Canarias	1,32%	0,88%	1,76%	4,67%	18,11%	6,33%	66,93%	100,00%
Cantabria	0,38%	0,42%	1,80%	8,28%	56,81%	12,32%	20,00%	100,00%
Castilla y León	1,71%	1,18%	3,42%	12,24%	58,41%	10,94%	12,11%	100,00%
Castilla-La Mancha	1,04%	1,25%	2,69%	11,10%	56,12%	12,76%	15,04%	100,00%
Cataluña	0,55%	0,89%	1,87%	7,65%	54,63%	12,49%	21,91%	100,00%
Comunidad Valenciana	0,32%	0,88%	1,85%	7,76%	58,11%	10,40%	20,67%	100,00%
Extremadura	0,12%	0,31%	1,12%	6,64%	64,96%	11,70%	13,12%	100,00%
Galicia	1,36%	1,14%	2,65%	8,59%	51,92%	12,72%	21,62%	100,00%
Madrid	0,29%	0,56%	2,42%	12,34%	59,74%	9,47%	15,19%	100,00%
Región de Murcia	0,87%	1,30%	3,36%	15,41%	67,69%	7,13%	4,25%	100,00%
Navarra	2,29%	1,19%	4,33%	15,66%	58,17%	10,63%	7,70%	100,00%
País Vasco	0,72%	0,39%	0,39%	4,93%	47,17%	14,60%	31,79%	100,00%
La Rioja	0,69%	0,66%	3,25%	12,43%	63,46%	10,40%	9,06%	100,00%
Ceuta	0,00%	0,31%	0,02290076	10,28%	64,44%	5,66%	17,02%	100,00%

Figura de Anexo 1: Tipologías Residenciales de inmuebles por Comunidad Autónoma [Uci24]



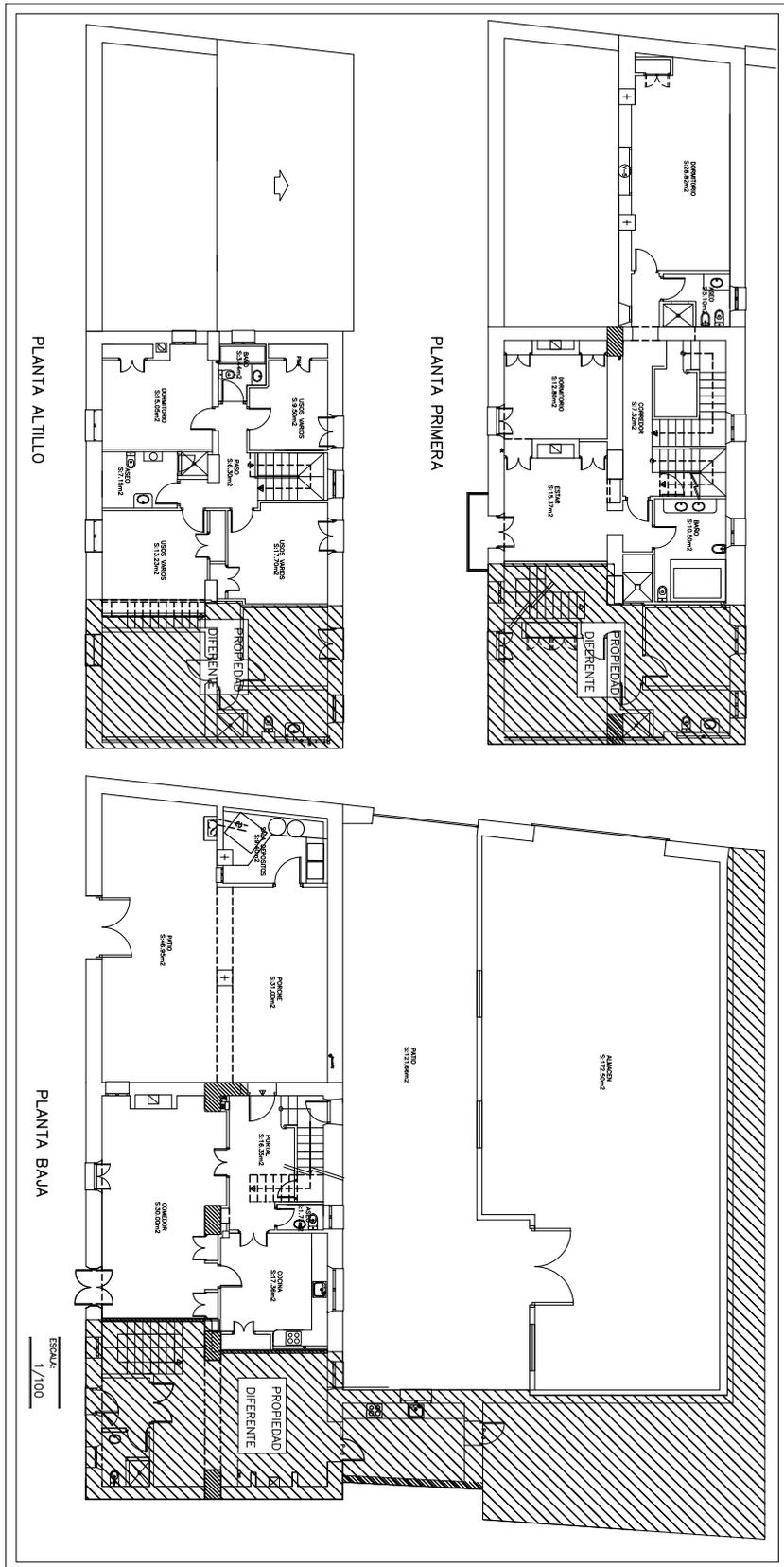


Figura de Anexo 3: Datos de la vivienda 2 [Fuen25]

### 5.3. Condiciones térmicas de la vivienda

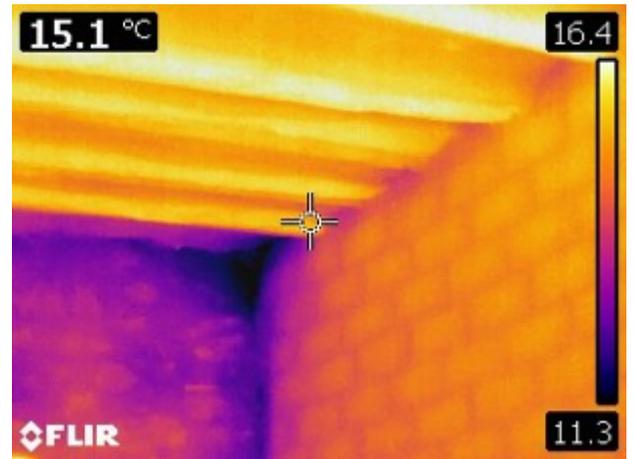


Figura de Anexo 4: Captura de cámara termográfica 1 [Fuen25]

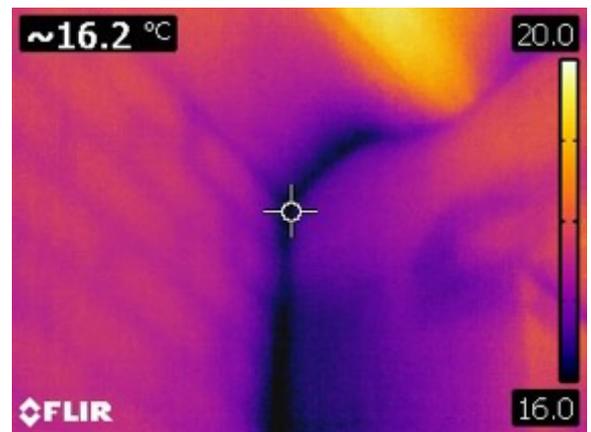


Figura de Anexo 5: Captura de cámara termográfica 2 [Fuen25]

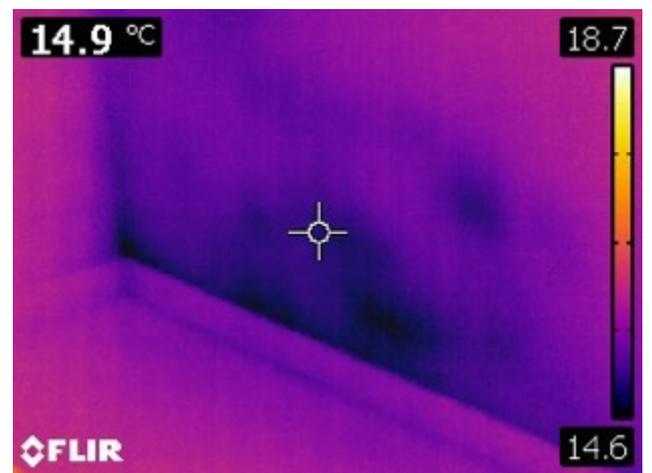
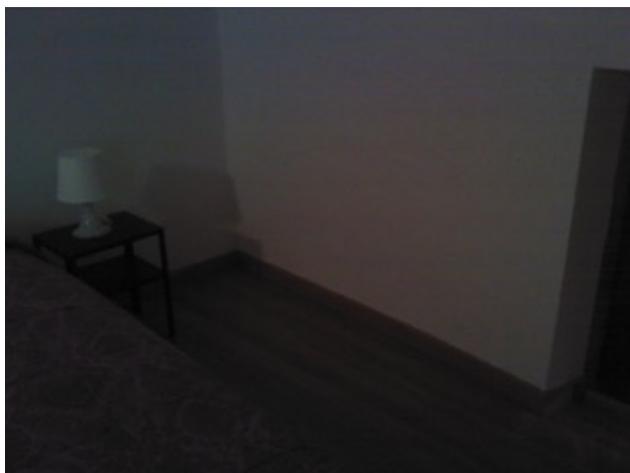


Figura de Anexo 6: Captura de cámara termográfica 3 [Fuen25]

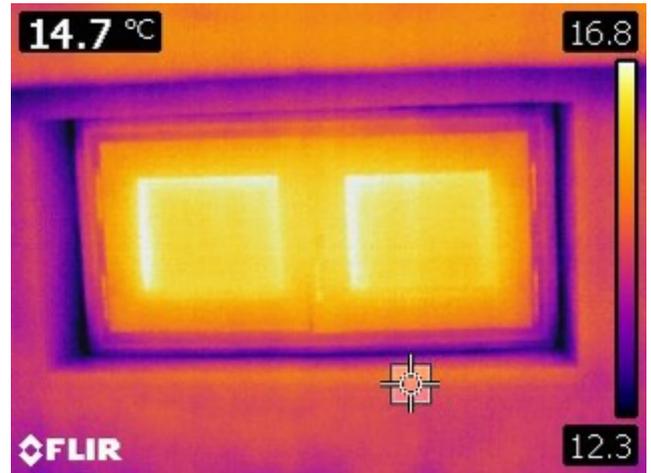


Figura de Anexo 7: Captura de cámara termográfica 4 [Fuen25]

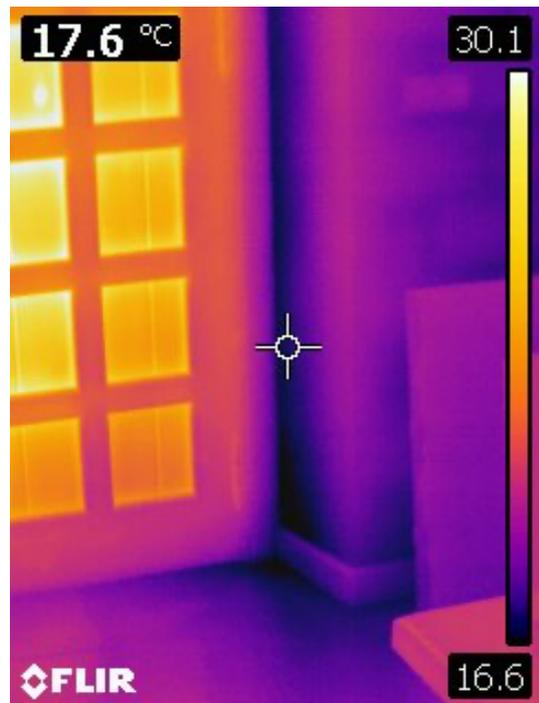


Figura de Anexo 8: Captura de cámara termográfica 5 [Fuen25]

## 5.4 Certificado energético en C3EX

The screenshot shows the CE3X software interface with the following data entered:

- Localización e identificación del edificio:**
  - Nombre del edificio: Cortijo del Cerro del Cubo
  - Dirección: Polígono 5 Parcela 507
  - Provincia/Ciudad autónoma: Granada
  - Localidad: Beza
  - Código Postal: 18816
  - Referencia Catastral: 18047A00500507
- Datos del cliente:**
  - Nombre o razón social: Manuel Alguacil Sevilla
  - Dirección: Polígono 5 Parcela 507
  - Provincia/Ciudad autónoma: Granada
  - Localidad: CERRO CUBO, CASTRIL
  - Código Postal: 18816
  - Teléfono: 667720736
  - E-mail: (empty)
- Datos del técnico certificador:**
  - Nombre y Apellidos: Pablo Alguacil Muñoz
  - Razón social: (empty)
  - Dirección: Calle Juan Álvarez Mendizábal 59
  - Provincia/Ciudad autónoma: Madrid
  - Localidad: Madrid
  - Código Postal: 28008
  - Teléfono: 662024026
  - E-mail: pablo\_alguacil@hotmail.com
  - Titulación habilitante según normativa vigente: Ingeniero Técnico Industrial
  - NIF: 78992579L
  - CIF: (empty)

Figura de Anexo 9: Datos administrativos en CE3X [Fuen25]

The screenshot shows the CE3X software interface with the following data entered:

- Datos generales:**
  - Normativa vigente: Anterior
  - Año construcción: 1900
  - Tipo de edificio: Vivienda Individual
  - Provincia/Ciudad autónoma: Granada
  - Localidad: Beza
  - Zona climática: D3
  - HE-1: (empty)
  - HE-4: (empty)
- Definición edificio:**
  - Superficie útil habitable: 227,04 m<sup>2</sup>
  - Altura libre de planta: 2,7 m
  - Número de plantas habitables: 3
  - Ventilación del inmueble: 0,63 ren/h
  - Demanda diaria de ACS: 120 l/día
  - Masa de las particiones internas: Meda
  - Se ha ensayado la estanqueidad del edificio

Two images are displayed: 'Imagen edificio' (a photograph of a white building) and 'Plano situación' (an aerial map showing the building's location).

Figura de Anexo 10: Datos generales en CE3X [Fuen25]



## 6.2. Aislamiento térmico de los muros exteriores



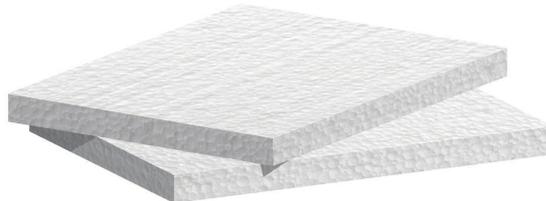
### FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO

#### PLANCHA D10 (TIPO I)

Roycle S.L. B41286212 P.I. La Red, c/ Once 1 Alcalá de Guadaíra CP: 41500 Tfn: 954 10 04 61 Fax: 954 10 04 62 royacle@royacle.com	 020/002901	
--	----------------	--

DIMENSIONES (mm)	TIPO	ESPESOR	RESISTENCIA TÉRMICA	UDS/PAQ	NORMATIVA	
LARGO: 2000 ANCHO: 1000-1200	I	10	0,20	m <sup>2</sup> K/W	60	UNE-EN 13163:2013+A2:2017
		20	0,40		30	
		30	0,65		20	
		40	0,85		15	
		50	1,05		12	
		60	1,30		10	
		70	1,50		8	
		80	1,70		7	
		90	1,95		7	
		100	2,15		6	

Reaccion al Fuego UNE EN 13501-1:2019	Euroclases	E
Conductividad térmica UNE EN 12667-2002	W/m*K	0,046
Codigo de tolerancias dimensionales UNE EN 13163:2013+A2	T(2) - L(3) - W(3) - S(5) - P(10)	
Estabilidad dimensional UNE EN 13163:2013+A2	DS(N)5 - DS(70,90)	
Resistencia a flexión UNE EN 12089:2013	BS50	≥ 50 kPa
Resistencia a compresión 10% de deformación UNE EN 826:2013	kPa	≥ 30



[FTP10 12/2022 v1.0](#)

Figura de Anexo 12: Ficha técnica Poliestireno Expandido EPS [Obra25b]

## THERMOGREEN SL

THERMOGREEN SL es una plancha de poliestireno extruido (XPS) de estructura celular cerrada utilizada como aislante térmico. Se presenta en forma de planchas de 1250x600 mm, de superficie lisa y acabado lateral en media madera.

### CAMPO DE APLICACIÓN RECOMENDADO:

- Cubierta plana invertida.
- Cubierta inclinada (tejas ancladas con rastrel).
- Aislamiento de suelos.
- Aislamiento de muros enterrados.

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

THERMOGREEN SL es un aislante térmico conforme a la norma UNE EN 13164.

