



Máster Universitario en Ingeniería Industrial

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE POSIBLES
MEJORAS PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA
APLICADAS A UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR**

Autor: Sandra Roque Pérez

Director: Alberto David Jáñez Cordero

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Análisis técnico-económico de posibles mejoras para la eficiencia energética aplicadas a
una vivienda unifamiliar

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2024/2025 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

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

Fdo.: Sandra Roque Pérez

Fecha: 23/06/2025

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Alberto David Jáñez Cordero

Fecha: 23/06/2025



Máster Universitario en Ingeniería Industrial

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE POSIBLES
MEJORAS PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA
APLICADAS A UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR**

Autor: Sandra Roque Pérez

Director: Alberto David Jáñez Cordero

Madrid

ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE POSIBLES MEJORAS PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA APLICADAS A UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR

Autor: Roque Pérez, Sandra.

Director: Jáñez Cordero, Alberto David.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Este Trabajo Fin de Grado analiza la viabilidad técnica, económica y ambiental de tres medidas de rehabilitación energética aplicadas de forma acumulativa a una vivienda unifamiliar: mejora de la envolvente térmica, instalación de bomba de calor aerotérmica y sistema solar térmico para ACS. Los resultados permiten evaluar su impacto en términos de ahorro energético, reducción de emisiones y rentabilidad económica, proponiendo un modelo replicable y orientado al autoconsumo.

Palabras clave: autoconsumo, rehabilitación energética, eficiencia, aerotermia, energía solar térmica

1. Introducción

La necesidad de transformar el parque edificatorio existente hacia un modelo más eficiente y descarbonizado constituye uno de los principales retos del sector de la edificación en Europa. Este trabajo aborda dicha transformación desde un enfoque práctico, evaluando distintas soluciones de mejora energética sobre una vivienda real ubicada en Galicia, en un contexto en el que la electrificación, el autoconsumo y la autosuficiencia energética cobran protagonismo.

El objetivo principal del proyecto es demostrar, mediante una metodología replicable, cómo la aplicación progresiva de soluciones pasivas y activas puede reducir de forma significativa la demanda energética del edificio, mejorar su comportamiento térmico y avanzar hacia una mayor independencia energética.

2. Definición del proyecto

El estudio se estructura en tres escenarios acumulativos. El primero contempla la mejora de la envolvente térmica del edificio, mediante la intervención sobre cerramientos, cubierta, carpinterías y aislamiento. El segundo incorpora un sistema de bomba de calor aire-agua para calefacción y ACS, sustituyendo el sistema tradicional de butano. Finalmente, el tercer escenario añade un sistema solar térmico para cubrir de forma renovable la demanda de agua caliente.

Cada medida es analizada en términos de demanda energética, ahorro económico, inversión, costes de mantenimiento y viabilidad financiera. Se utilizan herramientas de simulación energética y análisis económico a largo plazo, con horizontes de 20 y 50 años, y se aplican tasas de descuento diferenciadas según el tipo de tecnología.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

El sistema se compone de soluciones constructivas pasivas (aislamiento, mejora de cerramientos) y sistemas activos de alta eficiencia (bomba de calor aerotérmica y solar térmica para ACS). La metodología parte de la simulación del estado inicial del edificio y aplica sucesivamente cada mejora, evaluando su impacto acumulativo.

Se emplean datos de consumo energético, precios actualizados de materiales y equipos, rendimientos medios estacionales (como un COP de 3,5 para la aerotermia) y precios medios de la electricidad para calcular el ahorro generado y los flujos de caja asociados a cada escenario.

4. Resultados

Desde el punto de vista energético, el proyecto permite reducir el consumo de energía primaria no renovable de 143,15 a 79,41 kWh/m²·año, lo que representa una mejora del 44,5 %. Además, las emisiones de CO₂ se reducen de 30,06 a 18,89 kgCO₂/m²·año (-37 %) y hasta 8,73 kgCO₂/m²·año con la incorporación de aerotermia (-53,8 %). El sistema solar térmico, por su parte, permite cubrir el 100 % de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) con energía renovable generada in situ.

Desde el punto de vista económico, los resultados en condiciones base reflejan una rentabilidad limitada o negativa, principalmente debido al elevado coste inicial de algunas intervenciones (y adicional coste de mantenimiento) agrupado a continuación como “coste” y al bajo precio actual de la electricidad:

- Envolvente: coste = 104.459,72 €, ahorro anual de 2.403,24 €, VAN = -42.624,90 €
- Aerotermia: coste = 5.218,46 €, ahorro anual de 430,94 €, VAN = 275,69 €
- Solar térmico: coste = 9.689,55 € €, ahorro anual de 176,15 €, VAN = -6.293,57 €

A pesar de su baja o nula rentabilidad financiera directa, todas las medidas presentan un alto interés ambiental y estratégico: reducen significativamente las emisiones, mejoran el confort interior y refuerzan la independencia energética del edificio frente a futuras subidas de precios o restricciones normativas. Además, su viabilidad puede mejorar sustancialmente mediante subvenciones públicas, integración con otras tecnologías renovables o en contextos de mayor coste energético.

5. Conclusiones

El estudio demuestra que es posible alcanzar elevados niveles de eficiencia energética y sostenibilidad combinando soluciones pasivas con tecnologías renovables. Entre las tres medidas analizadas, la instalación de un sistema de aerotermia es la única que resulta rentable desde un punto de vista económico en condiciones base, alcanzando una TIR del 8,1 % y un VAN positivo. Sin embargo, la intervención con mayor impacto sobre el consumo energético es la mejora de la envolvente térmica, que por sí sola permite reducir la demanda en más de un 53 % y el uso de energía primaria no renovable en un 44,5 %, aunque no sea rentable financieramente en ausencia de ayudas.

Estas conclusiones reflejan la importancia de considerar no solo los criterios económicos inmediatos, sino también los beneficios estratégicos, ambientales y de confort asociados a cada medida. La metodología aplicada, que integra simulación energética, análisis económico y evaluación multicriterio, permite replicar este enfoque en otros proyectos de rehabilitación, ofreciendo una herramienta práctica para técnicos, promotores y administraciones públicas comprometidas con la transición energética del parque edificatorio.

6. Referencias

- [1] *Real Decreto 390/2021 de 1 de junio*, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. (2021, June 1). Boletín oficial del Estado <https://www.boe.es/eli/es/rd/2021/06/01/390/con>
- [2] *Directiva Europea 2010/31/UE*, de 19 de mayo de 2010 , relativa a la eficiencia energética de los edificios - EUR-Lex. (n.d.) Parlamento Europeo y del Consejo <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32010L0031>.
- [3] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2022). *Documento Básico HE: Ahorro de Energía. Código Técnico de la Edificación (CTE)*. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DccHE.pdf>

TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF POTENTIAL ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENTS APPLIED TO A SINGLE-FAMILY RESIDENTIAL BUILDING

Author: Roque Pérez, Sandra.

Supervisor: Jáñez Cordero, Alberto David.

Collaborating Entity: Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comilla

ABSTRACT

This Final Degree Project assesses the technical, economic and environmental feasibility of three cumulative energy retrofit measures applied to a single-family dwelling: thermal envelope improvement, installation of an air-to-water heat pump, and a solar thermal system for domestic hot water (DHW). The outcomes enable evaluation of their impact in terms of energy savings, emissions reduction, and financial viability, while proposing a replicable model aimed at enhancing energy self-sufficiency.

Keywords: self-consumption, energy retrofit, efficiency, aerothermal energy, solar thermal energy

1. Introduction

The need to transform the existing building stock towards a more efficient and decarbonised model is one of the main challenges facing the construction sector in Europe. This project tackles that challenge from a practical perspective, evaluating different energy improvement solutions in a real dwelling located in Galicia, in a context where electrification, self-consumption, and energy autonomy are gaining importance.

The main goal of the project is to demonstrate, through a replicable methodology, how the progressive application of passive and active measures can significantly reduce a building's energy demand, enhance its thermal performance, and foster greater energy independence.

2. Project Definition

The study is structured into three cumulative scenarios. The first focuses on improving the building's thermal envelope by upgrading walls, roof, windows, and insulation. The second incorporates an air-to-water heat pump system for heating and DHW, replacing the existing butane-based system. Lastly, the third scenario adds a solar thermal system designed to fully meet the DHW demand using renewable energy.

Each measure is analysed in terms of energy demand, economic savings, investment, maintenance costs, and financial viability. The study uses energy simulation tools and long-term economic analysis over 20- and 50-year timeframes, applying different discount rates based on the nature of the technology.

3. System/Model/Tool Description

The proposed system comprises passive construction solutions (insulation, improved glazing and enclosures) and high-efficiency active systems (aerothermal heat pump and solar thermal system for DHW). The methodology begins with simulation of the building's baseline state and applies each improvement successively, assessing the cumulative impact.

Energy consumption data, updated prices for materials and equipment, average seasonal performance values (such as a COP of 3.5 for the heat pump), and average electricity prices are used to calculate energy savings and associated cash flows for each scenario.

4. Results

From an energy perspective, the project achieves a reduction in non-renewable primary energy consumption from 143.15 to 79.41 kWh/m²·year, representing an improvement of 44.5%. CO₂ emissions decrease from 30.06 to 18.89 kgCO₂/m²·year (−37%), and to as low as 8.73 kgCO₂/m²·year with the incorporation of the heat pump (−53.8%). The solar thermal system, in turn, supplies 100% of the DHW demand with renewable energy generated on site.

Economically, the results under base-case conditions show limited or negative profitability, mainly due to the high initial investment (combined with periodic maintenance costs, here summarised as “cost”) and the current low electricity prices:

- **Envelope improvement:** cost = €104,459.72, annual savings = €2,403.24, NPV = - €42,624.90
- **Aerothermal system:** cost = €5,218.46, annual savings = €430.94, NPV = €275.69
- **Solar thermal system:** cost = €9,689.55, annual savings = €176.15, NPV = - €6,293.57

Despite their low or negative direct financial returns, all measures show high environmental and strategic value: they significantly reduce emissions, enhance indoor comfort, and increase the building's energy independence in the face of future price volatility or regulatory constraints. Moreover, their feasibility could improve considerably with the availability of public subsidies, integration with other renewable technologies, or under scenarios of rising energy prices.

5. Conclusions

This study demonstrates that combining passive solutions with renewable technologies can lead to high levels of energy efficiency and sustainability. Among the three measures analysed, only the installation of an aerothermal system proves economically viable under baseline conditions, achieving an 8.1% internal rate of return and a positive NPV. However, the most impactful intervention in terms of reducing energy consumption is the thermal envelope upgrade, which alone achieves a 53% reduction in energy demand and a 44.5% decrease in non-renewable primary energy use, although it is not financially profitable without external support.

These findings highlight the importance of evaluating not only immediate economic criteria but also the broader strategic, environmental, and comfort-related benefits of

each measure. The methodology applied, combining energy simulation, economic analysis and multicriteria evaluation, offers a robust and replicable framework for other retrofit projects, serving as a practical decision-making tool for professionals, developers, and public authorities committed to the energy transition of the building sector.

6. References

- [1] *Real Decreto 390/2021 de 1 de junio*, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. (2021, June 1). Boletín oficial del Estado <https://www.boe.es/eli/es/rd/2021/06/01/390/con>
- [2] *Directiva Europea 2010/31/UE*, de 19 de mayo de 2010 , relativa a la eficiencia energética de los edificios - EUR-Lex. (n.d.) Parlamento Europeo y del Consejo <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32010L0031>.
- [3] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2022). *Documento Básico HE: Ahorro de Energía. Código Técnico de la Edificación (CTE)*. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DccHE.pdf>

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	6
1.1 Motivación del proyecto.....	6
1.2 Objetivos	7
1.3 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	8
Capítulo 2. Estado del arte	10
2.1 Certificado de Eficiencia Energética	11
2.1.1 Concepto y marco normativo	11
2.1.2 Procedimiento de obtención	12
2.1.3 Situación Actual en España.....	13
2.2 Consumo energético del sector residencial	15
2.2.1 Situación del Parque Edificado en España	15
2.2.2 Análisis del consumo energético en el sector residencial	16
2.3 Tecnologías renovables aplicables en viviendas	18
2.3.1 Energía solar fotovoltaica.....	18
2.3.2 Energía solar térmica.....	23
2.3.3 Aerotermia.....	27
2.3.4 Geotermia:.....	32
2.4 Sistemas de almacenamiento energético	38
2.4.1 Baterías	38
2.4.2 Acumuladores de Agua.....	39
2.5 Normativa sobre eficiencia energética	40
2.5.1 Evolución del marco normativo	40
2.5.2 Marco normativo actual:.....	42
Capítulo 3. Estado Inicial.....	44
3.1 Memoria Descriptiva.....	44
3.1.1 Estructura y cimentaciones	44
3.1.2 Envolvente térmica	45
3.1.3 Cubierta.....	46
3.1.4 Carpintería	47
3.1.5 Puentes Térmicos.....	47
3.1.6 Instalaciones.....	47

3.2	Modelo Energético	48
3.2.1	Justificación del uso de HULC.....	48
3.2.2	Datos generales del edificio	49
3.2.3	Modelado geométrico.....	50
3.2.4	Instalaciones Térmicas.....	51
3.2.5	Condiciones de uso y operación.....	54
3.2.6	Resultados del modelo.....	55
Capítulo 4.	Mejora de la Envolvente Térmica.....	57
4.1	Objetivo del nuevo escenario	57
4.2	Nuevas secciones constructivas.....	59
4.2.1	Envolvente térmica	59
4.2.2	Cubierta.....	61
4.2.3	Carpintería	62
4.3	Modelo energético con nueva envolvente Térmica.....	63
4.3.1	Resultados con la mejora de la envolvente térmica	63
Capítulo 5.	Incorporación de la Aerotermia.....	66
5.1	Justificación Técnica de la Aerotermia	66
5.2	Selección del Sistema de Aerotermia.....	68
5.3	Modelo Energético	70
5.3.1	Resultados con Bomba De Calor Aire-Agua.....	71
Capítulo 6.	Incorporación de sistema solar térmico para ACS	73
6.1	Cumplimiento Normativo para el Sistema Solar Térmico	73
6.2	Justificación Técnica del Sistema Solar Térmico.....	75
6.3	Selección y dimensionamiento del sistema solar térmico	77
6.4	Modelo Energético	80
6.4.1	Resultados con Sistema Solar Térmico	81
6.5	Sistemas Auxiliares De La Instalación Solar Térmica	83
6.5.1	Acumulador de 200 litros	83
6.5.2	Aerodisipador.....	84
Capítulo 7.	Análisis Económico.....	86
7.1	Viabilidad de la mejora de la envolvente térmica	88
7.1.1	Presupuesto para la Mejora de la Envolvente Térmica	88

7.1.2 Evaluación del Proyecto de Mejora de Envolvente Térmica	90
7.2 Viabilidad de la Bomba de Calor Aerotérmica	93
7.2.1 Presupuesto de la Bomba de Calor Aerotérmica	93
7.2.2 Evaluación del Proyecto de Aerotermia	94
7.3 Viabilidad del Sistema Solar Térmico	98
7.3.1 Presupuesto del Sistema Solar Térmico	98
7.3.2 Evaluación del Proyecto del Sistema Solar Térmico	100
Capítulo 8. Conclusiones.....	103
8.1 Viabilidad técnica y energética	103
8.2 Viabilidad económica.....	104
8.3 Contribución ambiental y estratégica	105
8.4 Replicabilidad del modelo y utilidad metodológica	105
8.5 Conclusión general	106
8.6 Próximos pasos	106
Capítulo 9. Bibliografía.....	107
ANEXO I	111
ANEXO II	119
ANEXO III	127
ANEXO IV	135
ANEXO V	143

Índice de figuras

Figura 1: Ejemplo de etiqueta de Calificación Energética de un Edificio Terminado. Fuente: Enerplus.....	12
Figura 2; Distribución de la certificación energética en España en abril de 2024. Fuente: CoHispania	14
Figura 3: Evolución del consumo de energía final por usos (ktep). Fuente: IDAE	16
Figura 4: Estructura del consumo por usos. Fuente: IDAE.....	17
Figura 5: Estructura del consumo de energía final por fuentes. Fuente: IDAE.....	17
Figura 6: Representación del proceso de generación de energía solar fotovoltaica. Fuente: Iberdrola.....	19
Figura 7: Tendencia de la capacidad solar fotovoltaica en España, separada entre instalaciones en suelo y de autoconsumo, desde 2014 hasta 2023. Fuente: Red Eléctrica de España y UNEF.	22
Figura 8: Distribución de la capacidad fotovoltaica instalada por comunidades autónomas hasta abril de 2024. Fuente: Red Eléctrica de España.....	22
Figura 9: Evolución anual de metros cuadrados instalados de colectores solares térmicos en España y acumulados desde 2005 hasta 2023. Fuente: ASIT, Informe del Mercado Solar Térmico 2024.....	26
Figura 10: Funcionamiento de un equipo de aerotermia en invierno. Fuente: Hogarsense.	28
Figura 11: Evolución de las ventas de equipos de climatización y ACS en España entre 2020 y 2021. Fuente: Fegeca. Elaboración: Aldes	31
Figura 12: Ciclo de funcionamiento de una bomba de calor geotérmica. Fuente: Energanova	33
Figura 13: Mapa de recursos geotérmicos en España. Fuente: AvatarEnergía.	36
Figura 14: Representación gráfica del modelo energético	51
Figura 15: Bomba de calor aerotérmica Saunier Duval Genia Air 8. Fuente: Saunier Duval.	68
Figura 16: Captador plano Saunier Duval SRV 2.3 Fuente: Saunier Duval.	77
Figura 17: Comparativa mensual entre energía demandada y energía útil captada. Fuente: Anexo IV – Informe de cálculo solar térmico.	78
Figura 18: Acumulador Ferroli Ecounit F 200L 1C HP. Fuente: Ferroli	84

Índice de tablas

Tabla 1: Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica	20
Tabla 2: Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica	24
Tabla 3: Ventajas y desventajas de la aerotermia.....	29
Tabla 4: Ventajas y desventajas de la geotermia.....	34
Tabla 5: Composición de los Elementos Constructivos de la Envolvente Térmica y Tabiques Interiores	45
Tabla 6: Composición de los Elementos Constructivos de la Cubierta.....	46
Tabla 7: Resultados del modelo energético del estado inicial (por uso específico)	55
Tabla 8: Composición de la nueva de la Envolvente Térmica y Tabiques Interiores	60
Tabla 9: Composición de los Elementos Constructivos de la Cubierta.....	62
Tabla 10: Resultados del modelo energético del escenario mejorado (por uso específico)	64
Tabla 11: Resultados del modelo energético con bomba de calor aire-agua (por uso específico).....	71
Tabla 12: Características técnicas del sistema solar térmico Saunier Duval SRV 2.3	78
Tabla 13: Resultados del modelo energético con sistema combinado aerotermia + solar térmica (por uso específico)	81
Tabla 14: Características técnicas del acumulador solar Ferroli Ecounit F 200L 1C HP ...	83
Tabla 15: Características técnicas del aerodisipador FERCO ATS-55/1CU	84
Tabla 16: Presupuesto estimado de la mejora de la envolvente térmica (actualizado a precios 2024-2025)	89
Tabla 17: Flujos de caja generados por la mejora de la envolvente térmica (2025–2034) .	91
Tabla 18: Presupuesto detallado de la bomba de calor Magna Aqua 200. (Fuente: Generador de Precios de Saunier Duval).....	94
Tabla 19: Flujos de caja generados por la mejora mediante aerotermia (2025–2034).....	96
Tabla 20: Presupuesto detallado del sistema solar térmico para producción de ACS.....	99
Tabla 21: Flujos de caja generados por la mejora mediante sistema solar térmico (2025–2034).....	101

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se llevará a cabo el análisis de eficiencia energética de una vivienda unifamiliar ubicada en Nigrán, Galicia. Dicho estudio se realizará a través de simulaciones con herramientas software analizando detalladamente los distintos elementos constructivos, la demanda energética de la vivienda y las medidas de eficiencia energética disponibles en el mercado se propone implementar, analizando también su viabilidad económica.

La creciente preocupación por el medio ambiente y los elevados precios de la energía hacen que un consumo energético responsable y eficiente haya sido el detonante para impulsar la búsqueda de soluciones que permitan minimizar el consumo energético en las edificaciones y las emisiones en todos los ámbitos pero especialmente en el sector residencial.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La principal motivación de este proyecto es demostrar que la implementación de medidas de eficiencia energética en una vivienda unifamiliar puede generar tanto beneficios ambientales como económicos. En un contexto global en el que la sostenibilidad se posiciona como un pilar fundamental, el sector residencial desempeña un papel crucial en la lucha contra el cambio climático, dado que es responsable de una proporción significativa del consumo energético y de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Actualmente, la adopción de medidas de eficiencia energética enfrenta varias barreras, entre ellas, la falta de estudios que validen su viabilidad económica y demuestren claramente el retorno de inversión para los propietarios. Este aspecto es particularmente relevante, ya que muchas familias o individuos desconocen si los costes iniciales de estas mejoras serán recuperables y, en caso afirmativo, en qué plazo. Sin esta información, las decisiones de inversión en eficiencia energética suelen quedar relegadas, perpetuando un modelo de consumo energético poco eficiente.

El presente proyecto busca abordar esta problemática a través de un análisis detallado que permita, no solo reducir el impacto ambiental de una vivienda unifamiliar, sino también demostrar que las medidas propuestas son amortizables y representan una inversión financieramente viable. Para ello, se utilizará un enfoque basado en simulaciones energéticas

que comenzará con un "Escenario 0," es decir, la situación actual de la vivienda sin medidas de eficiencia implementadas. Posteriormente, se evaluarán y compararán distintas estrategias de mejora, como mejoras en el aislamiento térmico, la integración de energías renovables y la optimización de sistemas de calefacción y refrigeración.

Además, este estudio tiene como objetivo proporcionar una visión equilibrada entre el impacto ambiental y el retorno económico, incentivando así a los propietarios a adoptar prácticas más sostenibles y eficientes. La investigación ofrecerá información fundamentada y práctica para la toma de decisiones, promoviendo un cambio hacia un modelo residencial más responsable, competitivo y alineado con los objetivos de sostenibilidad global.

En resumen, el proyecto no solo se centra en mejorar las condiciones energéticas de una vivienda unifamiliar, sino también en validar que estas mejoras constituyen un valor económico tangible. Este doble enfoque, que combina los beneficios ambientales y económicos, tiene el potencial de convertirse en un modelo de referencia para fomentar prácticas residenciales sostenibles y responsables en el sector energético.

1.2 OBJETIVOS

Este proyecto tiene como finalidad realizar un análisis exhaustivo de la eficiencia energética de una vivienda unifamiliar, comenzando por la evaluación de su estado actual y explorando diferentes escenarios de mejora. A través de este enfoque, se pretende identificar estrategias que sean viables tanto en términos ambientales como económicos, con el objetivo de proporcionar soluciones efectivas que optimicen el consumo energético, reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero y resulten económicamente rentables para los propietarios.

El análisis parte del "Escenario 0", que representa la situación energética inicial de la vivienda, evaluando su consumo de energía y las emisiones asociadas antes de implementar cualquier medida de eficiencia. Con base en este diagnóstico, se identificarán y seleccionarán diversas estrategias de mejora, como la optimización del aislamiento térmico, la incorporación de energías renovables y la modernización de los sistemas de calefacción y refrigeración. Estas propuestas se evaluarán mediante la herramienta unificada de simulación energética, LIDER-CALENER (HULC) que permitirá analizar el impacto de cada medida sobre el consumo energético, las emisiones de carbono y los costes asociados.

Uno de los objetivos centrales del proyecto es demostrar que las medidas de eficiencia energética no solo reducen el impacto ambiental y consumo energético, sino que también son económicamente amortizables a lo largo del tiempo. Para ello, se realizará un análisis económico detallado que considere los costos iniciales de implementación y los ahorros energéticos proyectados. Esto permitirá verificar la viabilidad financiera de las propuestas y determinar cuáles ofrecen el mejor balance entre impacto ambiental y retorno económico.

Finalmente, el proyecto busca proporcionar una visión integral que permita comparar las distintas alternativas y desarrollar recomendaciones específicas para la adopción de las medidas más efectivas. Estas conclusiones no solo fomentarán prácticas sostenibles y responsables en el ámbito residencial, sino que también ofrecerán una base sólida para la toma de decisiones fundamentadas, incentivando a los propietarios a adoptar mejoras que beneficien tanto al medio ambiente como a su economía.

Con este enfoque, el proyecto no solo pretende mejorar las condiciones energéticas de una vivienda unifamiliar, sino también contribuir a la promoción de un modelo residencial más sostenible y económicamente viable, alineado con los objetivos globales de desarrollo sostenible y acción climática.

1.3 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

El presente proyecto se alinea con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos en 2015 dentro de la Agenda 2030, cuyo propósito es proteger el planeta, combatir la pobreza y promover un desarrollo equitativo y sostenible. Estos objetivos requieren la colaboración activa de todos los sectores de la sociedad, y este proyecto, centrado en la eficiencia energética, busca contribuir a dichos esfuerzos mediante la creación de un entorno más sostenible y responsable. A continuación, se describe la relación directa de este proyecto con los ODS más relevantes:



Energía Asequible y No Contaminante (ODS 7)

Este objetivo tiene como meta garantizar el acceso universal a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna. El proyecto contribuye directamente al ODS 7 al promover un consumo energético más eficiente y responsable en el ámbito residencial. Implementar medidas de eficiencia energética permite reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables, disminuyendo así las

emisiones asociadas y optimizando los recursos disponibles. Además, estas medidas no solo hacen más accesible el consumo energético, sino que también contribuyen a un modelo energético más limpio y sostenible para el futuro.



Ciudades y Comunidades Sostenibles (ODS 11)

El proyecto está vinculado al ODS 11, que busca desarrollar ciudades y comunidades sostenibles. Al centrarse en la mejora de la eficiencia energética en viviendas unifamiliares, el proyecto fomenta la construcción de comunidades menos contaminantes y más responsables en el uso de los recursos. Dado el creciente impacto ambiental asociado al consumo energético en áreas urbanas y suburbanas, este proyecto aborda un aspecto clave del desarrollo sostenible: reducir la huella de carbono residencial mediante soluciones prácticas que beneficien tanto a los usuarios como al entorno.



Acción por el Clima (ODS 13)

El proyecto también se alinea con el ODS 13, que insta a tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático. La reducción del consumo energético y de las emisiones de gases de efecto invernadero, combinada con un análisis económico que garantice la viabilidad de las propuestas, fomenta prácticas sostenibles y replicables a gran escala. Este enfoque permite no solo minimizar el impacto climático, sino también incentivar a más propietarios a adoptar mejoras que beneficien al medio ambiente y sus economías.

En definitiva, este proyecto establece un vínculo sólido con varios ODS al fomentar prácticas de eficiencia energética en viviendas unifamiliares. Estas acciones representan un paso significativo hacia el desarrollo sostenible, promoviendo comunidades más eficientes, resilientes y comprometidas con la acción climática.

Capítulo 2. ESTADO DEL ARTE

La eficiencia energética en el sector residencial se ha convertido en una prioridad para las políticas globales buscando mitigar el impacto del cambio climático y optimizar el uso de los recursos disponibles. Los edificios representan aproximadamente el 40% del consumo total energético final a nivel mundial, con el sector residencial contribuye significativamente a este porcentaje, especialmente en regiones con un parque edificatorio envejecido y poco actualizados o adaptado a criterios de sostenibilidad [1].

Con la creciente demanda de energía y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, se han desarrollado tecnologías renovables, sistemas de almacenamiento y normativas específicas que buscan mejorar la eficiencia energética en los hogares [2]. Alineado con esto, el marco normativo europeo y nacional ha establecido metas ambiciosas que priorizan la integración de energías limpias y la modernización energética del parque inmobiliario existente [3].

En el ámbito de las tecnologías, soluciones como la energía solar fotovoltaica, la aerotermia y los sistemas de almacenamiento energético serán efectivas para reducir el consumo energético y aumentar la autosuficiencia de las viviendas. Además, tendencias innovadoras como los Edificios de Energía Casi Nula (NZEB, por sus siglas en inglés) están marcando el camino hacia un diseño de edificaciones más sostenibles, que no solo integren fuentes renovables, sino que también tengan un impacto ambiental mínimo [4].

Este Estado del Arte recopila y analiza las principales tecnologías, normativas y ejemplos operativos relacionados con la eficiencia energética en viviendas unifamiliares, proporcionando un marco teórico que apoya la importancia y viabilidad de las soluciones propuestas en el proyecto. A través de esta revisión, se establecen las bases para comprender los avances actuales en el sector y los desafíos existentes en el camino hacia la sostenibilidad total.

2.1 CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

2.1.1 CONCEPTO Y MARCO NORMATIVO

La Calificación de Eficiencia Energética de un edificio o parte de él es el resultado del cálculo del consumo energético necesario para satisfacer la demanda energética del inmueble en condiciones normales de funcionamiento [5]. Esta evaluación clasifica los edificios dentro de una escala de eficiencia energética, que varía desde la categoría "A", para los edificios más eficientes, hasta la "G", para los menos eficientes. Dicha calificación se basa en la simulación de condiciones de uso homogéneas y no considera el uso real de los ocupantes, asegurando así una comparación justa y objetiva entre inmuebles. De esta forma, se facilita la toma de decisiones a la hora de comprar, alquilar o rehabilitar un edificio, promoviendo la adopción de medidas que mejoren su desempeño energético.

La **Certificación de Eficiencia Energética** es el proceso que permite asignar esta calificación energética a un edificio a través de un certificado oficial. Este certificado, emitido por un técnico autorizado, proporciona información clara sobre el desempeño energético de un inmueble. Aunque no verifica otros requisitos técnicos del edificio, es una herramienta clave para fomentar el ahorro energético en los hogares y aumentar la transparencia del mercado inmobiliario, al permitir que los compradores o inquilinos conozcan la calidad energética de una vivienda [6].

El **Certificado de Eficiencia Energética (CEE)** tiene una validez máxima de diez años, salvo en los casos en los que la calificación sea "G", cuya validez se limita a cinco años. Desde la publicación del Real Decreto 390/2021, este certificado es obligatorio en España. Esta normativa actualiza y complementa la regulación previa, alineándose con la Directiva Europea 2010/31/UE [2][3].

La Figura 1 muestra un ejemplo de etiqueta de Calificación Energética de un Edificio Terminado, donde se destacan los elementos clave del certificado, como la escala de eficiencia energética, los indicadores principales y secundarios de consumo energético y emisiones de CO₂, el código de registro, y la normativa aplicada al edificio.

Existen modelos diferentes de etiqueta en función de si es un edificio terminado como el del ejemplo, un edificio existente (caso aplicable al proyecto) o un proyecto.