CARACTERÍSTICA	VALOR	UNIDAD	NORMA																																																	
Conductividad térmica	0,032 (espesor: 40-80 mm)	W/m·K	EN 12667 / EN 12939																																																	
	0,034 (espesor: 90-120 mm)	W/m·K																																																		
	0,035 (espesor: 130-200 mm)	W/m·K																																																		
Resistencia térmica	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Espesor:</th> <th>R<sub>D</sub>:</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>40</td><td>1,20</td><td>m<sup>2</sup>·K/W</td></tr> <tr><td>50</td><td>1,50</td><td>m<sup>2</sup>·K/W</td></tr> <tr><td>60</td><td>1,85</td><td>m<sup>2</sup>·K/W</td></tr> <tr><td>70</td><td>2,15</td><td>m<sup>2</sup>·K/W</td></tr> <tr><td>80</td><td>2,45</td><td>m<sup>2</sup>·K/W</td></tr> <tr><td>90</td><td>2,70</td><td>m<sup>2</sup>·K/W</td></tr> <tr><td>100</td><td>3,00</td><td>m<sup>2</sup>·K/W</td></tr> <tr><td>110</td><td>3,30</td><td>m<sup>2</sup>·K/W</td></tr> <tr><td>120</td><td>3,60</td><td>m<sup>2</sup>·K/W</td></tr> <tr><td>130</td><td>3,75</td><td>m<sup>2</sup>·K/W</td></tr> <tr><td>140</td><td>4,05</td><td>m<sup>2</sup>·K/W</td></tr> <tr><td>150</td><td>4,35</td><td>m<sup>2</sup>·K/W</td></tr> <tr><td>160</td><td>4,65</td><td>m<sup>2</sup>·K/W</td></tr> <tr><td>180</td><td>5,20</td><td>m<sup>2</sup>·K/W</td></tr> <tr><td>200</td><td>5,80</td><td>m<sup>2</sup>·K/W</td></tr> </tbody> </table>	Espesor:	R <sub>D</sub> :		40	1,20	m <sup>2</sup> ·K/W	50	1,50	m <sup>2</sup> ·K/W	60	1,85	m <sup>2</sup> ·K/W	70	2,15	m <sup>2</sup> ·K/W	80	2,45	m <sup>2</sup> ·K/W	90	2,70	m <sup>2</sup> ·K/W	100	3,00	m <sup>2</sup> ·K/W	110	3,30	m <sup>2</sup> ·K/W	120	3,60	m <sup>2</sup> ·K/W	130	3,75	m <sup>2</sup> ·K/W	140	4,05	m <sup>2</sup> ·K/W	150	4,35	m <sup>2</sup> ·K/W	160	4,65	m <sup>2</sup> ·K/W	180	5,20	m <sup>2</sup> ·K/W	200	5,80	m <sup>2</sup> ·K/W			EN 12667 / EN 12939
	Espesor:	R <sub>D</sub> :																																																		
	40	1,20	m <sup>2</sup> ·K/W																																																	
	50	1,50	m <sup>2</sup> ·K/W																																																	
	60	1,85	m <sup>2</sup> ·K/W																																																	
	70	2,15	m <sup>2</sup> ·K/W																																																	
	80	2,45	m <sup>2</sup> ·K/W																																																	
	90	2,70	m <sup>2</sup> ·K/W																																																	
	100	3,00	m <sup>2</sup> ·K/W																																																	
	110	3,30	m <sup>2</sup> ·K/W																																																	
	120	3,60	m <sup>2</sup> ·K/W																																																	
130	3,75	m <sup>2</sup> ·K/W																																																		
140	4,05	m <sup>2</sup> ·K/W																																																		
150	4,35	m <sup>2</sup> ·K/W																																																		
160	4,65	m <sup>2</sup> ·K/W																																																		
180	5,20	m <sup>2</sup> ·K/W																																																		
200	5,80	m <sup>2</sup> ·K/W																																																		
Resistencia a compresión	≥ 300	kPa	EN 826																																																	
Reacción al fuego	E	Euroclase	EN 13501-1																																																	
Tolerancia en espesor	T1	-	EN 823																																																	
Tolerancia en longitud	-8 / +8	mm	EN 822																																																	
Tolerancia en anchura	-8 / +8	mm	EN 822																																																	
Rectangularidad	≤ 5	mm/m	EN 824																																																	
Planimetría	≤ 6	mm/m	EN 825																																																	
Estabilidad dimensional (70°C y 90%)	≤ 5	%	EN 1604																																																	
Absorción de agua por inmersión total	≤ 0,7	%	EN 12087																																																	
Absorción de agua por difusión	≤ 3	%	EN 12088																																																	
Deformación bajo carga y temperatura	≤ 5	%	EN 1605																																																	
Coefficiente lineal de dilatación térmica	0,07	mm/m·K	-																																																	

## 6.3. Aislamiento térmico de las cubiertas

# Sonorock Eco



### Características técnicas

Propiedad	Descripción				Norma
Densidad nominal (kg/m <sup>3</sup> )	30				EN 1602
Conductividad térmica (W/m·K)	0,036				EN 12667
Dimensiones (mm)	1350 x 600 / 1350 x 400				
Reacción al fuego / Euroclase	A1				EN 13501.1
Resistencia térmica	Espesor (mm)	Resistencia térmica (m <sup>2</sup> K/W)	Espesor (mm)	Resistencia térmica (m <sup>2</sup> K/W)	
	40	1.10	100	2.75	
	50	1.35	120	3.30	
	60	1.65	140	3.85	
	80	2.20			
Tolerancia de espesor (mm)	T3				EN 823
Estabilidad dimensional a una temperatura y humedad específicas	DS (70,90)				EN 1604
Resistividad al flujo de aire	Afr5	(> 5 KPa · s/m <sup>2</sup> )		EN 29053	
Resistencia al paso del vapor de agua	MU1	(μ = 1)		EN 12086	
Absorción de agua a corto plazo	WS	(< 1,0 kg/m <sup>2</sup> )		EN 1609	



7

Las

fortalezas de la roca

Resiliencia al fuego

Propiedades térmicas

Prestaciones acústicas

Robustez

Estética

Comportamiento al agua

Circularidad

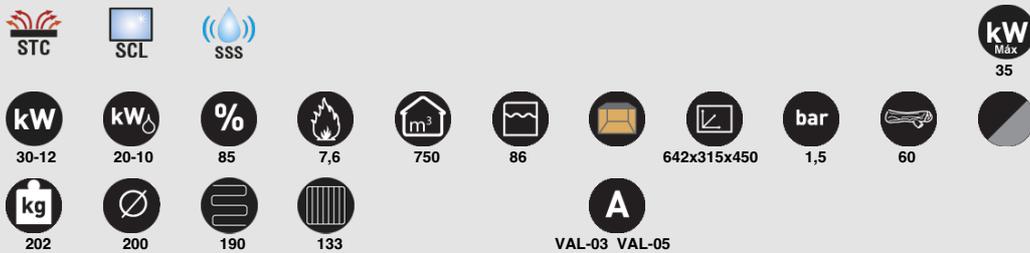


Versión: Abril 2023

Figura de Anexo 14: Ficha técnica Lana de Roca [Obra25c]

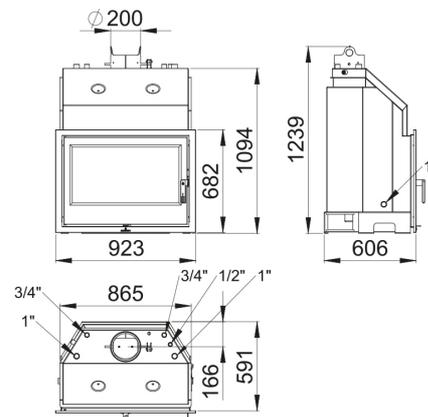
## 6.5. Sustitución de instalaciones térmicas

### TECNO-HYDROBRONPI-80-VISION



#### Características

- Sistema de Triple Combustión
- Sistema de Cristal Limpio
- Sistema de Sistema de Seguridad de Sobrepresión
- Potencia máx.: 35kw
- Potencia calorífica: 30-12kw
- Potencia al agua (kW): 20-10kw
- Rendimiento (%): 85%
- Consumo (kg/h): 7,6kg/h
- Volumen calefactable (m3): 750m3
- Capacidad del depósito (l): 86l
- Interior vermiculita
- Elaborado en fundición y acero
- Peso (kg): 202kg
- Diámetro salida de humos (mm): 200mm
- Boca útil cámara (mm): 712x362x445mm
- Presión de trabajo (bar): 1,5bar
- Tamaño máx. troncos (cm): 70cm
- Suelo radiante (m2): 190
- N° de elementos radiador: 133
- Accesorios compatibles no incluidos: VAL-03; VAL-05



Dada la continua mejora de nuestros productos y el perfeccionamiento de nuestro proceso de fabricación, las dimensiones, la estética del producto y las características técnicas están sujetas a posibles variaciones sin previo aviso por parte de nuestra empresa.

[www.bronpi.com](http://www.bronpi.com)



Figura de Anexo 15: Ficha técnica Tecno-Hydrobronpi 80 Vision [Bron25]

## 6.6. instalación de Sistemas Fotovoltaicos

Tensite
N-Type TOPCon 500W

Datos Eléctricos STC
N-Type TOPCon 500W

Máxima potencia (P <sub>max</sub> /W)	500W ±3%
Corriente de potencia máxima (I <sub>mp</sub> )	13,50A
Voltaje de potencia máxima (V <sub>mp</sub> )	37,05V
Corriente de cortocircuito (I <sub>sc</sub> )	14,25A ±5%
Voltaje de circuito abierto (V <sub>oc</sub> )	44,40V ±4%
Eficiencia del módulo	22,25%
Capacidad máx. fusible en serie	25A
Número de diodos	3
Tolerancia positiva en vatios	0 ~ +5W
Condiciones de prueba estándar	1000 W/m <sup>2</sup> , 25 °C, AM 1.5
Tensión máxima del sistema	1500Vdc
Coefficiente de temperatura I <sub>sc</sub>	0,043% / °C
Coefficiente de temperatura V <sub>oc</sub>	-0,24% / °C
Coefficiente de temperatura P <sub>mp</sub>	-0,30% / °C
Rango temperatura funcionamiento	-40°C / +85°C
Temperatura operación célula [TONC]	45°C
Capacidad de carga cubierta del módulo	5400Pa (IEC61215) (nieve)
Capacidad de carga cara frontal/trasera	2400Pa (IEC61215) (viento)

\*Condiciones Estándar de Medida STC. Irradiación 1.000 W/m<sup>2</sup>, espectro AM1.5, célula a 25°C.

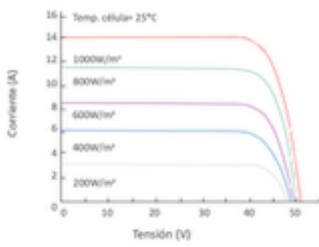
Rendimiento Eléctrico (TONC)

Potencia máxima (P <sub>max</sub> /W)	382W
Voltaje de potencia máxima (V <sub>mp</sub> )	33,85V
Corriente de potencia máxima (I <sub>mp</sub> )	11,28A
Voltaje de circuito abierto (V <sub>oc</sub> )	40,5V
Corriente de cortocircuito (I <sub>sc</sub> )	11,89A

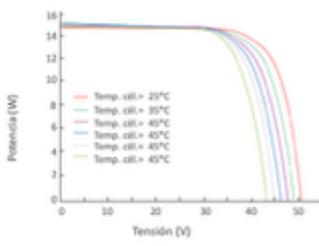
Características mecánicas

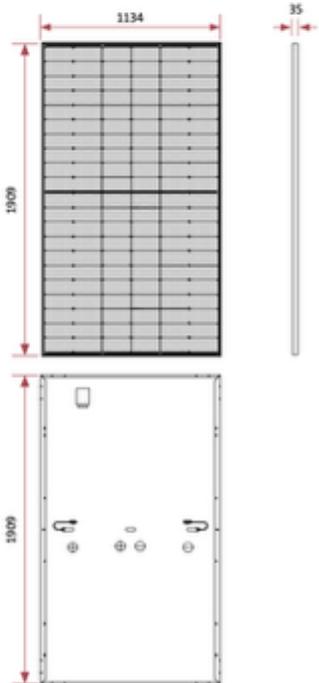
Tipo de célula	N-Type
Peso del módulo	23kg
Dimensiones del módulo (L/W/H)	1909x1134x35mm
Cubierta frontal/trasera (material/grosor)	Vidrio templado / 3,2mm
Células (cantidad/dimensiones)	120(6x10x2)
Marco (material/color)	Aleación de aluminio anodizado/plata
Grado protección caja de conexiones	≥IP68
Cables y conectores	4mm <sup>2</sup> , 1200mm en longitud
Clasificación de calidad	Clase A
Clase de protección eléctrica	Clase II
Clase de seguridad contra incendios	Clase C

Características temperaturas @25°C y niveles variables de irradiancia



Características temperaturas variables e irradiancia constante de 1.000 W/m²





**Tensite**  
info@tensite-energy.com  
www.tensite-energy.com





V-ES-3  
Patrocinador oficial de

Figura de Anexo 16: Ficha técnica Panel Fotovoltaico [Auto25c]

<b>Entrada Fotovoltaica</b>	Máx. potencia del conjunto fotovoltaico	6000 Wp STC
	Tensión de entrada máx.	600 V
	Rango de tensión MPPT/ Tensión nominal de entrada	60 V a 560 V / 360 V
	Tensión mínima de entrada/ Tensión de arranque	60 V / 100 V
	Nº de rastreadores MPPT independientes/cadenas por entrada MPPT	2/1
	Corriente de entrada máx. por MPPT	36 A
	Corriente de cortocircuito por MPPT	24 A
<b>Salida de CA</b>	Rango de tensión de CA	180 V a 295 V
	Tensión nominal de CA	220 V / 230 V / 240 V
	Fases de alimentación	1
	Frecuencia / rango de red de CA	50 Hz/45 Hz a 55 Hz
		60 Hz/55 Hz a 65 Hz
	Potencia activa nominal	4000 W
	Potencia aparente nominal	4000 VA
	Potencia aparente máx.	4400 VA *
	Intervalo de factor de potencia ajustable	1/0.8 capacitivo - 0.8 inductivo
	Corriente máx. de salida de red	20 A
Armónicos THDi (a potencia nominal)	<= 3%	
<b>Eficiencia y Protección de Seguridad</b>	Eficiencia máx. / Eficiencia europea	97.8% / 97.5%
	Dispositivo de desconexión del lado de CC	●
	Protección de polaridad inversa de CC / Protección contra cortocircuitos de CA	● / ●
	Unidad de monitoreo de corriente residual omnipolar	●
	Protección contra aislamiento	●
	Monitorización nocturna	○
	Monitorización de fallos de conexión a tierra / Monitorización de la red	● / ●
	Protección contra sobretensión de CA	● / Tipo II
Clase de protección (según IEC 62109-1) / Categoría de sobretensión (según IEC 62109-1)	I / CA: III; CC: II	
<b>Datos Generales</b>	Dimensiones (ancho/alto/profundidad)	368 / 325 / 145 mm
	Peso del dispositivo	9.5 kg
	Rango de temperaturas de funcionamiento	-25°C ... +60°C
	Topología	Sin aislamiento
	Consumo nocturno	< 1 W
	Concepto de enfriamiento	Corrección natural
	Grado de protección (según IEC 60529)	IP66
	Categoría climática (según IEC 60721-3-4)	4E4H
	Valor máx. admisible de humedad relativa (sin condensación)	100%
Altitud máx. en funcionamiento	4000 m	
<b>Características</b>	Interfaz de comunicación **	Wi-Fi / 4G / RS485 (opcional)
	Indicadores LED (de estado/error/comunicación)	●
	Conexión CC	Conector para enchufar
	Conexión CA	Conector para enchufar
	Tipo de montaje	Soporte para pared
	Certificados y autorizaciones (otras previa petición)	AS/NZS 4777.2, IEC 62109-1/2, IEC 61727, IEC 62116, NB/T32004

● Características estándar ○ Características opcionales - No disponible

1. Instalaciones de exportación cero compatibles con RS485 de 2 pines para conexión a medidores inteligentes aprobados.
2. DRED compatible con comunicación RS485 para Australia y Nueva Zelanda.
3. La configuración de sobrecarga está deshabilitada de forma predeterminada para los códigos de red AS/NZS4777.
4. Para códigos de red europeos y AS/NZS4777, la potencia aparente máxima en CA es igual a la potencia nominal. Datos en condiciones nominales. Toda la información está sujeta a cambios.

**Tensite**  
 info@tensite-energy.com  
 www.tensite-energy.com



Figura de Anexo 17: Ficha técnica Inversor [Tens25]

# Force H3X Hybrid

## Single Phase

HY-1P-EU

### Module

FH3X3.6K-HY-1P  
EU-5/10/15/20

FH3X5K-HY-1P  
EU-5/10/15/20

FH3X6K-HY-1P  
EU-5/10/15/20

FH3X8K-HY-1P  
EU-5/10/15/20

### Main System Data

Battery Module	FH10050			
Number of Battery Modules	1/2/3/4			
Maximum PV Power (kW)	9.6	9.6	9.6	9.6
System Rated Capacity (kWh)	5.12/10.24/15.36/20.48			
Nominal Power (kW)	3.6	5	6	8
IP Rate	IP55			

### Inverter Data

Maximum Power (kW)	9.6	9.6	9.6	12.8
Maximum DC Input Voltage (Vdc)	600			
Start Up Voltage (Vdc)	80			
Number of MPPT	2	2	2	3
DC Input Number of PV Strings Per MPPT	1			
(From PV) MPPT Voltage Range (Vdc)	80-550			
MPPT Full Load Voltage Range (Vdc)	190-520			
Maximum Current (A)	16			
Short Circuit Current Per MPPT (A)	25			
Surge Protection	Type II			
Nominal AC Voltage/Frequency (Vac)	230@50/60Hz			
Grid Voltage Range (Vac)	172.5-264.5			
On-Grid Grid Connection	L/N/PE			
Nominal AC Power (kW)	3.6	5	6	8
Maximum Grid Input Power (kW)	5.7	7.5	9.6	12
Rated Output Voltage (Vac)	230±1%			
ON/Off-Grid Switching Time (ms)	≤10			
Off-Grid Rated Off-Grid Power (kVA)	3.6	5	6	8
Peak Off-Grid Power (60s)/Estimate (kVA)	4.32	6	7.2	9.6
Maximum Parallel	6			
Efficiency Maximum Efficiency	(400V PV) 97%			
European Efficiency	97%			

### General Data

System Battery Voltage (Vdc)	100-500			
Maximum Charge and Discharge Current (A)	40	50	50	50
System Dimensions (Width*Depth*Height, mm)	540*350*(565/735/905/1075)			
System Weight (kg)	69/108/147/186			
System Installation Method	Floor Installation (Wall-Mounted Optional for 5/10/15 Series)			
System Operating Temperature Range (°C)	-10-55			
System Working Humidity Range	0-95%			
System Salt Spray Level	C5M			
System Working Altitude (m)	≤3000			
Common Noise Level (@ 1 meter *in Nominal Condition, dB)	<29			
Cooling	Air Cooling			
Communication Portal	WIFI/WLAN/Bluetooth			
EPO	Installed			
AFCI	2.0@IEC 63027			

### Battery Data

Battery Module	FH10050			
Battery Module Capacity (kWh)	5.12			
Depth of Discharge	95%			
Charge Standard (A)	10			
Discharge Normal (A)	50			
MAX (A)	55@15min			
Cycle Life (@25°C)	>8000			
Multi-Group	Max.6 Systems in Parallel			

### Standard Compliance

UN38.3/IEC61000-6/VDE-AR-E-2510-50 2017-05/IEC62619- 2022/IEC60730-1/ISO13849/IEC62477-1: 2022/EN 62477-1: 2012+A12: 2021/IEC62109-1: 2010/IEC62109-2: 2011

VDE-AR-N-4105: 2018/DIN VDE V 0124-100: 2020/EN50549-10/EN50549-1/PPDS Annex: 2022+EN50549-10/C10/T1+ EN50549-10/EIFS+EN50549-10/CE10-21/RD1699 RD661 RD413/UNE 217002: 2020/NTS Version 2.1: 2021/UNE 217001: 2021/AS 4777. 2/AS60947. 3/G98/G99/TOR

sales@pylontech.com.cn | www.pylontech.com.cn

Figura de Anexo 18: Ficha técnica de la Batería 1 [Pylo25]

# Force H3X Hybrid

## Three Phase

HY-3P-EU

### Module

FH3X8K-HY-3P EU-10/15/20/25/30/35    FH3X10K-HY-3P EU-10/15/20/25/30/35    FH3X12K-HY-3P EU-10/15/20/25/30/35    FH3X15K-HY-3P EU-10/15/20/25/30/35

#### Main System Data

Battery Module	FH10050			
Number of Battery Modules	2/3/4/5/6/7			
Maximum PV Power (kW)	24			
System Rated Capacity (kWh)	10.24/15.36/20.48/25.6/30.72/35.84			
Nominal Power (kW)	8	10	12	15
IP Rate	IP55			

#### Inverter Data

Maximum Power (kW)	24			
Maximum DC Input Voltage (Vdc)	1000			
Start Up Voltage (Vdc)	200			
Number of MPPT	3			
DC Input Number of PV Strings Per MPPT	1			
(From PV)MPPT Voltage Range (Vdc)	200-850			
MPPT Full Load Voltage Range (Vdc)	280-850			
Maximum Current (A)	20			
Short Circuit Current Per MPPT (A)	30			
Surge Protection	Type II			
Nominal AC Voltage/Frequency (Vac)	400@50/60Hz			
Grid Voltage Range (Vac)	320-480			
On-Grid Grid Connection	3W/N/PE			
Nominal AC Power (kW)	8	10	12	15
Maximum Grid Input Power (kW)	12	15	18	22.5
Rated Output Voltage (Vac)	400			
ON/Off-Grid Switching Time (ms)	≤10			
Off-Grid Rated Off-Grid Power (kVA)	8	10	12	15
Peak Off-Grid Power (60s)/Estimate (kVA)	9.6	12	14.4	18
Maximum Parallel	6			
Efficiency Maximum Efficiency	(600V PV) 97%			
European Efficiency	97%			

#### General Data

System Battery Voltage (Vdc)	120-850			
Maximum Charge and Discharge Current (A)	40	50	50	50
System Dimensions (Width*Depth*Height, mm)	540*350*(780/950/1120/1290/1460/1630)			
System Weight (kg)	118/157/196/235/274/313			
System Installation Method	Floor Installation (Wall-Mounted Optional for 5/10/15 Series)			
System Operating Temperature Range (°C)	-10-55			
System Working Humidity Range	0-95%			
System Salt Spray Level	CSM			
System Working Altitude (m)	≤3000			
Common Noise Level (@ 1 meter *In Nominal Condition, dB)	<29			
Cooling	Air Cooling			
Communication Portal	WIFI/WLAN/Bluetooth			
EPO	Installed			
AFCI	2.0@IEC 63027			

#### Battery Data

Battery Module	FH10050			
Battery Module Capacity (kWh)	5.12			
Depth of Discharge	95%			
Charge/ Standard (A)	10			
Discharge Normal (A)	50			
MAX (A)	55@15min			
Cycle Life (@25°C)	>8000			
Multi-Group	Max.6 Systems in Parallel			

#### Standard Compliance

UN38.3/IEC61000-6/VDE-AR-E-2510-50 2017-05/IEC62619: 2022/IEC60730-1/ISO13849/IEC62477-1: 2022/EN 62477-1: 2012+A12: 2021/IEC62109-1: 2010/IEC62109-2: 2011

VDE-AR-N-4105: 2018/DIN VDE V 0124-100: 2020/EN50549-10/EN50549-1/PPDS Annex: 2022+EN50549-10/C10/T1+EN50549-10/EIFS+EN50549-10/CEIO-21/RD1699 RD661 RD413/UNE 217002:2020/NTS Version 2.1: 2021/UNE 217001: 2021/VAS 4777. 2/AS60947. 3/G98/G99/TOR/ PTPFREE/NA-EEA-NE7-CH 2020/

sales@pylontech.com.cn | www.pylontech.com.cn

Figura de Anexo 19: Ficha técnica de la Bateria 2 [Pylo25]

## 9. Instalación

### Resultado del análisis económico

	Conjunto de mejoras	Años - Amortización simple (Análisis facturas)	VAN (€) (Facturas)	Años - Amortización simple (Análisis teórico)	VAN (€) (Teórico)
<b>1</b>	Mejoras1	23.5	10720.8	5.3	122017.9
<b>2</b>	Mejoras2	4.6	28610.2	1.1	129230.6

*Figura de Anexo 20: Cálculo de amortización de las medidas de mejora en CE3X [Fuen25]*

# Documento: Análisis de Sistema Fotovoltaico [Fuen25]

Nº de cliente: Manuel Alguacil  
Nombre del proyecto: Cerro\_Cubo  
N.º de oferta: 01

15/06/2025

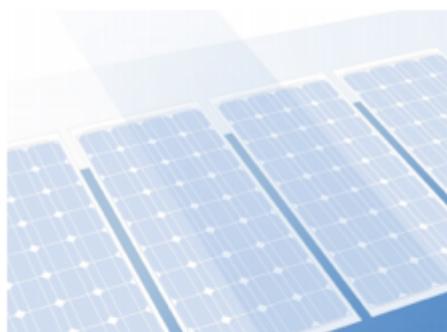
## Documentación- 01

### Datos del cliente

Empresa	
Número de cliente	Manuel Alguacil
Persona de contacto	
Dirección	Polígono 5, Parcela 507. Cerro Cubo, Castril (Granada)
Teléfono	
Fax	
E-mail	

### Datos del proyecto

Nombre del proyecto	Cerro_Cubo
N.º de oferta	01
Autor	Pablo Alguacil Muñoz
Dirección	Polígono 5, Parcela 507. Cerro Cubo, Castril (Granada)



### Descripción del proyecto:

Simulación para instalación de placas para autoconsumo



# Vista general del proyecto

## Instalación FV

### Sistema FV conectado a la red con consumidores eléctricos y sistemas de batería

Datos climáticos	Castilléjar, ESP (2001 - 2020)
Fuente de los valores	Meteonorm 8.2(i)
Potencia generador FV	4 kWp
Superficie generador FV	17,3 m <sup>2</sup>
Número de módulos FV	8
Número de inversores	1
N.º de sistemas de baterías	1

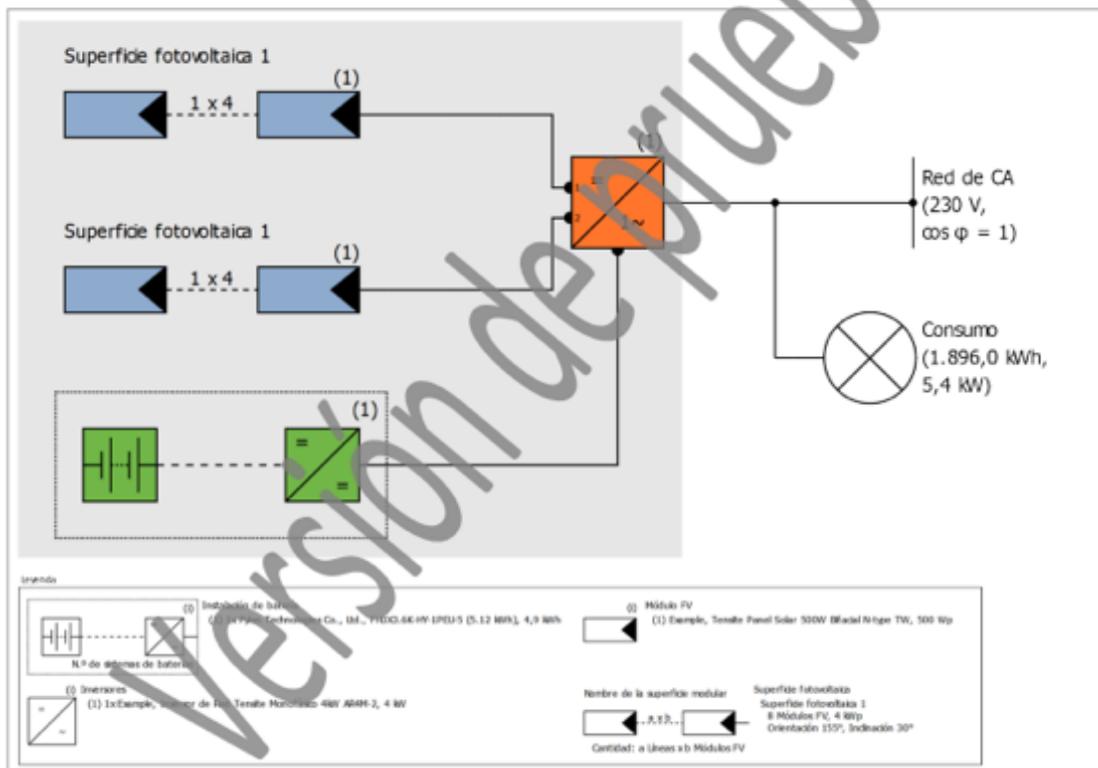


Figura: Diagrama esquemático

## Cerro\_Cubo

Autor: Pablo Alguacil Muñoz  
Número de oferta: 01

Nº de cliente: Manuel Alguacil

### Pronóstico rendim.

#### Pronóstico rendim.

Potencia generador FV	4,00 kWp
Rendimiento anual espec.	1.498,04 kWh/kWp
Coefficiente de rendimiento de la instalación (PR)	75,40 %
Energía de generador FV (Red CA) con batería	5.590 kWh/Año
Consumo propio directa	1.823 kWh/Año
Limitación en el punto de inyección	0 kWh/Año
Inyección en la red	3.774 kWh/Año
Proporción de consumo propio	32,5 %
Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas	1.970 kg / año
Grado de autarquía	96,2 %

### Evaluación económica

#### Su beneficio

Costes totales de inversión	5.000,00 €
Tasa interna de retorno (TIR)	23,96 %
Duración amortización	3,9 Años
Costes de producción de energía	0,0496 €/kWh
Balance / Concepto de alimentación	Inyección del excedente en la red

Los resultados han sido calculados mediante un modelo de cálculo matemático de la empresa Valentin Software GmbH (algoritmos PV\*SOL). Los resultados reales de la instalación fotovoltaica pueden mostrar variaciones debido a las variaciones meteorológicas, curvas de eficiencia de los módulos o de inversores así como a otras causas.



## Cerro\_Cubo

Autor: Pablo Alguacil Muñoz  
Número de oferta: 01

Nº de cliente: Manuel Alguacil

# Disposición de la instalación

## Resumen

### Datos del sistema

Tipo de instalación	Sistema FV conectado a la red con consumidores eléctricos y sistemas de batería
Puesta en marcha	18/05/2025

### Datos climáticos

Ubicación	Castelléjar, ESP (2001 - 2020)
Fuente de los valores	Meteonorm 8.2(i)
Resolución de los datos	1 min
Modelos de simulación utilizados:	
- Radiación difusa sobre la horizontal	Hofmann
- Radiación sobre superficie inclinada	Hay & Davies

### Consumo

Consumo total	1896 kWh
VDI vivienda unifamiliar zona climática 05	1896 kWh
Pico de carga	5,4 kW

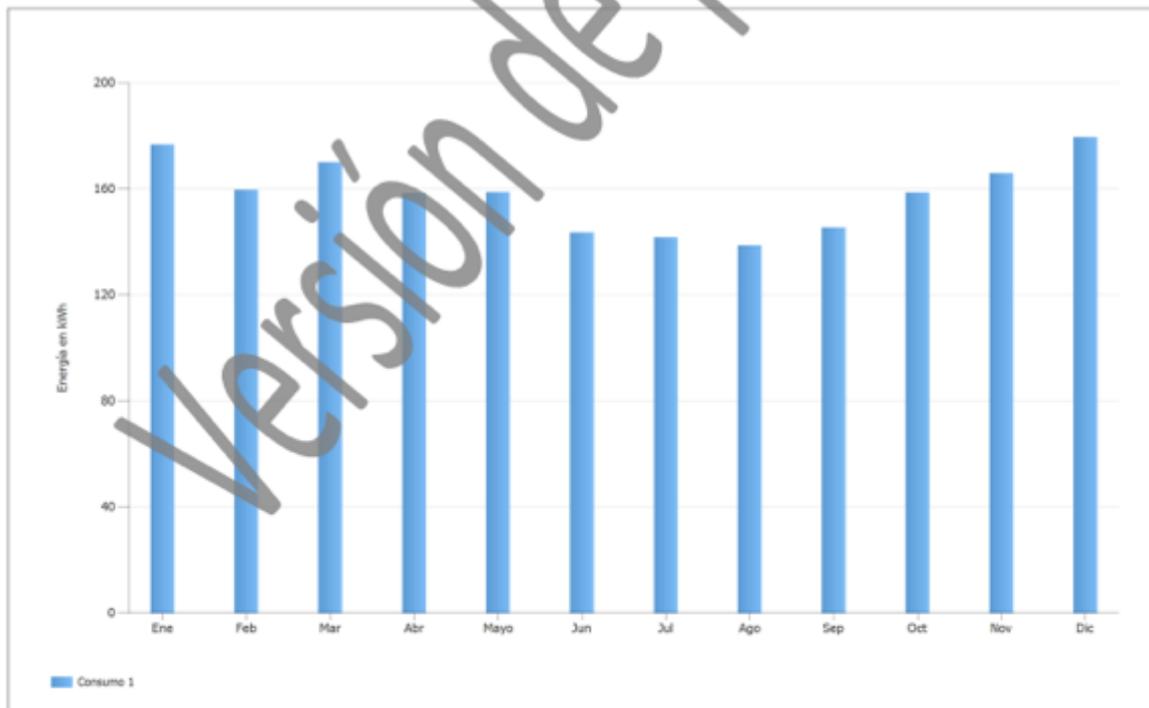


Figura: Consumo



## Cerro\_Cubo

Autor: Pablo Alguacil Muñoz  
Número de oferta: 01

Nº de cliente: Manuel Alguacil

### Superficies de módulos

#### 1. Superficie fotovoltaica - Superficie fotovoltaica 1

##### Generador FV, 1. Superficie fotovoltaica - Superficie fotovoltaica 1

Nombre	Superficie fotovoltaica 1
Módulos FV	8 x Tensite Panel Solar 500W Bifacial N-type TW (v1)
Fabricante	Example
Inclinación	30 °
Orientación	Sureste 155 °
Situación de montaje	Paralelo a la cubierta
Superficie generador FV	17,3 m <sup>2</sup>