Figura 1: Ejemplo de etiqueta de Calificación Energética de un Edificio Terminado. Fuente: Enerplus

Desde el 3 de junio de 2021, la emisión del CEE es obligatoria para los edificios de nueva construcción y para aquellos inmuebles o partes de edificios existentes que se vendan o alquilen a un nuevo arrendatario. La normativa también incluye edificios que realicen reformas o ampliaciones significativas, como la sustitución, instalación o renovación de las instalaciones térmicas que requieran un proyecto conforme al Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

Entre el 3 de junio de 2021 y el 3 de junio de 2022, se estableció un periodo voluntario para la aplicación de estas disposiciones. Durante este tiempo, podían acogerse a la normativa edificios en construcción, aquellos con licencia municipal solicitada o proyectos aprobados antes de la entrada en vigor del Real Decreto. Para los edificios que no optaran por esta aplicación voluntaria, se mantuvo vigente lo expuesto en el Real Decreto 235/2013 [7].

2.1.2 PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN

El propietario o promotor del edificio o vivienda es responsable de obtener el Certificado de Eficiencia Energética en los casos en los que sea obligatorio, según lo estipulado en el Real Decreto 390/2021. Para ello, debe contratar los servicios de un técnico competente autorizado, como un arquitecto, ingeniero o técnico especializado, quien llevará a cabo el proceso de certificación energética.

Durante el proceso, el técnico certificador realizará al menos una visita al inmueble para tomar los datos necesarios, efectuar pruebas y realizar comprobaciones que aseguren la correcta evaluación energética del edificio o de la parte del mismo. Esta visita debe realizarse con una antelación máxima de tres meses antes de la emisión del certificado [5]. Los datos recopilados incluyen características de la envolvente térmica, sistemas de climatización y ACS, e instalaciones energéticas del inmueble.

El Certificado de Eficiencia Energética solo tiene validez legal si está inscrito en el Registro de Certificados de Eficiencia Energética de Galicia (RGEEE) o en el organismo competente de la comunidad autónoma correspondiente. Este registro emite una etiqueta energética asociada al certificado, que incluye un número de registro único. La etiqueta energética debe acompañar siempre al certificado y permite verificar, a través de consultas públicas, que el certificado ha sido efectivamente registrado y la calificación asignada es válida.

El plazo máximo para presentar el certificado para su registro es de un mes desde la fecha de su emisión. Cumplir con este procedimiento garantiza que el certificado cumple con los requisitos legales y normativos, ofreciendo una herramienta fiable para evaluar y mejorar la eficiencia energética del inmueble.

2.1.3 SITUACIÓN ACTUAL EN ESPAÑA

En España, la adopción de tecnologías renovables en el ámbito residencial ha ganado un notable impulso en los últimos años, gracias a políticas gubernamentales, avances tecnológicos y una creciente conciencia pública sobre la importancia de la eficiencia energética. Este esfuerzo se enmarca en el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), que incluye programas de incentivos para la ejecución de instalaciones destinadas al autoconsumo, al almacenamiento de energía mediante fuentes renovables y a la implantación de sistemas térmicos renovables en el sector residencial (RD 477/2021) [8][9].

Sin embargo, según un análisis de CoHispania, sociedad de tasación homologada por el Banco de España, el 55,97% de las viviendas ofertadas en España en abril de 2024 no cumplen con la norma de certificación energética, ya que no cuentan con un certificado energético disponible. De las viviendas certificadas, la mayoría corresponde a las letras G y E, mientras que solo el 2,32% tiene una certificación energética A, la más eficiente [9].

Por provincias (Figura 2), Cáceres y Huesca destacan negativamente al registrar los mayores porcentajes de viviendas sin certificación energética, con un 78,6% y 78,4%, respectivamente. Esto evidencia una baja adopción de la normativa en estas áreas, lo que podría estar relacionado con factores como la antigüedad del parque inmobiliario, menor presión regulatoria o falta de concienciación sobre la importancia de la eficiencia energética. En contraste, Barcelona lidera en cumplimiento a nivel nacional, con un 65,3% de la oferta incluyendo la certificación energética en la publicidad de alquiler o venta. Este desempeño positivo refleja un mayor compromiso con las regulaciones y probablemente responde a un mercado inmobiliario más competitivo, mayor inversión en renovación de edificios y una mayor demanda de viviendas sostenibles por parte de los compradores y arrendatarios.

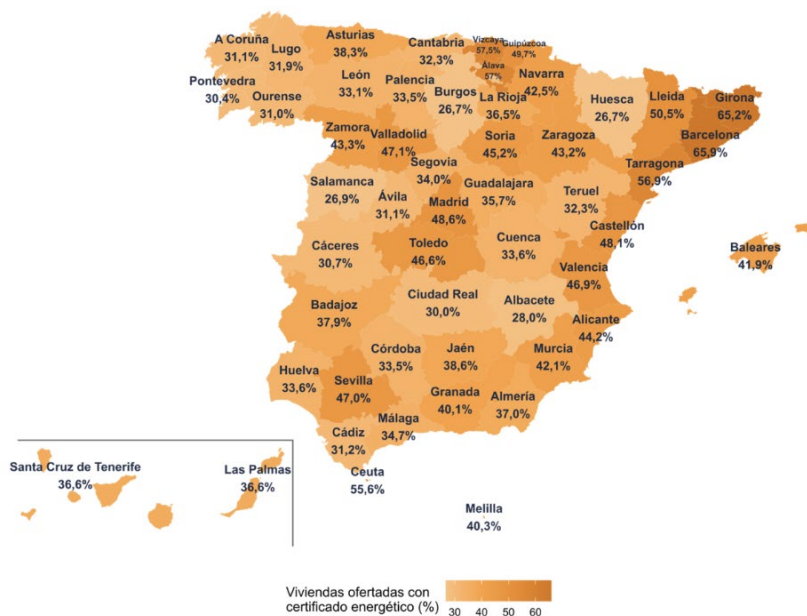


Figura 2; Distribución de la certificación energética en España en abril de 2024. Fuente: CoHispania

2.2 CONSUMO ENERGÉTICO DEL SECTOR RESIDENCIAL

El sector residencial es uno de los principales consumidores de energía en la Unión Europea, representando aproximadamente el 40 % del consumo de energía final. La Directiva 2012/27/UE, relativa a la eficiencia energética, resalta la importancia de reducir el consumo de energía en la edificación y fomentar el uso de fuentes renovables para disminuir la dependencia energética y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. Para ello, los países miembros deben transformar su modelo urbanístico, tradicionalmente basado en la expansión urbana, hacia uno más sostenible que priorice la rehabilitación, regeneración y renovación del parque edificado existente.

2.2.1 SITUACIÓN DEL PARQUE EDIFICADO EN ESPAÑA

El parque de viviendas en España presenta desafíos significativos en términos de eficiencia energética debido a la antigüedad de sus edificaciones. Según datos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, aproximadamente el 55% de los edificios en España fueron construidos antes de 1980, y alrededor del 21% tiene más de 50 años. Además, casi el 58% de los edificios existentes se edificaron antes de la implementación de la primera normativa que introdujo criterios mínimos de eficiencia energética en el país [1].

Esta situación implica que una gran parte del parque inmobiliario español carece de las características necesarias para garantizar un consumo energético eficiente. Las edificaciones anteriores a 1980 suelen presentar deficiencias en aislamiento térmico, sistemas de climatización obsoletos y una menor integración de tecnologías eficientes, lo que se traduce en un mayor consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero.

Un estudio realizado por Idealista en 2021 reveló que más de la mitad del parque de viviendas en España tiene una antigüedad superior a 40 años. Comunidades autónomas como Euskadi, Cataluña y Aragón presentan los porcentajes más altos de viviendas envejecidas, con un 63,5%, 59,8% y 56,2% respectivamente [10].

La antigüedad del parque edificatorio no solo afecta la eficiencia energética, sino también la seguridad y el confort de los habitantes. Según un artículo publicado en El País en enero de 2025, casi el 80% de las viviendas en España presentan deficiencias en sus instalaciones eléctricas debido a su obsolescencia, lo que dificulta la adopción de nuevas tecnologías y servicios energéticos, como la carga de vehículos eléctricos o sistemas de calefacción más eficientes [11].

Para abordar estos desafíos, es fundamental implementar políticas de rehabilitación y renovación urbana que prioricen la mejora de la eficiencia energética en las edificaciones existentes. Esto incluye la actualización de sistemas eléctricos, la mejora del aislamiento térmico y la incorporación de tecnologías renovables, con el objetivo de reducir el consumo energético y las emisiones asociadas, contribuyendo así a los objetivos de sostenibilidad y eficiencia establecidos tanto a nivel nacional como europeo.

2.2.2 ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN EL SECTOR RESIDENCIAL

El análisis del consumo energético desarrollado por el Instituto para de Diversificación y Ahorro de la Energía para el sector residencial español revela patrones importantes para el diseño de estrategias de eficiencia. En la Figura 3, se observa una tendencia general a la reducción del consumo energético en los hogares durante la última década, aunque con fluctuaciones. La calefacción se mantiene como el mayor consumidor energético, seguida del agua caliente sanitaria, los electrodomésticos y la iluminación [12].

Evolución del consumo de energía final por usos (ktep)

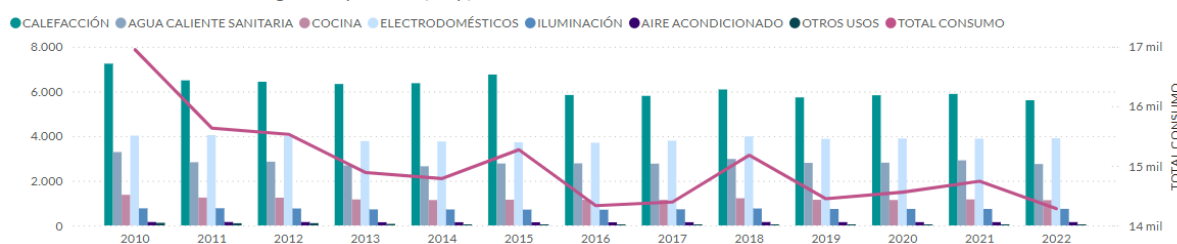


Figura 3: Evolución del consumo de energía final por usos (ktep). Fuente: IDAE

En términos de distribución, como muestra la Figura 4, la calefacción representa el 41,2 % del consumo energético total en los hogares, seguida de los electrodomésticos (25,8 %), el agua caliente sanitaria (18,9 %), la cocina (7,9 %) y la iluminación (4,9 %). Estos datos destacan la necesidad de priorizar la implementación de medidas de eficiencia en estos usos principales para lograr un impacto significativo en la reducción del consumo energético.

Estructura del consumo por usos

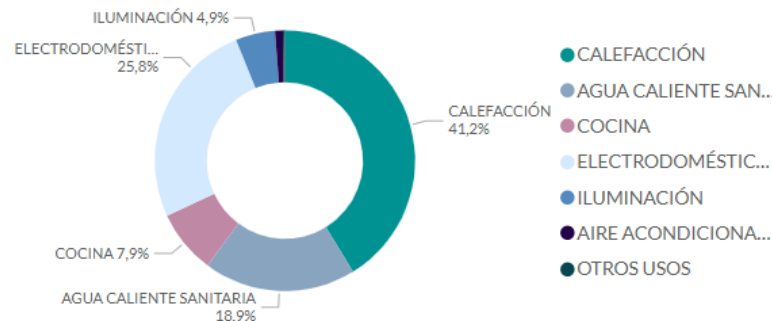


Figura 4: Estructura del consumo por usos. Fuente: IDAE

Además de los usos específicos, la Figura 5 resume la dependencia de distintas fuentes de energía en el sector residencial. La electricidad lidera el consumo con un 41,7 %, seguida del gas natural (23,0 %), la biomasa (14,2 %) y el gasóleo (10,8 %). Estas cifras reflejan la necesidad de fomentar el uso de fuentes de energía más limpias, como la electricidad de origen renovable, mientras se reduce progresivamente la dependencia de combustibles fósiles.

Estructura del consumo de energía final por fuentes

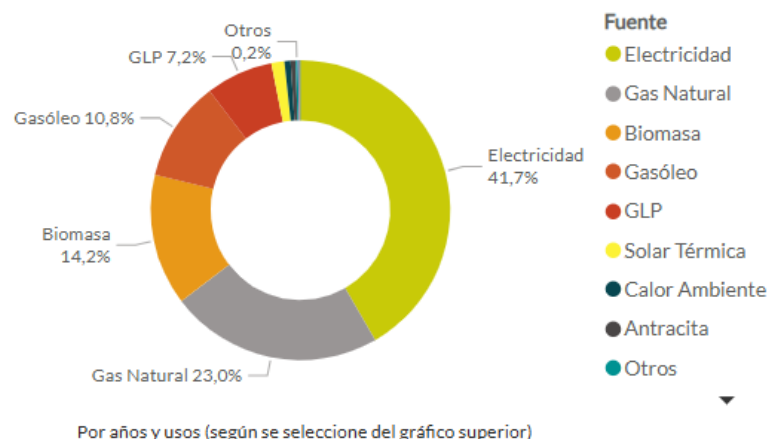


Figura 5: Estructura del consumo de energía final por fuentes. Fuente: IDAE

En conclusión, el sector residencial en España presenta un amplio margen de mejora en términos de eficiencia energética contribuyendo a la reducción del consumo y las emisiones de gases de efecto invernadero. La implementación de estrategias personalizadas y el enfoque en los usos energéticos más significativos son fundamentales para avanzar hacia un modelo energético más sostenible y competitivo.

2.3 *TECNOLOGÍAS RENOVABLES APLICABLES EN VIVIENDAS*

El creciente desafío de la sostenibilidad energética y la necesidad de mitigar el impacto ambiental de los edificios han impulsado la adopción de tecnologías renovables en el ámbito residencial. Estas soluciones buscan aprovechar recursos naturales inagotables para satisfacer las demandas energéticas de las viviendas de manera eficiente y sostenible. Además de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, el uso de energías renovables contribuye a disminuir la dependencia de combustibles fósiles y los costes asociados al consumo energético.

Este apartado aborda las principales alternativas renovables que pueden ser aplicadas en el ámbito doméstico, destacando sus características, beneficios y consideraciones clave para su integración exitosa.

2.3.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica es una de las principales tecnologías renovables utilizadas en el ámbito residencial e industrial, debido a su capacidad para aprovechar la radiación solar y transformarla en electricidad. Este tipo de energía se destaca por ser limpia, inagotable y esencial para reducir la dependencia de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero. Su implementación está en constante crecimiento gracias a los avances tecnológicos y las políticas de transición energética.

2.3.1.1 *Funcionamiento*

El proceso mediante el cual la energía solar fotovoltaica convierte la radiación solar en electricidad consta de varias etapas clave:

1. **Efecto fotoeléctrico:** Los paneles solares capturan la radiación electromagnética emitida por el sol, la cual es absorbida por las celdas fotovoltaicas compuestas de materiales semiconductores. Esto provoca la liberación de electrones y genera corriente eléctrica continua.
2. **Transformación de la energía:** La corriente continua generada por los paneles solares es transformada en corriente alterna, apta para el consumo, mediante inversores.

3. **Distribución:** La energía alterna es enviada a transformadores, que la elevan a media tensión para su distribución eficiente a través de líneas de transmisión o para el autoconsumo en las viviendas.

Este proceso ilustrado en la Figura 6 permite que la energía generada por el sol sea utilizada en hogares, edificios o incluso inyectada a la red eléctrica, convirtiéndose en una pieza clave para la sostenibilidad energética [10].

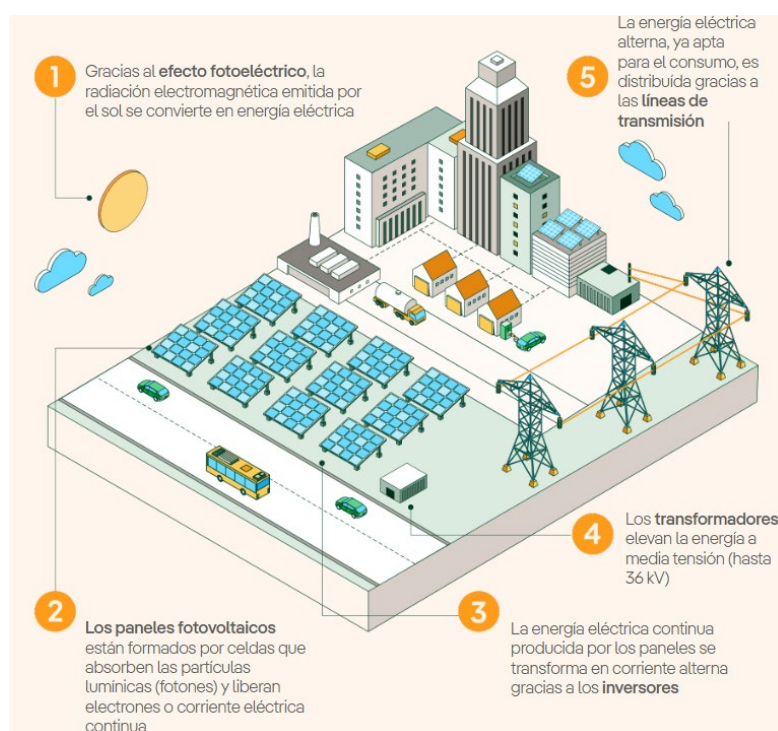


Figura 6: Representación del proceso de generación de energía solar fotovoltaica. Fuente: Iberdrola.

2.3.1.2 Ventajas y desventajas

La energía solar fotovoltaica es una tecnología clave en la transición hacia un modelo energético sostenible. Su capacidad para generar electricidad limpia y renovable presenta múltiples beneficios, como su carácter modular, su idoneidad para zonas aisladas y su contribución al desarrollo económico local. No obstante, también enfrenta desafíos como el coste inicial elevado y la dependencia de la irradiación solar. En la Tabla 1, se analizan sus principales ventajas y desventajas.

Tabla 1: Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica

Ventajas	Desventajas
Es 100 % renovable, inagotable y no contaminante, sin consumo de combustibles ni generación de residuos.	Coste inicial elevado debido a la instalación de paneles, inversores y, en su caso, baterías de almacenamiento.
Modular: permite construir desde grandes plantas fotovoltaicas en suelo hasta pequeños paneles para tejados.	Dependencia de la irradiación solar: su rendimiento disminuye en días nublados o en regiones con poca luz solar.
Posibilidad de almacenamiento: se pueden instalar baterías para aprovechar la electricidad sobrante.	Necesita espacio físico suficiente para instalar los paneles, lo que puede ser un desafío en zonas urbanas.
Ideal para zonas rurales o aisladas donde no llega el tendido eléctrico o es costoso instalarlo.	Impacto estético: en algunas áreas, la instalación de paneles puede ser percibida como visualmente intrusiva.
Contribuye a la creación de empleos verdes y a la economía local con proyectos innovadores.	La eficiencia de los paneles disminuye con el tiempo y puede requerir mantenimiento o reemplazo a largo plazo.

2.3.1.3 Viabilidad económica

La viabilidad económica de la energía solar fotovoltaica en España ha mejorado notablemente en los últimos años, consolidándose como una opción atractiva tanto para particulares como para empresas. Aunque la inversión inicial puede ser significativa, diversos factores contribuyen a su rentabilidad a medio y largo plazo. El coste de instalación de sistemas fotovoltaicos ha disminuido gracias a los avances tecnológicos y a la creciente competencia en el mercado según la Unión Española Fotovoltaica (UNEF) [14]. Según estimaciones, el periodo de retorno de la inversión para instalaciones residenciales oscila entre 7 y 10 años, dependiendo de variables como el tamaño del sistema, el consumo energético y la ubicación geográfica. Este cálculo se realiza dividiendo el coste total de la instalación entre los ahorros anuales en la factura eléctrica, proporcionando una estimación del tiempo necesario para recuperar la inversión inicial.

El Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) de España, financiado por la Unión Europea, ha destinado fondos significativos para impulsar proyectos de energías renovables [8]. Por ejemplo, se han asignado 250 millones de euros para proyectos innovadores que incrementen la capacidad de potencia renovable y almacenamiento. Estas

ayudas, gestionadas por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), buscan reducir la inversión inicial y mejorar la rentabilidad de las instalaciones fotovoltaicas.

La generación de electricidad a través de sistemas fotovoltaicos permite a los usuarios reducir su dependencia de la red eléctrica convencional, traduciéndose en ahorros significativos en la factura energética. Además, en algunas comunidades autónomas, se ofrecen bonificaciones fiscales y deducciones en impuestos como el IBI e ICIO, lo que incrementa aún más la viabilidad económica de estas instalaciones.

Es importante tener en cuenta factores como la ubicación geográfica, ya que la irradiación solar varía en diferentes regiones de España, afectando la producción energética y a la rentabilidad del sistema. En resumen, la combinación de la reducción de costes de instalación, los incentivos gubernamentales y el ahorro en la factura eléctrica hacen que la inversión en energía solar fotovoltaica en España sea cada vez más atractiva desde una perspectiva económica.

2.3.1.4 Situación en España

El sector fotovoltaico en España ha experimentado un crecimiento notable en 2023, consolidándose como líder en el mercado de energía renovable. Con más de 7.489 MW de nueva capacidad instalada este año, España ha superado el récord de 2022, alcanzando una capacidad total de 32.488 MW, que incluye plantas en suelo y sistemas de autoconsumo. Este logro posiciona a la energía fotovoltaica como la principal fuente de energía en términos de capacidad instalada dentro del mix energético nacional según datos de la Unión Española Fotovoltaica (UNEF) en su reporte anual [14].

En el mercado de contratos de compraventa de energía a largo plazo (PPA), España también ha liderado por quinto año consecutivo, asignando 4,67 GW de capacidad renovable de un total global de 16,2 GW en 2023. De estos contratos, 10,5 GW corresponden a energía fotovoltaica, representando el 65% del mercado y destacando como la tecnología más popular en este ámbito. Alemania ocupa el segundo lugar con 3,73 GW asignados. Ambos suman el 50% de la capacidad total adjudicada a través de PPAs.

En términos de instalaciones, 5.783 MW se implementaron en plantas en suelo en 2023, lo que significa un incremento del 26,5% respecto al año anterior. Sin embargo, las instalaciones de autoconsumo alcanzaron un total de 1.706 MW, lo que supone una disminución del 32% en relación con 2022. Este descenso se debe a factores como los bajos

precios de la electricidad en el mercado mayorista, la alta inflación y los elevados tipos de interés que han afectado a los hogares. Esta evolución se resume en la Figura 7.

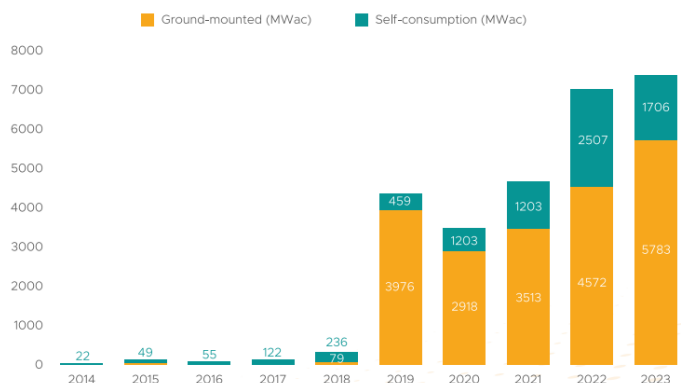


Figura 7: Tendencia de la capacidad solar fotovoltaica en España, separada entre instalaciones en suelo y de autoconsumo, desde 2014 hasta 2023. Fuente: Red Eléctrica de España y UNEF.

En términos regionales, Extremadura, Castilla-La Mancha y Andalucía lideran el desarrollo de plantas fotovoltaicas en suelo, acumulando conjuntamente 18.327 MW, lo que representa más del 56% de la capacidad nacional instalada. Estas comunidades autónomas destacan por sus altas tasas de irradiación solar y políticas locales favorables que han facilitado el desarrollo de grandes proyectos energéticos. Sin embargo, en el norte de España, como en Galicia, la capacidad instalada es significativamente menor debido a una menor irradiación solar. La Figura 8 proporciona una visión clara de la distribución de la capacidad fotovoltaica total por comunidades autónomas, mostrando la concentración de grandes instalaciones en el sur y el centro de España, mientras que el norte presenta una contribución limitada.

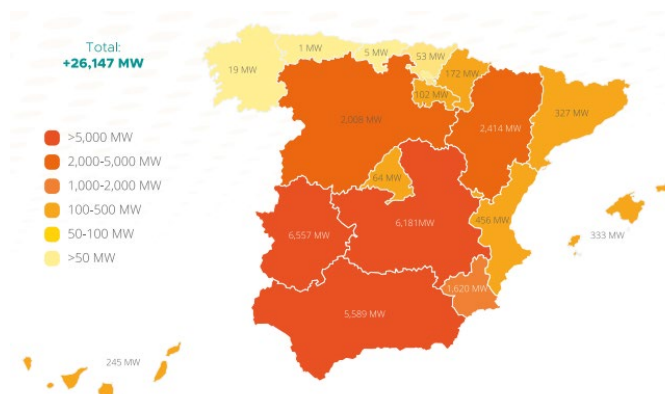


Figura 8: Distribución de la capacidad fotovoltaica instalada por comunidades autónomas hasta abril de 2024. Fuente: Red Eléctrica de España.

2.3.2 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La energía solar térmica se ha consolidado como una tecnología madura y eficiente para satisfacer las demandas térmicas en sectores como la edificación y la industria. Este sistema aprovecha un recurso abundante y autóctono, como la radiación solar, para generar agua caliente y calefacción, contribuyendo a la reducción del consumo de energía primaria y las emisiones de CO₂.

Su implementación mejora la eficiencia energética de edificios e industrias al complementar o sustituir sistemas tradicionales, con el beneficio adicional de un bajo mantenimiento y opciones de control remoto que facilitan su uso. Estos avances tecnológicos y la fiabilidad alcanzada han impulsado su adopción, integrándose de manera efectiva en diversos entornos y reforzando su papel en la transición hacia un modelo energético más sostenible [15].

2.3.2.1 Funcionamiento

La energía termosolar aprovecha la radiación solar para generar calor, que puede ser utilizado en diversas aplicaciones como agua caliente sanitaria o calefacción. Este proceso se basa en la captación de los rayos solares mediante dispositivos como placas solares o termosifones, que transforman la radiación en calor de manera eficiente.

1. **Captación de radiación solar:** Los colectores solares o termosifones, absorben la radiación solar y la convierten en calor. Se utilizan espejos o heliostatos que concentran la radiación en un punto focal para maximizar la captación energética.
2. **Transferencia de calor:** Este calor se transfiere a un fluido portador (agua, aceite o una mezcla de agua y anticongelante) que circula por el sistema.
3. **Almacenamiento del calor:** Un depósito acumulador permite almacenar el calor producido. Este almacenamiento asegura un suministro continuo de agua caliente incluso en momentos de baja o nula radiación solar.
4. **Distribución y uso:** El calor acumulado se utiliza para diversas aplicaciones, como calentar agua de uso doméstico, climatización o sistemas de calefacción.

El diseño de los sistemas solares térmicos permite su integración en edificaciones residenciales e industriales, garantizando una fuente de energía renovable con capacidad de almacenamiento de calor y suministro continuo [16].

2.3.2.2 Ventajas y desventajas

La energía solar térmica ofrece múltiples beneficios que han impulsado su popularización en los últimos años. Sin embargo, también presenta ciertos desafíos que deben ser considerados antes de su implementación. En la Tabla 2, se detallan las principales ventajas y desventajas:

Tabla 2: Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica

Ventajas	Desventajas
Renovable y respetuosa con el medioambiente: es una fuente de energía limpia, que no produce emisiones contaminantes ni agota recursos naturales	Dependencia de la radiación solar: Su rendimiento es menor en regiones con poca insolación o en días nublados.
Ahorro económico: Reduce significativamente las facturas energéticas, generando ahorros importantes a largo plazo para los usuarios.	Coste inicial elevado: La instalación de colectores solares y sistemas asociados puede ser costosa.
Mantenimiento sencillo y elevada durabilidad: Las instalaciones requieren poco mantenimiento, y su vida útil promedio ronda los 20 años, garantizando una inversión a largo plazo.	Requiere espacio adecuado: Es necesario disponer de tejados o áreas específicas para instalar los colectores solares.
Funcionamiento silencioso y discreto: No genera ruidos ni olores, lo que lo hace ideal para zonas urbanas.	Integración compleja en sistemas existentes: Dificultad para trabajar en conjunto con sistemas tradicionales de calefacción y agua caliente.
Abundante recurso energético disponible: El sol es una fuente inagotable y globalmente accesible, lo que ofrece un potencial energético ilimitado y sostenible.	Alto impacto inicial en zonas menos desarrolladas: Puede ser más difícil de implementar en regiones con menos acceso a tecnología o financiación.

Estos beneficios han convertido a la energía solar térmica en una solución energética clave para la transición hacia un modelo energético más limpio y sostenible. Su carácter renovable, su bajo mantenimiento y su durabilidad la hacen especialmente atractiva tanto en contextos residenciales como industriales. No obstante, es importante considerar las limitaciones para asegurar que la implementación sea óptima y eficiente.

2.3.2.3 Viabilidad económica

La viabilidad económica de la energía solar térmica comparte ciertos factores clave con la fotovoltaica, consolidándose como una opción atractiva tanto para particulares como para empresas, especialmente en aplicaciones relacionadas con la generación de calor. Al igual que ocurre con los sistemas fotovoltaicos, el coste de instalación de los sistemas solares térmicos ha disminuido en los últimos años, impulsado por avances tecnológicos y una creciente competencia en el mercado. Estas condiciones han mejorado notablemente la accesibilidad y la rentabilidad de ambas tecnologías renovables.

El Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), mencionado anteriormente, también desempeña un papel crucial en la promoción de la energía solar térmica. Al igual que en el caso de la fotovoltaica, se han destinado fondos significativos para fomentar su adopción, gestionados a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) [8] . Estas ayudas cubren parte de los costes iniciales de instalación, mejorando significativamente la rentabilidad de los proyectos y haciendo más accesible esta tecnología, especialmente en sectores con alta demanda de agua caliente sanitaria y calefacción.

El periodo de retorno de la inversión para sistemas solares térmicos, similar al de los sistemas fotovoltaicos, se sitúa generalmente entre 7 y 12 años, dependiendo de factores como el tamaño de la instalación, el consumo energético y la ubicación geográfica. En regiones como Andalucía, Murcia o Comunidad Valenciana, con alta irradiación solar, la eficiencia y el ahorro energético son mayores, lo que acorta los plazos de recuperación de la inversión. Por el contrario, en regiones del norte de España, donde la irradiación solar es menor, la viabilidad económica puede depender más de los incentivos disponibles y de su integración en sectores como el industrial o el turístico, donde los beneficios pueden ser más evidentes.

Al igual que los sistemas fotovoltaicos, la energía solar térmica contribuye a reducir significativamente la dependencia de fuentes energéticas tradicionales, lo que no solo genera ahorros en la factura energética, sino que también mitiga la volatilidad de los precios energéticos en los mercados internacionales. Además, la durabilidad de las instalaciones solares térmicas, que pueden superar los 20 años con un mantenimiento mínimo, refuerza su atractivo como inversión a largo plazo.

En resumen, aunque la energía solar térmica se centra en aplicaciones diferentes a la fotovoltaica, ambas tecnologías comparten ventajas económicas clave, como la reducción

de costes operativos, el acceso a subvenciones públicas y la posibilidad de generar ahorros sostenibles en el tiempo. Esto convierte a la energía solar térmica en una solución rentable y viable en el marco de la transición energética de España.

2.3.2.4 Situación en España

En España, la energía solar térmica ha demostrado ser una tecnología consolidada, aunque enfrenta retos para alcanzar su máximo potencial. Según el informe de la Asociación de la Industria Solar Térmica (ASIT) de 2024, la capacidad acumulada en el país ha alcanzado los 3,6 GWt, lo que equivale a más de 5 millones de metros cuadrados de colectores solares instalados [17]. Durante 2023, se instalaron 96 MWt adicionales (137.500 m²), lo que representa una ligera disminución del 5,5% respecto al año anterior. La evolución del mercado medida en superficie acumulada (m²) se representa en la Figura 9.

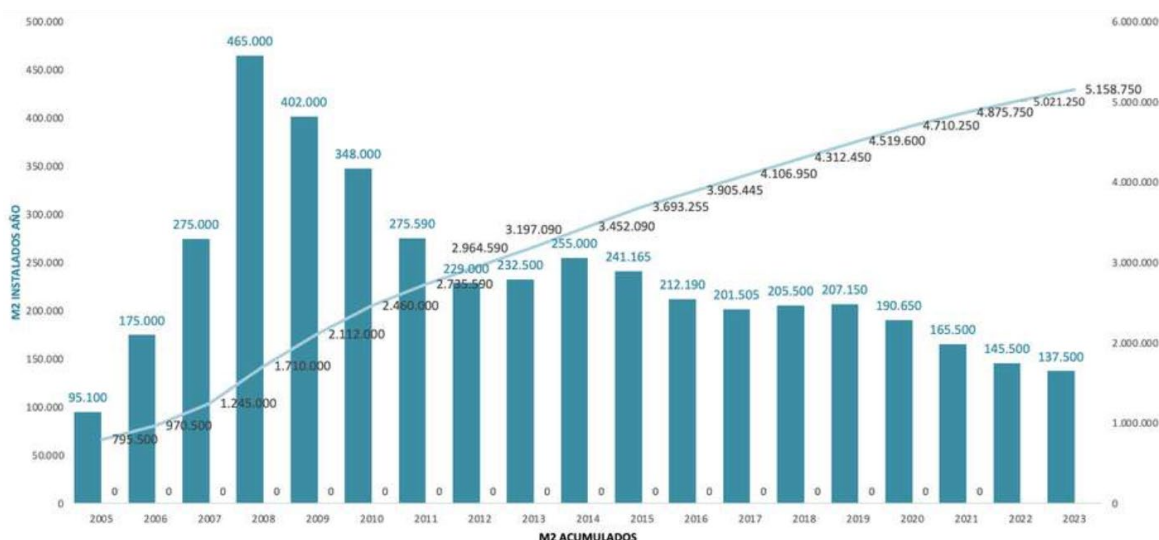


Figura 9: Evolución anual de metros cuadrados instalados de colectores solares térmicos en España y acumulados desde 2005 hasta 2023. Fuente: ASIT, Informe del Mercado Solar Térmico 2024.

A pesar de esta ralentización, el sector sigue desempeñando un papel clave en la transición energética del país. La mayor parte de las instalaciones solares térmicas en España se destina a aplicaciones residenciales, representando más del 68% de las nuevas instalaciones. Las comunidades autónomas con mayor capacidad instalada incluyen Andalucía, Cataluña y la Comunidad Valenciana, debido a su alta irradiación solar y políticas locales favorables. Entre las de menor capacidad está Galicia, siguiendo con la tendencia de la energía solar fotovoltaica.

El Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) continúa siendo una herramienta esencial para el crecimiento del sector. Este programa ha destinado fondos significativos a proyectos relacionados con la energía solar térmica, incluidos incentivos para instalaciones residenciales y grandes aplicaciones industriales, promoviendo la integración de esta tecnología en proyectos de rehabilitación energética y en nuevas edificaciones [1].

A pesar de los desafíos, como la falta de conciencia sobre sus beneficios y la preferencia por soluciones basadas en electrificación, la energía solar térmica sigue siendo una de las tecnologías más eficientes y sostenibles para la generación de calor. Su capacidad para reducir el consumo de combustibles fósiles y las emisiones de CO₂ refuerza su importancia en el camino hacia la descarbonización energética en España.

2.3.3 AEROTERMIA

La aerotermia es una tecnología renovable que utiliza bombas de calor para extraer la energía contenida en el aire exterior, satisfaciendo las necesidades de calefacción en invierno, refrigeración en verano y agua caliente sanitaria (ACS) durante todo el año. Esta tecnología se basa en un ciclo termodinámico altamente eficiente, que la convierte en una alternativa sostenible y rentable frente a los sistemas tradicionales basados en combustibles fósiles.

El calor y el frío representan una parte significativa de las necesidades energéticas globales. En Europa, el uso de calor constituye aproximadamente el 50 % de la demanda final de energía. Dentro de este porcentaje, la calefacción y el ACS en edificios representan más del 60 % de las necesidades de calor, mientras que los procesos térmicos industriales aportan alrededor del 30 %. Por otro lado, la demanda de frío, aunque menos relevante a nivel general, tiene un mayor peso en climas cálidos del sur de Europa, donde supone aproximadamente el 2 %. Este contexto subraya la importancia de la aerotermia como una solución integral para cubrir las demandas térmicas de forma eficiente, con un impacto positivo en la sostenibilidad energética y la reducción de emisiones [18].

2.3.3.1 Funcionamiento

El funcionamiento de la aerotermia se basa en la extracción de energía térmica del aire exterior mediante un ciclo termodinámico altamente eficiente, como se ilustra en la Figura 10. Este proceso se desarrolla a través de los siguientes componentes principales:

1. **Compresor:** Convierte la energía eléctrica en energía térmica, elevando la presión y la temperatura del fluido refrigerante.
2. **Condensador:** Condensa el refrigerante, transformándolo de estado gaseoso a líquido mediante un intercambiador de calor, transfiriendo el calor al sistema de calefacción o ACS.
3. **Válvula de expansión:** Genera una pérdida de carga significativa, disminuyendo la temperatura del refrigerante para permitir su expansión.
4. **Evaporador:** Facilita la evaporación del fluido frigorífico al absorber el calor del aire exterior, reiniciando el ciclo.

El ciclo termodinámico se divide en una unidad exterior y una unidad interior. En la unidad exterior, el evaporador captura la energía del aire y la transfiere al compresor, mientras que en la unidad interior, el condensador distribuye el calor a los sistemas de calefacción o ACS. Este diseño garantiza un suministro continuo y eficiente, incluso en condiciones de bajas temperaturas exteriores.

Además, la evolución de los refrigerantes es clave para mejorar el rendimiento y la sostenibilidad de estos sistemas. El R32 es actualmente uno de los más utilizados, alcanzando temperaturas de hasta 70 °C con una alta eficiencia. Otros refrigerantes, como el R-290 (propano), el R-744 (CO₂) y los nanofluidos, están ganando popularidad debido a su capacidad para reducir el impacto ambiental [18].

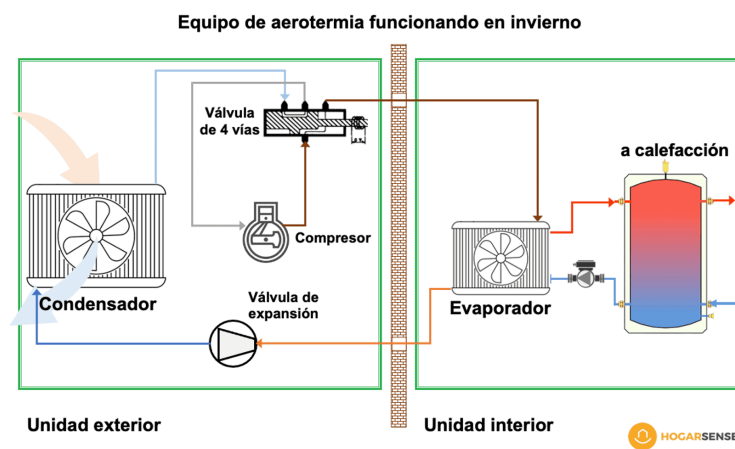


Figura 10: Funcionamiento de un equipo de aerotermia en invierno. Fuente: Hogarsense.

2.3.3.2 Ventajas y desventajas

La aerotermia ofrece una solución eficiente y sostenible para satisfacer las necesidades de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria. Su alta versatilidad y capacidad para reducir emisiones la han convertido en una tecnología clave en la transición energética. Sin embargo, también enfrenta limitaciones que deben tenerse en cuenta para su implementación óptima. En la Tabla 3, se presentan las principales ventajas y desventajas:

Tabla 3: Ventajas y desventajas de la aerotermia

Ventajas	Desventajas
Alta eficiencia energética: Las bombas de calor pueden generar hasta cinco veces más energía térmica, optimizando el uso energético y reduciendo costes.	Inversión inicial alta: Su instalación requiere un desembolso significativo en comparación con otros sistemas tradicionales.
Uso multifuncional: Permite cubrir necesidades de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria, ofreciendo una solución completa para todo el año.	Dependencia de la red eléctrica: Necesitan electricidad para operar, lo que puede suponer una desventaja en entornos con costes eléctricos elevados.
Reducción de contaminantes atmosféricos: Sin combustión, evita la emisión de gases nocivos para el aire.	Menor rendimiento en climas extremos: En regiones muy frías, la eficiencia puede reducirse, requiriendo sistemas auxiliares.
Compatible con la transición energética: Usa una fuente renovable como el calor del aire, lo que contribuye a la descarbonización y sostenibilidad.	Limitaciones espaciales: Es necesario disponer de un espacio adecuado para la instalación de la unidad exterior, lo que puede ser complicado en ciertas viviendas.
Fácil mantenimiento: Los componentes tienen una vida útil prolongada y requieren intervenciones mínimas.	Ruido operativo: La unidad exterior genera ruido durante su funcionamiento (problema en zonas residenciales).
Mayor seguridad: Elimina riesgos asociados al manejo y almacenamiento de combustibles, como fugas o explosiones.	Adaptabilidad limitada: En casos específicos, como edificaciones antiguas, su integración presenta desafíos técnicos.

En conclusión, la aerotermia destaca como una opción energética eficiente y sostenible, especialmente adecuada para contextos residenciales y comerciales. Sus beneficios, como la versatilidad y el bajo impacto ambiental, la posicionan como una herramienta clave en la descarbonización. Sin embargo, su implementación requiere un análisis cuidadoso de los costes iniciales y las limitaciones específicas de cada entorno para maximizar su eficiencia y rentabilidad [19].

2.3.3.3 Viabilidad económica

La aerotermia se presenta como una tecnología rentable a largo plazo debido a su alta eficiencia energética y al respaldo de incentivos públicos que fomentan su adopción. Con la capacidad de generar entre 3 y 5 kWh de energía térmica por cada kWh de electricidad consumido, las bombas de calor aerotérmicas destacan por su bajo consumo en comparación con otros sistemas de climatización y calefacción [20]. Esta eficiencia se traduce en una notable reducción de costes operativos, especialmente en aplicaciones como calefacción de suelo radiante, donde el rendimiento es óptimo.

El coste inicial de instalación, aunque superior al de tecnologías convencionales, se ve compensado por los ahorros acumulados en la factura energética, logrando periodos de amortización que suelen oscilar entre 5 y 8 años. Además, programas como el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) ofrecen subvenciones que ayudan a reducir la barrera económica inicial, lo que facilita su accesibilidad tanto en proyectos residenciales como en nuevas edificaciones que buscan cumplir con normativas de sostenibilidad.

La durabilidad de los sistemas de aerotermia, que puede alcanzar entre 15 y 25 años, refuerza su viabilidad económica [21]. Con un mantenimiento mínimo y cuidados básicos, como la limpieza de filtros y revisiones periódicas, es posible prolongar la vida útil de estas instalaciones. En climas moderados, donde la diferencia de temperatura entre el aire exterior y el sistema de calefacción es menor, el rendimiento mejora considerablemente, mientras que en zonas más frías, aunque la eficiencia puede disminuir, sigue superando a la de sistemas tradicionales basados en combustibles fósiles.

En resumen, la aerotermia se posiciona como una solución económica y sostenible para cubrir necesidades de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria. Su capacidad para reducir el consumo energético, combinada con el apoyo institucional y una larga vida útil, la convierte en una opción viable tanto para hogares como para empresas que buscan una transición hacia un modelo energético más limpio y eficiente.

2.3.3.4 Situación en España

En España, la aerotermia ha experimentado un crecimiento destacado en los últimos años, consolidándose como una de las soluciones más eficientes para cubrir las necesidades de climatización y agua caliente sanitaria (ACS). Según el último informe de la Asociación de

Fabricantes de Generadores y Emisores de Calor (Fegeca), las ventas de bombas de calor, tanto multitarea (aeroterminia + geoterminia) como dedicadas exclusivamente a ACS, han aumentado significativamente [22]. Como se muestra en la Figura 11, entre 2020 y 2021, las bombas de calor multitarea incrementaron sus ventas en un 31,22 %, mientras que las destinadas exclusivamente a ACS crecieron un 42,24 %, superando a otros productos del sector en cuanto a tasa de crecimiento. Este ascenso refleja la creciente confianza en esta tecnología como parte fundamental de la transición energética del país.

	2020	2021	2021 vs 2020
Calentadores a gas	227.300 uds.	278.000 uds.	22,31%
Termos eléctricos	799.800 uds.	920.000 uds.	15,03%
Bombas de calor multitarea*	36.200 uds.	47.500 uds.	31,22%
Bomba de calor solo ACS	11.600 uds.	16.500 uds.	42,24%
Calderas murales	292.100 uds.	368.000 uds.	25,98%
Calderas de pie	39.500 uds.	50.000 uds.	26,58%
Captadores solares	86.100 m2	60.000 m2	-30,31%
Controladores	282.000 uds.	315.000 uds.	11,70%
Radiadores	1.178.000 uds.	1.480.000 uds.	25,64%
Suelo radiante	3.677.000 m2	4.000.000 m2	8,78%
Depósitos de agua	53.000 uds.	60.000 uds.	13,21%

* aeroterminia + geoterminia

FUENTE: FEGECA. Elaboración propia. Datos estimados

Figura 11: Evolución de las ventas de equipos de climatización y ACS en España entre 2020 y 2021. Fuente: Fegeca. Elaboración: Aldes

Este crecimiento se ve impulsado por políticas públicas y normativas que promueven el uso de energías renovables, como el Código Técnico de la Edificación (CTE), que obliga a integrar fuentes renovables en nuevas construcciones y rehabilitaciones. Además, el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) ha destinado fondos específicos para la instalación de bombas de calor aerotérmicas, cubriendo hasta el 70 % de los costes en proyectos residenciales, según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

A nivel regional, comunidades autónomas como Madrid, Cataluña y Andalucía destacan por su adopción de la aeroterminia, incentivada por ayudas locales y su clima favorable para maximizar la eficiencia de estas tecnologías. No obstante, regiones con climas más fríos también han comenzado a integrar estos sistemas debido a su rendimiento superior frente a alternativas tradicionales basadas en combustibles fósiles [23].

En Galicia, especialmente en Pontevedra y el sur de la comunidad, la aerotermia se ha consolidado como una tecnología clave para la climatización y producción de agua caliente sanitaria en viviendas y edificios debido a su alta eficiencia y menor impacto ambiental en comparación con sistemas convencionales. Su rendimiento es óptimo en climas templados como el gallego, donde las temperaturas no descienden a niveles extremadamente bajos, lo que permite un uso estable durante todo el año.

En conclusión, la aerotermia está en plena expansión en España, impulsada por su alta eficiencia, el apoyo institucional y su capacidad para adaptarse a diferentes entornos climáticos. Con perspectivas de crecimiento continuo, esta tecnología juega un papel clave en la estrategia nacional de descarbonización y eficiencia energética.

2.3.4 GEOTERMIA:

La energía geotérmica es una fuente renovable que aprovecha el calor almacenado bajo la superficie terrestre, presente en rocas, suelos y aguas subterráneas. Según su nivel térmico, se clasifica en alta, media, baja y muy baja temperatura, lo que determina su aplicación. Los recursos de alta y media temperatura, con más de 100 °C, se utilizan principalmente para la generación de electricidad y aplicaciones térmicas industriales y urbanas. Por su parte, los recursos de baja y muy baja temperatura, inferiores a 100 °C, se destinan a climatización y agua caliente sanitaria (ACS), mediante bombas de calor geotérmicas que destacan por su alta eficiencia [24].

Esta tecnología ofrece sistemas abiertos, que captan agua de acuíferos, y sistemas cerrados, con intercambiadores enterrados que transfieren la energía del subsuelo. Gracias a su carácter continuo y su bajo impacto ambiental, la energía geotérmica no solo proporciona una fuente confiable de energía, sino que también permite significativos ahorros económicos a largo plazo. Por su versatilidad y sostenibilidad, se consolida como una alternativa clave en la transición energética y en la descarbonización del sector térmico.

2.3.4.1 Funcionamiento

La bomba de calor geotérmica utiliza la energía térmica almacenada en el subsuelo para generar calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) o refrigeración en los hogares. Su funcionamiento se basa en un ciclo termodinámico que transforma el calor del terreno en energía útil mediante un sistema de captación subterráneo y un circuito cerrado. El proceso incluye las siguientes etapas:

1. **Evaporación:** El fluido que circula por el sistema de captación, al ser más caliente que el refrigerante dentro de la bomba de calor, transfiere su calor a este último a través de un intercambiador de placas. Este intercambio de calor hace que el refrigerante pase de estado líquido a gaseoso, sin que los fluidos se mezclen en ningún momento.
2. **Compresión:** El refrigerante gaseoso entra en el compresor, donde aumenta su presión y temperatura, alcanzando niveles de entre 60 °C y 90 °C. Este incremento de temperatura convierte al refrigerante en una fuente de calor útil para los sistemas de calefacción y ACS, requiriendo solo un pequeño consumo eléctrico para operar.
3. **Condensación:** A alta temperatura, el refrigerante gaseoso cede su calor al circuito de calefacción o ACS en el condensador. Este proceso permite calentar eficientemente el agua para uso doméstico, climatizar espacios o incluso calentar piscinas. Tras ceder su calor, el refrigerante vuelve a su estado líquido.
4. **Expansión:** Finalmente, el refrigerante pasa por una válvula de expansión que reduce su presión y temperatura, devolviéndolo a sus condiciones iniciales. Este fluido regresa al evaporador para iniciar un nuevo ciclo, garantizando un proceso continuo y eficiente.

En la Figura 12, se ilustra el ciclo de funcionamiento de una bomba de calor geotérmica en modo calefacción

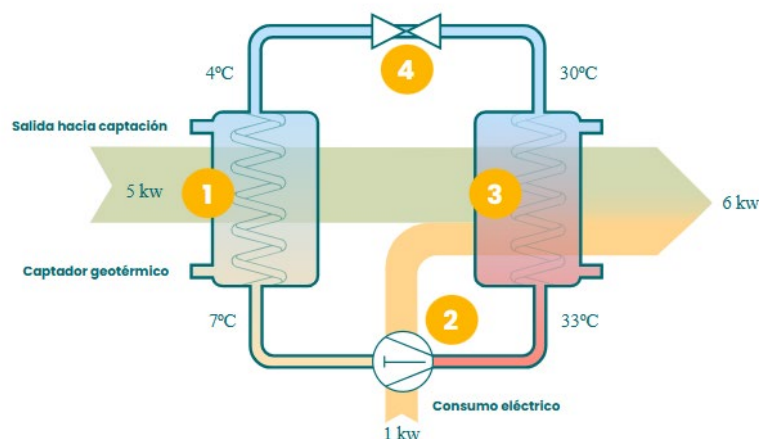


Figura 12: Ciclo de funcionamiento de una bomba de calor geotérmica. Fuente: Energanova

2.3.4.2 Ventajas y desventajas

La geotermia se ha consolidado como una tecnología eficiente y sostenible, destacándose por su capacidad para aprovechar un recurso energético constante e inagotable. Sin embargo, también enfrenta desafíos relacionados con su implementación y coste inicial. En la Tabla 4, se resumen las principales ventajas y desventajas de esta tecnología:

Tabla 4: Ventajas y desventajas de la geotermia

Ventajas	Desventajas
Consumo muy reducido: Su eficiencia energética reduce significativamente los costes operativos.	Coste inicial elevado: La instalación de sistemas de captación subterránea implica una inversión alta.
Larga vida útil: Las instalaciones pueden funcionar durante décadas con un mantenimiento adecuado.	Dependencia de ubicación: Es más viable en regiones con recursos geotérmicos accesibles.
Bajos costes de mantenimiento: Su diseño robusto minimiza los costes asociados al mantenimiento.	Espacio requerido: Necesita áreas adecuadas para las perforaciones y sistemas de intercambio térmico.
Independencia energética: Reduce la dependencia de combustibles fósiles y volatilidad de precios.	Complejidad técnica: La instalación requiere un diseño especializado para maximizar su rendimiento.
Energía constante y renovable: Disponible todo el año, independientemente de las condiciones climáticas.	Tiempo de retorno largo: En algunas aplicaciones, el periodo de amortización puede superar los 10 años.

Estos beneficios han posicionado a la geotermia como una alternativa viable para la climatización y generación de ACS, especialmente en proyectos comprometidos con la transición energética. No obstante, superar los desafíos asociados con la inversión inicial y la complejidad técnica será crucial para consolidar su adopción a mayor escala. Su alta eficiencia y carácter sostenible refuerzan su relevancia en un modelo energético descarbonizado.

2.3.4.3 Viabilidad económica

La viabilidad económica de la energía geotérmica en España está influenciada por diversos factores, incluyendo los costes de instalación, los ahorros energéticos a largo plazo y las ayudas gubernamentales disponibles. Aunque la inversión inicial para la implementación de sistemas geotérmicos puede ser elevada, su alta eficiencia y bajos costes operativos contribuyen a una amortización favorable a medio y largo plazo.

El periodo de retorno de la inversión para sistemas geotérmicos suele oscilar entre 8 y 15 años, dependiendo de variables como el tamaño de la instalación, el tipo de sistema y el uso previsto. En aplicaciones residenciales, los ahorros energéticos pueden superar el 50% en comparación con sistemas tradicionales de calefacción y agua caliente sanitaria, especialmente en regiones con altas demandas térmicas. Además, la capacidad de los sistemas geotérmicos para proporcionar tanto calefacción como refrigeración optimiza su uso durante todo el año, maximizando los beneficios económicos .

En España, existen diversas ayudas y subvenciones que mejoran la viabilidad económica de la geotermia. Por ejemplo, el Programa de Incentivos para Instalaciones de Energías Renovables Térmicas en el Sector Residencial ofrece subvenciones que pueden cubrir hasta el 50% del coste elegible de la instalación, con importes máximos que varían según la comunidad autónoma y el tipo de sistema [25].

Además, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) ha lanzado ayudas por 120 millones de euros para impulsar estudios de viabilidad de la energía geotérmica profunda en España, lo que refleja el compromiso gubernamental con el desarrollo de esta tecnología [26].

La durabilidad de los sistemas geotérmicos, que pueden operar durante más de 20 años con un mantenimiento mínimo, refuerza su viabilidad económica. En el contexto actual de transición energética, la geotermia también contribuye a mitigar la volatilidad de los precios de la energía y reduce la dependencia de combustibles fósiles, lo que representa un valor añadido tanto para particulares como para empresas.

En resumen, aunque el coste inicial de los sistemas geotérmicos puede ser un desafío, los ahorros a largo plazo, el acceso a subvenciones y la alta eficiencia energética consolidan a la geotermia como una inversión rentable y sostenible para el futuro.

2.3.4.4 Situación en España

En España, la energía geotérmica es una fuente renovable con gran potencial para contribuir a la transición energética, aunque su desarrollo aún está en etapas iniciales.

Esta tecnología aprovecha el calor del subsuelo y se clasifica en tres niveles principales según la profundidad y la temperatura de los recursos disponibles. La geotermia de superficie, ubicada entre los 30 y 400 metros de profundidad con temperaturas de 12°C a

15°C, es la más común para usos residenciales, como calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria (ACS) mediante bombas de calor. La geotermia profunda, a profundidades de 400 a 4.000 metros y con temperaturas de 40°C a 130°C, se utiliza principalmente para redes de calefacción y, en algunos casos, para generación eléctrica. Por último, la geotermia de gran profundidad, entre 4.000 y 6.000 metros y con temperaturas superiores a 200°C, se destina a la producción de electricidad mediante sistemas avanzados como los EGS (Sistemas de Estimulación Geotérmica Mejorada) [27].

El territorio español cuenta con importantes recursos geotérmicos distribuidos en regiones como Galicia, el Sistema Central, Castilla y León, Cataluña y, especialmente, las Islas Canarias. Estas últimas albergan los mayores recursos de media y alta temperatura, lo que las convierte en el epicentro de proyectos geotérmicos en el país. En la Figura 13 se detalla la distribución geográfica de estos recursos, clasificando las zonas según temperatura y profundidad.

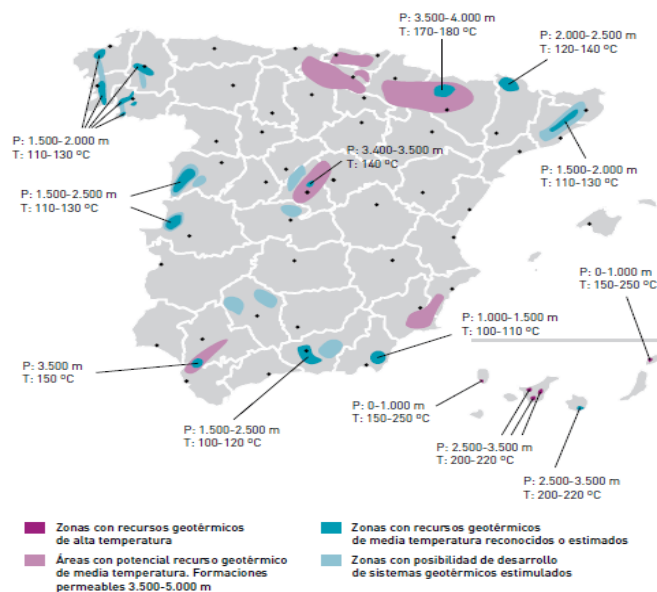


Figura 13: Mapa de recursos geotérmicos en España. Fuente: AvatarEnergía.

En enero de 2024, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) aprobó 14 proyectos de viabilidad para geotermia profunda, de los cuales 11 se concentran en Canarias. Con una inversión de 117 millones de euros, estos proyectos buscan evaluar recursos a 1.000 metros de profundidad, con el objetivo de desarrollar sistemas para generación eléctrica y usos térmicos. Un proyecto adicional en Madrid, liderado por Repsol Exploración SA, recibió 5 millones de euros [28].

La geotermia, con un alto potencial en Galicia debido a la estabilidad térmica del subsuelo, es una de las fuentes más eficientes para climatización y calefacción en viviendas y edificios. Su rendimiento es constante durante todo el año, permitiendo ahorros energéticos significativos en comparación con otros sistemas. Sin embargo, su alto coste inicial de instalación y la falta de conocimiento sobre sus beneficios han limitado su adopción, aunque ya existen proyectos pioneros en Pontevedra y otras zonas del sur de Galicia, principalmente en edificaciones de nueva construcción y rehabilitaciones energéticas de alto rendimiento.

El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) establece metas específicas para la energía geotérmica, incluyendo 15 MW de capacidad eléctrica antes de 2025 y 30 MW para 2030. Estas iniciativas reflejan el compromiso del país con la diversificación del mix energético y la reducción de la dependencia de combustibles fósiles.

A nivel europeo, España sigue los esfuerzos por acelerar el despliegue de la geotermia mediante la simplificación de regulaciones y la creación de una cartografía común de recursos geotérmicos.

Aunque enfrenta barreras como los altos costes iniciales y la falta de conocimiento generalizado, la geotermia tiene el potencial de convertirse en una solución clave. Con una combinación de recursos naturales, incentivos gubernamentales y avances tecnológicos, España está bien posicionada para liderar en este campo a nivel regional y global.

2.4 *SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO*

El almacenamiento de energía es esencial para garantizar un suministro eléctrico estable y eficiente, especialmente con la creciente integración de fuentes renovables como la solar y la eólica, cuya generación es intermitente. A nivel doméstico, los sistemas de almacenamiento permiten a los hogares gestionar mejor su consumo energético, almacenando el excedente de energía para su uso posterior. Entre las soluciones más comunes se encuentran las baterías para almacenamiento eléctrico y los acumuladores de agua para almacenamiento térmico.

2.4.1 BATERÍAS

Las baterías permiten almacenar el excedente de energía eléctrica generado por sistemas fotovoltaicos durante el día para su uso en momentos de menor producción, como las horas nocturnas. En el ámbito residencial, las opciones más utilizadas incluyen:

- **Baterías de iones de litio (Li-Ion):** Son las más comunes debido a su alta densidad energética, eficiencia y larga vida útil. No requieren mantenimiento y tienen un tamaño compacto, aunque su coste inicial es más elevado en comparación con otras tecnologías [29].
- **Baterías de plomo-ácido:** Son una alternativa más económica, aunque su densidad energética es menor y su ciclo de vida es más corto. Requieren mantenimiento regular y ventilación adecuada debido a la emisión de gases durante su funcionamiento [29].
- **Baterías de flujo:** Funcionan con soluciones electrolíticas que permiten almacenar energía de manera escalable. Su vida útil es mayor, pero su implementación en hogares es menos común debido a su tamaño y coste [30].

Las baterías son una solución clave para el almacenamiento de energía en entornos residenciales, facilitando una mayor independencia de la red eléctrica y optimizando el uso de fuentes renovables. Aunque presentan desafíos como el coste inicial y consideraciones ambientales en su fabricación y eliminación, los avances tecnológicos continúan mejorando su eficiencia y sostenibilidad, consolidándolas como una opción esencial en la transición hacia sistemas energéticos más limpios.

2.4.2 ACUMULADORES DE AGUA

Los acumuladores de agua, también conocidos como tanques de almacenamiento térmico, son sistemas diseñados para almacenar energía en forma de calor. Funcionan almacenando agua caliente generada por sistemas como calderas, paneles solares térmicos o bombas de calor, permitiendo su uso posterior para calefacción o agua caliente sanitaria. Estos sistemas son especialmente útiles para gestionar la demanda energética y mejorar la eficiencia de los sistemas de calefacción y agua caliente.