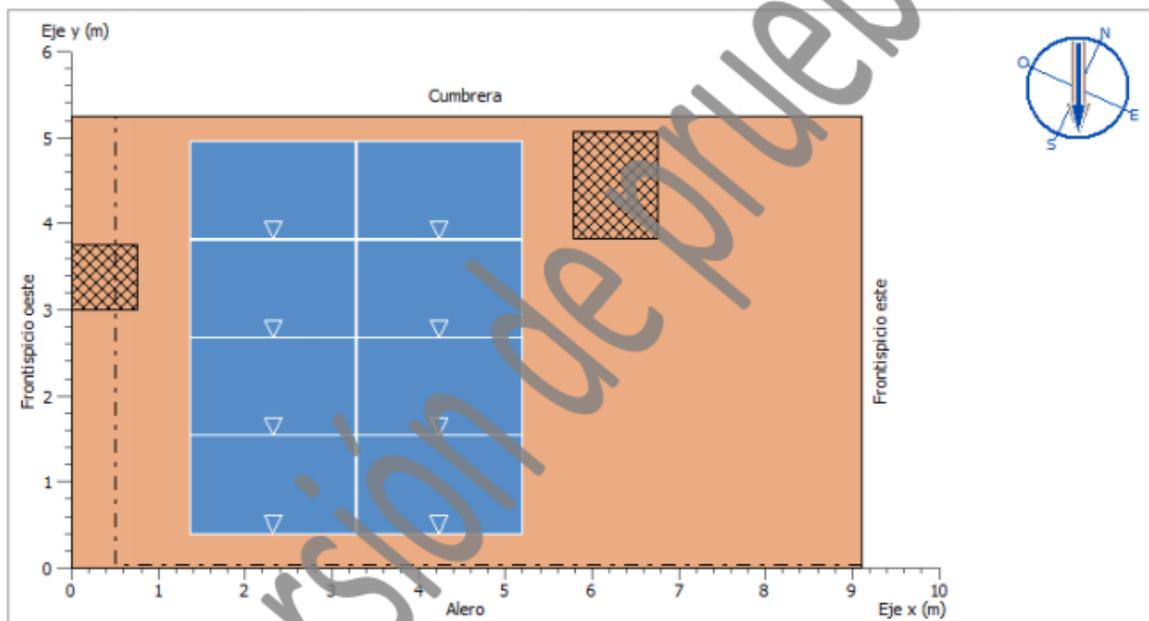


Figura: Vista del tejado, 1. Superficie fotovoltaica - Superficie fotovoltaica 1

##### Sombreado, 1. Superficie fotovoltaica - Superficie fotovoltaica 1

Sombreado	0 %
-----------	-----

## Cerro\_Cubo

Autor: Pablo Alguacil Muñoz  
Número de oferta: 01

Nº de cliente: Manuel Alguacil

### Degradación de los módulos, 1. Superficie fotovoltaica - Superficie fotovoltaica 1

Curva característica	Lineal
Potencia restante al cabo de 30 años	89 %

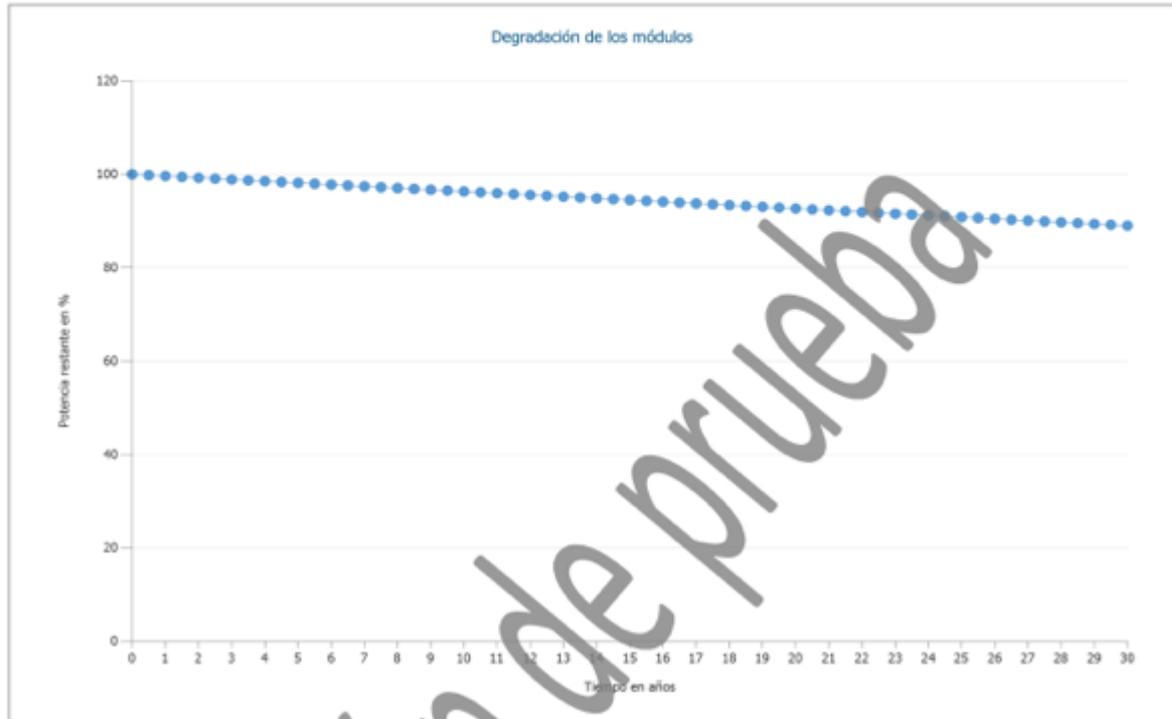


Figura. Degradación de los módulos, 1. Superficie fotovoltaica - Superficie fotovoltaica 1

## Conexión del inversor

### Conexión 1

Superficie fotovoltaica	Superficie fotovoltaica 1
Inversores 1	
Modelo	Inversor de Red Tensite Monofásico 4kW AR4M-2 (v4)
Fabricante	Example
Cantidad	1
Factor de dimensionamiento	100 %
Conexión	MPP 1: 1 x 4 MPP 2: 1 x 4

## Red de CA

### Red de CA

Número de fases	1
Tensión de red entre fase y neutro	230 V
Factor de desfase (cos phi)	+/- 1

## Cerro\_Cubo

Autor: Pablo Alguacil Muñoz  
Número de oferta: 01

Nº de cliente: Manuel Alguacil

### Instalaciones de batería

#### Instalación de batería - Grupo 1

Modelo	FH3X3.6K-HY-1PEU-5 (5.12 kWh) (v1)
Fabricante	Pylon Technologies Co., Ltd.
Cantidad	1
Inversors de batería	
Tipo de conexión	Conexión de circuito intermedio CC
Potencia nominal	4 kW
Batería	
Fabricante	Pylon Technologies Co., Ltd.
Modelo	Force H3 (FH10050) (v1)
Cantidad	1
Energía de la batería	4,9 kWh
Tipo de batería	Fosfato de hierro y litio

Versión de prueba

## Resultados de simulación

## Resultados Sistema completo

## Instalación FV

Potencia generador FV	4,00 kWp	Energía de generador FV (Red CA) con batería
Rendimiento anual espec.	1.498,04 kWh/kWp	
Coficiente de rendimiento de la instalación (PR)	75,40 %	
Energía de generador FV (Red CA) con batería	5.590 kWh/Año	
Consumo propio directa	1.823 kWh/Año	
Limitación en el punto de inyección	0 kWh/Año	
Inyección en la red	3.774 kWh/Año	
Proporción de consumo propio	32,5 %	
Emissiones de CO <sub>2</sub> evitadas	1.970 kg / año	

## Consumidores

Consumidores	1.896 kWh/Año	Consumo total
Consumo Standby (Inversores)	0 kWh/Año	
Consumo total cubierto mediante energía fotovoltaica con batería	1.823 kWh/Año	
cubierto mediante red	73 kWh/Año	
Fracción de cobertura solar	96,2 %	



■ cubierto mediante energía fotovoltaica con batería  
■ cubierto mediante red

## Instalación de batería

Carga al principio	5 kWh
Carga de baterías (instalación FV)	1.695 kWh/Año
Potencia de la batería para cubrir el consumo	1.293 kWh/Año
Descarga de la batería en la red	0 kWh/Año
Pérdidas debido a la carga/descarga	365 kWh/Año
Pérdidas en batería	42 kWh/Año
Carga de ciclos	6,9 %
Vida útil	15 Años

## Grado de autarquía

Consumo total	1.896 kWh/Año
cubierto mediante red	73 kWh/Año
Grado de autarquía	96,2 %