Los acumuladores de agua representan una solución efectiva para el almacenamiento de energía térmica en aplicaciones residenciales. Al permitir el almacenamiento y uso diferido del calor, contribuyen a una gestión más eficiente de la energía y a la reducción de los costes operativos. Aunque requieren espacio para su instalación y una inversión inicial, los beneficios en términos de eficiencia energética y confort los convierten en una opción valiosa para los hogares que buscan optimizar su consumo energético.

2.5 *NORMATIVA SOBRE EFICIENCIA ENERGÉTICA*

La eficiencia energética en la edificación es un pilar fundamental dentro de las políticas de sostenibilidad y descarbonización a nivel global. La reducción del consumo energético es clave para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar el rendimiento energético del parque inmobiliario, alineándose con los compromisos climáticos establecidos en la Unión Europea y los objetivos de transición energética en España.

El sector de la edificación representa aproximadamente el 40% del consumo de energía en la UE, lo que ha impulsado la implementación de normativas cada vez más exigentes para garantizar construcciones más eficientes y sostenibles. En este contexto, las regulaciones han evolucionado desde estándares básicos de aislamiento térmico hasta la obligatoriedad de integrar fuentes renovables y cumplir con los requisitos de Edificios de Energía Casi Nula (NZEB).

En España, el marco normativo ha avanzado de manera progresiva desde las primeras directivas europeas enfocadas en la eficiencia energética hasta la consolidación del Código Técnico de la Edificación (CTE) y su Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE), los cuales establecen criterios técnicos para garantizar un menor consumo energético en edificaciones nuevas y rehabilitadas. Además, la certificación energética ha sido reforzada con la transposición de normativas comunitarias, estableciendo requisitos más estrictos para la clasificación de edificios según su eficiencia energética.

A continuación se analiza la evolución de la normativa en eficiencia energética en España, desde sus primeras regulaciones hasta las exigencias actuales, resaltando los cambios más significativos en materia de sostenibilidad y cumplimiento normativo.

2.5.1 EVOLUCIÓN DEL MARCO NORMATIVO

La evolución del marco normativo sobre eficiencia energética en la edificación ha estado impulsada principalmente por la necesidad de reducir el consumo energético y las emisiones de CO₂, alineándose con los objetivos europeos de sostenibilidad. A lo largo de las últimas décadas, España ha adoptado progresivamente normativas cada vez más exigentes, reflejando un compromiso creciente con la eficiencia energética en el sector.

2.5.1.1 Fases iniciales y primeras normativas

Los primeros esfuerzos por regular la eficiencia energética en los edificios en España se remontan a los años 70 y 80, cuando el enfoque principal estaba en mejorar el aislamiento térmico sin exigir criterios estrictos de eficiencia energética. En esta etapa destacaron normativas como:

- **Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79:** Primera normativa enfocada en aislamiento térmico en la edificación, aunque sin requisitos concretos de eficiencia energética.
- **Real Decreto 1618/1980:** Reguló por primera vez las instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria para mejorar su rendimiento energético.

2.5.1.2 Alineación con normativas europeas

Con la creciente concienciación sobre la necesidad de mejorar la eficiencia energética en los edificios, la Unión Europea comenzó a establecer directrices específicas en la materia. España inició su alineación con estas exigencias a través de:

- **Directiva 93/76/CEE (SAVE):** Primera directiva europea orientada a reducir emisiones mediante la eficiencia energética en edificios.
- **Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) - Ley 38/1999:** Aunque su enfoque principal fue la seguridad y habitabilidad, comenzó a integrar requisitos de eficiencia energética.
- **Código Técnico de la Edificación (CTE) - Real Decreto 314/2006:** Supuso un punto de inflexión al establecer exigencias mínimas en materia de eficiencia energética, consolidando criterios específicos mediante el **Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE)**.

2.5.1.3 Refuerzo normativo y transposición de directivas europeas

A partir de la década de 2010, la eficiencia energética en la edificación adquiere un papel central en la estrategia europea de sostenibilidad, lo que se refleja en la adopción de normativas más exigentes:

- **Directiva 2010/31/UE:** Introdujo el concepto de Edificios de Energía Casi Nula (NZEB), exigiendo que todos los edificios de nueva construcción cumplan con criterios de alto rendimiento energético.
- **Real Decreto 235/2013:** Aprobó el procedimiento de certificación energética en edificios, alineándose con la Directiva 2010/31/UE.
- **Directiva (UE) 2018/844:** Modificó la directiva de 2010 para acelerar la rehabilitación de edificios con baja eficiencia energética y fomentar la integración de energías renovables.

2.5.1.4 Normativa actual y nuevos objetivos de descarbonización

En la actualidad, España ha adaptado su normativa a los estándares europeos más recientes, reforzando las exigencias para la eficiencia energética en edificación. Destacan:

- **Real Decreto 390/2021:** Establece el procedimiento para la certificación de eficiencia energética en edificios, actualizando y mejorando los criterios de calificación.
- **Real Decreto 36/2023:** Regula el sistema de Certificados de Ahorro Energético (CAEs) para incentivar mejoras en eficiencia energética en la edificación.
- **Normativa europea para 2030 y 2033:** La UE ha establecido que para 2030 todas las viviendas que se vendan o alquilen deben contar con una calificación mínima de eficiencia energética "E", esta valoración deberá ser "D" en 2033.

La evolución normativa refleja un cambio progresivo hacia la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental de los edificios, consolidando a la eficiencia energética como un eje fundamental en la estrategia de transición energética y descarbonización.

2.5.2 MARCO NORMATIVO ACTUAL:

En la actualidad, el marco normativo español en materia de eficiencia energética ha evolucionado para cumplir con los compromisos europeos de descarbonización y sostenibilidad en el sector de la edificación. La normativa vigente no solo busca reducir el consumo energético en edificios nuevos y existentes, sino también fomentar el uso de energías renovables y mejorar la eficiencia de las instalaciones térmicas.

El **Código Técnico de la Edificación (CTE)** y su **Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE)** establecen los requisitos que deben cumplir los edificios para garantizar su eficiencia energética. La última actualización de este marco, llevada a cabo en 2019 mediante el **Real Decreto 732/2019**, endurece las condiciones para la limitación de la demanda energética y el consumo de energía primaria no renovable. Estas modificaciones implican un mayor nivel de aislamiento térmico en la envolvente del edificio, mejoras en la eficiencia de las instalaciones y una mayor exigencia en la contribución de energías renovables, especialmente en la producción de agua caliente sanitaria (ACS).

En paralelo, el **Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)**, actualizado en 2021 con el **Real Decreto 178/2021**, refuerza las exigencias para calefacción, refrigeración y producción de ACS. Esta actualización promueve la incorporación de tecnologías más eficientes, sistemas de control avanzados y la reducción progresiva del uso de combustibles fósiles en instalaciones térmicas.

El **Real Decreto 390/2021** regula la certificación de eficiencia energética de los edificios, introduciendo mejoras en los métodos de cálculo y en la clasificación energética de los inmuebles. Asimismo, el **Real Decreto 853/2021**, dentro del **Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR)**, establece ayudas específicas para la rehabilitación energética de edificios, incentivando la modernización del parque inmobiliario mediante mejoras en la envolvente térmica, la sustitución de instalaciones obsoletas y la incorporación de sistemas basados en energías renovables.

De cara al futuro, las normativas actuales establecen objetivos concretos para mejorar la eficiencia energética de los edificios. A partir de 2030, todas las viviendas que se vendan o alquilen deberán tener una calificación energética mínima de "E", requisito que se endurecerá hasta la calificación "D" en 2033. Además, en línea con el **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)**, España se ha comprometido a reducir un 39,5% el consumo de energía primaria en edificios para 2030, en sintonía con el paquete legislativo europeo "Fit for 55".

En conclusión, la normativa actual refuerza las exigencias en materia de eficiencia energética, promoviendo edificios más sostenibles y alineados con los objetivos climáticos de la UE. La combinación de regulaciones estrictas, incentivos a la rehabilitación y la obligatoriedad de mejorar la eficiencia en las edificaciones existentes marcarán el futuro del sector, consolidando un parque inmobiliario más eficiente y con menor impacto ambiental.

Capítulo 3. ESTADO INICIAL

3.1 MEMORIA DESCRIPTIVA

La presente memoria descriptiva proyecta la situación de una vivienda unifamiliar aislada construida en el año 1981, compuesta por dos plantas sobre rasante y ubicada en una parcela individual con zonas exteriores en sus cuatro fachadas. La vivienda presenta una morfología rectangular, con acceso peatonal principal desde la fachada sur, acceso rodado mediante puerta de garaje desde la misma fachada, y una tercera puerta de vidrio situada en la fachada este que comunica directamente con la galería posterior.

El núcleo de comunicación vertical está constituido por una única escalera interior de tramo recto, ubicada en la zona lateral de la vivienda, que conecta ambas plantas. La distribución funcional de los espacios responde a una zonificación clara entre planta baja (zona de día y estancias auxiliares) y planta primera (zona de noche y estancias privadas), tal y como se detalla a continuación:

- **Planta Baja:** Se accede a través del recibidor que comunica directamente con el salón principal. En esta planta se encuentran también un dormitorio, un baño, un distribuidor central, una despensa conectada al garaje, un trastero, y una galería acristalada con salida al jardín posterior. La cocina se encuentra integrada en el área de despensa-trastero. La planta ofrece una organización funcional, con buena conexión entre los espacios comunes y auxiliares.
- **Planta Primera:** Alberga principalmente los espacios destinados al descanso. Dispone de tres dormitorios a los que se accede por un distribuidor, dos cuartos de baño completos y una sala de estar independiente, además de una segunda galería y la cocina principal. La distribución permite la iluminación natural y ventilación cruzada en la mayoría de las estancias, gracias a la disposición de huecos en fachada.

3.1.1 ESTRUCTURA Y CIMENTACIONES

La cimentación del edificio se ha ejecutado mediante zapatas corridas apoyadas sobre una cama de hormigón de limpieza de 10 cm de espesor, vertido y nivelado en fondo de zanja.

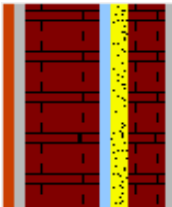
La estructura del edificio está formada por una combinación de elementos de hormigón armado H-175 con cemento P-350 y acero AE-42F. Los pilares están armados según planos, y el sistema de forjados se resuelve con viguetas semirresistentes tipo FC o similar, con capa de compresión, armaduras supletorias, encofrado y apeos. La losa de escalera se ejecuta en hormigón armado con espesor entre 12 y 15 cm.

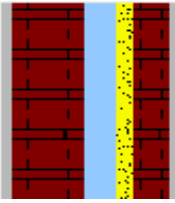
3.1.2 ENVOLVENTE TÉRMICA

Los cerramientos exteriores, cubiertas, forjados y particiones interiores responden a criterios constructivos propios de la época, sin criterios de eficiencia energética. La envolvente térmica carece de aislamiento adecuado en varios de sus elementos, lo que da lugar a una baja resistencia térmica y a un importante grado de ineficiencia energética.

La composición detallada de los elementos constructivos ha sido recogida en la Tabla 5, donde se describen concretamente los muros exteriores de planta baja y planta alta, así como los tabiques interiores, que se consideran comunes a toda la edificación. En ella se enumeran los diferentes elementos constructivos descritos de izquierda a derecha. En general, los cerramientos exteriores se componen de varias capas sin rotura de puente térmico, con espesores reducidos de aislamiento y materiales con baja capacidad térmica, lo que repercute negativamente en el comportamiento energético de la vivienda.

Tabla 5: Composición de los Elementos Constructivos de la Envolvente Térmica y Tabiques Interiores

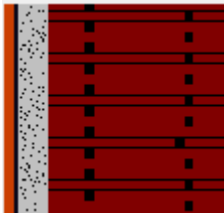
Elemento constructivo	Nº	Material	Espesor (m)	Conductividad W/mK	Densidad (kg/m³)	Capacidad calorífica (J/kgK)	Resistencia térmica (m²K/W)
Muro Exterior P0 	1	Granito [2500 < d < 2700]	0,018	2,8	2600	1000	-
	2	Mortero de cemento o cal para albañilería	0,02	1,3	1900	1000	-
	3	1/2 pie LP métrico o catalán 80 mm < G < 100 mm	0,115	0,512	900	1000	-
	4	Cámara de aire sin ventilar horizontal 2 cm	0,02	-	-	-	0,16
	5	EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/mK]	0,03	0,038	30	1000	-
	6	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	0,06	0,432	930	1000	-
	7	Mortero de cemento o cal para albañilería	0,02	1,3	1900	1000	-

 Muro Exterior P1	1	Mortero de cemento o cal para albañilería	0,02	1,3	1900	1000	-
	2	1/2 pie LP métrico o catalán 80 mm < G <	0,115	0,512	900	1000	-
	3	Cámara de aire sin ventilar horizontal 2 cm	0,02	-	-	-	0,16
	4	EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/mK]	0,03	0,038	30	1000	-
	5	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	0,06	0,432	930	1000	-
	6	Mortero de cemento o cal para albañilería	0,02	1,3	1900	1000	-
 Tabiques	1	Mortero de cemento o cal para albañilería	0,015	1,3	1900	1000	-
	2	Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor < 60 mm]	0,04	0,445	1000	1000	-
	3	Mortero de cemento o cal para albañilería	0,015	1,3	1900	1000	-

3.1.3 CUBIERTA

La vivienda dispone de una cubierta inclinada a varias aguas, resuelta mediante una solución tradicional con teja cerámica-porcelana como acabado exterior. Bajo esta se dispone una lámina de betún fieltro, una capa de hormigón celular curado en autoclave y un forjado unidireccional de entrevigado cerámico de 30 cm de canto. Esta solución no incluye aislamiento térmico adicional, y cuenta con sistema de evacuación mediante canalones, para que el agua de lluvia no caiga directamente al terreno. La composición detallada de la cubierta se recoge en la Tabla 6.

Tabla 6: Composición de los Elementos Constructivos de la Cubierta.

Elemento constructivo	Nº	Material	Espesor (m)	Conductividad W/mK)	Densidad (kg/m³)	Capacidad calorífica (J/kgK)	Resistencia térmica (m²K/W)
 Cubierta	1	Teja cerámica-porcelana	0,02	1,3	2300	840	-
	2	Betún fieltro o lámina	0,01	0,23	1100	1000	-
	3	Hormigón celular curado en autoclave d500	0,05	0,14	500	1000	-
	4	FU Entrevigado cerámico - Canto 300 mm	0,3	0,846	1110	1000	-

3.1.4 CARPINTERÍA

Las carpinterías exteriores presentan una gran heterogeneidad. Las ventanas son de aluminio anodizado, montadas sobre cercos de aluminio, con tapajuntas y herrajes de cuelgue y seguridad. Los sistemas de apertura son mayoritariamente correderos. El acristalamiento es en su mayoría simple, mediante vidrio tipo cristalinado de 4/5 mm, aunque se han identificado unidades con doble acristalamiento y otras de vidrio coloreado de mayor espesor en puntos concretos como la puerta acristalada del salón-comedor.

Las ventanas cuentan con persianas enrollables de lamas rígidas de PVC de 42 mm en color beige, con sus mecanismos completos y anclaje en los marcos.

La puerta principal de la vivienda es de madera de SAPELLY moldeada, con marco de 10x8 cm, herrajes de seguridad, mirilla óptica y acabado barnizado. Las puertas interiores también están fabricadas en SAPELLY o similar, con espesor de 3,5 cm, incluyendo cerco, contracerco y tapajuntas, y se presentan en versiones ciegas, pintadas o con hojas acristaladas según su ubicación.

3.1.5 PUENTES TÉRMICOS

A lo largo del análisis constructivo de la vivienda, se han identificado múltiples puentes térmicos no tratados, especialmente en los encuentros entre forjados y muros, contornos de huecos, cajas de persianas y encuentros con la cubierta. La presencia de estos elementos supone una pérdida energética importante y un riesgo potencial de aparición de condensaciones, aunque no se han detectado manifestaciones visibles de patologías asociadas. El estado deficiente en la envolvente compromete tanto el confort interior como la eficiencia energética global de la vivienda, siendo uno de los principales puntos críticos a abordar en intervenciones de mejora energética.

3.1.6 INSTALACIONES

La vivienda dispone de una instalación individual para la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) y calefacción mediante caldera alimentada por gas butano, ubicada en el garaje. La cocina también funciona mediante gas butano. Las instalaciones no presentan deficiencias visibles, aunque su eficiencia energética no ha sido contrastada.

3.2 MODELO ENERGÉTICO

Tras la descripción previa de la construcción, en la que se han recogido las principales características arquitectónicas, constructivas y funcionales de la vivienda, se analizará cuantitativamente su comportamiento energético mediante la elaboración de un modelo digital del inmueble. La memoria descriptiva ha proporcionado una base sólida para la definición volumétrica de la vivienda, su distribución funcional y la configuración general de la envolvente térmica. Estos elementos han sido incorporados al proceso de simulación energética con el nivel de detalle necesario para reflejar de forma precisa el comportamiento energético del edificio en su estado actual.

La edificación, construida en 1981, presenta una configuración estructural convencional y unos sistemas constructivos propios de su época, carentes en general de criterios de eficiencia energética. Esta situación se traduce en una elevada demanda térmica y una baja calificación energética, motivadas por la escasa calidad del aislamiento, la presencia de puentes térmicos no tratados y unas instalaciones obsoletas o inexistentes en materia de climatización.

A través del modelo energético, realizado con la herramienta oficial HULC (Herramienta Unificada LIDER-CALENER), se pretende cuantificar las necesidades reales de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria, así como el consumo de energía primaria y las emisiones de CO₂, estableciendo así un punto de partida sobre el que fundamentar la propuesta de medidas de mejora posteriores.

3.2.1 JUSTIFICACIÓN DEL USO DE HULC

Para la elaboración del modelo energético de la vivienda en su estado actual se ha seleccionado la herramienta HULC (Herramienta Unificada LIDER-CALENER), desarrollada y reconocida por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico como software oficial para la verificación del cumplimiento del Documento Básico HE del Código Técnico de la Edificación (CTE) y la obtención del certificado de eficiencia energética de edificios.

HULC permite llevar a cabo una simulación energética detallada mediante un procedimiento dinámico basado en la definición completa de la geometría del edificio, su envolvente térmica, sus sistemas de climatización y producción de agua caliente sanitaria, así como las condiciones de uso y operación del inmueble. A través de esta herramienta se puede modelar

con precisión tanto el comportamiento térmico de cada recinto como el impacto de las cargas internas, la ventilación, la orientación solar o la calidad de los cerramientos.

El uso de HULC resulta especialmente adecuado en este trabajo, ya que permite evaluar de forma integrada el estado energético de una vivienda construida antes de la entrada en vigor de las exigencias normativas de eficiencia, proporcionando indicadores clave como la demanda energética anual (calefacción, refrigeración, ACS), el consumo de energía primaria (renovable y no renovable), las emisiones de CO₂ y la calificación energética global. Además, la herramienta facilita una base comparativa robusta que permite cuantificar el impacto energético de las medidas de mejora propuestas en fases posteriores del estudio.

Por ello, HULC constituye una herramienta esencial para diagnosticar de manera técnica y objetiva el comportamiento energético del edificio en su estado original y justificar, en base a resultados medibles, la necesidad de una intervención orientada a la mejora de su eficiencia.

3.2.2 DATOS GENERALES DEL EDIFICIO

El modelo energético se ha elaborado a partir de los datos constructivos y funcionales recogidos en la memoria descriptiva.

A continuación, se resumen los principales datos generales introducidos en la herramienta HULC:

- **Localización:** Provincia de Pontevedra (zona climática C1, según DB HE del CTE)
- **Altitud sobre el nivel del mar:** 9 metros
- **Año de construcción:** 1981
- **Uso del edificio:** Residencial privado (vivienda unifamiliar)
- **Superficie útil habitable estimada:** 300 m²
- **Superficie construida total:** Aproximadamente 350 m²
- **Número de plantas:** 2 plantas sobre rasante
- **Altura libre de planta:** 2,80 m
- **Configuración volumétrica:** Morfología rectangular, cubierta inclinada a varias aguas
- **Carga interna:** Baja, correspondiente al uso residencial habitual
- **Higrometría:** Clase 3 (uso de baños y cocina sin cargas de humedad excepcionales)
- **Sistema de ventilación:** Natural, a través de huecos practicables en fachada

Estos datos han sido utilizados como base para la definición del modelo, la configuración geométrica del modelo y las condiciones de funcionamiento de la vivienda. La correcta introducción de estos parámetros es clave para garantizar la fiabilidad de los resultados energéticos obtenidos mediante simulación.

3.2.3 MODELADO GEOMÉTRICO

La modelización geométrica de la vivienda se ha realizado directamente en la interfaz gráfica de la herramienta HULC, mediante la introducción manual de los datos de geometría y la definición detallada de los recintos térmicos. Para ello, se han utilizado los planos croquizados de la vivienda disponibles en formato AutoCAD, lo que ha permitido reconstruir con fidelidad la configuración espacial, la volumetría y la disposición de los elementos constructivos principales del edificio.

El proceso ha comenzado con la creación del volumen general de la edificación, respetando su morfología rectangular y la disposición en dos plantas sobre rasante. Posteriormente, se han definido los distintos recintos habitables por planta, diferenciando zonas de día (planta baja) y zonas de noche (planta primera), conforme a la distribución funcional especificada. También se han delimitado los espacios no acondicionados, como el trastero, que ha sido excluido del volumen térmico del modelo. Cada recinto se ha caracterizado individualmente en cuanto a superficie útil, altura libre, orientación, y posición dentro del conjunto edificatorio. Se han definido además las superficies opacas y semitransparentes de la envolvente (fachadas, cubierta y suelos), así como los elementos interiores que separan zonas habitables de espacios no acondicionados, respetando los espesores y materiales descritos en las tablas constructivas del apartado anterior.

En lo que respecta a los huecos, se han introducido en el modelo todas las ventanas y puertas exteriores, diferenciando sus dimensiones, orientación, tipo de carpintería y acristalamiento, de acuerdo con la información recogida en la memoria constructiva. Se han considerado mayoritariamente ventanas de aluminio con vidrio simple, combinadas con algunas unidades de doble acristalamiento y carpintería de aluminio. También se han introducido las puertas exteriores, como la puerta de acceso principal en la fachada sur y la puerta de vidrio en la fachada este.

La orientación de cada fachada se ha establecido conforme a la disposición real de la vivienda en la parcela, considerando los accesos principales y el desarrollo longitudinal del edificio. En cuanto a la cubierta inclinada a varias aguas, en el modelo se ha representado como una cubierta plana. Teniendo en cuenta que se trata de un espacio no habitable; desde el punto de vista energético, esta simplificación no tiene efectos relevantes sobre los resultados de la simulación.

Gracias a este modelado detallado, se ha logrado representar con fidelidad el volumen térmico y el comportamiento energético pasivo del edificio, lo cual resulta esencial para obtener resultados precisos en la simulación de demandas térmicas y consumos energéticos. En la Figura 14 se muestra la representación gráfica del modelo energético generado en HULC, en la que se aprecia la geometría introducida.

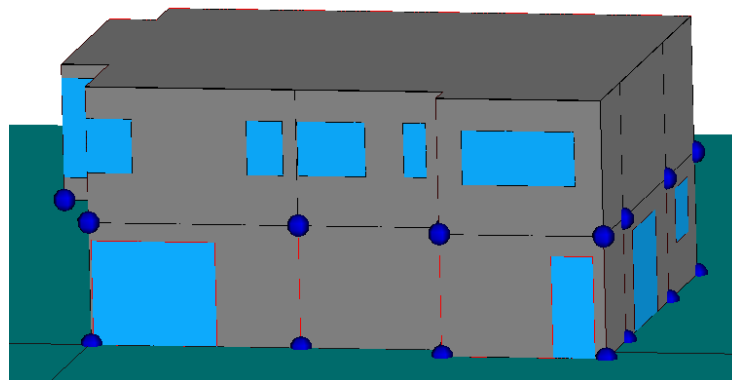


Figura 14: Representación gráfica del modelo energético

3.2.4 INSTALACIONES TÉRMICAS

La vivienda cuenta con un conjunto de instalaciones térmicas limitado y representativo de edificaciones anteriores a la normativa actual sobre eficiencia energética. En el modelo energético se han incluido todas las instalaciones activas identificadas, así como el sistema de ventilación, conforme a los requerimientos del CTE.

3.2.4.1 Generador térmico: caldera de butano

Como sistema generador, se ha definido en el modelo una caldera estándar alimentada por butano. Esta caldera ha sido seleccionada de entre las opciones predefinidas del programa

como sistema convencional de referencia, empleando valores típicos para viviendas unifamiliares sin instalaciones avanzadas de climatización.

Los parámetros introducidos en el modelo son los siguientes:

- **Capacidad total:** 10,00 kW
- **Rendimiento nominal (basado en PCI):** 0,850
- **Tipo de energía:** Butano

Este equipo se ha asignado tanto al sistema de Agua Caliente Sanitaria (ACS) como a los espacios con demanda de calefacción, según la zonificación térmica definida en la herramienta HULC.

3.2.4.2 Demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS)

Uno de los parámetros fundamentales a introducir en el modelo energético es la demanda diaria de Agua Caliente Sanitaria (ACS), ya que representa una parte significativa del consumo energético en viviendas residenciales. Su cálculo se realiza de acuerdo con los criterios normativos establecidos por el Código Técnico de la Edificación (CTE), utilizando valores estandarizados en función del número de ocupantes y la dotación diaria por persona.

La demanda de ACS se calcula siguiendo el procedimiento establecido en el Documento Básico HE del Código Técnico de la Edificación (CTE). Para viviendas de uso residencial privado, la dotación normativa es de 28 litros por persona y día, con una temperatura de servicio de 60 °C. Dicha normativa se encuentra en el Anejo F de Demanda de referencia de ACS [31].

Según la Tabla a-Anejo F del CTE-DB HE, una vivienda con 4 dormitorios debe considerarse ocupada por 5 personas. Por tanto, la demanda normativa diaria de ACS es:

$$5 \text{ personas} \cdot 28 \text{ litros/persona} \cdot \text{día} = 140 \text{ litros/día}$$

Este valor se ha introducido en el programa como volumen diario de ACS para el cálculo energético del estado actual del edificio.

3.2.4.3 Sistema de calefacción

La vivienda dispone actualmente de un sistema de calefacción centralizado mediante caldera de butano, compartida con el sistema de producción de agua caliente sanitaria (ACS). Esta

caldera convencional alimenta un sistema de radiadores por agua distribuidos por distintas estancias de la vivienda. En el modelo energético se ha definido un sistema de calefacción multizona con dos unidades terminales (radiadores) de 3,00 kW cada una, asociadas a los espacios P01_E01 y P02_E01 respectivamente, que representan dos zonas calefactadas diferenciadas. El sistema de calefacción ha sido incorporado al modelo energético, dado que constituye un sistema activo con contribución significativa al confort térmico en invierno.

3.2.4.4 Sistema de ventilación

La vivienda no dispone de sistema de ventilación mecánica ni dispositivos de recuperación de calor. La renovación del aire se realiza exclusivamente mediante ventilación natural, a través de la apertura manual de huecos practicables en fachada. Este tipo de ventilación, habitual en edificaciones anteriores al marco normativo actual, no permite el control de caudales ni garantiza un caudal constante de renovación de aire.

Para la modelización energética se ha calculado el caudal mínimo normativo de ventilación de acuerdo con los criterios establecidos en el Documento Básico HS3 del Código Técnico de la Edificación, utilizando la Tabla 2.1 de caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables de la Sección HS 3 de Calidad del aire interior [32].

Según los caudales mínimos de la tabla normativa para viviendas con 3 o más dormitorios, se asignan los caudales mínimos para los siguientes espacios ventilables:

- Dormitorio principal: 8 l/s
- Resto de dormitorios (3): $3 \times 4 = 12$ l/s
- Salas de estar y comedores (2): $2 \times 10 = 20$ l/s
- Locales húmedos (mínimo por local = 8 l/s): $5 \times 8 = 40$ l/s

Caudal total de ventilación exigido (qv):

$$qv = 8 + 12 + 20 + 40 = 80 \frac{l}{s}$$

Este valor de 80 l/s ha sido introducido como caudal mínimo de ventilación en el modelo energético del edificio.

3.2.4.5 Sistema de refrigeración

La vivienda no dispone de ningún sistema de refrigeración activo, ni de tipo centralizado ni mediante unidades individuales. No se han identificado equipos de aire acondicionado fijos ni portátiles, y no existen instalaciones de climatización específicas para el periodo de verano.

En consecuencia, en el modelo energético no se ha incorporado ningún sistema de refrigeración. Las condiciones térmicas interiores durante la época estival dependen exclusivamente del comportamiento pasivo de la envolvente, la ventilación natural cruzada y las condiciones de uso habituales. Este planteamiento permite reflejar con fidelidad la situación actual de la vivienda en cuanto a su capacidad de control térmico en verano.

3.2.5 CONDICIONES DE USO Y OPERACIÓN

Para la simulación energética del estado inicial de la vivienda, se han aplicado las condiciones estándar de uso y operación definidas por defecto en la herramienta HULC para edificios de uso residencial privado. Estos perfiles permiten garantizar la comparabilidad de resultados con otros modelos y cumplir con los requisitos establecidos por la normativa.

Las condiciones consideradas han sido las siguientes:

- **Ocupación:** 4 personas en régimen de vivienda habitual, distribuidas según la zonificación de dormitorios existente.
- **Ventilación:** Sistema natural mediante apertura de huecos practicables en fachada. Se ha introducido un caudal de renovación de 0,63 renovaciones por hora, de acuerdo con el valor calculado conforme al número de dormitorios y al volumen útil habitable.
- **Horarios de uso:** Se han utilizado los perfiles estándar de vivienda permanente, con presencia parcial durante los días laborables (mañana y noche) y presencia continuada los fines de semana.
- **Cargas internas:**
 - Iluminación: 4 W/m²
 - Equipos/electrodomésticos: 3 W/m²
 - Uso moderado de cocina, baños y otros aparatos eléctricos.

Estos valores representan una carga interna baja, típica de viviendas de uso familiar habitual sin actividad intensiva.

3.2.6 RESULTADOS DEL MODELO

Tras la simulación energética realizada con la herramienta HULC, se han obtenido los resultados correspondientes al estado actual de la vivienda. En la Tabla 7, se presenta la tabla resumen con los indicadores principales de demanda, consumo de energía primaria (total, renovable y no renovable) y emisiones de CO₂, desglosados por usos.