# Cerro\_Cubo

Autor: Pablo Alguacil Muñoz  
Número de oferta: 01

Nº de cliente: Manuel Alguacil

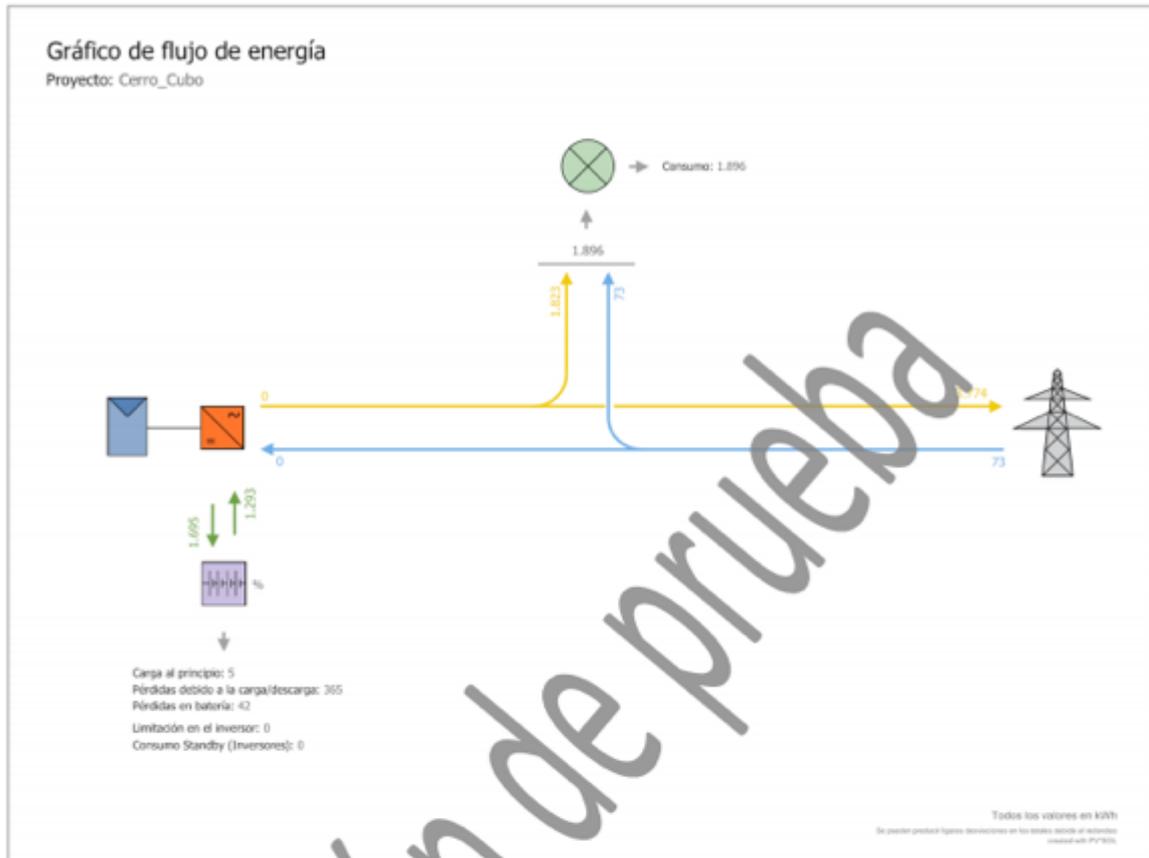


Figura: Flujo de energía

## Cerro\_Cubo

Autor: Pablo Alguacil Muñoz  
 Número de oferta: 01

Nº de cliente: Manuel Alguacil

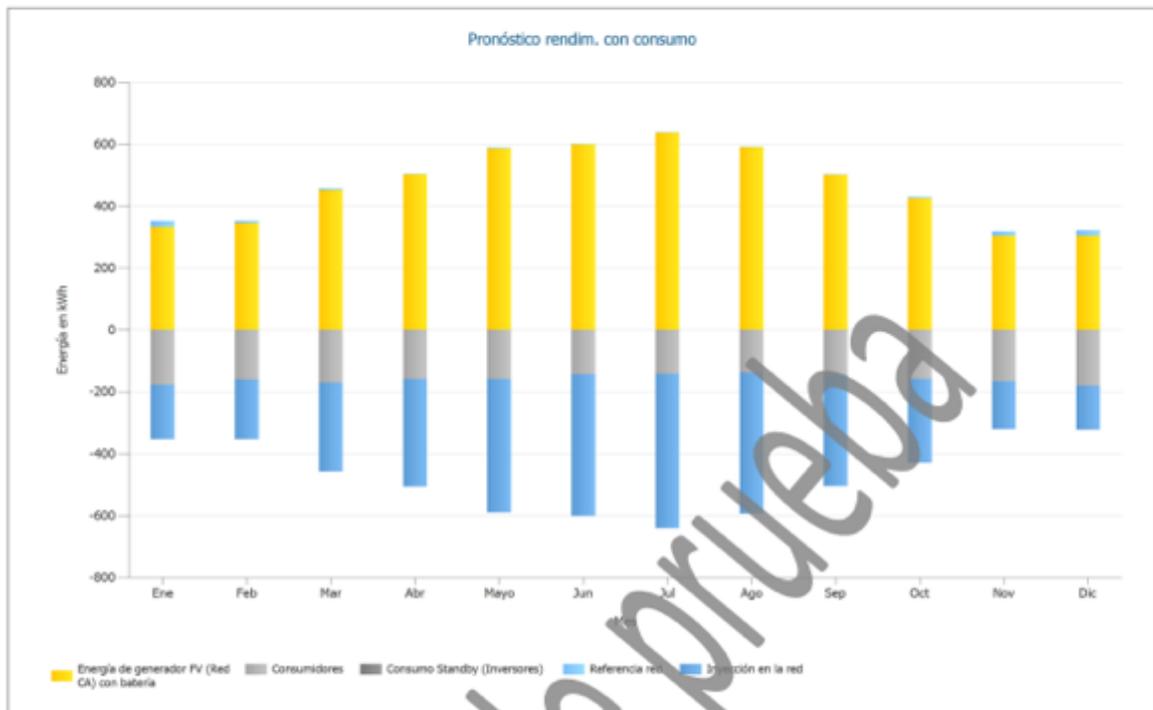


Figura: Pronóstico rendim. con consumo

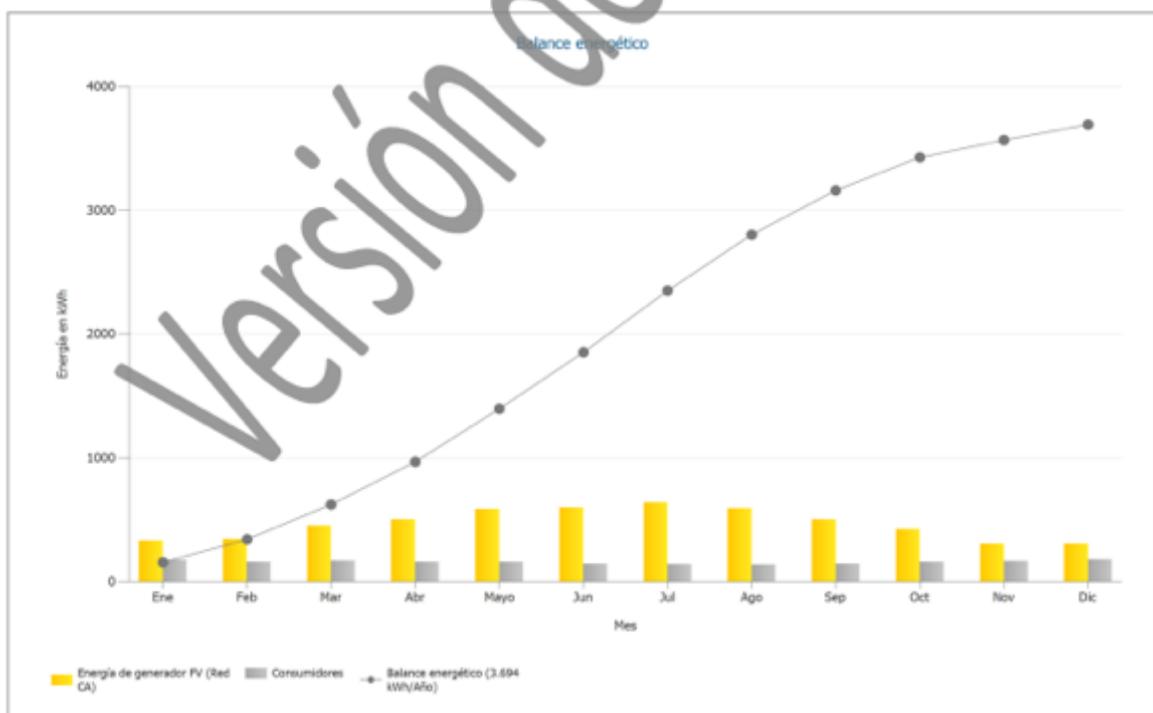


Figura: Balance energético

## Cerro\_Cubo

Autor: Pablo Alguacil Muñoz  
 Número de oferta: 01

Nº de cliente: Manuel Alguacil

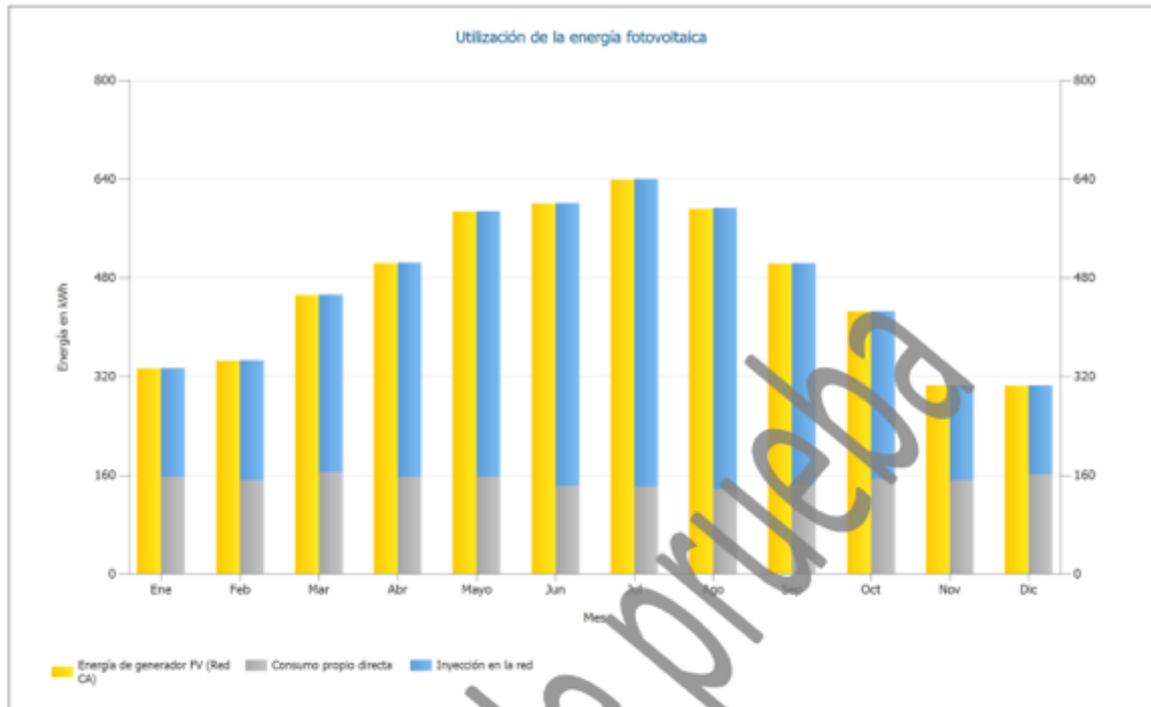


Figura: Utilización de la energía fotovoltaica

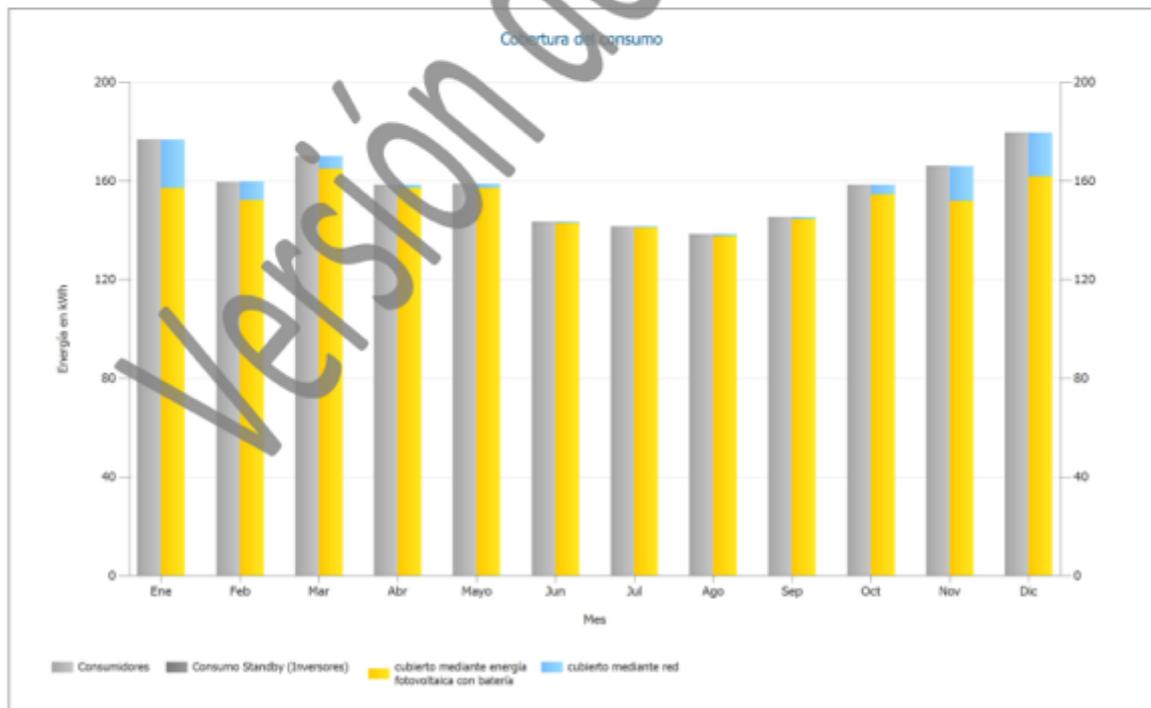
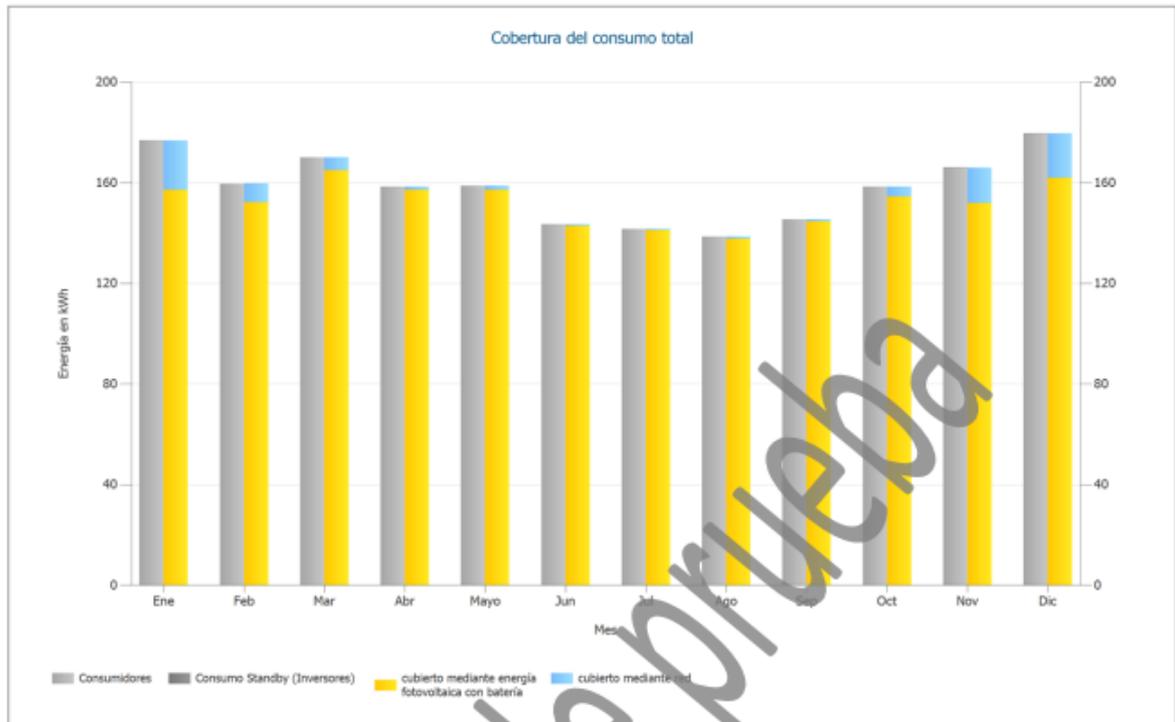


Figura: Cobertura del consumo

## Cerro\_Cubo

Autor: Pablo Alguacil Muñoz  
Número de oferta: 01

Nº de cliente: Manuel Alguacil



## Resultados por superficie de módulos

### Superficie fotovoltaica 1

Potencia generador FV	4,00 kWp
Superficie generador FV	17,32 m <sup>2</sup>
Irradiación global sobre módulo	1907,65 kWh/m <sup>2</sup>
Radiación global en el módulo sin reflexión	1986,21 kWh/m <sup>2</sup>
Coficiente de rendimiento de la instalación (PR)	70,34 %
Energía de generador FV (Red CA)	5590,31 kWh/Año
Rendimiento anual espec.	1397,58 kWh/kWp

## Balance energético de instalación fotovoltaica

### Balance energético de instalación fotovoltaica

<b>Radiación global horizontal</b>	<b>1.806,52 kWh/m<sup>2</sup></b>	
Desviación del espectro estandar	-18,07 kWh/m <sup>2</sup>	-1,00 %
Reflexión del suelo (albedo)	23,96 kWh/m <sup>2</sup>	1,34 %
Orientación y inclinación de la superficie de módulos	173,79 kWh/m <sup>2</sup>	9,59 %
Sombreado	0,00 kWh/m <sup>2</sup>	0,00 %
Reflexión en la superficie del módulo	-78,56 kWh/m <sup>2</sup>	-3,96 %
<b>Irradiación global sobre módulo</b>	<b>1.907,65 kWh/m<sup>2</sup></b>	
	1.907,65 kWh/m <sup>2</sup>	
	x 17,318 m <sup>2</sup>	
	= 33.037,47 kWh	
<b>Irradiación global fotovoltaica</b>	<b>33.037,47 kWh</b>	
Ensuciamiento	0,00 kWh	0,00 %
Conversión STC (eficiencia nominal de módulo 23,1 %)	-25.404,22 kWh	-76,90 %
<b>Energía fotovoltaica nominal</b>	<b>7.633,26 kWh</b>	
Rendimiento con luz débil	-100,43 kWh	-1,32 %
Desviación de la temperatura nominal del módulo	-557,87 kWh	-7,41 %
Diodos	-34,87 kWh	-0,50 %
Inadecuación (datos del fabricante)	-138,80 kWh	-2,00 %
Inadecuación (Conexión/sombreado)	0,00 kWh	0,00 %
Cond. de línea	-25,16 kWh	-0,37 %
<b>Energía fotovoltaica (CC) sin limitación de corriente por inversor</b>	<b>6.776,13 kWh</b>	
Potencia de arranque DC no alcanzada	-1,62 kWh	-0,02 %
Regulación por rango de tensión MPP	0,00 kWh	0,00 %
Regulación por corriente CC máx.	-2,10 kWh	-0,03 %
Regulación por potencia CC máx.	-0,13 kWh	0,00 %
Regulación por potencia CA máx. / cos phi	-0,83 kWh	-0,01 %
Adaptación MPP	-278,73 kWh	-4,12 %
<b>Energía FV (DC)</b>	<b>6.492,72 kWh</b>	
<b>Energía en la entrada del inversor</b>	<b>6.492,72 kWh</b>	
Carga del acumulador de CC	-1.694,70 kWh	-
Descarga del acumulador de CC	1.292,53 kWh	-
Desviación de la tensión de entrada de la tensión nominal	-111,30 kWh	-1,83 %
Conversión DC/AC	-374,91 kWh	-6,27 %
Consumo Standby (Inversores)	-0,33 kWh	-0,01 %
Cables de CA	-14,02 kWh	-0,25 %
<b>Energía fotovoltaica (CA) menos consumo en modo de espera</b>	<b>5.589,98 kWh</b>	
<b>Energía de generador FV (Red CA)</b>	<b>5.590,31 kWh</b>	

# Energy balance Sankey-Diagram

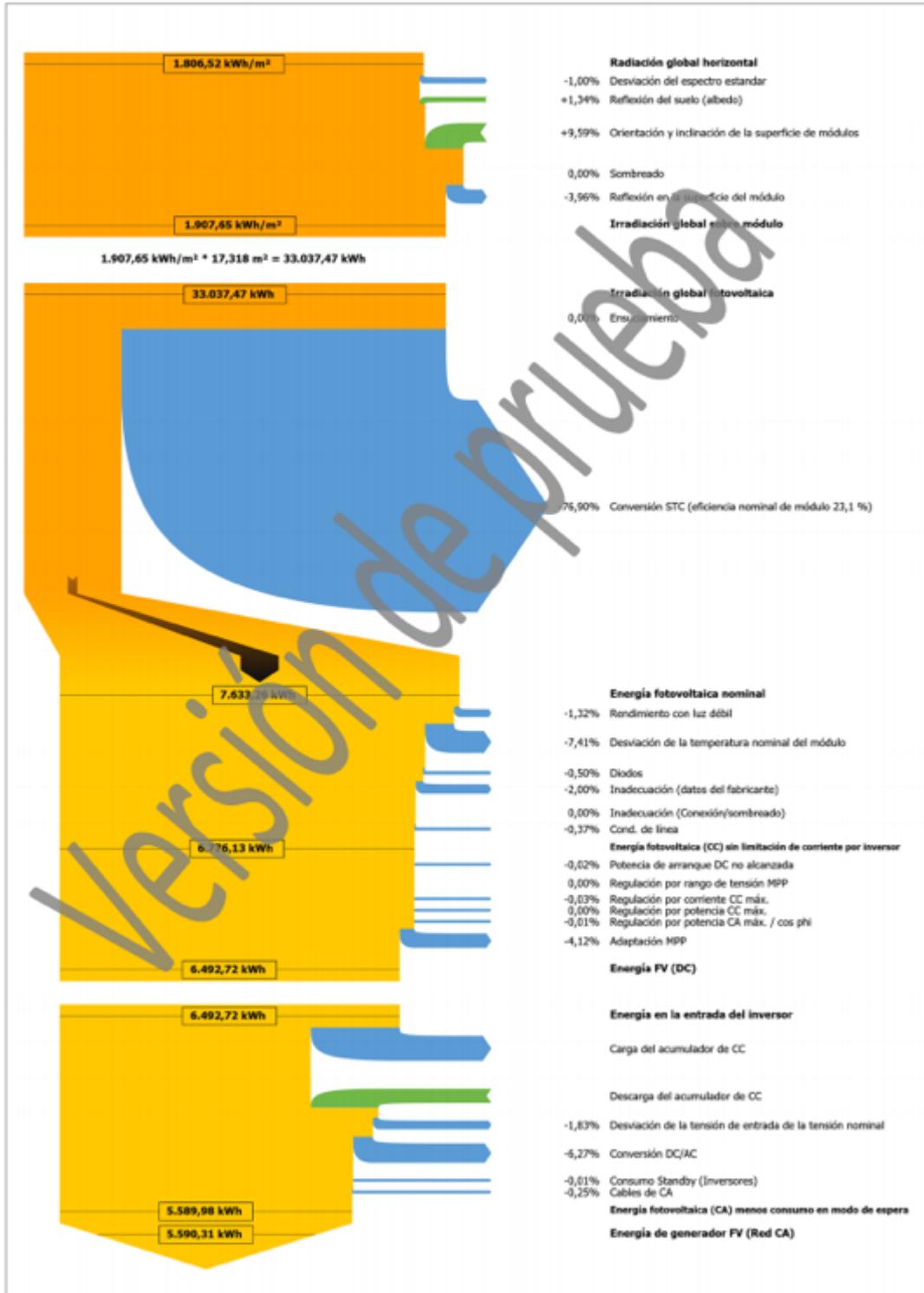


Figura: Energy balance Sankey-Diagram

## Cerro\_Cubo

Autor: Pablo Alguacil Muñoz  
Número de oferta: 01

Nº de cliente: Manuel Alguacil

# Análisis de rentabilidad

## Resumen

### Datos del sistema

Inyección en la red en el primer año (incl. degradación del módulo)	3.767 kWh/Año
Potencia generador FV	4 kWp
Puesta en marcha de la instalación	18/05/2025
Periodo de consideración	20 Años
Interés del capital	1 %

### Parámetros económicos

Tasa interna de retorno (TIR)	23,96 %
Cashflow acumulado (caja)	11.017,61 €
Duración amortización	3,9 Años
Costes de producción de energía	0,0496 €/kWh

### Resumen de pagos

costes específicos de inversión	1.250,00 €/kWp
Coste de la inversión	5.000,00 €
Pagos únicos	0,00 €
Subvenciones	0,00 €
Costes anuales	0,00 €/Año
Otros beneficios y ahorros.	0,00 €/Año

### Remuneración y ahorros

Remuneración total en el primer año	1.059,42 €/Año
Ahorros durante el primer año	256,90 €/Año

### Real Decreto 1578/2008 - Instalaciones en techo (Tipo I)

Validez	01/04/2011 - 31/03/2036
Remuneración spec. por energía inyectada en la red	0,2812 €/kWh
Remuneración por energía inyectada en la red	1059,4201 €/Año

### Tarifa estándar (Ejemplo)

Precio de trabajo	0,1412 €/kWh
Factor de cambio del precio del costo del consumo energético	2 %/Año

## Cerro\_Cubo

Autor: Pablo Alguacil Muñoz  
Número de oferta: 01

Nº de cliente: Manuel Alguacil

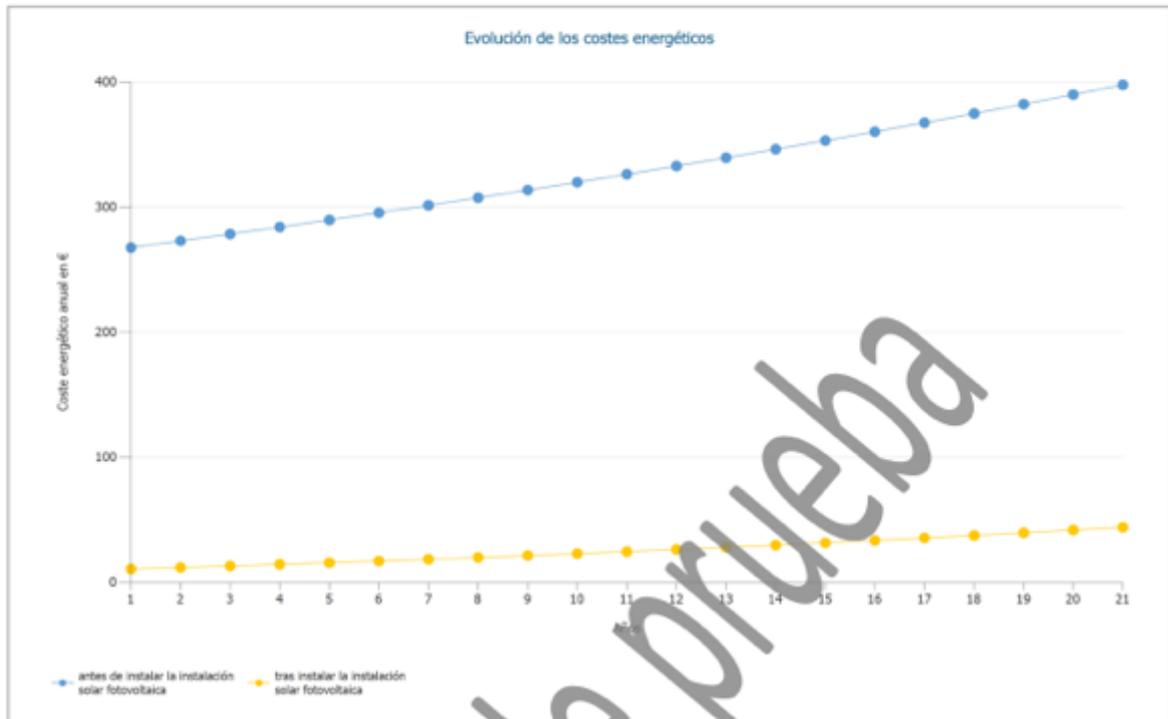


Figura: Evolución de los costes energéticos

## Cerro\_Cubo

Autor: Pablo Alguacil Muñoz  
Número de oferta: 01

Nº de cliente: Manuel Alguacil

### Flujo de caja

#### Flujo de caja

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversiones	-5.000,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Remuneración por energía inyectada en la red	983,15 €	1.034,73 €	1.020,71 €	1.006,86 €	993,19 €
Ahorro consumo electricidad	242,32 €	255,94 €	257,52 €	259,10 €	260,70 €
<b>Flujo de caja anual</b>	<b>-3.774,53 €</b>	<b>1.290,67 €</b>	<b>1.278,23 €</b>	<b>1.265,97 €</b>	<b>1.253,89 €</b>
Cashflow acumulado (caja)	-3.774,53 €	-2.483,86 €	-1.205,64 €	60,33 €	1.314,22 €

#### Flujo de caja

	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversiones	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Remuneración por energía inyectada en la red	979,69 €	966,36 €	953,20 €	940,21 €	927,38 €
Ahorro consumo electricidad	262,30 €	263,90 €	265,51 €	267,13 €	268,75 €
<b>Flujo de caja anual</b>	<b>1.241,99 €</b>	<b>1.230,27 €</b>	<b>1.218,72 €</b>	<b>1.207,34 €</b>	<b>1.196,13 €</b>
Cashflow acumulado (caja)	2.556,21 €	3.786,47 €	5.005,19 €	6.212,53 €	7.408,66 €

#### Flujo de caja

	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Inversiones	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Remuneración por energía inyectada en la red	830,82 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Ahorro consumo electricidad	270,38 €	272,02 €	273,66 €	275,31 €	276,96 €
<b>Flujo de caja anual</b>	<b>1.101,20 €</b>	<b>272,02 €</b>	<b>273,66 €</b>	<b>275,31 €</b>	<b>276,96 €</b>
Cashflow acumulado (caja)	8.509,86 €	8.781,88 €	9.055,54 €	9.330,85 €	9.607,81 €

#### Flujo de caja

	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Inversiones	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Remuneración por energía inyectada en la red	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Ahorro consumo electricidad	278,62 €	280,29 €	281,96 €	283,63 €	285,31 €
<b>Flujo de caja anual</b>	<b>278,62 €</b>	<b>280,29 €</b>	<b>281,96 €</b>	<b>283,63 €</b>	<b>285,31 €</b>
Cashflow acumulado (caja)	9.886,43 €	10.166,72 €	10.448,67 €	10.732,30 €	11.017,61 €

Las tasas de degradación e inflación se aplican mensualmente durante todo el período de observación. Esto ya se realiza en el primer año.

## Cerro\_Cubo

Autor: Pablo Alguacil Muñoz  
Número de oferta: 01

Nº de cliente: Manuel Alguacil

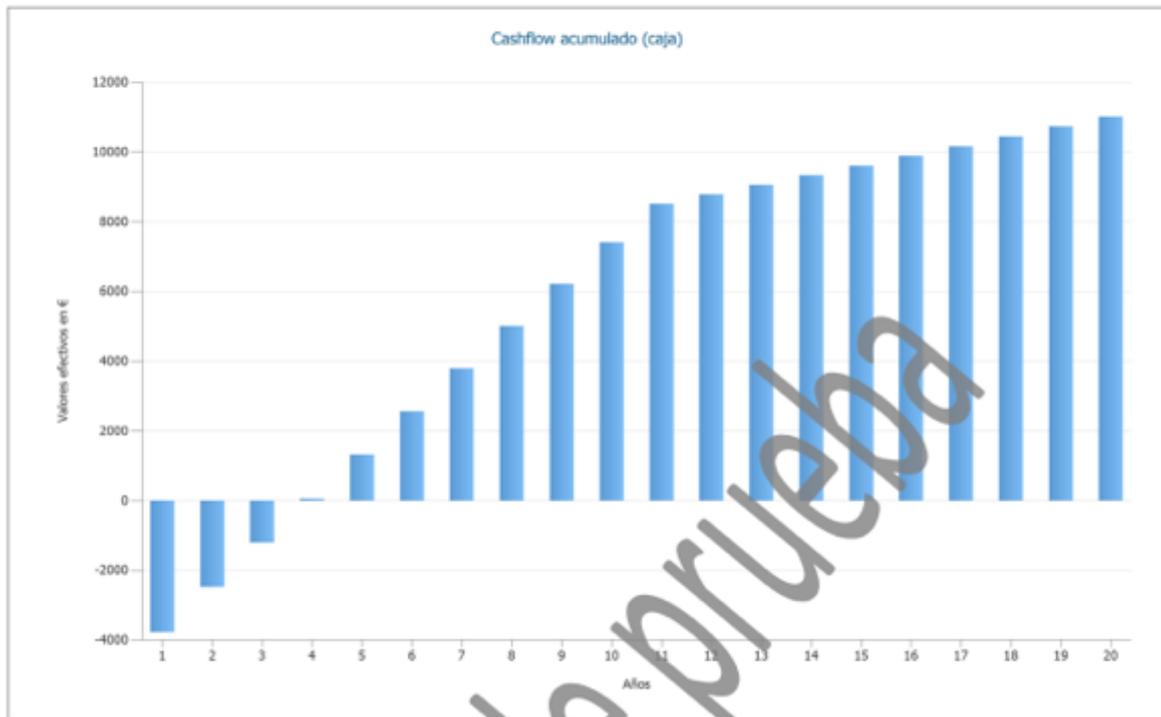


Figura: Cashflow acumulado (caja)

## Cerro\_Cubo

Autor: Pablo Alguacil Muñoz  
Número de oferta: 01

Nº de cliente: Manuel Alguacil

# Hojas

## Hoja de datos módulo FV

Módulo FV: Tensite Panel Solar 500W Bifacial N-type TW (v1)

Fabricante	Example
Suministr.	Sí
<b>Datos eléctricos</b>	
Tipo de célula	Si monocristalino
Módulo de media celda	No
Número de células	120
Número de diodos de bypass	3
Caída de voltaje por diodo de derivación	1 V
Optimizador de potencia integrado	No
Sólo apto para transf. inversor	No
<b>Caract. U/I- STC</b>	
Tensión en MPP	37,05 V
Corriente en MPP	13,5 A
Tens. circ. abierto	44,4 V
Corriente de cortocircuito	14,25 A
Aumento tensión de circuito abierto antes de estabil.	0 %
Potencia nominal	500 W
Factor de forma	79,05 %
Eficiencia	23,1 %
<b>Características U/I con carga parcial (calculado)</b>	
Fuente de los valores	Estándar (Modelo PV*SOL)
Irradiación	200 W/m <sup>2</sup>
Tensión en el MPP con carga parcial	35,02 V
Corriente en el MPP con carga parcial	2,7 A
Tens. circ. abierto con carga parcial	39,97 V
Corriente de cortocircuito con carga parcial	2,85 A
<b>Parámetros adicionales</b>	
Coefficiente de temperatura de Voc	-240 mV/K
Coefficiente de temperatura de Isc	2,6 mA/K
Coefficiente de temperatura de Pmpp	-0,4 %/K
Factor corr. angular (IAM)	95 %
Tensión máxima del sistema	1500 V
<b>Datos mecánicos</b>	
Anchura	1134 mm
Alto	1909 mm
Profundidad	35 mm
Ancho del marco	30 mm
Peso	23 kg



## Hoja de datos inversor

## Inversores: Inversor de Red Tensite Monofásico 4kW AR4M-2 (v4)

Fabricante	Example
Suministr.	Sí
<b>Datos eléctricos - CC</b>	
Potencia nominal DC	4 kW
Potencia DC máx.	6 kW
Tensión nominal DC	360 V
Tensión máxima de entrada	600 V
Corriente máx. de entrada	32 A
Corriente máxima de cortocircuito	48 A
Número de entradas DC	2
<b>Datos eléctricos - CA</b>	
Potencia nom. CA	4 kW
Potencia AC máx.	4,4 kVA
Tensión nominal en corriente alterna	230 V
Número de fases	1
Con transf.	No
<b>Datos eléctricos - Otro</b>	
Modificación del grado de rend. en caso de desviación de la tensión de entrada de la tensión nominal	1 %/100V
Mín. Potencia introducida	60 W
Consumo Standby	1 W
Consumo nocturno	1 W
<b>Seguidor MPP</b>	
Rango de potencia < 20% de la potencia nominal	93,5 %
Rango de potencia > 20% de la potencia nominal	96 %
Número de seguidores MPP	2
<b>Seguidor MPP 1-2</b>	
Corriente máx. de entrada	16 A
Corriente máxima de cortocircuito	24 A
Potencia de entrada máx.	3 kW
Tensión MPP mín.	60 V
Tensión MPP máx.	560 V

## Cerro\_Cubo

Autor: Pablo Alguacil Muñoz  
Número de oferta: 01

Nº de cliente: Manuel Alguacil

### Hoja de datos del sistema de baterías

Instalación de batería: FH3X3.6K-HY-1PEU-5 (5.12 kWh) (v1)

Fabricante	Pylon Technologies Co., Ltd.
Suministr.	Sí

#### Inversors de batería

Potencia nominal	4 kW
Potencia máx. de carga	4 kW
Potencia máx. de descarga	4 kW
Tipo de conexión	Conexión de circuito intermedio CC

#### Batería

Fabricante batería	Pylon Technologies Co., Ltd.
Modelo	Force H3 (FH10050) (v1)
Cantidad	1 (1x1)
Tensión CC de sistema de baterías	102,4 V
Energía batería utilizable	4,9 kWh
Capacidad a t=10 h	50 Ah

### Hoja batería

Batería: Force H3 (FH10050) (v1)

Fabricante	Pylon Technologies Co., Ltd.
Suministr.	Sí

#### Datos eléctricos

Tipo de batería	Fosfato de hierro y litio
Tensión de célula	3,2 V
Número de células en serie	32
Tensión nominal	102,4 V
Número de líneas de baterías	1
Resistencia interna	6,5 mΩ
Auto-descarga	3 %/Mes
Durabilidad en ciclos de carga-descarga (DoD = 40 %)	11000