Tabla 7: Resultados del modelo energético del estado inicial (por uso específico)

Concepto	Calefacción	Refrigeración	ACS	Ventilación	Iluminación	TOTAL
Demanda, D (kWh/m ² ·año)	96,11	0,53	12,51	-	-	109,15
Energía Final, C_{ef} (kWh/m ² ·año)	112,05	0,17	14,72	2,79	0,00	129,73
Energía Primaria Total, C_{ep;tot}	133,90	0,41	17,72	6,60	0,00	158,63
Energía Primaria No Renovable, C_{ep;nren}	133,34	0,34	17,68	5,44	0,00	156,8
Energía Primaria Renovable, C_{ep;ren}	0,56	0,07	0,04	1,15	0,00	1,82
Emisiones, E_{CO2} (kgCO ₂ /m ² ·año)	28,24	0,06	3,74	0,92	0,00	32,96

Estos resultados reflejan un comportamiento energético claramente ineficiente en el estado actual del edificio. Las conclusiones principales son:

- La demanda energética de calefacción (96,11 kWh/m²·año) es muy elevada, consecuencia directa de una envolvente térmica con bajo aislamiento, puentes térmicos no tratados y carpinterías sin rotura de puente térmico.
- La demanda de ACS (12,51 kWh/m²·año) representa un peso relevante dentro del consumo total, aunque dentro de los márgenes habituales para una vivienda unifamiliar.
- La energía final total del edificio alcanza los 129,73 kWh/m²·año, mientras que el consumo de energía primaria total es de 158,63 kWh/m²·año, con una gran dependencia de fuentes no renovables (más del 98%).

- Las emisiones de CO₂ asociadas al funcionamiento del edificio ascienden a 32,96 kgCO₂/m²·año, reflejando el uso de combustibles fósiles como el butano para calefacción y ACS.
- La refrigeración, aunque contemplada en el modelo, presenta una demanda despreciable debido a la ausencia de sistemas activos y la estrategia pasiva de ventilación natural.

Estos resultados sirven como línea base para cuantificar el impacto de las futuras medidas de mejora propuestas, tanto a nivel energético como ambiental.

Adicionalmente, el modelo energético ha permitido obtener la calificación energética oficial del edificio, emitida conforme al procedimiento reconocido por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana y basada en los resultados de la simulación realizada con la herramienta HULC.

La calificación energética obtenida para el estado inicial del edificio es:

- **Consumo de energía primaria no renovable:** 156,8 kWh/m²·año, lo que sitúa al edificio en la letra E de la escala de calificación energética.
- **Emisiones globales de dióxido de carbono (CO₂):** 32,96 kgCO₂/m²·año, correspondiente a la letra e, dentro del rango medio de eficiencia en emisiones.

Estas calificaciones reflejan el carácter energéticamente ineficiente de la vivienda en su configuración original, siendo especialmente significativa la elevada demanda de calefacción y el uso exclusivo de fuentes no renovables. La letra E en consumo y en emisiones sitúan al edificio en un rango bajo de eficiencia energética, lo que refuerza la necesidad de implementar mejoras tanto en la envolvente térmica como en los sistemas activos.

El certificado completo de eficiencia energética generado con HULC, junto con sus anexos técnicos, se incluye en el Anexo I de esta memoria.

Capítulo 4. MEJORA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA

4.1 OBJETIVO DEL NUEVO ESCENARIO

Tras la caracterización energética del estado inicial de la vivienda, cuyos resultados pusieron de manifiesto una elevada demanda de calefacción y una calificación energética deficiente (letra E en consumo y emisiones), se plantea una serie de escenarios de mejora con el fin de reducir el consumo energético y las emisiones de CO₂, mejorando la eficiencia global del edificio. Cada uno de estos escenarios se enfoca en un tipo concreto de intervención, lo que permite valorar su impacto individual de forma precisa. El presente capítulo está dedicado al primer escenario de mejora, centrado exclusivamente en la optimización pasiva de la envolvente térmica, sin modificar las instalaciones térmicas existentes.

El objetivo principal de este primer escenario de mejora es reducir la demanda energética de la vivienda mediante intervenciones exclusivamente pasivas sobre la envolvente térmica, sin modificar los sistemas actuales de climatización ni de producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS). Se parte de la base de que los sistemas térmicos existentes permanecen inalterados, manteniéndose la caldera de butano para calefacción y ACS, la ventilación natural y la ausencia de sistemas activos de refrigeración.

Esta estrategia se centra en actuar sobre los elementos constructivos que definen el comportamiento térmico del edificio, muros exteriores, cubierta, huecos y suelos en contacto con espacios no habitables o el exterior, con el objetivo de limitar las pérdidas térmicas en invierno y las ganancias térmicas en verano. De esta forma, se pretende mejorar el comportamiento pasivo del inmueble y, como consecuencia, disminuir significativamente la demanda de calefacción y, en menor medida, de refrigeración, sin necesidad de modificar los equipos existentes.

La selección de este enfoque responde a criterios de viabilidad técnica y económica, ya que muchas intervenciones sobre la envolvente pueden acometerse sin afectar a la habitabilidad del edificio y sin implicar grandes transformaciones en las instalaciones. Asimismo, permite valorar el impacto específico de las medidas pasivas, aisándolo del efecto que podría tener una renovación del sistema térmico.

Este escenario servirá, además, como base comparativa para evaluar la eficacia de las mejoras pasivas frente a otros escenarios mejorados posteriores, en los que sí se contemplarán modificaciones de sistemas activos y la incorporación de fuentes de energía renovables. Así, se podrá determinar el peso relativo de la mejora de la envolvente en la reducción del consumo energético total, de las emisiones de CO₂ y en la mejora de la calificación energética del edificio.

4.2 NUEVAS SECCIONES CONSTRUCTIVAS

El presente apartado describe las mejoras aplicadas a los elementos que componen la envolvente térmica del edificio con el objetivo de reducir su demanda energética sin intervenir en las instalaciones. Estas actuaciones forman parte del primer escenario de mejora propuesto y se centran en la incorporación de soluciones constructivas que aumenten la resistencia térmica de los cerramientos, limiten las pérdidas y ganancias de energía, y corrijan la mayor parte de los puentes térmicos detectados en el estado inicial.

Las nuevas secciones constructivas se han planteado respetando la configuración geométrica y estructural de la vivienda existente, de forma que su ejecución sea técnicamente viable dentro de un proceso de rehabilitación energética parcial. Se han priorizado materiales con buenas propiedades aislantes, bajo impacto ambiental y fácil disponibilidad en el mercado. Las intervenciones propuestas afectan a los siguientes elementos:

4.2.1 ENVOLVENTE TÉRMICA

En el escenario de mejora pasiva de la envolvente térmica se ha diseñado una única solución para los muros exteriores de ambas plantas y una sección optimizada para los tabiques interiores. Ambas incorporan materiales aislantes de alta eficiencia con espesores significativamente superiores a los del estado original, con el objetivo de reducir las pérdidas térmicas por transmisión y mejorar el confort interior.

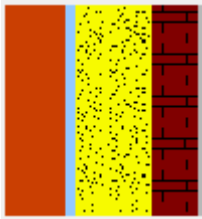
El nuevo muro exterior se compone de una hoja exterior de piedra natural de 10 cm de espesor, caracterizada por su baja conductividad térmica ($0,120 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) y su baja densidad, lo que contribuye a reducir las ganancias térmicas en verano. A continuación, se incorpora una cámara de aire ligeramente ventilada de 5 cm, que mejora el comportamiento en régimen de verano e introduce una resistencia térmica adicional de $0,09 \text{ m}^2\text{K/W}$.

En el núcleo del muro se incluyen dos capas de aislamiento térmico: una plancha de poliuretano (PUR) de 5 cm, con una conductividad de solo $0,025 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, y una capa de lana mineral de 8 cm, con conductividad de $0,031 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Estas capas se integran en una solución continua, sin interrupciones en el aislamiento. La cara interior del cerramiento se resuelve con un tabicón de ladrillo hueco doble de 8 cm de espesor, y un revoco interior de mortero de cemento o cal de 2 cm.

En cuanto a los tabiques interiores, se ha diseñado una solución compuesta por un núcleo de ladrillo hueco sencillo de 6 cm de espesor, flanqueado por dos capas de lana mineral de 2 cm a cada lado. Estas capas permiten mejorar tanto la resistencia térmica como el aislamiento acústico entre recintos. El conjunto se completa con capas de mortero de cemento o cal de 2 cm y 1,5 cm en cada cara, aportando resistencia mecánica y acabado superficial.

En la Tabla 8 se resumen las características técnicas de las secciones constructivas pertenecientes al nuevo escenario mejorado que definen la envolvente térmica del edificio. En ella se detallan los materiales empleados, su espesor, conductividad térmica, densidad y capacidad calorífica específica, así como la resistencia térmica en los casos aplicables. Esta información resulta esencial para justificar el comportamiento térmico mejorado del edificio tras la intervención, sirviendo como base para el modelado energético realizado en HULC y para la cuantificación del impacto de cada medida sobre la demanda energética y la calificación global del inmueble.

Tabla 8: Composición de la nueva de la Envolvente Térmica y Tabiques Interiores

Elemento constructivo	Nº	Material	Espesor (m)	Conductividad W/mK	Densidad (kg/m³)	Capacidad calorífica (J/kgK)	Resistencia térmica (m²K/W)
Muro Exterior 	1	Piedra natural [d < 400]	0,1	0,12	390	1000	
	2	Cámara de aire ligeramente ventilada (vertical)	0,05			1000	0,09
	3	PUR Plancha con HFC o Pentano y revestimiento	0,05	0,025	45	1000	
	4	Lana mineral MW [0,031 W/m·K]	0,08	0,031	40	1000	
	5	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	0,08	0,432	930	1000	
	6	Mortero de cemento o cal para albañilería	0,02	1,3	1900	1000	
Tabiques 	1	Mortero de cemento o cal para albañilería	0,02	1,3	1900	1000	-
	2	Lana mineral MW [0,031 W/m·K]	0,02	0,031	40	1000	-
	3	Tabique de LH sencillo [40 mm < E < 60 mm]	0,06	0,445	1000	1000	-
	4	Lana mineral MW [0,031 W/m·K]	0,02	0,031	40	1000	-
	5	Mortero de cemento o cal para albañilería	0,015	1,3	1900	1000	-

4.2.2 CUBIERTA

La vivienda dispone de una cubierta inclinada a varias aguas que ha sido objeto de una mejora sustancial en este escenario, incorporando un paquete de aislamiento térmico adicional en su configuración con el objetivo de reducir de forma significativa las pérdidas energéticas por transmisión a través del plano superior del edificio.

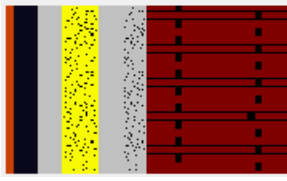
Se mantiene el acabado exterior tradicional mediante teja cerámica-porcelana de 2 cm de espesor, lo que garantiza la integración visual de la rehabilitación con la estética original del edificio. Bajo esta capa exterior, se ha dispuesto una lámina impermeabilizante de betún fieltro de 5 cm que actúa como barrera frente al agua de lluvia, protegiendo eficazmente las capas interiores. A partir de ahí, se incorpora una solución constructiva de mayor complejidad, diseñada específicamente para reforzar el aislamiento térmico y la resistencia estructural del conjunto.

El núcleo aislante de la sección está formado por una plancha de poliuretano expandido (PUR) de 8 cm de espesor, caracterizada por su excelente comportamiento térmico (conductividad de $0,025 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), intercalada entre dos chapas de acero que actúan como soporte estructural y elemento de protección mecánica. Esta disposición permite un mejor control de los flujos térmicos sin comprometer la estabilidad del conjunto. Bajo el núcleo aislante se ha incluido una capa de hormigón celular curado en autoclave d500 de 5 cm, cuya baja conductividad térmica ($0,14 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) y buena inercia térmica permiten amortiguar las oscilaciones de temperatura exterior.

Como base resistente del sistema se mantiene un forjado unidireccional de entrevigado cerámico de 30 cm de canto, que garantiza la capacidad portante de la cubierta, respetando al mismo tiempo la distribución y geometría original del edificio. En conjunto, esta solución mejorada logra un excelente equilibrio entre prestaciones térmicas, viabilidad constructiva y mantenimiento de las características arquitectónicas de la edificación existente.

La composición detallada de esta sección constructiva se recoge en la Tabla 9, donde se describen los materiales empleados, sus espesores, propiedades térmicas y demás parámetros relevantes utilizados en la modelización energética del edificio.

Tabla 9: Composición de los Elementos Constructivos de la Cubierta.

Elemento constructivo	Nº	Material	Espesor (m)	Conductividad W/mK)	Densidad (kg/m³)	Capacidad calorífica (J/kgK)
Cubierta 	1	Teja cerámica-porcelana	0,02	1,3	2300	840
	2	Betún fieltro o lámina	0,05	0,23	1100	1000
	3	Acero	0,05	50	7800	450
	4	PUR Plancha con HFC o Pentano y rev.	0,08	0,025	45	1000
	5	Acero	0,05	50	7800	450
	6	Hormigón celular curado en autoclave d 500	0,05	0,14	500	1000
	7	FU Entrevigado cerámico - Canto 300 mm	0,3	0,846	1110	1000

4.2.3 CARPINTERÍA

Las carpinterías exteriores han sido completamente renovadas en este escenario de mejora, incorporando soluciones adaptadas al nivel de exposición térmica de cada fachada y optimizadas para garantizar un buen comportamiento energético del conjunto.

En la planta baja se han instalado ventanas de seguridad con acristalamiento doble bajo emisivo (tipo 4-12-331) y marcos metálicos con rotura de puente térmico (RPT) superior a 12 mm, lo que permite mejorar tanto la transmitancia térmica como la estanqueidad. En la planta primera, las ventanas son del mismo tipo de vidrio y marco, clasificadas como ventanas simples con RPT, manteniendo las prestaciones térmicas y ópticas del modelo utilizado en planta baja, aunque con un nivel de seguridad estándar.

En cuanto a las puertas exteriores, la puerta corredera acristalada del salón se ha resuelto con la misma tipología que las ventanas de seguridad, garantizando continuidad térmica y estética. Las puertas metálicas del garaje y de acceso principal también cuentan con rotura de puente térmico superior a 12 mm. Estas puertas mejoran sustancialmente el comportamiento energético respecto a la solución original de madera sin aislamiento.

Esta actualización homogénea de las carpinterías contribuye a reducir significativamente las infiltraciones de aire, minimizar las pérdidas térmicas por transmisión y mejorar la calificación energética global del edificio.

4.3 *MODELO ENERGÉTICO CON NUEVA ENVOLVENTE TÉRMICA*

Tras la definición y aplicación de las mejoras en los elementos que componen la envolvente térmica de la vivienda, se ha procedido a la elaboración de un nuevo modelo energético con el fin de evaluar cuantitativamente el impacto de dichas intervenciones sobre el comportamiento energético. Esta simulación, realizada nuevamente mediante la herramienta oficial HULC, permite comparar de forma directa los resultados obtenidos con el escenario inicial, identificando las reducciones en demanda energética, consumo de energía primaria y emisiones de CO₂ atribuibles exclusivamente a la mejora pasiva de los cerramientos.

En este nuevo modelo se ha mantenido la configuración general del inmueble en cuanto a geometría, distribución funcional, sistemas de climatización, producción de ACS y ventilación natural. La única diferencia respecto al modelo de partida radica en la mejora de los elementos constructivos de la envolvente: muros exteriores, cubierta, tabiques interiores y carpinterías. Estos componentes han sido rediseñados con nuevos materiales y espesores, incorporando aislamiento térmico de alta eficiencia y sistemas de carpintería con rotura de puente térmico, lo que permite reducir las pérdidas energéticas sin necesidad de modificar las instalaciones térmicas.

La herramienta HULC ha sido empleada nuevamente como soporte de simulación, dado que permite reflejar con precisión las condiciones reales del edificio tras la intervención y ofrece resultados comparables con los obtenidos en el estado inicial. Así, el modelo generado en este escenario mejorado conserva las mismas condiciones de uso, cargas internas, caudales de ventilación y perfiles de ocupación que el modelo base, garantizando la coherencia metodológica del análisis comparativo.

El presente modelo constituye un paso clave dentro del proceso de evaluación energética, ya que permite medir el efecto aislado de la mejora pasiva de la envolvente sin interferencias derivadas de cambios en los sistemas de climatización o el uso de energías renovables.

4.3.1 RESULTADOS CON LA MEJORA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA

Tras la simulación energética del escenario mejorado, correspondiente a la aplicación de mejoras pasivas sobre la envolvente térmica del edificio, se han obtenido resultados significativamente más favorables en comparación con el estado inicial. En la Tabla 10 se presenta el resumen de los principales indicadores energéticos, incluyendo demanda térmica,

consumo de energía primaria (total, renovable y no renovable) y emisiones de CO₂, desglosados por usos específicos.

Tabla 10: Resultados del modelo energético del escenario mejorado (por uso específico)

Concepto	Calefacción	Refrigeración	ACS	Ventilación	Iluminación	TOTAL
Demanda, D (kWh/m ² ·año)	44,70	1,15	14,30	-	-	60,15
Energía Final, C_{ef} (kWh/m ² ·año)	53,92	0,42	16,83	2,79	0,00	73,96
Energía Primaria Total, C_{ep;tot}	64,43	0,99	20,11	6,60	0,00	92,13
Energía Primaria No Renovable, C_{ep;nren}	64,16	0,82	20,02	5,44	0,00	90,44
Energía Primaria Renovable, C_{ep;ren}	0,27	0,17	0,08	1,15	0,00	1,67
Emisiones, E_{CO2} (kgCO ₂ /m ² ·año)	13,59	0,14	4,24	0,92	0,00	18,89

Los resultados obtenidos reflejan una mejora sustancial en el comportamiento energético del edificio, atribuible exclusivamente a las medidas pasivas implementadas en la envolvente térmica. La demanda energética de calefacción se ha reducido de forma muy significativa, pasando de 96,11 a 44,70 kWh/m²·año, lo que supone una disminución superior al 53%. Esta reducción evidencia la eficacia de las medidas adoptadas: refuerzo del aislamiento térmico en fachadas y cubierta, mejora de los huecos mediante vidrios bajo emisivos y carpinterías con rotura de puente térmico, y la eliminación parcial de puentes térmicos lineales.

La demanda de refrigeración, aunque sea baja en ambos escenarios debido a la ausencia de sistemas activos, se ha incrementado ligeramente de 0,53 a 1,15 kWh/m²·año. Este fenómeno es común en rehabilitaciones pasivas en climas templados: al mejorar el aislamiento térmico y reducir las infiltraciones, se conserva también más calor en verano, lo que puede generar pequeñas ganancias térmicas interiores que elevan marginalmente la necesidad de refrigeración. No obstante, este valor sigue siendo despreciable en términos absolutos.

En términos de consumo, el uso de energía primaria no renovable se ha reducido de 143,15 a 90,44 kWh/m²·año, lo que representa una mejora del 44,5%. Esta reducción resulta clave para la mejora en la calificación energética y evidencia la capacidad de las medidas pasivas para reducir la dependencia de fuentes energéticas fósiles, incluso manteniendo la misma caldera y sin introducir renovables.

Asimismo, las emisiones globales de CO₂ han descendido desde los 30,06 a 18,89 kgCO₂/m²·año, una mejora del 37%, lo que sitúa al edificio en un rango más favorable desde el punto de vista ambiental. Esta mejora está directamente asociada a la reducción en el uso de combustibles fósiles como el butano, gracias a una menor demanda de calefacción.

Adicionalmente, el modelo energético ha permitido generar el certificado oficial de eficiencia energética correspondiente a este escenario mejorado, conforme al procedimiento reconocido por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, y emitido mediante la herramienta HULC (versión HU CTE-HE y CEE 2.0.2496.1177, 18-jul-2024).

Según dicho certificado, la vivienda alcanza una **calificación energética tipo D en consumo de energía primaria no renovable**, con un valor de **90,44 kWh/m²·año**, y una **calificación tipo C en emisiones de dióxido de carbono (CO₂)**, con un valor de **18,89 kgCO₂/m²·año**. Esto supone una mejora sustancial respecto al estado inicial, en el que el edificio obtenía la letra E tanto en consumo como en emisiones.

Esta doble mejora de dos niveles en la escala de eficiencia confirma el impacto positivo de la intervención realizada sobre la envolvente térmica y valida la estrategia de mejora pasiva adoptada como una solución eficaz, técnicamente viable y económicamente asumible para la rehabilitación energética de viviendas construidas antes de la entrada en vigor de las normativas actuales. El certificado oficial de eficiencia energética correspondiente a este escenario mejorado se incluye en el Anexo II de esta memoria.

Capítulo 5. INCORPORACIÓN DE LA AEROTERMIA

Este capítulo analiza la incorporación de un sistema de aerotermia como alternativa al sistema térmico convencional de la vivienda. El objetivo es evaluar el impacto energético y ambiental de sustituir la actual caldera de butano por una bomba de calor aire-agua de alta eficiencia capaz de cubrir tanto la calefacción como la producción de agua caliente sanitaria (ACS). La propuesta se enmarca dentro del proceso de mejora progresiva de la eficiencia energética del edificio, incorporando tecnologías renovables que permitan reducir el consumo de energía primaria no renovable, las emisiones de CO₂ y avanzar hacia un modelo de vivienda más sostenible. A lo largo del capítulo se justifica la elección de esta tecnología frente a otras alternativas, se presenta el modelo de bomba de calor seleccionado y se describen los resultados obtenidos tras su integración en el modelo energético del inmueble. Esta actuación se plantea como un paso intermedio y complementario a futuras estrategias combinadas con otras fuentes renovables como la fotovoltaica.

5.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA DE LA AEROTERMIA

La decisión de incorporar un sistema de aerotermia en este escenario de mejora responde a la necesidad de sustituir el actual sistema térmico basado en una caldera de butano por una solución más eficiente, limpia y alineada con los objetivos de sostenibilidad energética. La aerotermia es una tecnología renovable que extrae energía térmica del aire exterior mediante una bomba de calor aire-agua, permitiendo satisfacer de forma conjunta las demandas de calefacción en invierno y agua caliente sanitaria (ACS) durante todo el año, con un consumo eléctrico muy reducido. Su funcionamiento se basa en un ciclo termodinámico que aprovecha la energía contenida en el ambiente, logrando rendimientos estacionales muy superiores a los sistemas convencionales: por cada kWh eléctrico consumido, es capaz de generar entre 3 y 5 kWh térmicos útiles. Esto implica una reducción directa del consumo de energía final y, sobre todo, del consumo de energía primaria no renovable, con el consiguiente descenso de emisiones de CO₂.

Además de su elevada eficiencia, la aerotermia presenta múltiples ventajas: es una tecnología segura (al no requerir almacenamiento de combustibles), de bajo mantenimiento, silenciosa, con vida útil prolongada y compatible con otras fuentes renovables como la fotovoltaica.

Desde el punto de vista normativo, está reconocida como fuente renovable por la Directiva 2009/28/CE y cumple los requisitos del Documento Básico HE del Código Técnico de la Edificación. Su instalación es subvencionable mediante fondos públicos como el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), lo que mejora notablemente su viabilidad económica.

En climas templados como el de Galicia, y concretamente en Pontevedra, la aerotermia alcanza un rendimiento muy elevado incluso en condiciones invernales, sin necesidad de equipos auxiliares. Esta tecnología se consolida como una opción ideal para edificios residenciales que buscan mejorar su eficiencia energética y calificación global, reduciendo el impacto ambiental sin modificar sustancialmente la distribución ni la envolvente. Por todo ello, la inclusión de aerotermia en el presente proyecto se justifica no sólo por sus beneficios energéticos y ambientales, sino también por su madurez tecnológica, viabilidad económica y alineación con los objetivos de descarbonización marcados a nivel nacional y europeo.

5.2 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE AEROTERMIA

En el escenario inicial, la vivienda contaba con una caldera convencional de butano, con una potencia térmica nominal de 10,00 kW y un rendimiento del 85 %, lo que se traduce en un COP equivalente de 0,85. Este sistema generaba tanto calefacción como agua caliente sanitaria (ACS) mediante combustión, con un elevado consumo de energía primaria no renovable, emisiones directas de CO₂, y una dependencia constante del suministro y almacenamiento de gas envasado. Además, implicaba mayores riesgos operativos y un mantenimiento más exigente en comparación con las soluciones eléctricas actuales.

Como resultado de las mejoras aplicadas a la envolvente térmica del edificio, incluyendo la incorporación de aislamiento en fachadas, cubierta y solera, así como la renovación de carpinterías exteriores, la demanda energética global se ha visto reducida de forma significativa. Esta mejora permite ajustar a la baja la potencia del nuevo sistema generador, lo que optimiza su dimensionado, reduce el coste de inversión y mejora el rendimiento estacional del equipo.

En este contexto, se ha optado por un sistema de generación de agua caliente sanitaria basado en una bomba de calor aerotérmica aire-agua de instalación en suelo, modelo *Magna Aqua 200* de la marca *Saunier Duval* (Figura 15), una solución de alta eficiencia adaptada a proyectos de rehabilitación residencial. El equipo funciona con refrigerante natural R-290 y opera con alimentación monofásica a 230 V, ofreciendo un elevado rendimiento energético y bajo impacto ambiental.



Figura 15: Bomba de calor aerotérmica Saunier Duval Genia Air 8. Fuente: Saunier Duval.

El sistema incorpora un acumulador de acero inoxidable con capacidad de 200 litros y cuenta con una clase de eficiencia energética A+, perfil de consumo L. Sus dimensiones son 634 x 634 x 1458 mm, y presenta un nivel de potencia sonora de 48 dBA, apto para entornos residenciales. Incorpora una resistencia eléctrica de apoyo de 1,2 W, aislamiento térmico mediante poliuretano inyectado, conexiones de ventilación, función antilegionela, protección antihielo y un panel de control digital que permite programación semanal, ajuste de temperatura grado a grado y modo vacaciones. El equipo se entrega totalmente montado, conexionado y puesto en marcha por la empresa instaladora, garantizando su correcto funcionamiento.

Este modelo cumple con las exigencias del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y puede acogerse a los programas de ayudas públicas como los fondos Next Generation o los planes de rehabilitación energética impulsados por las comunidades autónomas.

La selección de este modelo permite sustituir eficazmente el sistema de butano por una solución renovable, segura y altamente eficiente, alineada con los objetivos de descarbonización y eficiencia energética establecidos a nivel nacional y europeo.

5.3 *MODELO ENERGÉTICO*

Tras la sustitución del sistema generador térmico de la vivienda por una bomba de calor aire-agua de alta eficiencia, se ha procedido a la elaboración de un nuevo modelo energético con el fin de evaluar de forma cuantitativa el impacto de dicha intervención sobre el comportamiento energético global del edificio. Esta simulación, realizada nuevamente mediante la herramienta oficial HULC, permite comparar directamente los resultados obtenidos con los del escenario anterior, ya mejorado pasivamente, identificando las reducciones adicionales en consumo de energía primaria y emisiones de CO₂ atribuibles exclusivamente a la mejora activa del sistema de calefacción y ACS.

En este nuevo modelo se ha mantenido inalterada la configuración general del inmueble en lo que respecta a geometría, número de plantas, distribución interior, volumen habitable, condiciones de uso, perfil de ocupación, caudales de ventilación y características térmicas de la envolvente. Es decir, se conservan todas las mejoras pasivas previamente implementadas sobre los cerramientos opacos y acristalados (aumento del aislamiento en fachadas y cubierta, carpintería con rotura de puente térmico y corrección parcial de puentes térmicos lineales), permitiendo así aislar el efecto de la sustitución del sistema térmico.

La única diferencia respecto al modelo anterior radica en la incorporación de un nuevo sistema generador aerotérmico de alta eficiencia, el cual sustituye a la antigua caldera de butano. Esta bomba de calor, que opera exclusivamente con energía eléctrica, permite cubrir íntegramente las necesidades térmicas de calefacción y producción de agua caliente sanitaria (ACS) mediante un aprovechamiento eficiente del calor ambiente. Su inclusión en el modelo, reconocida como fuente renovable por el CTE y la Directiva 2009/28/CE, permite reducir tanto la dependencia de combustibles fósiles como las emisiones derivadas del uso energético del edificio.

La herramienta HULC ha sido utilizada nuevamente como soporte de simulación, garantizando así la coherencia metodológica del análisis comparativo. El nuevo modelo conserva todas las condiciones de entrada del escenario anterior, de modo que los resultados obtenidos reflejan de forma precisa el efecto exclusivo de la mejora activa introducida mediante la aerotermia.

5.3.1 RESULTADOS CON BOMBA DE CALOR AIRE-AGUA

Tras la simulación energética del escenario mejorado con sistema de bomba de calor aire-agua, se han obtenido resultados considerablemente más favorables respecto a los escenarios anteriores, especialmente en términos de reducción del consumo de energía primaria no renovable y de las emisiones asociadas. En la Tabla 11 se presenta el resumen de los principales indicadores energéticos, incluyendo la demanda térmica, el consumo de energía primaria (total, renovable y no renovable) y las emisiones de CO₂, desglosadas por usos específicos.

Tabla 11: Resultados del modelo energético con bomba de calor aire-agua (por uso específico)

Concepto	Calefacción	Refrigeración	ACS	Ventilación	Iluminación	TOTAL
Demanda, D (kWh/m ² ·año)	44,70	1,15	14,30	-	-	60,15
Energía Final, C_{ef} (kWh/m ² ·año)	47,63	0,42	14,30	2,79	0,00	65,14
Energía Primaria Total, C_{ep;tot}	61,56	0,99	18,04	6,60	0,00	87,19
Energía Primaria No Renovable, C_{ep;nren}	34,99	0,82	5,34	5,44	0,00	46,59
Energía Primaria Renovable, C_{ep;ren}	26,57	0,17	12,70	1,15	0,00	40,59
Emisiones, E_{CO₂} (kgCO ₂ /m ² ·año)	6,76	0,14	0,90	0,92	0,00	8,72

Los resultados reflejan una mejora energética notable en el comportamiento global del edificio, atribuible exclusivamente a la sustitución del sistema generador por una bomba de calor de alta eficiencia. La demanda térmica de calefacción se mantiene constante respecto al escenario anterior (44,70 kWh/m²·año), lo que confirma que la mejora no se debe a cambios en la envolvente ni en el uso, sino a la eficiencia del nuevo sistema.

En el caso de la producción de ACS, también se mantiene constante la demanda (14,30 kWh/m²·año), pero con una drástica transformación en la fuente energética: se reduce el aporte de energía primaria no renovable a tan solo 5,34 kWh/m²·año, compensado por 12,70 kWh/m²·año de origen renovable, debido al aprovechamiento del calor ambiental mediante aerotermia. Esto supone una transformación energética cualitativa que reduce el impacto ambiental de forma significativa.

El uso de energía primaria no renovable total se sitúa en 46,59 kWh/m²·año, lo que representa una mejora superior al 48 % respecto al escenario anterior con caldera de butano

y envolvente mejorada ($90,44 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año}$). Esta reducción es clave para el cambio de calificación energética, y se ha logrado sin introducir sistemas fotovoltaicos ni otras renovables externas.