#### Datos mecánicos

Longitud	450 mm
Anchura	296 mm
Alto	296 mm
Peso	35 kg

# Planos y listado de piezas

## Plano cubierta

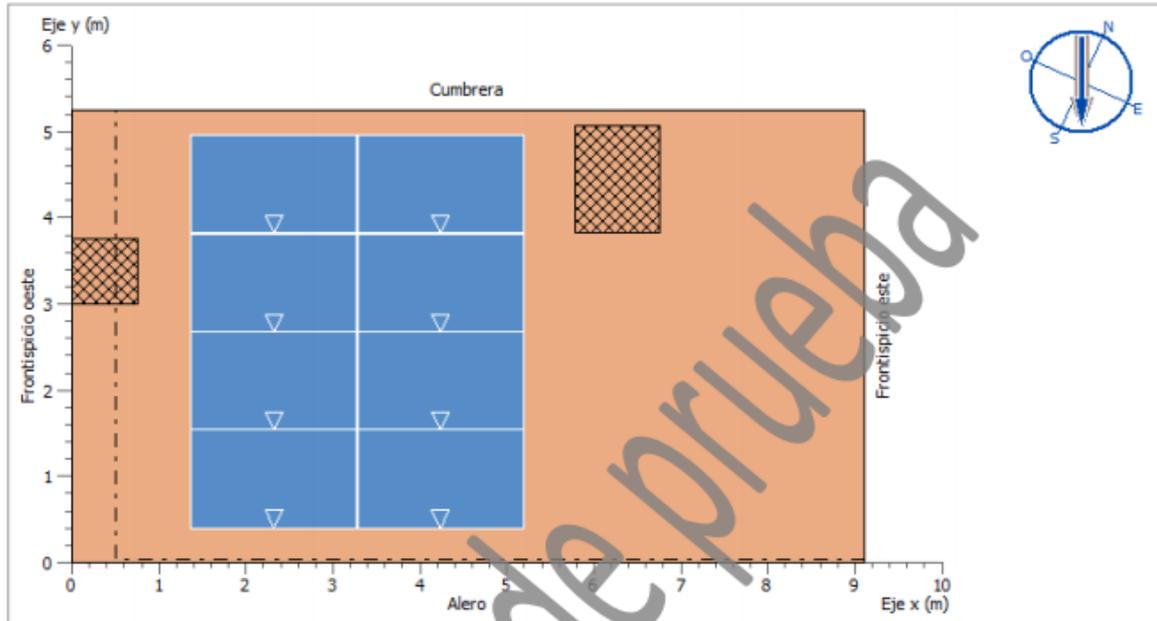


Figura: Vista del tejado, 1. Superficie fotovoltaica - Superficie fotovoltaica 1

## Esquema eléctrico

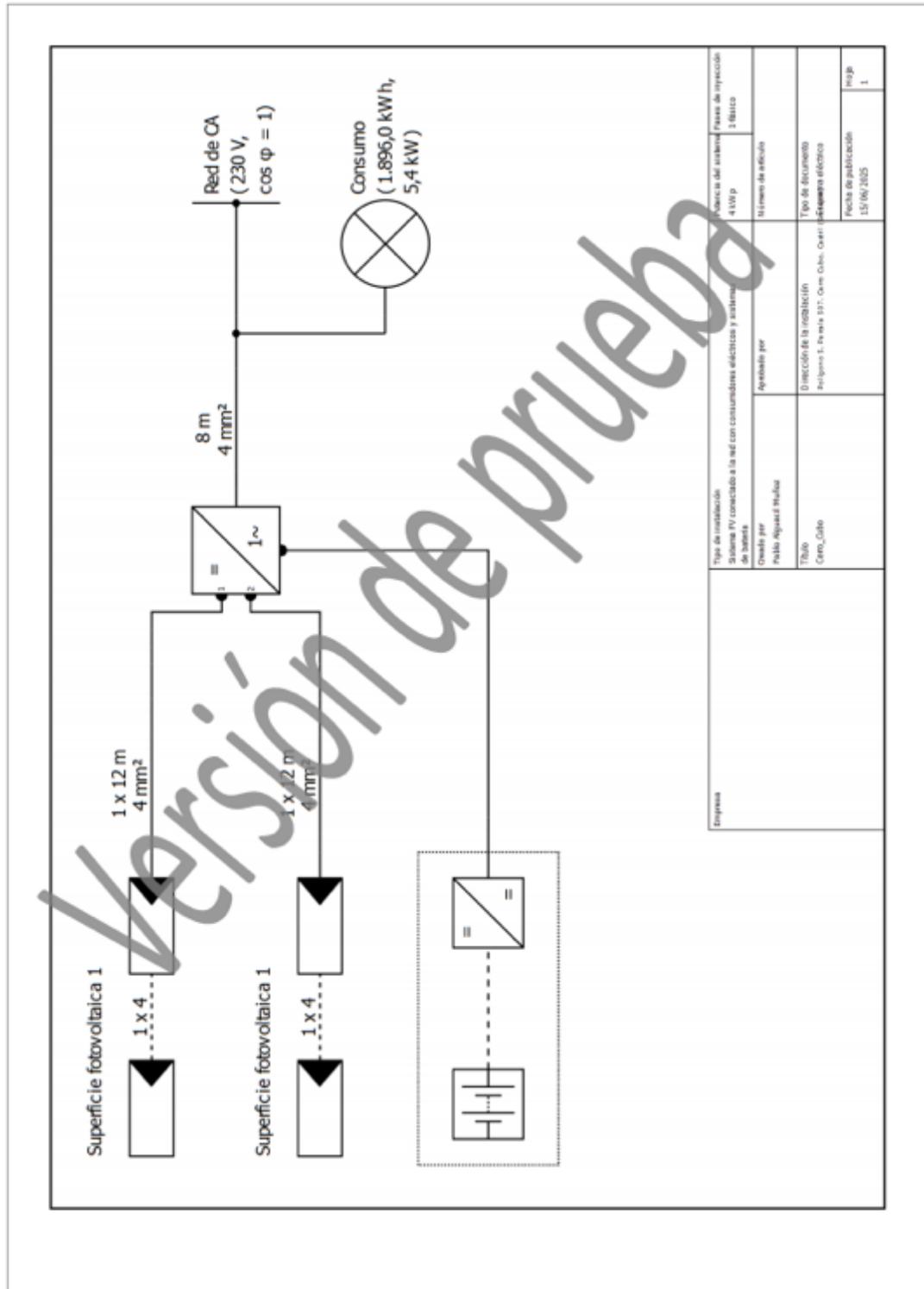


Figura: Esquema eléctrico

## Cerro\_Cubo

Autor: Pablo Alguacil Muñoz  
Número de oferta: 01

Nº de cliente: Manuel Alguacil

### Lista de piezas

#### Lista de piezas

#	Tipo	Número de artículo	Fabricante	Nombre	Cantidad	Unidad
1	Módulo FV		Example	Tensite Panel Solar 500W Bifacial N-type TW	8	Pieza
2	Inversores		Example	Inversor de Red Tensite Monofásico 4kW AR4M-2	1	Pieza
3	Instalación de batería		Pylon Technologies Co., Ltd.	FH3X3 6K-HY-1PEU-5 (5.12 kWh)	1	Pieza
4	Cable			Cables de CA 1-fásico 4 mm <sup>2</sup> Cobre	8	m
5	Cable			Cond. de línea 4 mm <sup>2</sup> Cobre	24	m

Versión de prueba



# Documento: Certificado energético de la vivienda [Fuen25]

## CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

### IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:

Nombre del edificio	Cortijo del Cerro del Cubo		
Dirección	Polígono 5 Parcela 507		
Municipio	Baza	Código Postal	18816
Provincia	Granada	Comunidad Autónoma	Andalucía
Zona climática	D3	Año construcción	1900
Normativa vigente (construcción / rehabilitación)	Anterior a la NBE-CT-79		
Referencia/s catastral/es	18047A00500507		

### Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:

<input type="radio"/> Edificio de nueva construcción	<input checked="" type="radio"/> Edificio Existente
<input checked="" type="radio"/> Vivienda <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="radio"/> Unifamiliar</li> <li><input type="radio"/> Bloque                         <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> Bloque completo</li> <li><input type="radio"/> Vivienda individual</li> </ul> </li> </ul>	<input type="radio"/> Terciario <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> Edificio completo</li> <li><input type="radio"/> Local</li> </ul>

### DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:

Nombre y Apellidos	Pablo Alguacil Muñoz	NIF(NIE)	78992576L
Razón social	xxxxxxx	NIF	xxxxx
Domicilio	Calle Juan Álvarez Mendizábal 59		
Municipio	Madrid	Código Postal	28008
Provincia	Madrid	Comunidad Autónoma	Comunidad de Madrid
e-mail:	pablo_alguacil@hotmail.com	Teléfono	662024026
Titulación habilitante según normativa vigente	Ingeniero Técnico Industrial		
Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión:	CEXv2.3		

### CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE [kWh/m <sup>2</sup> año]	EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO [kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> año]

El técnico abajo firmante declara responsablemente que ha realizado la certificación energética del edificio o de la parte que se certifica de acuerdo con el procedimiento establecido por la normativa vigente y que son ciertos los datos que figuran en el presente documento, y sus anexos:

Fecha: 11/08/2025

Firma del técnico certificador

**Anexo I.** Descripción de las características energéticas del edificio.

**Anexo II.** Calificación energética del edificio.

**Anexo III.** Recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética.

**Anexo IV.** Pruebas, comprobaciones e inspecciones realizadas por el técnico certificador.

Registro del Órgano Territorial Competente:

Fecha  
Ref. Catastral

11/08/2025  
18047A00500507

Página 1 de 8

## ANEXO I DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL EDIFICIO

En este apartado se describen las características energéticas del edificio, envolvente térmica, instalaciones, condiciones de funcionamiento y ocupación y demás datos utilizados para obtener la calificación energética del edificio.

### 1. SUPERFICIE, IMAGEN Y SITUACIÓN

<b>Superficie habitable [m<sup>2</sup>]</b>	261.98
<b>Imagen del edificio</b>	<b>Plano de situación</b>
	

### 2. ENVOLVENTE TÉRMICA

#### Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K]	Modo de obtención
Muro con terreno	Fachada	7.22	2.00	Por defecto
Muro de fachada patio exterior P0	Fachada	20.98	0.96	Conocidas
Muro de fachada patio trasero P0	Fachada	19.21	1.01	Conocidas
Muro de fachada patio interior SO P0	Fachada	22.59	1.68	Conocidas
Medianería Planta Baja	Fachada	26.83	0.00	
Suelo con terreno	Suelo	7.22	1.00	Por defecto
Muro de fachada patio exterior P1	Fachada	20.16	1.57	Conocidas
Muro de fachada patio interior SO P1	Fachada	15.31	1.86	Conocidas
Muro de fachada patio interior SE P1	Fachada	27.54	1.16	Conocidas
Muro de fachada patio trasero P1	Fachada	46.26	1.12	Conocidas
Muro de fachada calle P1 ?	Fachada	11.61	1.09	Conocidas
Medianería P1	Fachada	26.69	0.00	
Suelo con aire C2 P1	Suelo	33.92	1.00	Conocidas
Cubierta con aire C2 P1	Cubierta	52.9	0.89	Conocidas
Cubierta Superior	Cubierta	94.56	0.89	Conocidas
Muro de fachada patio exterior P2	Fachada	14.88	1.74	Conocidas
Muro de fachada patio interior P2	Fachada	26.68	2.01	Conocidas
Muro de fachada patio trasero P2	Fachada	16.88	1.65	Conocidas
Medianería P2	Fachada	28.25	0.00	

### Huecos y lucernarios

Nombre	Tipo	Superficie [m²]	Transmitancia [W/m²·K]	Factor solar	Modo de obtención. Transmitancia	Modo de obtención. Factor solar
Ventana	Hueco	1.82	3.08	0.61	Estimado	Estimado
Ventana 2	Hueco	1.40	3.08	0.61	Estimado	Estimado
Ventana Cocina	Hueco	1.57	3.08	0.61	Estimado	Estimado
Ventana Baño	Hueco	0.46	3.08	0.61	Estimado	Estimado
Puerta acristalada	Hueco	2.35	5.36	0.68	Estimado	Estimado
Ventana Balcón	Hueco	3.31	3.08	0.61	Estimado	Estimado
Ventana 3	Hueco	1.5	3.08	0.61	Estimado	Estimado
Ventana Salón Juego peque	Hueco	0.81	3.08	0.61	Estimado	Estimado
Ventana Salón Juego grande	Hueco	2.96	3.08	0.61	Estimado	Estimado
Ventana Aseo P1	Hueco	0.58	3.08	0.61	Estimado	Estimado
Ventana Escalera P1	Hueco	1.52	3.08	0.61	Estimado	Estimado
Ventana Baño Principal	Hueco	1.32	3.08	0.61	Estimado	Estimado
Ventana 4	Hueco	1.03	3.08	0.61	Estimado	Estimado
Ventana Aseo P2	Hueco	0.58	3.08	0.61	Estimado	Estimado
Ventana 5 P2	Hueco	1.57	3.08	0.61	Estimado	Estimado
Ventana 6 P2	Hueco	1.20	3.08	0.61	Estimado	Estimado
Ventana Escalera P2	Hueco	0.58	3.08	0.61	Estimado	Estimado

### 3. INSTALACIONES TÉRMICAS

#### Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
Calefacción y ACS	Caldera Estándar	24.0	66.0	Gasóleo-C	Estimado
<b>TOTALES</b>	Calefacción				

#### Generadores de refrigeración

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
<b>TOTALES</b>	Refrigeración				

#### Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

<b>Demanda diaria de ACS a 60° (litros/día)</b>	120.0
---	-------

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
Calefacción y ACS	Caldera Estándar	24.0	66.0	Gasóleo-C	Estimado
<b>TOTALES</b>	ACS				



## ANEXO II CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	D3	Uso	Residencial
----------------	----	-----	-------------

### 1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	<b>67.6 E</b>		<b>CALEFACCIÓN</b>	<b>ACS</b>
	<i>Emisiones calefacción [kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> año]</i>	<b>E</b>	<i>Emisiones ACS [kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> año]</i>	<b>F</b>
	<b>58.33</b>		<b>6.91</b>	
	<b>REFRIGERACIÓN</b>		<b>ILUMINACIÓN</b>	
<i>Emisiones globales [kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> año]</i>	<i>Emisiones refrigeración [kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> año]</i>	<b>A</b>	<i>Emisiones iluminación [kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> año]</i>	-
	<b>2.37</b>		-	

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año	kgCO <sub>2</sub> /año
<i>Emisiones CO<sub>2</sub> por consumo eléctrico</i>	2.37	622.06
<i>Emisiones CO<sub>2</sub> por otros combustibles</i>	65.25	17093.20

### 2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	<b>261.4 E</b>		<b>CALEFACCIÓN</b>	<b>ACS</b>
	<i>Energía primaria calefacción [kWh/m<sup>2</sup> año]</i>	<b>E</b>	<i>Energía primaria ACS [kWh/m<sup>2</sup> año]</i>	<b>E</b>
	<b>221.14</b>		<b>26.21</b>	
	<b>REFRIGERACIÓN</b>		<b>ILUMINACIÓN</b>	
<i>Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m<sup>2</sup> año]</i>	<i>Energía primaria refrigeración [kWh/m<sup>2</sup> año]</i>	<b>B</b>	<i>Energía primaria iluminación [kWh/m<sup>2</sup> año]</i>	-
	<b>14.02</b>		-	

### 3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

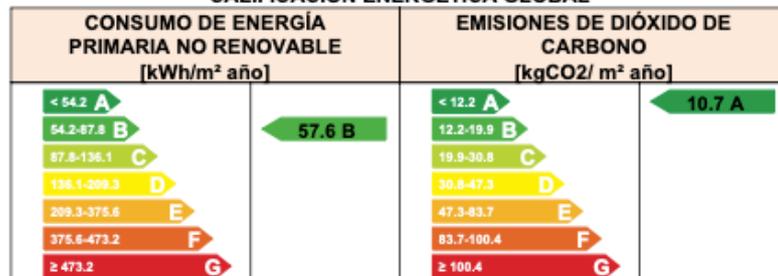
DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
<b>123.8 E</b>	<b>14.3 C</b>
<i>Demanda de calefacción [kWh/m<sup>2</sup> año]</i>	<i>Demanda de refrigeración [kWh/m<sup>2</sup> año]</i>

El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

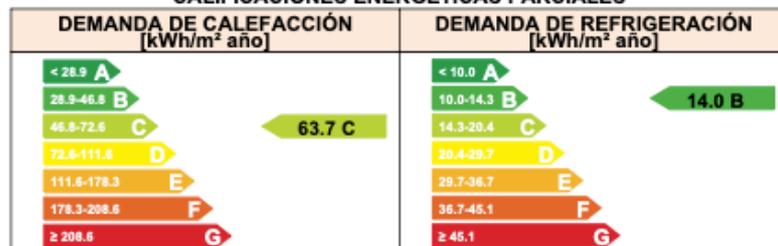
## ANEXO III RECOMENDACIONES PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Mejoras1

### CALIFICACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL



### CALIFICACIONES ENERGÉTICAS PARCIALES



### ANÁLISIS TÉCNICO

Indicador	Calefacción		Refrigeración		ACS		Iluminación			Total	
	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	
Consumo Energía final [kWh/m <sup>2</sup> año]	72.71	61.2%	7.01	2.3%	22.45	-1.0%	-	-	102.48	52.8%	
Consumo Energía primaria no renovable [kWh/m <sup>2</sup> año]	26.94	A 87.8%	13.69	B 2.3%	16.36	E 37.6%	-	-	57.59	B 78.0%	
Emisiones de CO <sub>2</sub> [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año]	5.30	A 90.9%	2.32	A 2.3%	2.95	D 57.4%	-	-	10.66	A 84.2%	
Demanda [kWh/m <sup>2</sup> año]	63.72	C 48.5%	14.01	B 2.3%							

Nota: Los indicadores energéticos anteriores están calculados en base a coeficientes estándar de operación y funcionamiento del edificio, por lo que solo son válidos a efectos de su calificación energética. Para el análisis económico de las medidas de ahorro y eficiencia energética, el técnico certificador deberá utilizar las condiciones reales y datos históricos de consumo del edificio.

### DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA DE MEJORA

#### Características de la medida (modelo de equipos, materiales, parámetros característicos)

La mejoras consisten en la instalación de una caldera de biomasa + resistencia que sean capaces de calentar el acumulador de ACS y calefacción tanto en invierno como en verano. También paneles fotovoltaicos y mejora del aislamiento térmico tanto en fachada por el exterior (SATE) como en las cubiertas por el interior.

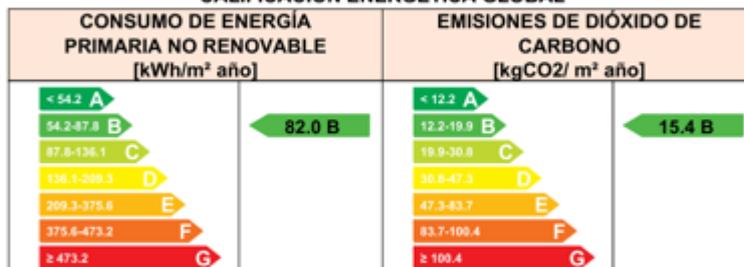
#### Coste estimado de la medida

23822.0 €

#### Otros datos de interés

**Mejoras2**

**CALIFICACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL**



**CALIFICACIONES ENERGÉTICAS PARCIALES**



**ANÁLISIS TÉCNICO**

Indicador	Calefacción		Refrigeración		ACS		Iluminación		Total	
	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original
Consumo Energía final [kWh/m² año]	132.80	29.2%	6.94	3.2%	22.45	-1.0%	-	-%	163.65	24.6%
Consumo Energía primaria no renovable [kWh/m² año]	49.21 B	77.7%	13.56 B	3.2%	16.36 E	37.6%	-	-%	81.96 B	68.6%
Emisiones de CO2 [kgCO2/m² año]	9.68 B	83.4%	2.30 A	3.2%	2.95 D	57.4%	-	-%	15.40 B	77.2%
Demanda [kWh/m² año]	116.38 E	6.0%	13.88 B	3.2%						

Nota: Los indicadores energéticos anteriores están calculados en base a coeficientes estándar de operación y funcionamiento del edificio, por lo que solo son válidos a efectos de su calificación energética. Para el análisis económico de las medidas de ahorro y eficiencia energética, el técnico certificador deberá utilizar las condiciones reales y datos históricos de consumo del edificio.

DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA DE MEJORA
<b>Características de la medida (modelo de equipos, materiales, parámetros característicos )</b> La mejoras consisten en la instalación de una caldera de biomasa + resistencia que sean capaces de calentar el acumulador de ACS y calefacción tanto en invierno como en verano. También paneles fotovoltaicos y mejora de la estanqueidad de las ventanas.
<b>Coste estimado de la medida</b> 4437.0 €
<b>Otros datos de interés</b>

## ANEXO IV PRUEBAS, COMPROBACIONES E INSPECCIONES REALIZADAS POR EL TÉCNICO CERTIFICADOR

Se describen a continuación las pruebas, comprobaciones e inspecciones llevadas a cabo por el técnico certificador durante el proceso de toma de datos y de calificación de la eficiencia energética del edificio, con la finalidad de establecer la conformidad de la información de partida contenida en el certificado de eficiencia energética.

<b>Fecha de realización de la visita del técnico certificador</b>	25/12/2024
---	------------

### COMENTARIOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR

Durante el análisis técnico y económico, se determinó que la instalación de un SATE (si bien necesaria para alcanzar la calificación energética A) no resultaba económicamente prioritaria en este contexto, dado su alto coste y su limitado retorno a medio plazo. En su lugar, se apostó por medidas más asequibles, pero igualmente efectivas para mejorar la eficiencia, como la intervención en carpinterías y puentes térmicos concretos. Asimismo, el dimensionado de la instalación fotovoltaica se ajustó de 4 kWp a 2,5 kWp, manteniendo la batería de 5,12 kWh, para cumplir con los requisitos de subvencionabilidad del Programa 4, optimizando así la relación coste-beneficio.

Documento: Informe descriptivo de la medida de mejora [Fuen25]

	<b>IDENTIFICACIÓN</b>		Ref. Catastral	18047A00500507	Versión informe asociado	11/08/2025
	Id. Mejora		Programa y versión	CEXv2.3	Fecha	11/08/2025

**Informe descriptivo de la medida de mejora**

DENOMINACIÓN DE LA MEDIDA DE MEJORA
Mejoras1

DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA DE MEJORA
<p><b>Características de la medida (modelo de equipos, materiales, parámetros característicos )</b></p> <p>Las mejoras consisten en la instalación de una caldera de biomasa + resistencia que sean capaces de calentar el acumulador de ACS y calefacción tanto en invierno como en verano. También paneles fotovoltaicos y mejora del aislamiento térmico tanto en fachada por el exterior (SATE) como en las cubiertas por el interior.</p>
<p><b>Coste estimado de la medida</b></p> <p>23822.0 €</p>
<p><b>Otros datos de interés</b></p>



	<b>IDENTIFICACIÓN</b>		Ref. Catastral	18047A00500507	Versión informe asociado	11/08/2025
	Id. Mejora		Programa y versión	CEXv2.3	Fecha	11/08/2025

## ANÁLISIS TÉCNICO

Indicador	Calefacción		Refrigeración		ACS		Iluminación		Total	
	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original
Consumo Energía final [kWh/m <sup>2</sup> año]	72.71	61.2%	7.01	2.3%	22.45	-1.0%	-	-%	102.48	52.8%
Consumo Energía primaria no renovable [kWh/m <sup>2</sup> año]	26.94	A 87.8%	13.69	B 2.3%	16.36	E 37.6%	-	-%	57.59	B 78.0%
Emisiones de CO2 [kgCO2/m <sup>2</sup> año]	5.30	A 90.9%	2.32	A 2.3%	2.95	D 57.4%	-	-%	10.66	A 84.2%
Demanda [kWh/m <sup>2</sup> año]	63.72	C 48.5%	14.01	B 2.3%						

## ENVOLVENTE TÉRMICA

### Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie actual [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia actual [W/m <sup>2</sup> K]	Superficie post mejora [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia post mejora [W/m <sup>2</sup> K]
Muro con terreno	Fachada	7.22	2.00	7.22	0.80
Muro de fachada patio exterior P0	Fachada	20.98	0.96	20.98	0.80
Muro de fachada patio trasero P0	Fachada	19.21	1.01	19.21	0.80
Muro de fachada patio interior SO P0	Fachada	22.59	1.68	22.59	0.80
Medianería Planta Baja	Fachada	26.83	0.00	26.83	0.00
Suelo con terreno	Suelo	7.22	1.00	7.22	1.00
Muro de fachada patio exterior P1	Fachada	20.16	1.57	20.16	0.80
Muro de fachada patio interior SO P1	Fachada	15.31	1.86	15.31	0.80
Muro de fachada patio interior SE P1	Fachada	27.54	1.16	27.54	0.80
Muro de fachada patio trasero P1	Fachada	46.26	1.12	46.26	0.80
Muro de fachada calle P1 ?	Fachada	11.61	1.09	11.61	0.80
Medianería P1	Fachada	26.69	0.00	26.69	0.00
Suelo con aire C2 P1	Suelo	33.92	1.00	33.92	1.00
Cubierta con aire C2 P1	Cubierta	52.90	0.89	52.90	0.46
Cubierta Superior	Cubierta	94.56	0.89	94.56	0.46
Muro de fachada patio exterior P2	Fachada	14.88	1.74	14.88	0.80
Muro de fachada patio interior P2	Fachada	26.68	2.01	26.68	0.80
Muro de fachada patio trasero P2	Fachada	16.88	1.65	16.88	0.80
Medianería P2	Fachada	28.25	0.00	28.25	0.00

	<b>IDENTIFICACIÓN</b>		Ref. Catastral	18047A00500507	Versión informe asociado	11/08/2025
	Id. Mejora		Programa y versión	CEXv2.3	Fecha	11/08/2025

### Huecos y lucernarios

Nombre	Tipo	Superficie actual [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia actual del hueco [W/m <sup>2</sup> K]	Transmitancia actual del vidrio [W/m <sup>2</sup> K]	Superficie post mejora [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia post mejora [W/m <sup>2</sup> K]	Transmitancia post mejora del vidrio [W/m <sup>2</sup> K]
Ventana	Hueco	1.82	3.08	3.30	1.82	3.08	3.30
Ventana 2	Hueco	1.40	3.08	3.30	1.40	3.08	3.30
Ventana Cocina	Hueco	1.57	3.08	3.30	1.57	3.08	3.30
Ventana Baño	Hueco	0.46	3.08	3.30	0.46	3.08	3.30
Puerta acristalada	Hueco	2.35	5.36	5.70	2.35	5.36	5.70
Ventana Balcón	Hueco	3.31	3.08	3.30	3.31	3.08	3.30
Ventana 3	Hueco	1.50	3.08	3.30	1.50	3.08	3.30
Ventana Salón Juego peque	Hueco	0.81	3.08	3.30	0.81	3.08	3.30
Ventana Salón Juego grande	Hueco	2.96	3.08	3.30	2.96	3.08	3.30
Ventana Aseo P1	Hueco	0.58	3.08	3.30	0.58	3.08	3.30
Ventana Escalera P1	Hueco	1.52	3.08	3.30	1.52	3.08	3.30
Ventana Baño Principal	Hueco	1.32	3.08	3.30	1.32	3.08	3.30
Ventana 4	Hueco	1.03	3.08	3.30	1.03	3.08	3.30
Ventana Aseo P2	Hueco	0.58	3.08	3.30	0.58	3.08	3.30
Ventana 5 P2	Hueco	1.57	3.08	3.30	1.57	3.08	3.30
Ventana 6 P2	Hueco	1.20	3.08	3.30	1.20	3.08	3.30
Ventana Escalera P2	Hueco	0.58	3.08	3.30	0.58	3.08	3.30

### INSTALACIONES TÉRMICAS

#### Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal	Rendimiento Estacional	Estimación Energía Consumida anual	Tipo post mejora	Potencia nominal post mejora	Rendimiento o estacional post mejora	Estimación Energía Consumida anual Post mejora	Energía anual ahorrada
		[kW]	[%]	[kWh/m <sup>2</sup> año]		[kW]	[%]	[kWh/m <sup>2</sup> año]	[kWh/m <sup>2</sup> año]
Calefacción y ACS	Caldera Estándar	24.0	66.0%	-	-	-	-	-	-
Biomasa	-	-	-	-	Caldera Estándar	-	85.0%	-	-
Resistencia	-	-	-	-	Efecto Joule	-	100.0%	-	-
<b>TOTALES</b>									

	<b>IDENTIFICACIÓN</b>		Ref. Catastral	18047A00500507	Versión informe asociado	11/08/2025
	Id. Mejora		Programa y versión	CEXv2.3	Fecha	11/08/2025

#### Generadores de refrigeración

Nombre	Tipo	Potencia nominal	Rendimiento Estacional	Estimación Energía Consumida anual	Tipo post mejora	Potencia nominal post mejora	Rendimiento o estacional post mejora	Estimación Energía Consumida anual Post mejora	Energía anual ahorrada
		[kW]	[%]	[kWh/año]		[kW]	[%]	[kWh/año]	[kWh/año]
<b>TOTALES</b>		-		-		-		-	-

#### Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Nombre	Tipo	Potencia nominal	Rendimiento Estacional	Estimación Energía Consumida anual	Tipo post mejora	Potencia nominal post mejora	Rendimiento o estacional post mejora	Estimación Energía Consumida anual Post mejora	Energía anual ahorrada
		[kW]	[%]	[kWh/año]		[kW]	[%]	[kWh/año]	[kWh/año]
Calefacción y ACS	Caldera Estándar	24.0	66.0%	-	-	-	-	-	-
Biomasa	-	-	-	-	Caldera Estándar	-	85.0%	-	-
Resistencia	-	-	-	-	Efecto Joule	-	100.0%	-	-
<b>TOTALES</b>		-		-		-		-	-

#### ENERGÍAS RENOVABLES

##### Eléctrica

Nombre	Energía eléctrica generada y autoconsumida [kWh/año]	Energía eléctrica generada y autoconsumida post mejora [kWh/año]
Paneles fotovoltaicos	-	1816
<b>TOTALES</b>	-	1816.0

	<b>IDENTIFICACIÓN</b>		Ref. Catastral	18047A00500507	Versión informe asociado	11/08/2025
	Id. Mejora		Programa y versión	CEXv2.3	Fecha	11/08/2025

## Informe descriptivo de la medida de mejora

DENOMINACIÓN DE LA MEDIDA DE MEJORA
Mejoras2

DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA DE MEJORA
<p><b>Características de la medida (modelo de equipos, materiales, parámetros característicos )</b></p> <p>La mejoras consisten en la instalación de una caldera de biomasa + resistencia que sean capaces de calentar el acumulador de ACS y calefacción tanto en invierno como en verano. También paneles fotovoltaicos y mejora de la estanqueidad de las ventanas.</p>
<p><b>Coste estimado de la medida</b></p> <p>4437.0 €</p>
<p><b>Otros datos de interés</b></p>

### CALIFICACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE [kWh/m <sup>2</sup> año]	EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO [kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> año]
 <p>81.96 B</p>	 <p>15.4 B</p>

### CALIFICACIONES ENERGÉTICAS PARCIALES

DEMANDA DE CALEFACCIÓN [kWh/ m <sup>2</sup> año]	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN [kWh/m <sup>2</sup> año]
 <p>116.38 E</p>	 <p>13.88 B</p>

	<b>IDENTIFICACIÓN</b>		Ref. Catastral	18047A00500507	Versión informe asociado	11/08/2025
	Id. Mejora		Programa y versión	CEXv2.3	Fecha	11/08/2025

## ANÁLISIS TÉCNICO

Indicador	Calefacción		Refrigeración		ACS		Iluminación		Total	
	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original
Consumo Energía final [kWh/m <sup>2</sup> año]	132.80	29.2%	6.94	3.2%	22.45	-1.0%	-	-%	163.65	24.6%
Consumo Energía primaria no renovable [kWh/m <sup>2</sup> año]	49.21	B 77.7%	13.56	B 3.2%	16.36	E 37.6%	-	-%	81.96	B 68.6%
Emissiones de CO2 [kgCO2/m <sup>2</sup> año]	9.68	B 83.4%	2.30	A 3.2%	2.95	D 57.4%	-	-%	15.40	B 77.2%
Demanda [kWh/m <sup>2</sup> año]	116.38	E 6.0%	13.88	B 3.2%						

## ENVOLVENTE TÉRMICA

### Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie actual [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia actual [W/m <sup>2</sup> K]	Superficie post mejora [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia post mejora [W/m <sup>2</sup> K]
Muro con terreno	Fachada	7.22	2.00	7.22	2.00
Muro de fachada patio exterior P0	Fachada	20.98	0.96	20.98	0.96
Muro de fachada patio trasero P0	Fachada	19.21	1.01	19.21	1.01
Muro de fachada patio interior SO P0	Fachada	22.59	1.68	22.59	1.68
Medianería Planta Baja	Fachada	26.83	0.00	26.83	0.00
Suelo con terreno	Suelo	7.22	1.00	7.22	1.00
Muro de fachada patio exterior P1	Fachada	20.16	1.57	20.16	1.57
Muro de fachada patio interior SO P1	Fachada	15.31	1.86	15.31	1.86
Muro de fachada patio interior SE P1	Fachada	27.54	1.16	27.54	1.16
Muro de fachada patio trasero P1	Fachada	46.26	1.12	46.26	1.12
Muro de fachada calle P1 ?	Fachada	11.61	1.09	11.61	1.09
Medianería P1	Fachada	26.69	0.00	26.69	0.00
Suelo con aire C2 P1	Suelo	33.92	1.00	33.92	1.00
Cubierta con aire C2 P1	Cubierta	52.90	0.89	52.90	0.46
Cubierta Superior	Cubierta	94.56	0.89	94.56	0.46
Muro de fachada patio exterior P2	Fachada	14.88	1.74	14.88	1.74
Muro de fachada patio interior P2	Fachada	26.68	2.01	26.68	2.01
Muro de fachada patio trasero P2	Fachada	16.88	1.65	16.88	1.65
Medianería P2	Fachada	28.25	0.00	28.25	0.00

	<b>IDENTIFICACIÓN</b>		Ref. Catastral	18047A00500507	Versión informe asociado	11/08/2025
	Id. Mejora		Programa y versión	CEXv2.3	Fecha	11/08/2025

#### Huecos y lucernarios

Nombre	Tipo	Superficie actual [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia actual del hueco [W/m <sup>2</sup> K]	Transmitancia actual del vidrio [W/m <sup>2</sup> K]	Superficie post mejora [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia post mejora [W/m <sup>2</sup> K]	Transmitancia post mejora del vidrio [W/m <sup>2</sup> K]
Ventana	Hueco	1.82	3.08	3.30	1.82	3.08	3.30
Ventana 2	Hueco	1.40	3.08	3.30	1.40	3.08	3.30
Ventana Cocina	Hueco	1.57	3.08	3.30	1.57	3.08	3.30
Ventana Baño	Hueco	0.46	3.08	3.30	0.46	3.08	3.30
Puerta acristalada	Hueco	2.35	5.36	5.70	2.35	5.36	5.70
Ventana Balcón	Hueco	3.31	3.08	3.30	3.31	3.08	3.30
Ventana 3	Hueco	1.50	3.08	3.30	1.50	3.08	3.30
Ventana Salón Juego peque	Hueco	0.81	3.08	3.30	0.81	3.08	3.30
Ventana Salón Juego grande	Hueco	2.96	3.08	3.30	2.96	3.08	3.30
Ventana Aseo P1	Hueco	0.58	3.08	3.30	0.58	3.08	3.30
Ventana Escalera P1	Hueco	1.52	3.08	3.30	1.52	3.08	3.30
Ventana Baño Principal	Hueco	1.32	3.08	3.30	1.32	3.08	3.30
Ventana 4	Hueco	1.03	3.08	3.30	1.03	3.08	3.30
Ventana Aseo P2	Hueco	0.58	3.08	3.30	0.58	3.08	3.30
Ventana 5 P2	Hueco	1.57	3.08	3.30	1.57	3.08	3.30
Ventana 6 P2	Hueco	1.20	3.08	3.30	1.20	3.08	3.30
Ventana Escalera P2	Hueco	0.58	3.08	3.30	0.58	3.08	3.30

#### INSTALACIONES TÉRMICAS

##### Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal	Rendimiento Estacional	Estimación Energía Consumida anual	Tipo post mejora	Potencia nominal post mejora	Rendimiento o estacional post mejora	Estimación Energía Consumida anual Post mejora	Energía anual ahorrada
		[kW]	[%]	[kWh/año]		[kW]	[%]	[kWh/año]	[kWh/año]
Calefacción y ACS	Caldera Estándar	24.0	66.0%	-	-	-	-	-	-
Biomasa	-	-	-	-	Caldera Estándar	-	85.0%	-	-
Resistencia	-	-	-	-	Efecto Joule	-	100.0%	-	-
<b>TOTALES</b>									

	<b>IDENTIFICACIÓN</b>		Ref. Catastral	18047A00500507	Versión informe asociado	11/08/2025
	Id. Mejora		Programa y versión	CEXv2.3	Fecha	11/08/2025

#### Generadores de refrigeración

Nombre	Tipo	Potencia nominal	Rendimiento Estacional	Estimación Energía Consumida anual	Tipo post mejora	Potencia nominal post mejora	Rendimiento o estacional post mejora	Estimación Energía Consumida anual Post mejora	Energía anual ahorrada
		[kW]	[%]	[kWh/año]		[kW]	[%]	[kWh/año]	[kWh/año]
<b>TOTALES</b>		-		-		-		-	-

#### Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Nombre	Tipo	Potencia nominal	Rendimiento Estacional	Estimación Energía Consumida anual	Tipo post mejora	Potencia nominal post mejora	Rendimiento o estacional post mejora	Estimación Energía Consumida anual Post mejora	Energía anual ahorrada
		[kW]	[%]	[kWh/año]		[kW]	[%]	[kWh/año]	[kWh/año]
Calefacción y ACS	Caldera Estándar	24.0	66.0%	-	-	-	-	-	-
Biomasa	-	-	-	-	Caldera Estándar		85.0%	-	-
Resistencia	-	-	-	-	Efecto Joule		100.0%	-	-
<b>TOTALES</b>		-		-		-		-	-

#### ENERGÍAS RENOVABLES

##### Eléctrica

Nombre	Energía eléctrica generada y autoconsumida [kWh/año]	Energía eléctrica generada y autoconsumida post mejora [kWh/año]
Paneles fotovoltaicos	-	1516
<b>TOTALES</b>	-	1516.0