Asimismo, las emisiones globales de CO_2 descienden a $8,73 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{año}$, una mejora adicional de casi 54% respecto al escenario previo. Esta reducción consolida el impacto positivo de la aerotermia en la descarbonización del uso energético del edificio, eliminando las emisiones in situ y aprovechando un sistema eléctrico más limpio.

Según el certificado oficial de eficiencia energética emitido mediante la herramienta HULC, la vivienda alcanza una **calificación tipo B tanto en consumo de energía primaria no renovable como en emisiones de CO_2** . Esta mejora respecto al estado inicial (letra D en consumo y E en emisiones) confirma la eficacia de la intervención, tanto desde el punto de vista técnico como ambiental, validando el uso de tecnologías renovables como solución central para la rehabilitación energética de viviendas existentes.

El certificado oficial de eficiencia energética correspondiente a este escenario se incluye en el Anexo III de esta memoria.

Capítulo 6. INCORPORACIÓN DE SISTEMA SOLAR TÉRMICO PARA ACS

La progresiva implantación de energías renovables en el ámbito residencial no sólo responde a criterios de eficiencia y sostenibilidad, sino también al cumplimiento de las exigencias normativas vigentes. En este capítulo se plantea la incorporación de un sistema de energía solar térmica destinado a cubrir mayoritariamente la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de la vivienda objeto de estudio. La implementación de esta solución permitirá reducir el consumo de energía primaria no renovable, mejorar la calificación energética del edificio y avanzar hacia un modelo de edificación más autosuficiente desde el punto de vista energético. En los siguientes apartados se justifica la intervención desde el punto de vista normativo, se selecciona y dimensiona el sistema solar térmico propuesto y se analiza su efecto sobre el modelo energético del edificio.

6.1 CUMPLIMIENTO NORMATIVO PARA EL SISTEMA SOLAR TÉRMICO

La incorporación del sistema solar térmico para producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) en la vivienda objeto del presente estudio responde a la obligación legal de garantizar una contribución mínima de energía renovable, tal y como exige el Documento Básico HE-4 del Código Técnico de la Edificación (CTE) [33].

Este documento, en vigor desde la publicación del Real Decreto 314/2006 y sus posteriores actualizaciones, establece que todos los edificios de nueva construcción o reformas importantes deben incorporar sistemas de captación solar térmica para cubrir una parte de la demanda de ACS. La contribución mínima depende de la zona climática y del tipo de uso del edificio, y debe cubrir un porcentaje significativo de la demanda anual de ACS, utilizando exclusivamente energía solar térmica u otras fuentes renovables equivalentes.

Por tanto, puede concluirse que, conforme al marco normativo vigente, la vivienda objeto del presente estudio está sujeta a la obligación de garantizar una contribución mínima de energía renovable para la producción de ACS, tal como establece el Documento Básico HE-4 del Código Técnico de la Edificación (CTE). En función de su localización en la provincia de Pontevedra (zona climática 1) y su tipología como vivienda unifamiliar de 4 dormitorios, el Anejo F del CTE establece una ocupación mínima de cinco personas y un consumo de

referencia de 28 litros por persona y día. No obstante, con el objetivo de ajustar el diseño a un escenario de uso más exigente y realista, se ha adoptado un criterio técnico más conservador, considerando seis personas y un consumo de 30 litros por persona y día. De este modo, se estima una demanda diaria de 180 litros de ACS a 60 °C, valor que se toma como base para el dimensionamiento del sistema solar térmico que se desarrolla en los apartados siguientes.

6.2 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO

La decisión de incorporar un sistema de energía solar térmica en esta propuesta de mejora responde a la necesidad de reducir el consumo de energía primaria no renovable y las emisiones asociadas al uso de combustibles fósiles, mediante una solución madura, eficiente y alineada con los objetivos de sostenibilidad energética. La energía solar térmica es una tecnología renovable que transforma directamente la radiación solar en calor útil, permitiendo cubrir de forma eficiente la demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS) con un bajo impacto ambiental y un mantenimiento mínimo.

Su funcionamiento se basa en un circuito hidráulico cerrado donde los captadores solares calientan un fluido térmico, que posteriormente transfiere esa energía al agua de consumo a través de un acumulador. Este sistema, sencillo y probado, presenta una alta fiabilidad técnica y una vida útil prolongada, ofreciendo rendimientos muy elevados en aplicaciones de baja temperatura como la producción de ACS. Aunque el sistema está diseñado para cubrir la totalidad de la demanda térmica anual de la vivienda, en los meses de menor irradiación solar, especialmente en invierno, la cobertura puede ser parcial. Por ello, se prevé que en esas situaciones puntuales el suministro se complemente mediante el apoyo de la bomba de aerotermia existente, garantizando así la continuidad del servicio sin comprometer el confort del usuario.

En zonas de clima templado y húmedo como Galicia, y concretamente en Pontevedra, donde la irradiación solar anual es inferior a la de otras regiones del sur de España, el aprovechamiento solar sigue siendo viable y recomendable. La elevada humedad y el uso constante de agua caliente en viviendas justifican aún más la instalación de un sistema solar térmico bien dimensionado, que permite aprovechar los recursos locales sin depender de tecnologías eléctricas o combustibles importados. Además, su implementación en viviendas unifamiliares se ve favorecida por la disponibilidad de superficie en cubierta y la existencia de incentivos públicos específicos.

Desde el punto de vista normativo, la energía solar térmica está contemplada como fuente renovable en la Directiva 2009/28/CE y forma parte de los requisitos obligatorios del Documento Básico HE-4 del Código Técnico de la Edificación. Su instalación puede beneficiarse de subvenciones públicas gestionadas por organismos como el IDAE, en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), lo que mejora notablemente su viabilidad económica [34].

Por todo ello, la incorporación de energía solar térmica en el presente proyecto se justifica no solo por sus beneficios energéticos y ambientales, sino también por su adecuación climática, su madurez tecnológica y su alineación con las políticas de descarbonización a nivel autonómico, nacional y europeo.

6.3 SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO

El presente proyecto plantea la instalación de un sistema solar térmico como solución principal para la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) en una vivienda unifamiliar situada en Pontevedra, con una ocupación prevista de cinco personas. Según el CTE DB-HE-4, esta tipología de vivienda implica una demanda diaria de 180 litros de ACS a 60 °C, lo que equivale a una demanda energética anual de 3.638 kWh.

Para cubrir esta demanda de forma eficiente y estable durante todo el año, se ha dimensionado un sistema compuesto por 3 captadores solares planos, utilizando el método de cálculo f-Chart, que permite estimar el rendimiento estacional en función de la radiación solar y el perfil de consumo. Este dimensionamiento responde a una estrategia de autoconsumo solar térmico total, es decir, el objetivo no es solo cumplir con los mínimos establecidos por el CTE, sino garantizar que la totalidad de la demanda anual de ACS se cubra exclusivamente con energía renovable.

El modelo seleccionado ha sido el Saunier Duval SRV 2.3 (Figura 16), un captador plano de alta eficiencia diseñado para aplicaciones individuales. Este equipo está formando únicamente por el captador solar puesto que se instalará un captador común para toda la instalación, simplificando la instalación y reduciendo costes de operación y mantenimiento.



Figura 16: Captador plano Saunier Duval SRV 2.3 Fuente: Saunier Duval.

Las principales características técnicas, extraídas de la ficha técnica del equipo, se recogen en la Tabla 12, donde se detallan aspectos clave como el tipo de sistema, superficie útil total, capacidad del acumulador, rendimiento térmico, condiciones de instalación y parámetros de diseño. Estos datos permiten verificar que el modelo seleccionado se adapta adecuadamente

tanto a las condiciones climáticas de Pontevedra como a los objetivos energéticos del proyecto, garantizando un funcionamiento eficiente, seguro y conforme a normativa.

Tabla 12: Características técnicas del sistema solar térmico Saunier Duval SRV 2.3

Concepto	Descripción / Valor
Modelo	Heliocconcept SRV 2.3/2
Fabricante	Saunier Duval
Tipo	Captador solar térmico plano
Dimensiones por módulo (mm)	1233 × 2033 × 80
Superficie útil por módulo (m²)	2,35
Superficie total útil (m²)	4,70 (2,35 × 2)
Rendimiento óptico η_0	0,787
Coefficiente de pérdidas a_1 (W/m²·K)	3,783
Coefficiente de pérdidas a_2 (W/m²·K²)	0,016
Absorbedor	Cobre con tratamiento altamente selectivo
Aislamiento térmico	Lana mineral
Cubierta de vidrio	Vidrio solar de seguridad (bajo contenido en hierro)

El resultado del cálculo energético indica una **producción útil anual de 3.651 kWh**, lo que supone una **fracción solar del 100%**. Esta configuración asegura un aprovechamiento óptimo de la energía solar disponible en la ubicación del proyecto, incluso durante los meses con menor radiación. Estos resultados se recogen en el Anexo IV del cálculo solar térmico.

En la gráfica de la Figura 17 se compara, mes a mes, la energía útil captada por el sistema con la demanda térmica estimada. Se observa cómo, especialmente en los meses de verano, la producción solar excede ampliamente las necesidades de ACS.

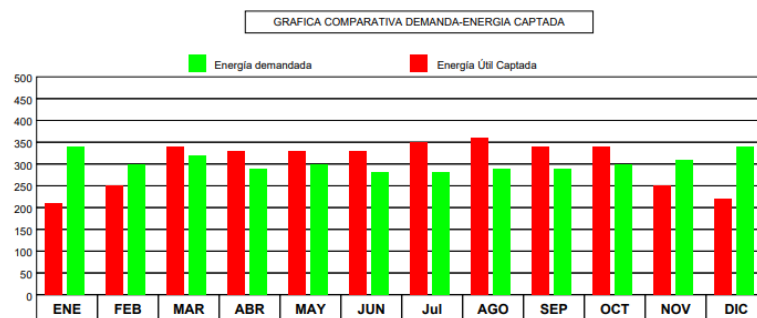


Figura 17: Comparativa mensual entre energía demandada y energía útil captada. Fuente: Anexo IV

De la gráfica se concluye que, si bien la energía captada por el sistema solar térmico resulta suficiente para cubrir la demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS) durante gran parte del año, existen meses, especialmente en verano, en los que la producción excede claramente la demanda. En concreto, durante junio, julio y agosto, la energía útil captada supera de forma significativa las necesidades térmicas de la vivienda, alcanzando niveles por encima del 100 % e incluso del 110 % en agosto. Esta situación responde al planteamiento de un autoconsumo solar total, orientado a cubrir el 100 % de la demanda anual con energía renovable, aunque implique ciertos excedentes puntuales.

Sin embargo, también se observa que en los meses de menor radiación, como enero, febrero o diciembre, la captación solar no llega a cubrir completamente la demanda, lo que hace necesario mantener operativo el sistema auxiliar de aerotermia como apoyo puntual. Esta tecnología de respaldo garantiza el suministro continuo de ACS sin comprometer el confort del usuario, compensando las limitaciones estacionales propias de la energía solar térmica.

Por tanto, el sistema se ha diseñado como una solución híbrida, en la que la captación solar cubre el grueso de la demanda anual, y la aerotermia actúa como respaldo estratégico en los periodos de menor aportación solar, asegurando así un funcionamiento eficiente, estable y normativamente conforme.

En conclusión, la selección del sistema Saunier Duval SRV 2.3 y su configuración con 3 unidades responde a criterios técnicos, normativos y estratégicos: garantizar la cobertura total de la demanda térmica con energía renovable, minimizar el uso de energía auxiliar y asegurar la viabilidad funcional mediante soluciones pasivas de control térmico. Esta apuesta por el autoconsumo solar total es coherente con los objetivos actuales de eficiencia energética, descarbonización y autosuficiencia energética.

6.4 MODELO ENERGÉTICO

Tras la incorporación de un sistema solar térmico complementario para la producción de agua caliente sanitaria (ACS), se ha desarrollado un nuevo modelo energético con el objetivo de evaluar el impacto adicional de esta intervención sobre el comportamiento energético del edificio. Esta nueva medida activa se suma al sistema ya existente de bomba de calor aire-agua, generando un esquema híbrido que combina aerotermia y captación solar térmica. La simulación, realizada nuevamente con la herramienta oficial HULC, permite comparar los resultados con respecto al escenario anterior, que ya incluía mejoras pasivas en la envolvente y un sistema de aerotermia, identificando las reducciones adicionales en el consumo de energía primaria no renovable y en las emisiones de CO₂ atribuibles exclusivamente al apoyo solar incorporado.

En este nuevo modelo se ha mantenido inalterada la configuración del edificio: geometría, distribución interior, número de plantas, volumen habitable, condiciones de uso, perfil de ocupación y caudales de ventilación natural. Asimismo, se han conservado todas las mejoras pasivas previamente implementadas en la envolvente térmica, como el aumento del aislamiento, las carpinterías con rotura de puente térmico y la corrección de puentes térmicos lineales. Esta continuidad metodológica garantiza que las mejoras observadas en los indicadores energéticos proceden exclusivamente de la incorporación del sistema solar térmico.

La única modificación respecto al modelo anterior consiste en la adición de un sistema solar térmico diseñado para cubrir una parte significativa de la demanda de ACS. Este sistema, integrado en paralelo con la bomba de calor, permite un elevado aporte de energía renovable gracias al aprovechamiento de la radiación solar mediante colectores térmicos de alta eficiencia. Como resultado, se reduce notablemente la energía eléctrica consumida por la bomba de calor para el servicio de ACS, así como las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a este uso.

La herramienta HULC ha sido nuevamente empleada para la simulación del edificio, manteniendo la coherencia metodológica de los escenarios previos y permitiendo evaluar con precisión el efecto adicional de esta fuente renovable complementaria en los indicadores globales de eficiencia energética.

6.4.1 RESULTADOS CON SISTEMA SOLAR TÉRMICO

La simulación energética del escenario con sistema combinado de bomba de calor aire-agua y captación solar térmica para ACS ha mostrado una mejora significativa respecto al modelo anterior que solo incorporaba aerotermia. Este escenario híbrido permite reducir aún más el consumo de energía primaria no renovable y las emisiones de CO₂ gracias al aprovechamiento directo de energía solar para la producción parcial de agua caliente sanitaria. En la Tabla 13 se detallan los resultados obtenidos, desglosados por usos específicos:

Tabla 13: Resultados del modelo energético con sistema combinado aerotermia + solar térmica (por uso específico)

Concepto	Calefacción	Refrigeración	ACS	Ventilación	Iluminación	TOTAL
Demanda, D (kWh/m ² ·año)	44,70	1,15	16,05	-	-	61,9
Energía Final, C_{ef} (kWh/m ² ·año)	47,63	0,42	19,42	2,79	0,00	70,26
Energía Primaria Total, C_{ep;tot}	60,67	0,99	20,47	6,60	0,00	88,73
Energía Primaria No Renovable, C_{ep;nren}	33,72	0,82	1,50	5,44	0,00	41,48
Energía Primaria Renovable, C_{ep;ren}	26,95	0,17	18,98	1,15	0,00	47,25
Emisiones, E_{CO2} (kgCO ₂ /m ² ·año)	6,55	0,14	0,25	0,92	0,00	7,86

Los resultados reflejan el importante efecto del sistema solar térmico sobre el perfil energético del edificio, especialmente en el servicio de ACS. Aunque la demanda energética para calefacción y refrigeración se mantiene invariable, la fuente de energía para la producción de ACS cambia significativamente. La energía primaria no renovable utilizada para ACS se reduce a tan solo 1,50 kWh/m²·año, mientras que el aporte renovable se incrementa hasta 18,98 kWh/m²·año, cubriendo aproximadamente el 96,7 % de la demanda total de ACS, como refleja el certificado oficial.

Este cambio también se traduce en una reducción sustancial de las emisiones de CO₂, que en el servicio de ACS descienden a 0,25 kgCO₂/m²·año, consolidando un escenario más favorable desde el punto de vista ambiental. En conjunto, **el edificio alcanza un consumo global de energía primaria no renovable de 41,48 kWh/m²·año (calificación tipo B) y unas emisiones globales de CO₂ de 7,86 kgCO₂/m²·año, lo que sitúa al edificio en una**

calificación tipo A en emisiones. Esta mejora evidencia el impacto positivo de combinar tecnologías renovables complementarias, optimizando no solo el rendimiento energético del inmueble, sino también su desempeño ambiental.

Este escenario demuestra la eficacia del sistema solar térmico como solución activa para la mejora energética, especialmente en climas con buena radiación solar, y consolida una estrategia de rehabilitación progresiva centrada en la reducción del impacto ambiental mediante tecnologías renovables.

El certificado oficial de eficiencia energética correspondiente a este escenario se incluye en el Anexo V de esta memoria.

6.5 SISTEMAS AUXILIARES DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema solar térmico destinado a la producción de agua caliente sanitaria (ACS), se han incorporado dos elementos auxiliares clave: un acumulador de 200 litros y un aerodisipador. Estos componentes complementan el sistema de captación solar, asegurando tanto la continuidad del servicio como su eficiencia energética, especialmente en situaciones de baja radiación o demanda fluctuante.

6.5.1 ACUMULADOR DE 200 LITROS

Se ha seleccionado el modelo **Ferrolí Ecounit F 200L 1C HP** (Figura 18), un acumulador vitrificado de alta eficiencia, especialmente diseñado para instalaciones de energía solar térmica en combinación con bombas de calor o calderas de apoyo. Este depósito permite almacenar el agua caliente producida durante las horas de mayor captación solar, garantizando su disponibilidad en los momentos de demanda.

En la Tabla 14 se recogen las principales características técnicas del acumulador solar Ferrolí Ecounit F 200L 1C HP, seleccionado para el sistema de producción de ACS mediante energía solar térmica. Este modelo ha sido elegido por su compatibilidad con instalaciones solares y su alto rendimiento térmico.

Tabla 14: Características técnicas del acumulador solar Ferrolí Ecounit F 200L 1C HP

Característica	Valor
Capacidad	200 litros
Intercambiador interior	Serpentín fijo de acero vitrificado
Material	Acero con tratamiento vitrificado interior
Presión máxima de trabajo	8 bar
Aislamiento térmico	Poliuretano expandido libre de CFC (espesor: 50 mm)
Altura	1280 mm
Diámetro	554 mm
Incluye	Ánodo de magnesio, termómetro y conexiones auxiliares

Este modelo se instala en posición vertical, tiene alta durabilidad y cumple con la normativa europea de higiene y eficiencia energética para acumuladores domésticos.



Figura 18: Acumulador Ferrolí Ecounit F 200L 1C HP. Fuente: Ferrolí

6.5.2 AERODISIPADOR

Para evitar el sobrecalentamiento del circuito solar en situaciones de baja demanda de ACS y alta radiación solar, se ha incorporado un aerodisipador solar pasivo modelo **FERCO ATS-55/1CU** (Figura 18), con capacidad de disipación térmica de hasta 60 kW. Este dispositivo actúa disipando el exceso de energía térmica acumulada en el fluido caloportador, protegiendo así los componentes hidráulicos y prolongando la vida útil del sistema.

En la se Tabla 15 detallan las principales características técnicas del aerodisipador FERCO ATS-55/1CU, componente clave del sistema solar térmico para garantizar la seguridad frente al sobrecalentamiento del circuito primario.

Tabla 15: Características técnicas del aerodisipador FERCO ATS-55/1CU

Característica	Valor
Potencia de disipación	60 kW
Conexión hidráulica	3/4" M
Diámetro	550 mm
Longitud	1230 mm
Material	Tubo de cobre con aletas de aluminio
Ubicación recomendada	Vertical, en el retorno del circuito primario

Su funcionamiento es completamente pasivo, sin consumo eléctrico ni partes móviles, lo que reduce el mantenimiento y lo convierte en una solución segura y eficiente para proteger el sistema en régimen de estancamiento.



Figura 19. Aerodisipador FERCO ATS-55/ICU. Fuente: Ferco

Capítulo 7. ANÁLISIS ECONÓMICO

Este capítulo tiene como objetivo evaluar la viabilidad financiera de las diferentes estrategias de mejora energética aplicadas a una vivienda unifamiliar. Tras haber analizado su impacto desde el punto de vista técnico y energético, se plantea ahora un estudio económico que permita valorar el retorno de la inversión asociada a cada una de las medidas adoptadas. En concreto, se estudiarán tres actuaciones: la mejora de la envolvente térmica del edificio, la sustitución del sistema tradicional de calefacción por una bomba de calor aire-agua (aeroterminia) y la incorporación de un sistema solar térmico para la producción de agua caliente sanitaria.

Para cada una de estas actuaciones se elaborará un presupuesto detallado que incluya tanto la inversión inicial como los costes de operación y mantenimiento. A continuación, se calcularán los flujos de caja proyectados y los ahorros energéticos obtenidos. Finalmente, se aplicarán indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) para valorar la rentabilidad de cada alternativa.

Este análisis económico se estructura de forma acumulativa, considerando que cada nuevo escenario parte de la implementación del anterior. Así, el escenario con aeroterminia incluye ya la mejora previa de la envolvente térmica, y el escenario con energía solar térmica incorpora ambas actuaciones anteriores. Este enfoque permite evaluar la rentabilidad incremental de cada medida y estudiar cómo se comporta la inversión global a medida que se avanza hacia un modelo energético más eficiente y sostenible. La comparación de costes y ahorros energéticos entre escenarios permitirá identificar la combinación óptima entre eficiencia técnica y viabilidad financiera.

A lo largo del capítulo se analizará la viabilidad de cada intervención desde tres perspectivas fundamentales:

1. **Presupuesto:** estimación detallada de los costes asociados al suministro, instalación, puesta en marcha y mantenimiento de cada solución tecnológica adoptada.

2. **Viabilidad del proyecto:** evaluación global de la conveniencia de cada medida, teniendo en cuenta su alineación con los objetivos de sostenibilidad, eficiencia energética, normativa vigente y reducción de emisiones.

Esta estructura permitirá obtener una visión clara y cuantificada del impacto económico de cada medida, así como de su aportación relativa dentro del conjunto del proyecto de rehabilitación energética.

7.1 VIABILIDAD DE LA MEJORA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA

La primera medida analizada en el proceso de optimización energética de la vivienda consiste en la mejora de su envolvente térmica. Esta actuación se centra en reducir las pérdidas energéticas a través de los elementos constructivos del edificio, como cerramientos, cubiertas, carpinterías y puentes térmicos. Su objetivo principal es disminuir la demanda energética de calefacción y refrigeración, mejorando así el comportamiento pasivo de la vivienda.

Desde el punto de vista económico, esta intervención representa la base del análisis financiero, ya que los escenarios posteriores se construirán de forma acumulativa sobre esta mejora. En las siguientes secciones se presenta el presupuesto asociado a la intervención, se estiman los costes de operación y mantenimiento si procede, y se analizan los indicadores económicos clave para evaluar la viabilidad de esta primera medida.

7.1.1 PRESUPUESTO PARA LA MEJORA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA

Para cuantificar económicamente la mejora de la envolvente térmica, se ha elaborado un presupuesto detallado que recoge todas las unidades de obra necesarias para ejecutar la intervención: desde las partidas de demolición y refuerzo estructural, hasta los nuevos cerramientos, aislamientos, carpinterías exteriores e interiores, acabados, pintura, y gestión de residuos. El presupuesto se ha desarrollado a partir de una base real correspondiente a una reforma integral ejecutada en el año 2015.

Dado el notable cambio en el contexto económico y la evolución sostenida de los costes de construcción en los últimos años, especialmente desde 2021 como consecuencia del repunte inflacionario, la crisis energética y el encarecimiento generalizado de las materias prima, se ha aplicado un ajuste proporcional a todos los precios unitarios del presupuesto. Entre 2021 y 2024, los costes de materiales han registrado incrementos acumulados cercanos al 40 %, mientras que la mano de obra ha aumentado en torno a un 20 %, lo que se traduce en un encarecimiento medio total de la construcción de aproximadamente un 30 %. Esta actualización tiene como objetivo reflejar de manera realista el coste actual de ejecución previsto para el período 2024-2025, garantizando la coherencia con los precios de mercado vigentes y asegurando que el análisis económico-financiero se base en valores representativos y actualizados.

En la Tabla 16 se incluye el un resumen completo del presupuesto estimado, agrupado por capítulos y con el importe total de cada uno de ellos. Esta estructura permite identificar claramente los principales bloques de gasto de la intervención, siendo especialmente relevantes los capítulos de cerramientos, albañilería, carpintería exterior y aislamiento. El coste total estimado asciende a 104.458,72 €, y será utilizado como base para el análisis de viabilidad económica de esta primera medida de mejora energética.

Todas las partidas que componen este presupuesto, así como las mediciones, precios unitarios y justificaciones técnicas asociadas, se encuentran desarrolladas de forma completa en el Anexo VI. Este anexo permite consultar con mayor detalle el alcance de cada unidad de obra incluida, ofreciendo transparencia y rigor técnico en la estimación económica realizada.

Tabla 16: Presupuesto estimado de la mejora de la envolvente térmica (actualizado a precios 2024-2025)

	<i>Resumen / Comentario</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Importe</i>
Capítulo	DEMOLICIONES			5.453,41 €
Partida	DEMOLICIÓN DE CUBIERTA	90,02	14,00 €	1.260,28 €
Partida	DEMOLICIÓN MECÁNICA LOSA HORMIGÓN ARMADO MAX. 30cm	2,33	208,08 €	484,83 €
Partida	DEMOLICIÓN MANUAL TABIQUE LAD. HUECO DOBLE 9 cm	26,61	13,47 €	358,38 €
Partida	DEMOLICIÓN MANUAL FÁBRICA LADR. HUECO DOBLE 1/2ASTA	25,27	16,04 €	405,43 €
Partida	DEMOLICIÓN MANUAL CARPINT. METÁLICA MUROS S/RECUP.	37,84	13,47 €	509,63 €
Partida	DEMOLICIÓN MANUAL CARPINT. MADERA TABIQUES S/RECUP	13,00	17,95 €	233,32 €
Partida	DEMOLICIÓN MANUAL PAVIMENTO BALDOSA	130,50	16,87 €	2.201,54 €
Capítulo	ESTRUCTURA Y CUBIERTA			18.594,51€
Partida	PERFIL HUECO CUADRADO S 275 P/ATORNILLAR	1,00	6,34 €	6,34 €
Partida	PILASTRA COMPLETA PIEDRA ARENISCA LABRADA 25x25 cm	3,00	2.536,03 €	7.608,09 €
Partida	CUBR. PANEL CHAPA ACERO GALV. PRELAC.+P.EXP.+PREL.	123,46	51,45 €	6.352,02 €
Partida	H.ARM. HA-25 TM20mm NORM V.B. LOSA IN. B500S	5,48	844,54 €	4.628,06 €
Capítulo	CANTERÍA			30.400,65 €
Partida	CERRAMIENTO EXTERIOR	289,53	105,00 €	30.400,65 €
Partida	FORMACIÓN DE UMBRALES	24,50	25,20 €	617,40 €
Partida	FORMACIÓN DE VIERTEAGUAS	24,20	42,00 €	1.016,40 €
Partida	FORMACIÓN DE JAMBAS Y DINTELES	54,60	42,00 €	2.293,20 €
Capítulo	ALBAÑILERÍA			18.549,95 €
Partida	FAB. BLOQUES TERMOARCILLA e=19 cm.	168,87	41,24 €	6.964,87 €
Partida	TABICÓN L.H.D. 24x11.5x9 cm. M-5	79,00	30,10 €	2.377,90 €
Partida	ENFOSC. M. CS III-W0 MAEST. FRATASADO VERT.	326,82	24,82 €	8.112,33 €
Partida	FALSO TECHO de ESCAYOLA	43,35	25,26 €	1.094,85 €
Capítulo	SOLADOS Y ALICATADOS			12.410,17 €
Partida	TARIMA FLOTANTE MADERA LAMINADA AC3 1220x22mm./5mm	103,63	29,76 €	3.084,44 €
Partida	BALDOSA GRES PORCELÁNICO MÁX. 60x60 cm. ADH.CEM.C1	94,93	98,24 €	9.325,73 €
Capítulo	CARPINTERÍA EXTERIOR			1.447,04 €
Partida	VENT/BALCÓN ALUM. LACADO PRACTIC. HASTA 2,5m2	1,00	220,40 €	220,40 €

Partida	PUERTA ALUM. LACADO PRACT. S< 2,5 m2. C/POLIUR.	1,60	333,19 €	533,10 €
Partida	VENTANAS EXTERIORES	1,00	4.847,36 €	4.847,36 €
Capítulo	CARPINTERÍA INTERIOR			4.849,81 €
Partida	PUERTA CIEGA PASO LISA MACIZA ROBLE	23,00	200,94 €	4.621,67 €
Partida	PRECERCO MADERA PINO ESCUADRÍA 90x35 cm.	14,00	16,30 €	228,14 €
Capítulo	PINTURA			4.873,86 €
Partida	PINTURA PLÁSTICA LISA BLANCA INT.	473,65	10,29 €	4.873,86 €
Capítulo	GESTIÓN DE RESIDUOS	1,00	1.680,00 €	1.680,00 €
Capítulo	SEGURIDAD Y SALUD	1,00	2.800,00 €	2.800,00 €
TOTAL				104.458,72 €

7.1.2 EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE MEJORA DE ENVOLVENTE TÉRMICA

Una vez definida la intervención sobre la envolvente térmica del edificio, se ha procedido a evaluar su viabilidad económica mediante el análisis de los flujos de caja generados por los ahorros energéticos durante un horizonte temporal de 50 años. Para ello, se ha empleado el método del Valor Actual Neto (VAN), junto con la Tasa Interna de Retorno (TIR), dos indicadores ampliamente utilizados en estudios de rentabilidad de medidas de eficiencia energética.

El ahorro energético se ha calculado a partir de la diferencia entre el consumo térmico anual del edificio en su estado inicial (156,8 kWh/m²·año) y el consumo tras la mejora (90,44 kWh/m²·año), lo que supone una reducción de 66,36 kWh/m²·año. Aplicado a una superficie útil de 220,4 m², se obtiene un ahorro energético total de 14.625,74 kWh térmicos anuales.

Dado que los certificados energéticos expresan el consumo en kWh térmicos, mientras que la facturación eléctrica se realiza en kWh eléctricos, se ha empleado un rendimiento de conversión de 0,95 para transformar los ahorros térmicos en ahorros reales de electricidad. Así, el ahorro energético facturable asciende a:

$$\frac{14.625,74 \text{ kWh térmicos/año}}{0,95} = 15.395,52 \text{ kWh eléctricos/año}$$

Considerando un precio medio de la electricidad de 0,1561 €/kWh, el ahorro económico anual generado por la mejora se estima en:

$$15.395,52 \text{ kWh eléctricos/año} \times 0,1561 \text{ €/kWh} \approx 2.403,24 \text{ € anuales}$$

Este flujo positivo se mantiene constante a lo largo de los 50 años de análisis. La inversión inicial necesaria para ejecutar la mejora sobre la envolvente térmica asciende a 104.459,72 €, aplicada en el año 2025 como flujo de caja negativo.

A continuación, se presentan en la Tabla 17 los flujos de caja correspondientes a los primeros 10 años del proyecto:

Tabla 17: Flujos de caja generados por la mejora de la envolvente térmica (2025–2034)

Periodo	Flujos de caja
2025	-104.459,72 €
2026	2.403,24 €
2027	2.403,24 €
2028	2.403,24 €
2029	2.403,24 €
2030	2.403,24 €
2031	2.403,24 €
2032	2.403,24 €
2033	2.403,24 €
2034	2.403,24 €

Para descontar los flujos futuros, se ha empleado una tasa de descuento del 3%, coherente con la naturaleza pasiva, estable y de bajo riesgo de la intervención sobre la envolvente térmica. Esta tasa se justifica, en primer lugar, por la larga vida útil de la inversión, estimada en al menos 50 años, lo que permite aplicar un tipo reducido sin comprometer la precisión del análisis. En segundo lugar, se trata de una actuación sin necesidad de mantenimiento ni riesgo técnico relevante, al estar basada en elementos constructivos pasivos que carecen de componentes mecánicos. Asimismo, esta elección es consistente con los criterios institucionales empleados en análisis coste-beneficio de carácter social o ambiental, donde organismos como la Comisión Europea o el IDAE recomiendan tasas de entre el 2% y el 4% para medidas estructurales de eficiencia energética con impacto a largo plazo [35]. Finalmente, deben tenerse en cuenta los beneficios indirectos de esta intervención, como la reducción de emisiones, la mejora del confort térmico y la revalorización del inmueble, que, si bien no se contabilizan directamente en los flujos de caja, contribuyen a reforzar la idoneidad de aplicar una tasa de retorno reducida.

El análisis financiero realizado arroja un **VAN negativo de -42.624,90 €**, lo que indica que, en ausencia de subvenciones o ayudas externas, el proyecto no es rentable desde una perspectiva estrictamente económica. La **Tasa Interna de Retorno (TIR)** es del **0,6%**, claramente inferior a la tasa de descuento aplicada (3%), lo que refuerza esta conclusión. Sin embargo, una evaluación integral de la intervención requiere ir más allá de los indicadores puramente financieros.

Las mejoras sobre la envolvente térmica aportan múltiples beneficios que no se reflejan de forma directa en los flujos de caja. Estas actuaciones incrementan el confort térmico interior al estabilizar la temperatura del edificio durante todo el año, reducen la demanda energética de calefacción y refrigeración, y contribuyen a mejorar la calificación energética del inmueble, lo que puede incrementar su valor de mercado. Además, al tratarse de una intervención estructural, sus beneficios son estables, duraderos y acumulativos en el tiempo.

Desde un punto de vista ambiental y estratégico, estas medidas permiten avanzar hacia la descarbonización del parque edificatorio y contribuyen al cumplimiento de los objetivos de eficiencia energética establecidos por la normativa nacional y europea. La disponibilidad de programas públicos de subvención, ayudas a la rehabilitación o incentivos fiscales podría modificar sustancialmente la viabilidad económica del proyecto, convirtiéndolo en una inversión rentable incluso desde el punto de vista financiero.

En conclusión, aunque los resultados económicos bajo el escenario base reflejan una rentabilidad limitada, la actuación sobre la envolvente térmica debe entenderse como una **inversión estructural, ambientalmente responsable y socialmente justificada**, plenamente coherente con los objetivos de sostenibilidad a largo plazo en el ámbito de la edificación residencial.

7.2 VIABILIDAD DE LA BOMBA DE CALOR AEROTÉRMICA

La segunda medida analizada en el proceso de optimización energética de la vivienda consiste en la sustitución del sistema tradicional de calefacción y producción de agua caliente sanitaria (ACS) por una bomba de calor aerotérmica aire-agua. Esta tecnología permite aprovechar la energía térmica del aire exterior para generar calor de forma eficiente, reduciendo así el consumo de energía primaria no renovable y las emisiones asociadas al uso de combustibles fósiles, como el butano.

La aerotermia se presenta como una alternativa moderna, segura y altamente eficiente, que mejora sustancialmente el rendimiento estacional del sistema térmico de la vivienda y facilita su electrificación total, contribuyendo a la descarbonización del parque edificado. Además, su integración es especialmente viable tras la mejora de la envolvente térmica, dado que la reducción de la demanda permite un dimensionado más ajustado del equipo, optimizando su comportamiento y costes de operación.

Desde el punto de vista económico, esta intervención constituye el segundo escalón del análisis financiero acumulativo. Parte del supuesto de que la envolvente térmica ya ha sido mejorada, y añade la inversión correspondiente al nuevo sistema de generación térmica. En las siguientes secciones se presenta el presupuesto asociado a esta actuación, se consideran los costes de mantenimiento previstos y se analizan los indicadores clave, como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), para evaluar su viabilidad financiera.

7.2.1 PRESUPUESTO DE LA BOMBA DE CALOR AEROTÉRMICA

Con el objetivo de estimar el coste de implantación de la solución propuesta para la producción de agua caliente sanitaria (ACS), se ha elaborado un presupuesto detallado mediante el uso del Generador de Precios de Saunier Duval, herramienta profesional ampliamente utilizada en el sector de la edificación y reconocida por ofrecer precios actualizados y desgloses completos según tipologías de instalación y características técnicas reales.

El modelo seleccionado corresponde a una unidad aire-agua bomba de calor, de suelo, modelo Magna Aqua 200 "Saunier Duval", equipada con acumulador de acero inoxidable de 200 litros, clase de eficiencia energética A+, perfil de consumo L y funcionamiento con refrigerante natural R-290. El sistema incluye aislamiento térmico de poliuretano inyectado, protección antilegionela, panel de control digital con programación semanal y modo

vacaciones, así como resistencia eléctrica de apoyo de 1,2 kW. La instalación contempla la conexión completa y la puesta en marcha por parte de la empresa instaladora.

El presupuesto contempla:

- El suministro del equipo principal
- Elementos auxiliares (válvula de esfera de latón niquelado)
- Costes directos complementarios (transporte, accesorios menores, configuración)
- Puesta en marcha y comprobación del sistema

El importe total de los costes directos asciende a 3.181,99 €, sin incluir impuestos. Asimismo, el generador de precios estima un coste de mantenimiento decenal de 2.036,47 € para los primeros diez años de funcionamiento.

A continuación, se muestra el presupuesto resumido generado con dicha herramienta:

Tabla 18: Presupuesto detallado de la bomba de calor Magna Aqua 200. (Fuente: Generador de Precios de Saunier Duval)

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
	Ud	Unidad aire-agua bomba de calor, para producción de A.C.S., de suelo, modelo Magna Aqua 200 "SAUNIER DUVAL"	1,000	3105,00	3105,00
	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 3/4".	2,000	7,30	14,60
		Subtotal Materiales:			3119,60
2		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	3119,60	62,39
		Costes directos (1+2):			3181,99
		Coste de mantenimiento decenal: 2.036,47€ en los primeros 10 años.			

7.2.2 EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE AEROTERMIA

Para analizar la viabilidad económica de la mejora mediante la instalación de un sistema de aerotermia como sistema generador térmico, se ha realizado un estudio de flujos de caja proyectados durante un periodo de 20 años, que corresponde a la vida útil estimada de este tipo de instalaciones. El objetivo es determinar si los ahorros energéticos derivados del

aumento de eficiencia compensan la inversión inicial y los costes asociados, incluidos los de mantenimiento.

La tecnología de aerotermia extrae energía del aire exterior para climatizar los espacios interiores, y se caracteriza por su alta eficiencia estacional. En este caso se ha considerado un COP (Coeficiente de Rendimiento) medio de 3,5, lo que implica que por cada kW eléctrico consumido se obtienen 3,5 kW térmicos útiles. A efectos de cálculo, se ha invertido este valor para obtener el equivalente en energía eléctrica necesaria para generar los kWh térmicos que actualmente demanda el edificio.

El ahorro energético se ha calculado a partir de la diferencia entre el consumo térmico anual del edificio con la envolvente térmica y cerramientos mejorados (90,44 kWh/m²·año) y el consumo tras la mejora (46,60 kWh/m²·año), lo que supone una reducción de 43,84 kWh/m²·año. Aplicado a una superficie útil de 220,4 m², se obtiene un ahorro energético total de 9.662,34 kWh térmicos anuales. Para cubrir esta demanda con una bomba de calor con COP 3,5, el consumo eléctrico asociado se reduce a:

$$\frac{9.662,34 \text{ kWh térmicos/año}}{3,5} = 2.760,67 \text{ kWh eléctricos/año}$$

Considerando un precio medio de la electricidad de 0,1561 €/kWh, el ahorro económico anual generado por la mejora se estima en:

$$2.760,67 \text{ kWh eléctricos/año} \times 0,1561 \text{ €/kWh} \approx 430,94 \text{ € anuales}$$

La inversión inicial en el sistema de aerotermia se estima en 3.181,99 €, aplicada en el año 2025 como flujo de caja negativo. Adicionalmente, se incorpora un coste de mantenimiento cada 10 años, en este caso en 2034, de 2.036,47 €.

Dado que se trata de una tecnología activa, con componentes electromecánicos, sujeta a mantenimiento periódico y con una vida útil inferior a la de las soluciones pasivas, se ha utilizado una tasa de descuento del 7 %. Esta tasa es representativa del coste de capital típico para inversiones privadas en renovables con riesgo tecnológico moderado, y se alinea con las recomendaciones habituales para proyectos con retorno financiero condicionado al uso, desgaste y evolución del mercado energético.

A continuación, se presentan en la Tabla 19 los flujos de caja correspondientes a los primeros 10 años del proyecto:

Tabla 19: Flujos de caja generados por la mejora mediante aerotermia (2025–2034)

Periodo	Flujos de caja
2025	-3.181,99 €
2026	430,94 €
2027	430,94 €
2028	430,94 €
2029	430,94 €
2030	430,94 €
2031	430,94 €
2032	430,94 €
2033	430,94 €
2034	-1.605,53 €

Los resultados del análisis económico indican que, bajo las condiciones actuales del escenario base, la mejora energética mediante la instalación de un sistema de aerotermia resulta mínimamente rentable desde un punto de vista financiero. El Valor Actual Neto (VAN) alcanza un valor de **275,69 €**, mientras que la Tasa Interna de Retorno (TIR) es de **8,1 %**, lo cual confirma que la inversión no se recuperaría dentro del periodo de vida útil previsto (20 años) y que no se alcanzaría el rendimiento mínimo esperado (7 %).

Esta situación se explica principalmente por dos factores: por un lado, el coste de mantenimiento adicional previsto en 2034, que reduce la rentabilidad acumulada, y por otro, un ahorro económico anual que, aunque considerable desde el punto de vista energético, se traduce en un retorno financiero limitado debido al bajo precio de la electricidad utilizado en el análisis. Si bien la inversión inicial no se amortiza con holgura, el resultado final sí alcanza un Valor Actual Neto positivo y una Tasa Interna de Retorno del 8,1 %, superando ligeramente el umbral del 7 % fijado como referencia mínima. No obstante, la rentabilidad sigue siendo moderada y dependiente de variables externas como la evolución futura del coste energético o posibles incentivos públicos.

A pesar de ello, deben valorarse los beneficios que no se recogen directamente en los flujos de caja. La aerotermia es una tecnología renovable que permite **reducir significativamente las emisiones de CO₂**, mejorar la **eficiencia global** del edificio y avanzar en la **transición energética** del sector residencial. Además, este tipo de instalaciones puede adquirir mayor viabilidad si se integran con sistemas de autoconsumo fotovoltaico, si se produce un aumento

sostenido del coste de la energía, o si se accede a ayudas económicas procedentes de programas públicos de rehabilitación energética.

En definitiva, aunque la evaluación financiera refleja una rentabilidad negativa en el escenario base, la incorporación de un sistema de aerotermia sigue siendo una medida técnicamente recomendable, alineada con los objetivos estratégicos de sostenibilidad y eficiencia, y con un alto potencial de mejora de su viabilidad económica mediante la combinación con otras soluciones y mecanismos de apoyo público.

7.3 VIABILIDAD DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO

La tercera medida evaluada en el proceso de mejora energética de la vivienda consiste en la incorporación de un sistema solar térmico destinado a cubrir parcialmente la demanda de agua caliente sanitaria (ACS). Esta tecnología aprovecha la radiación solar como fuente de energía renovable, reduciendo la dependencia de fuentes convencionales y disminuyendo el consumo eléctrico asociado al sistema principal de generación térmica.

La instalación de captadores solares térmicos planos, combinados con un acumulador, grupo hidráulico y sistema de regulación, permite una producción eficiente y sostenible de ACS durante buena parte del año. Esta medida, además de contribuir al cumplimiento del Documento Básico HE 4 del Código Técnico de la Edificación (CTE), refuerza el compromiso del proyecto con la sostenibilidad, la eficiencia energética y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Desde el punto de vista económico, esta actuación se analiza como una ampliación del escenario anterior, partiendo de la hipótesis de que la envolvente térmica ya ha sido mejorada y que la bomba de calor aire-agua se encuentra instalada. De este modo, se evalúa su impacto adicional sobre la inversión global y los beneficios energéticos acumulados.

En las siguientes secciones se presenta el presupuesto detallado del sistema solar térmico, se estiman sus costes de operación y mantenimiento, y se calculan los principales indicadores económicos (VAN y TIR) que permitirán valorar su viabilidad como medida complementaria dentro del conjunto del proyecto de rehabilitación energética.

7.3.1 PRESUPUESTO DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO

El presupuesto correspondiente a la instalación del sistema solar térmico para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) ha sido obtenido mediante el uso del Generador de Precios de Saunier Duval, herramienta profesional ampliamente reconocida en el sector de la edificación. Esta herramienta permite configurar el sistema completo, seleccionar los componentes principales y auxiliares, y calcular automáticamente los costes de materiales, mano de obra y conceptos complementarios según tarifas actualizadas.

El sistema propuesto está compuesto por tres captadores solares térmicos planos HelioConcept SRV 2.3/2, montados sobre cubierta inclinada, conectados a un acumulador vitrificado de 200 litros (FERROLI ECUNIT F 200 LT HP), e incluye un aerodisipador

FERCO ATS-55/1CU, kit hidráulico, sistema de regulación, purgadores, válvulas de seguridad, fluido caloportador (agua-glicol), y elementos de fijación. Todos los elementos están contemplados conforme a las exigencias técnicas del DB HE 4 del CTE.

El presupuesto contempla:

- Suministro de todos los materiales necesarios para la instalación
- Mano de obra especializada para el montaje e integración del sistema
- Costes directos complementarios, que incluyen transporte, protección, verificación de funcionamiento y puesta en marcha

El coste directo total estimado de la instalación asciende a 6.530,72 € (sin impuestos). Adicionalmente, el coste de mantenimiento previsto a diez años es de 3.158,83 €, lo que permite considerar el ciclo de vida del sistema en el análisis financiero posterior.

Tabla 20: Presupuesto detallado del sistema solar térmico para producción de ACS.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
	Ud	Captador solar térmico plano, modelo Heliocconcept SRV 2.3/2 "SAUNIER DUVAL".	3,000	935,00	2805,00
	Ud	Bastidor de captador solar térmico, para 3 paneles, sobre cubierta inclinada de teja curva, "SAUNIER DUVAL".	1,000	595,00	595,00
	Ud	Kit hidráulico de entrada y salida para batería de captadores solares térmicos, "SAUNIER DUVAL".	1,000	65,00	65,00
	Ud	Kit hidráulico de unión entre captadores solares sobre cubierta inclinada, "SAUNIER DUVAL".	2,000	55,00	110,00
	Ud	Purgador automático para captadores solares térmicos, "SAUNIER DUVAL".	1,000	80,00	80,00
	Ud	Válvula de seguridad, para una temperatura máxima de 99°C, "SAUNIER DUVAL".	1,000	40,00	40,00
	Ud	Bidón de 10 l de solución agua-glicol para relleno de captador solar térmico, "SAUNIER DUVAL".	0,555	65,00	36,08
	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1".	2,000	12,15	24,30
	Ud	Acumulador Ferroli Ecounit F 200L 1C HP.	1,000	830,90	830,90
	Ud	Aerodisipador FERCO ATS-55/1CU	1,000	1359,99	1359,99
		Subtotal materiales:			5946,27

2	Mano de obra				
h	Oficial 1ª instalador de captadores solares.	10,000	23,74	237,40	
h	Ayudante instalador de captadores solares.	10,000	21,90	219,00	
Subtotal mano de obra:				456,40	
3	Costes directos complementarios				
%	Costes directos complementarios	2,000	6402,67	128,05	
Costes directos (1+2+3):			6530,72		
Coste de mantenimiento decenal: 3.158,83€ en los primeros 10 años.					

7.3.2 EVALUACIÓN DEL PROYECTO DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO

Para analizar la viabilidad económica de la mejora mediante la instalación de un sistema solar térmico, se ha realizado un estudio de flujos de caja proyectados durante un periodo de 20 años, correspondiente a la vida útil estimada de este tipo de instalaciones. El objetivo es determinar si los ahorros energéticos derivados de esta fuente renovable justifican la inversión inicial y los costes de mantenimiento asociados.

El sistema se ha dimensionado para cubrir el 100 % de la demanda energética para ACS. En caso de que la radiación solar disponible no fuese suficiente, el sistema auxiliar será una bomba de calor aerotérmica, lo que garantiza el suministro renovable en su totalidad. Por tanto, en el escenario planteado, toda la demanda térmica anual se considera cubierta con energía solar térmica, evitando el consumo eléctrico correspondiente.

El ahorro energético se ha calculado a partir de la diferencia entre el consumo térmico anual del edificio con la envolvente térmica y cerramientos mejorados con aerotermia (46,6 kWh/m²·año) y el consumo tras la mejora (41,48 kWh/m²·año), lo que supone una reducción de 5,12 kWh/m²·año. Aplicado a una superficie útil de 220,4 m², se obtiene un ahorro energético total de 1.128,45 kWh térmicos anuales. Con el fin de mantener la comparabilidad del análisis, se considera el mismo valor en kWh eléctricos, es decir, 1.128,45 kWh eléctricos anuales.

Considerando un precio medio de la electricidad de 0,1561 €/kWh, el ahorro económico anual generado por la mejora se estima en:

$$1.128,45 \text{ kWh eléctricos/año} \times 0,1561 \text{ €/kWh} \approx 176,15 \text{ € anuales}$$

Este ahorro se mantiene constante durante los 20 años de vida útil del sistema. La inversión inicial asciende a 6.530,72 €, aplicada en el año 2025 como flujo de caja negativo. Adicionalmente, se contempla un coste de mantenimiento en el año 2034 de 3.158,83€, que incluye la sustitución del fluido térmico, revisión de los componentes hidráulicos y posibles reposiciones.

Dado que se trata de una tecnología activa con componentes térmicos y mecánicos, sujeta a desgaste y mantenimiento periódico, se ha utilizado una tasa de descuento del 7 %, en línea con las recomendaciones habituales para instalaciones renovables con retorno condicionado al uso y a variables climáticas.

A continuación, se presentan en la Tabla 21 los flujos de caja correspondientes a los primeros 10 años del proyecto:

Tabla 21: Flujos de caja generados por la mejora mediante sistema solar térmico (2025–2034)

Periodo	Flujos de caja
2025	-6.530,72 €
2026	176,15 €
2027	176,15 €
2028	176,15 €
2029	176,15 €
2030	176,15 €
2031	176,15 €
2032	176,15 €
2033	176,15 €
2034	-2.982,68 €

El análisis económico refleja que, en el escenario base considerado, la instalación del sistema solar térmico no resulta rentable desde un punto de vista estrictamente financiero. El cálculo del valor actual neto (VAN), considerando una inversión inicial de 6.530,72 €, un coste de mantenimiento a los 10 años de 3.124,33 €, un ahorro anual constante de 176,15 €, y una tasa de descuento del 7 %, arroja un resultado de **-6.293,57 €**. Este valor negativo indica que, bajo las condiciones simuladas, la inversión no se recupera durante el periodo de vida útil del sistema. La Tasa Interna de Retorno (TIR) correspondiente sería de -11,4%.

Cabe destacar, no obstante, que el **ahorro energético es total**: la instalación solar térmica cubre el 100 % de la demanda de agua caliente sanitaria, de modo que la energía generada es de origen renovable, producida in situ y sin coste variable asociado, lo que

implica una **reducción completa del gasto en electricidad** vinculado a esta necesidad. Por tanto, aunque el ahorro anual se ha valorado económicamente para efectos de cálculo, en la práctica se trata de un suministro gratuito y sostenible que reemplaza completamente la fuente de energía convencional.

Este tipo de medidas debe evaluarse en un marco más amplio que incorpore los beneficios ambientales, estratégicos y normativos. La solución planteada permite reducir completamente las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la producción de ACS, mejora la calificación energética del edificio y refuerza su autosuficiencia energética. Además, permite anticiparse a los requisitos de sostenibilidad que progresivamente están siendo exigidos por la normativa nacional y europea.

La existencia de subvenciones públicas, deducciones fiscales o ayudas como las del programa Next Generation puede mejorar sustancialmente la viabilidad económica del proyecto, al reducir la inversión neta o facilitar su financiación. Asimismo, una evolución al alza de los precios de la electricidad o la integración con otros sistemas renovables como la aerotermia o la fotovoltaica puede hacer aún más atractivo el sistema solar térmico dentro de una estrategia energética integral.

En definitiva, aunque los resultados financieros bajo los supuestos actuales no justifican por sí solos la inversión, la incorporación de un sistema solar térmico representa una decisión estratégica con alto impacto ambiental positivo, que permite el abastecimiento renovable total de una parte esencial del consumo energético del edificio y que refuerza su valor patrimonial, su eficiencia global y su alineación con los objetivos de sostenibilidad y descarbonización a medio y largo plazo.

Capítulo 8. CONCLUSIONES

El presente Trabajo Fin de Máster ha tenido como objetivo analizar, desde una perspectiva técnico-económica integral, la viabilidad de diferentes estrategias de mejora energética aplicadas a una vivienda unifamiliar existente, con el propósito de avanzar hacia un modelo más eficiente, descarbonizado y, en última instancia, autosuficiente. La metodología empleada, basada en simulaciones energéticas, presupuestación ajustada a precios de mercado, y análisis financiero mediante indicadores como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), ha permitido construir un marco sólido para la evaluación gradual de tres intervenciones acumulativas: la mejora de la envolvente térmica, la sustitución del sistema tradicional de calefacción por una bomba de calor aerotérmica, y la incorporación de un sistema solar térmico para la producción de ACS.

8.1 VIABILIDAD TÉCNICA Y ENERGÉTICA

En primer lugar, desde un punto de vista técnico, se ha demostrado que las medidas aplicadas son capaces de reducir de forma significativa la demanda energética del edificio. La intervención sobre la envolvente térmica, considerada como base del proceso de rehabilitación, permite reducir la demanda térmica desde 156,8 a 90,44 kWh/m²·año, lo que representa el mayor ahorro energético individual entre las tres medidas analizadas. Esta actuación mejora sustancialmente el comportamiento pasivo del inmueble, incrementa su eficiencia térmica y facilita el posterior dimensionado optimizado de los sistemas activos. La integración de la aerotermia permite reducir aún más el consumo energético final, hasta alcanzar los 46,60 kWh/m²·año. Por último, el sistema solar térmico logra cubrir de forma renovable el 100 % de la demanda de agua caliente sanitaria, cerrando un modelo energético doméstico con una proporción muy elevada de consumo cubierto por fuentes limpias y renovables.

Este diseño progresivo permite no solo mejorar el confort térmico y la eficiencia del edificio, sino también avanzar de forma decidida hacia un modelo de **autoconsumo energético**, en el que las principales fuentes energéticas de la vivienda pueden ser satisfechas mediante sistemas renovables, reduciendo la dependencia del exterior y anticipando escenarios de autosuficiencia energética en el sector residencial.

8.2 VIABILIDAD ECONÓMICA

Desde el punto de vista económico-financiero, el estudio ha puesto de manifiesto que, bajo las condiciones actuales del mercado eléctrico y sin considerar incentivos o ayudas públicas, solo una de las tres medidas analizadas, la instalación de un sistema de aerotermia, resulta rentable desde una perspectiva estrictamente financiera. No obstante, la intervención con mayor impacto sobre el consumo energético global del edificio es la mejora de la envolvente térmica, que, aunque no resulta rentable en términos económicos directos, representa la estrategia más eficaz para reducir la demanda energética.

La mejora de la envolvente térmica, con una inversión de 104.459,72 €, genera un ahorro energético anual de 2.403,24 € gracias a la reducción de 66,36 kWh/m²·año en consumo, pero presenta un VAN negativo de -42.624,90 € y una TIR del 0,6 %, con una tasa de descuento del 3 % y un horizonte de 50 años. Su elevado coste inicial impide la recuperación de la inversión, aunque los beneficios no monetarios como el confort térmico, la revalorización patrimonial o la reducción de emisiones son significativos y duraderos.

La instalación de aerotermia es la única medida que resulta rentable en el escenario base. Con una inversión inicial de 3.181,99 € y un mantenimiento previsto en el año 2034 de 2.036,47 €, la medida ofrece un ahorro anual de 430,94 € y alcanza un VAN de 275,69 € y una TIR del 8,1 %, superando el umbral mínimo de rentabilidad del 7 %. Si bien el impacto sobre el consumo es menor que en el caso anterior (una reducción adicional de 43,84 kWh/m²·año respecto al escenario con envolvente mejorada), se trata de una solución económicamente asumible y eficaz desde el punto de vista energético.

Por su parte, la instalación de un sistema solar térmico para la producción de ACS, con una inversión inicial de 6.530,72 € y un mantenimiento de 3.158,83 €, permite cubrir el 100 % de la demanda de agua caliente con energía renovable, pero su impacto económico es limitado. El ahorro anual de 176,15 € no compensa los costes, resultando en un VAN de -6.293,57 € y una TIR de -11,4 %. A pesar de ello, la medida permite una descarbonización total del servicio de ACS, lo que aporta valor estratégico y ambiental en el marco de una estrategia integral de sostenibilidad.

En conclusión, el único proyecto rentable en términos financieros es la instalación de aerotermia, mientras que la intervención más eficaz en la reducción del consumo energético es la mejora de la envolvente térmica. Ambas medidas, junto con el sistema solar térmico,

pueden adquirir mayor viabilidad si se consideran en conjunto dentro de una estrategia integral, o si se ven complementadas por subvenciones públicas, incentivos fiscales o escenarios de precios energéticos más elevados.

8.3 CONTRIBUCIÓN AMBIENTAL Y ESTRATÉGICA

El diseño desarrollado contribuye de forma efectiva a los objetivos de descarbonización del parque edificatorio. La eliminación del consumo de butano, la reducción drástica de la demanda energética y la sustitución de fuentes fósiles por tecnologías renovables convierten a la propuesta en una solución climáticamente responsable, alineada con las directrices del Código Técnico de la Edificación, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (especialmente los ODS 7, 11 y 13).

Además, el concepto de autoconsumo implementado a través de soluciones como la aerotermia y el solar térmico permite al usuario final reducir su exposición a las oscilaciones del precio de la energía, incrementar su independencia energética y ejercer un rol activo en la transición energética. Esta independencia es especialmente relevante en contextos rurales, edificaciones aisladas o zonas con limitado acceso a redes energéticas convencionales.

8.4 REPLICABILIDAD DEL MODELO Y UTILIDAD METODOLÓGICA

Una de las fortalezas principales de este trabajo reside en la **replicabilidad de la metodología desarrollada**. El enfoque secuencial y acumulativo aplicado permite evaluar con precisión el impacto técnico, económico y ambiental de cada medida, y puede ser utilizado con facilidad para otros proyectos de rehabilitación o de obra nueva. La estructura del análisis, desde la simulación energética hasta la obtención del VAN y TIR, constituye una herramienta práctica para arquitectos, ingenieros, promotores y gestores energéticos interesados en tomar decisiones informadas sobre inversiones en eficiencia energética.

El modelo propuesto es además adaptable: puede escalarse según el tamaño del inmueble, ajustarse a diferentes zonas climáticas, o incorporar variantes tecnológicas como energía fotovoltaica, almacenamiento eléctrico, geotermia o monitorización inteligente. Esta flexibilidad refuerza su valor como guía para futuros proyectos de rehabilitación o como base para políticas públicas de fomento de la eficiencia en el ámbito residencial.

8.5 CONCLUSIÓN GENERAL

En conjunto, el estudio confirma que es posible diseñar una vivienda eficiente, electrificada y con un elevado grado de autoconsumo mediante tecnologías disponibles en el mercado, sin necesidad de conexión a fuentes de energía fósil. Si bien los resultados financieros no son positivos en ausencia de ayudas, los beneficios estratégicos, sociales y ambientales justifican sobradamente su adopción.

La rehabilitación energética no debe evaluarse únicamente en términos de retorno económico directo, sino también en función de su capacidad para reducir la huella ecológica, anticipar exigencias normativas futuras y contribuir al bienestar global. Además, desde una perspectiva estrictamente económica, los ahorros generados por cada una de las medidas comienzan a materializarse desde el momento mismo de su puesta en funcionamiento, lo que refuerza su impacto acumulado a lo largo de la vida útil del inmueble.

8.6 PRÓXIMOS PASOS

A partir de los resultados obtenidos, se proponen las siguientes líneas de trabajo con el objetivo de ampliar y consolidar el conocimiento generado:

- **Análisis comparativo con otras tecnologías:** Ampliar el alcance del estudio para incluir tecnologías complementarias o alternativas, como la biomasa, el hidrógeno verde o sistemas híbridos fotovoltaico-minieólicos, especialmente en contextos donde la disponibilidad solar sea limitada.
- **Estudio de soluciones colectivas o vecinales:** Analizar la posibilidad de aplicar el modelo a escala de comunidad energética local, donde varias viviendas compartan infraestructuras comunes de generación y almacenamiento, reduciendo costes y optimizando recursos mediante economías de escala.
- **Evaluación del ciclo de vida (ACV):** Profundizar en el impacto ambiental global del sistema a través de un análisis de ciclo de vida completo, que contemple la fabricación, uso, mantenimiento y desecho de todos los componentes, incluyendo materiales, transporte y reciclaje.
- **Validación experimental mediante prototipado:** Desarrollar una instalación piloto en entorno real para validar los resultados obtenidos en simulación, observar el comportamiento estacional del sistema, detectar oportunidades de mejora y generar datos reales aplicables a futuras edificaciones sostenibles.

Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Residencial, comercial e institucional*. (n.d.). Ministerio Para La Transición Ecológica Y El Reto Demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/edificacion.html>
- [2] *Real Decreto 390/2021 de 1 de junio*, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. (2021, June 1). Boletín oficial del Estado <https://www.boe.es/eli/es/rd/2021/06/01/390/con>
- [3] *Directiva Europea 2010/31/UE*, de 19 de mayo de 2010 , relativa a la eficiencia energética de los edificios - EUR-Lex. (n.d.) Parlamento Europeo y del Consejo <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32010L0031>.
- [4] *Nearly-zero energy and zero-emission buildings*. (n.d.). Energy. Comisión Europea. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-and-zero-emission-buildings_en?prefLang=es
- [5] *Certificación energética de edificios*. (n.d.). Inega: Instituto Enerxético De Galicia. <https://www.inega.gal/es/eficiencia-energetica/certificacion-energetica-de-edificios>
- [6] *IBERDROLA, ¿Qué es el certificado energético de una vivienda y cómo obtenerlo?* (2021, May 27).. Iberdrola. <https://www.iberdrola.es/blog/energia/que-es-certificado-energetico-de-una-vivienda-como-obtenerlo>
- [7] *Real Decreto 235/2013 de 5 de abril*, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. (n.d.). Boletín oficial del Estado <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-3904>
- [8] *Para Energías Renovables en autoconsumo, almacenamiento, y térmicas sector residencial (RD 477/2021. PRTR) | Idae*. (n.d.). <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-energias-renovables-en-autoconsumo-almacenamiento-y-termicas-sector>
- [9] *El 56% de las viviendas ofertadas en España no tiene publicado el certificado energético*. (2024, April 4). Cohispania. <https://www.cohispania.com/blog/el-56-de-las-viviendas-ofertadas-en-espana-no-tiene-publicado-el-certificado-energetico/>
- [10] Marrero, D. (2023, 16 marzo). El parque de viviendas en España envejece: una de cada dos casas tiene más de 40 años. *Idealista/News*. <https://www.idealista.com/news/inmobiliario/vivienda/2021/09/21/792446-el-parque-de-viviendas-envejece-una-de-cada-dos-casas-tiene-mas-de-40-anos>

- [11] Del Amo, J. B. (2025, 25 enero). La obsolescencia eléctrica de las viviendas frena la transición energética. *El País*. <https://elpais.com/economia/negocios/2025-01-25/la-obsolescencia-electrica-de-las-viviendas-frena-la-transicion-energetica.html>
- [12] IDAE. Consumo por usos residencial. (n.d.). <https://informesweb.idae.es/consumo-usos-residencial/informe.php>
- [13] IBERDROLA, (n.d.). ¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas? Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>
- [14] Unef. (n.d.). *Informe Anual 2024* | UNEF. UNEF. <https://www.unef.es/es/recursos-informes>
- [15] *Energía Solar térmica* | IDAE. (n.d.). <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/energia-solar-termica>
- [16] Repsol. (2024, September 11). ¿Qué es la energía solar térmica? Principales beneficios. REPSOL. <https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/energia-solar-termica/>
- [17] *Informe anual ASIT 2024* | ASIT Solar. (n.d.). <https://www.asit-solar.com/https-www-asit-solar-com-wp-content-uploads-2024-03-memoria-asit-2024-1-pdf/>
- [18] Iberdrola. (2021, April 22). *AEROTERMIA: VENTAJAS, BENEFICIOS Y APLICACIONES*. Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-aerotermitia-y-bombas-de-calor>
- [19] Repsol. (2024, June 17). *Aerotermitia: qué es, para que sirve y cuáles son sus ventajas*. REPSOL. <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/aerotermitia/index.cshtml>
- [20] ACECO Spain. (2025, 15 enero). Aerotermitia bomba de calor, ¿Cómo funciona? - ACECO. ACECO. <https://acecospain.com/aerotermitia-bomba-de-calor/>
- [21] Energanova. (2025, 10 enero). *Aerotermitia: precio para una vivienda unifamiliar en 2025*. Energanova - Energías Renovables. <https://energanova.es/aerotermitia-precio-para-una-vivienda-unifamiliar/>
- [22] *Informe del sector de la calefacción 2023* | FEGECA. (s. f.). <https://www.fegeca.com/publicacion-mercado/informe-del-sector-de-la-calefaccion-2023>
- [23] Afec. (s. f.). *Informe AFEC de mercado 2023*. <https://www.afec.es/es/mercado-2023>
- [24] *Geotermitia*. (s/f). Idae.es. <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/geotermitia>

- [25] Energanova. (2019, octubre 10). *Ventajas y desventajas de la geotermia para viviendas*. Energanova - Energías Renovables; Energanova. <https://energanova.es/ventajas-y-desventajas-de-la-geotermia-para-viviendas/>
- [26] El MITECO lanza ayudas por 120 millones para impulsar estudios de viabilidad de la energía geotérmica profunda. (s/f). Idae.es. Recuperado el 28 de enero de 2025, de <https://www.idae.es/noticias/el-miteco-lanza-ayudas-por-120-millones-para-impulsar-estudios-de-viabilidad-de-la-energia>
- [27] Vázquez, J. A. R. (2018, octubre 16). Energía Geotérmica en España. *Avatar Energía, blog de Energías Renovables*. <https://avatarenergia.com/energia-geotermica-en-espana/>
- [28] Acosta, S. (2024, enero 24). *España se lanza a por la energía geotérmica a gran escala con varios estudios en Canarias y... ¡Madrid!* El Periódico de la Energía. <https://elperiodicodelaenergia.com/espana-se-lanza-a-por-la-energia-geotermica-a-gran-escala-con-varios-estudios-en-canarias-y-madrid/>
- [29] EcoInventos. (2024, 17 enero). *Baterías para el almacenamiento doméstico, ¿qué son y qué beneficios ofrecen?* <https://ecoinventos.com/baterias-para-el-almacenamiento-domestico/>
- [30] *Sistemas de almacenamiento con baterías de flujo*. (s. f.). <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/almacenamiento/baterias-de-flujo>
- [31] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2022). *Documento Básico HE: Ahorro de Energía. Código Técnico de la Edificación (CTE)*. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DccHE.pdf>
- [32] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2022). *Documento Básico HS: Salubridad. Código Técnico de la Edificación (CTE)*. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HS/DBHS.pdf>
- [33] Ministerio de Fomento. (2019). *DB HE 4: Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria*. En *Documento Básico HE - Ahorro de Energía. Código Técnico de la Edificación*. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DccHE.pdf>
- [34] *Incentivos Autoconsumo y almacenamiento, con fuentes de energías renovables (RD 477/2021) | Idae*. (n.d.). <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-energias-renovables-en-autoconsumo-almacenamiento-y-termicas-sector/incentivos-autoconsumo-y-almacenamiento-con-fuentes-de-energias-renovables-rd-4772021>

- [35] IDAE. (2019). *Guía metodológica para la realización del análisis coste-beneficio de una instalación según el artículo 14 de la Directiva 2012/27/UE de eficiencia energética*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/idae/tecnologias/ahorro_y_eficiencia_energetica/transformacion_de_la_energia/20190724_guia_metodologica_realizacion_analisis_coste-beneficio_instalacion-art14-directiva_ee.pdf

ANEXO I

CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:

Nombre del edificio	Estado Inicial		
Dirección	C/ - - - - -		
Municipio	Nigrán	Código Postal	Código Postal
Provincia	Pontevedra	Comunidad Autónoma	Galicia
Zona climática	C1	Año construcción	-
Normativa vigente (construcción / rehabilitación)	- Seleccione de la lista -		
Referencia/s catastral/es	ninguno		

Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:

☒ Edificio de nueva construcción	☐ Edificio Existente
☒ Vivienda	☐ Terciario
☒ Unifamiliar	☐ Edificio completo
☐ Bloque	☐ Local
☐ Bloque completo	
☐ Vivienda individual	

DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:

Nombre y Apellidos	Nombres Apellido1 Apellido2	NIF/NIE	CIF
Razón social	Razón Social	NIF	-
Domicilio	Nombre calle - - - - -		
Municipio	Localidad	Código Postal	Código postal
Provincia	- Seleccione de la lista -	Comunidad Autónoma	- Seleccione de la lista -
e-mail:	-	Teléfono	-
Titulación habilitante según normativa vigente	-		
Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión:	HU CTE-HE y CEE Versión 2.0.2496.1177, de fecha 18-jul-2024		

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m2•año)	EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO2/m2•año)
<35.80 A 35.80-58.1 B 58.10-90.00 C 90.00-138.40 D 138.40-254.10 E 254.10-305.00 F =>305.00 G 156,80 E	<8.10 A 8.10-13.10 B 13.10-20.30 C 20.30-31.10 D 31.10-58.30 E 58.30-73.40 F =>73.40 G 32,96 E

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 19/06/2025

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 Organo Territorial Competente:

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

Superficie habitable (m²)		220,40	
Imagen del edificio		Plano de situación	

2. ENVOLVENTE TÉRMICA

Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie (m²)	Transmitancia (W/m²K)	Modo de obtención
P01_E01_PE001	Fachada	6,26	0,66	Usuario
P01_E01_PE002	Fachada	7,49	0,66	Usuario
P01_E01_PE003	Fachada	24,44	0,66	Usuario
P01_E01_FTER001	Suelo	28,60	0,60	Usuario
P01_E02_PE001	Fachada	4,77	0,66	Usuario
P01_E02_PE002	Fachada	5,21	0,66	Usuario
P01_E02_FTER002	Suelo	3,34	0,61	Usuario
P01_E03_PE001	Fachada	7,56	0,66	Usuario
P01_E03_FTER003	Suelo	5,85	0,61	Usuario
P01_E04_PE002	Fachada	6,67	0,66	Usuario
P01_E04_PE003	Fachada	10,45	0,66	Usuario
P01_E04_FTER004	Suelo	11,88	0,64	Usuario
P01_E05_PE001	Fachada	8,85	0,66	Usuario
P01_E05_PE002	Fachada	2,03	0,66	Usuario
P01_E05_PE003	Fachada	7,75	0,66	Usuario
P01_E05_PE004	Fachada	5,62	0,66	Usuario
P01_E05_FTER005	Suelo	11,92	0,60	Usuario
P01_E06_PE001	Fachada	6,93	0,66	Usuario
P01_E06_FTER006	Suelo	32,22	0,60	Usuario
P01_E07_FTER007	Suelo	6,78	0,60	Usuario
P01_E08_PE001	Fachada	1,92	0,66	Usuario
P01_E08_PE002	Fachada	8,32	3,53	Usuario
P01_E08_PE003	Fachada	3,06	3,53	Usuario
P01_E08_PE004	Fachada	5,03	0,66	Usuario
P01_E08_FTER008	Suelo	6,83	0,60	Usuario
P02_E01_FE001	Fachada	5,46	1,06	Usuario

P02_E01_PE002	Fachada	6,38	0,66	Usuario
P02_E01_PE003	Fachada	0,95	0,66	Usuario
P02_E01_PE004	Fachada	4,16	0,66	Usuario
P02_E01_PE005	Fachada	0,95	0,66	Usuario
P02_E01_PE006	Fachada	3,00	0,66	Usuario
P02_E01_PE007	Fachada	7,45	0,66	Usuario
P02_E01_PE008	Fachada	4,10	0,66	Usuario
P02_E01_PE009	Fachada	6,78	0,66	Usuario
P02_E01_PE010	Fachada	9,21	0,66	Usuario
P02_E01_PE011	Fachada	9,21	0,66	Usuario
P02_E01_PE012	Fachada	13,95	0,66	Usuario
P02_E01_PE013	Fachada	6,24	0,66	Usuario
P02_E01_PE014	Fachada	7,93	0,66	Usuario
P02_E01_PE015	Fachada	2,25	0,66	Usuario
P02_E01_PE016	Fachada	7,44	0,66	Usuario
P02_E01_PE017	Fachada	11,79	0,66	Usuario
P02_E01_FE002	Fachada	112,99	1,06	Usuario

Huecos y lucernarios

Nombre	Tipo	Superficie (m²)	Transmitancia (W/m²K)	Factor Solar	Modo de obtención transmitancia	Modo de obtención factor solar
Ventanas Simples	Hueco	10,10	6,84	0,78	Usuario	Usuario
Ventanas Simples	Hueco	10,06	6,84	0,78	Usuario	Usuario
Ventanas Simples	Hueco	15,22	6,84	0,78	Usuario	Usuario
Puerta Corredera	Hueco	5,63	6,84	0,78	Usuario	Usuario
Puerta Principal	Hueco	2,09	2,21	0,07	Usuario	Usuario
Puerta Garaje	Hueco	6,30	5,70	0,17	Usuario	Usuario

3. INSTALACIONES TÉRMICAS

Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento Estacional (%)	Tipo de Energía	Modo de obtención
SIS1_EQ1_EQ_Caldera-Conve ncional-Defecto	Caldera eléctrica o de combustible	10,00	85,00	Butano	Usuario
SISTEMA_SUSTITUCION-Ficticio	Sistema de rendimiento estacional constante	-	95,00	GasNatural	PorDefecto
TOTALES		10,00			

Generadores de refrigeración

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento Estacional (%)	Tipo de Energía	Modo de obtención
SISTEMA_SUSTITUCION-Ficticio	Sistema de rendimiento estacional constante	-	252,00	ElectricidadPeninsular	PorDefecto
TOTALES		0,00			

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Demanda diaria de ACS a 60° C (litros/día)	140,00
--	--------

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento Estacional (%)	Tipo de Energía	Modo de obtención
SIS_EQ1_EQ_Caldera-Conven cional-Defecto	Caldera eléctrica o de combustible	10,00	85,00	Butano	Usuario
SISTEMA_SUSTITUCION-Fictic io	Sistema de rendimiento estacional constante	-	95,00	GasNatural	PorDefecto

4. INSTALACIÓN DE ILUMINACION

(No aplicable)

5. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO Y OCUPACIÓN

(No aplicable)

6. ENERGÍAS RENOVABLES

Térmica

Nombre	Consumo de Energía Final,cubierto en función del servicio asociado (%)			Demanda de ACS cubierta (%)
	Calefacción	Refrigeración	ACS	
Sistema solar térmico	-	-	0,00	0,00
TOTALES	0,00	0,00	0,00	0,00

Eléctrica

Nombre	Energía eléctrica generada y autoconsumida (kWh/año)
-	0,00
TOTALES	0

ANEXO II

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	C1	Uso	CertificaciónVerificaciónNuevo
----------------	----	-----	--------------------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES					
<8.10 A 8.10-13.10 B 13.10-20.30 C 20.30-31.10 D 31.10-58.30 E 58.30-73.40 F =>73.40 G	32,96 E	CALEFACCIÓN		ACS			
		Emisiones calefacción (kgCO2/m2 año)	E	Emisiones ACS (kgCO2/m2 año)	B		
		28,24		3,74			
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN			
		Emisiones globales (kgCO2/m2 año)1		Emisiones refrigeración (kgCO2/m2 año)	-	Emisiones iluminación (kgCO2/m2 año)	-
				0,06		-	

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 ₂ /m ² .año	kgCO ₂ /año
Emisiones CO ₂ por consumo eléctrico	0,98	215,99
Emisiones CO ₂ por combustibles fósiles	31,98	7046,24

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			
<35.80A 35.80-58.1B 58.10-90.00C 90.00-138.40D 138.40-254.10E 254.10-305.00F =>305.00G	156,80E	CALEFACCIÓN		ACS	
		Energía primaria no renovable calefacción (kWh/m2año)	E	Energía primaria no renovable ACS (kWh/m2año)	C
		133,34		17,68	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
		Energía primaria no renovable refrigeración (kWh/m2año)	-	Energía primaria no renovable iluminación (kWh/m2año)	-
		0,34		-	
Consumo global de energía primaria no renovable (kWh/m2año)1					

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	
<19.70 A 19.70-32.0 B 32.00-49.50 C 49.50-76.20 D 76.20-125.70 E 125.70-147.00 F =>147.00 G 96,11 E		A B C D E F G	
Demanda de calefacción (kWh/m2año)		Demanda de refrigeración (kWh/m2año)	

¹El 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

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m2•año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO2/m2•año)	
<35.80 A		<8.10 A	
35.80-58.1 B		8.10-13.10 B	
58.10-90.00 C		13.10-20.30 C	
90.00-138.40 D		20.30-31.10 D	
138.40-254.10 E		31.10-58.30 E	
254.10-305.00 F		58.30-73.40 F	
=>305.00 G		=>73.40 G	

CALIFICACIONES ENERGÉTICAS

DEMANDA DE CALEFACCIÓN (kWh/m2•año)		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (kWh/m2•año)	
<19.70 A		A	
19.70-32.0 B		B	
32.00-49.50 C		C	
49.50-76.20 D		D	
76.20-125.70 E		E	
125.70-147.00 F		F	
=>147.00 G		G	

ANÁLISIS TÉCNICO

Indicador	Calefacción		Refrigeración		ACS		Iluminación		Total	
	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior
Consumo Energía primaria (kWh/m2•año)										
Consumo Energía final (kWh/m2•año)										
Emisiones de CO2 (kgCO2/m2•año)										
Demanda (kWh/m2•año)										

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 MEDIDA DE MEJORA

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

Coste estimado de la medida

Otros datos de interés

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.

Fecha de realización de la visita del técnico certificador	04/03/25
--	----------

ANEXO II

CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:

Nombre del edificio	Mejora Envolvente Térmica		
Dirección	C/ - - - - -		
Municipio	Nigrán	Código Postal	Código Postal
Provincia	Pontevedra	Comunidad Autónoma	Galicia
Zona climática	C1	Año construcción	-
Normativa vigente (construcción / rehabilitación)	- Seleccione de la lista -		
Referencia/s catastral/es	ninguno		

Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:

☒ Edificio de nueva construcción	☐ Edificio Existente
☒ Vivienda	☐ Terciario
☒ Unifamiliar	☐ Edificio completo
☐ Bloque	☐ Local
☐ Bloque completo	
☐ Vivienda individual	

DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:

Nombre y Apellidos	Sandra Roque Pérez	NIF/NIE	123456789S
Razón social	Razón Social	NIF	-
Domicilio	Nombre calle - - - - -		
Municipio	Vigo	Código Postal	Codigo postal
Provincia	Pontevedra	Comunidad Autónoma	Galicia
e-mail:	-	Teléfono	-
Titulación habilitante según normativa vigente	-		
Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión:	HU CTE-HE y CEE Versión 2.0.2496.1177, de fecha 18-jul-2024		

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m2•año)	EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO2/m2•año)
<35.80 A 35.80-58.1 B 58.10-90.00 C 90.00-138.40 D 138.40-254.10 E 254.10-305.00 F =>305.00 G 90,44 D	<8.10 A 8.10-13.10 B 13.10-20.30 C 20.30-31.10 D 31.10-58.30 E 58.30-73.40 F =>73.40 G 18,89 C

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 19/06/2025

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 Organo Territorial Competente:

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

Superficie habitable (m²)		220,40	
Imagen del edificio		Plano de situación	

2. ENVOLVENTE TÉRMICA

Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie (m²)	Transmitancia (W/m²K)	Modo de obtención
P01_E01_PE001	Fachada	6,26	0,17	Usuario
P01_E01_PE002	Fachada	7,49	0,17	Usuario
P01_E01_PE003	Fachada	24,44	0,17	Usuario
P01_E01_FTER001	Suelo	28,60	0,12	Usuario
P01_E02_PE001	Fachada	4,77	0,17	Usuario
P01_E02_PE002	Fachada	5,21	0,17	Usuario
P01_E02_FTER002	Suelo	3,34	0,12	Usuario
P01_E03_PE001	Fachada	7,56	0,17	Usuario
P01_E03_FTER003	Suelo	5,85	0,12	Usuario
P01_E04_PE002	Fachada	6,67	0,17	Usuario
P01_E04_PE003	Fachada	10,45	0,17	Usuario
P01_E04_FTER004	Suelo	11,88	0,12	Usuario
P01_E05_PE001	Fachada	8,85	0,17	Usuario
P01_E05_PE002	Fachada	2,03	0,17	Usuario
P01_E05_PE003	Fachada	7,75	0,17	Usuario
P01_E05_PE004	Fachada	5,62	0,17	Usuario
P01_E05_FTER005	Suelo	11,92	0,12	Usuario
P01_E06_PE001	Fachada	6,93	0,17	Usuario
P01_E06_FTER006	Suelo	32,22	0,12	Usuario
P01_E07_FTER007	Suelo	6,78	0,12	Usuario
P01_E08_PE001	Fachada	1,92	0,17	Usuario
P01_E08_PE002	Fachada	8,32	0,62	Usuario
P01_E08_PE003	Fachada	3,06	0,62	Usuario
P01_E08_PE004	Fachada	5,03	0,17	Usuario
P01_E08_FTER008	Suelo	6,83	0,12	Usuario
P02_E01_FE001	Fachada	5,46	0,20	Usuario

P02_E01_PE002	Fachada	6,38	0,17	Usuario
P02_E01_PE003	Fachada	0,95	0,17	Usuario
P02_E01_PE004	Fachada	4,16	0,17	Usuario
P02_E01_PE005	Fachada	0,95	0,17	Usuario
P02_E01_PE006	Fachada	3,00	0,17	Usuario
P02_E01_PE007	Fachada	7,45	0,17	Usuario
P02_E01_PE008	Fachada	4,10	0,17	Usuario
P02_E01_PE009	Fachada	6,78	0,17	Usuario
P02_E01_PE010	Fachada	9,21	0,17	Usuario
P02_E01_PE011	Fachada	9,21	0,17	Usuario
P02_E01_PE012	Fachada	13,95	0,17	Usuario
P02_E01_PE013	Fachada	6,24	0,17	Usuario
P02_E01_PE014	Fachada	7,93	0,17	Usuario
P02_E01_PE015	Fachada	2,25	0,17	Usuario
P02_E01_PE016	Fachada	7,44	0,17	Usuario
P02_E01_PE017	Fachada	11,79	0,17	Usuario
P02_E01_FE002	Fachada	112,99	0,23	Usuario

Huecos y lucernarios

Nombre	Tipo	Superficie (m²)	Transmitancia (W/m²K)	Factor Solar	Modo de obtención transmitancia	Modo de obtención factor solar
Puerta Corredera	Huevo	5,63	2,13	0,64	Usuario	Usuario
Puerta Principal	Huevo	2,09	3,19	0,10	Usuario	Usuario
Puerta Garaje	Huevo	6,30	3,23	0,10	Usuario	Usuario
Ventana Seguridad	Huevo	0,70	2,11	0,64	Usuario	Usuario
Ventana Seguridad	Huevo	2,70	2,11	0,64	Usuario	Usuario
Ventana Seguridad	Huevo	1,62	2,11	0,64	Usuario	Usuario
VentanasSimples2	Huevo	9,40	2,11	0,64	Usuario	Usuario
VentanasSimples2	Huevo	7,36	2,11	0,64	Usuario	Usuario
VentanasSimples2	Huevo	13,60	2,11	0,64	Usuario	Usuario

3. INSTALACIONES TÉRMICAS

Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento Estacional (%)	Tipo de Energía	Modo de obtención
SIS1_EQ1_EQ_Caldera-Conve ncional-Defecto	Caldera eléctrica o de combustible	10,00	83,00	GasNatural	Usuario
SISTEMA_SUSTITUCION-Ficticio	Sistema de rendimiento estacional constante	-	95,00	GasNatural	PorDefecto
TOTALES		10,00			

Generadores de refrigeración

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento Estacional (%)	Tipo de Energía	Modo de obtención
SISTEMA_SUSTITUCION-Ficticio	Sistema de rendimiento estacional constante	-	252,00	ElectricidadPeninsular	PorDefecto
TOTALES		0,00			

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Demanda diaria de ACS a 60° C (litros/día)	160,00
---	--------

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento Estacional (%)	Tipo de Energía	Modo de obtención
SIS_EQ1_EQ_Caldera-Conven cional-Defecto	Caldera eléctrica o de combustible	10,00	85,00	GasNatural	Usuario
SISTEMA_SUSTITUCION-Fictic io	Sistema de rendimiento estacional constante	-	95,00	GasNatural	PorDefecto

4. INSTALACIÓN DE ILUMINACION

(No aplicable)

5. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO Y OCUPACIÓN

(No aplicable)

6. ENERGÍAS RENOVABLES

Térmica

Nombre	Consumo de Energía Final,cubierto en función del servicio asociado (%)			Demanda de ACS cubierta (%)
	Calefacción	Refrigeración	ACS	
Sistema solar térmico	-	-	0,00	0,00
TOTALES	0,00	0,00	0,00	0,00

Eléctrica

Nombre	Energía eléctrica generada y autoconsumida (kWh/año)
-	0,00
TOTALES	0

ANEXO II

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	C1	Uso	CertificacionVerificacionNuevo
----------------	----	-----	--------------------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES				
<8.10A 8.10-13.10B 13.10-20.30C 20.30-31.10D 31.10-58.30E 58.30-73.40F =>73.40G	18,89C	CALEFACCIÓN		ACS		
		Emisiones calefacción (kgCO2/m2 año)	C	Emisiones ACS (kgCO2/m2 año)	C	
		13,59		4,24		
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN		
		Emisiones globales (kgCO2/m2 año)1	Emisiones refrigeración (kgCO2/m2 año)	-	Emisiones iluminación (kgCO2/m2 año)	-
			0,14		-	

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

	kgCO2/m2.año	kgCO2/año
Emisiones CO2 por consumo eléctrico	1,06	233,76
Emisiones CO2 por combustibles fósiles	17,83	3927,55

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			
<35.80A 35.80-58.1B 58.10-90.00C 90.00-138.40D 138.40-254.10E 254.10-305.00F =>305.00G	90,44D	CALEFACCIÓN		ACS	
		Energía primaria no renovable calefacción (kWh/m2año)	C	Energía primaria no renovable ACS (kWh/m2año)	D
		64,16		20,02	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
		Energía primaria no renovable refrigeración (kWh/m2año)	-	Energía primaria no renovable iluminación (kWh/m2año)	-
0,82	-				
Consumo global de energía primaria no renovable (kWh/m2año)1					

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	
<19.70A 19.70-32.0B 32.00-49.50C 49.50-76.20D 76.20-125.70E 125.70-147.00F =>147.00G 44,70C		A B C D E F G	
Demanda de calefacción (kWh/m2año)		Demanda de refrigeración (kWh/m2año)	

¹El 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

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m2•año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO2/m2•año)	
<35.80 A		<8.10 A	
35.80-58.1 B		8.10-13.10 B	
58.10-90.00 C		13.10-20.30 C	
90.00-138.40 D		20.30-31.10 D	
138.40-254.10 E		31.10-58.30 E	
254.10-305.00 F		58.30-73.40 F	
=>305.00 G		=>73.40 G	

CALIFICACIONES ENERGÉTICAS

DEMANDA DE CALEFACCIÓN (kWh/m2•año)		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (kWh/m2•año)	
<19.70 A		A	
19.70-32.0 B		B	
32.00-49.50 C		C	
49.50-76.20 D		D	
76.20-125.70 E		E	
125.70-147.00 F		F	
=>147.00 G		G	

ANÁLISIS TÉCNICO

Indicador	Calefacción		Refrigeración		ACS		Iluminación		Total	
	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior
Consumo Energía primaria (kWh/m2•año)										
Consumo Energía final (kWh/m2•año)										
Emisiones de CO2 (kgCO2/m2•año)										
Demanda (kWh/m2•año)										

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 MEDIDA DE MEJORA

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

Coste estimado de la medida

Otros datos de interés

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.

Fecha de realización de la visita del técnico certificador	04/03/25
--	----------

ANEXO III

CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:

Nombre del edificio	Mejora con Sistema de Aerotermia para ACS y Calefacción		
Dirección	C/ - - - - -		
Municipio	Nigrán	Código Postal	Código Postal
Provincia	Pontevedra	Comunidad Autónoma	Galicia
Zona climática	C1	Año construcción	-
Normativa vigente (construcción / rehabilitación)	- Seleccione de la lista -		
Referencia/s catastral/es	ninguno		

Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:

☒ Edificio de nueva construcción	☐ Edificio Existente
☒ Vivienda	☐ Terciario
☒ Unifamiliar	☐ Edificio completo
☐ Bloque	☐ Local
☐ Bloque completo	
☐ Vivienda individual	

DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:

Nombre y Apellidos	Sandra Roque Pérez	NIF/NIE	123456789S
Razón social	Razón Social	NIF	-
Domicilio	Nombre calle - - - - -		
Municipio	Vigo	Código Postal	Código postal
Provincia	Pontevedra	Comunidad Autónoma	Galicia
e-mail:	-	Teléfono	-
Titulación habilitante según normativa vigente	-		
Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión:	HU CTE-HE y CEE Versión 2.0.2496.1177, de fecha 18-jul-2024		

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m2•año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO2/m2•año)	
<35.80 A 35.80-58.1 B 58.10-90.00 C 90.00-138.40 D 138.40-254.10 E 254.10-305.00 F =>305.00 G	46,60 B	<8.10 A 8.10-13.10 B 13.10-20.30 C 20.30-31.10 D 31.10-58.30 E 58.30-73.40 F =>73.40 G	8,73 B

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 19/06/2025

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 Organo Territorial Competente:

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

Superficie habitable (m²)		220,40	
Imagen del edificio		Plano de situación	

2. ENVOLVENTE TÉRMICA

Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie (m²)	Transmitancia (W/m²K)	Modo de obtención
P01_E01_PE001	Fachada	6,26	0,17	Usuario
P01_E01_PE002	Fachada	7,49	0,17	Usuario
P01_E01_PE003	Fachada	24,44	0,17	Usuario
P01_E01_FTER001	Suelo	28,60	0,12	Usuario
P01_E02_PE001	Fachada	4,77	0,17	Usuario
P01_E02_PE002	Fachada	5,21	0,17	Usuario
P01_E02_FTER002	Suelo	3,34	0,12	Usuario
P01_E03_PE001	Fachada	7,56	0,17	Usuario
P01_E03_FTER003	Suelo	5,85	0,12	Usuario
P01_E04_PE002	Fachada	6,67	0,17	Usuario
P01_E04_PE003	Fachada	10,45	0,17	Usuario
P01_E04_FTER004	Suelo	11,88	0,12	Usuario
P01_E05_PE001	Fachada	8,85	0,17	Usuario
P01_E05_PE002	Fachada	2,03	0,17	Usuario
P01_E05_PE003	Fachada	7,75	0,17	Usuario
P01_E05_PE004	Fachada	5,62	0,17	Usuario
P01_E05_FTER005	Suelo	11,92	0,12	Usuario
P01_E06_PE001	Fachada	6,93	0,17	Usuario
P01_E06_FTER006	Suelo	32,22	0,12	Usuario
P01_E07_FTER007	Suelo	6,78	0,12	Usuario
P01_E08_PE001	Fachada	1,92	0,17	Usuario
P01_E08_PE002	Fachada	8,32	0,62	Usuario
P01_E08_PE003	Fachada	3,06	0,62	Usuario
P01_E08_PE004	Fachada	5,03	0,17	Usuario
P01_E08_FTER008	Suelo	6,83	0,12	Usuario
P02_E01_FE001	Fachada	5,46	0,20	Usuario

P02_E01_PE002	Fachada	6,38	0,17	Usuario
P02_E01_PE003	Fachada	0,95	0,17	Usuario
P02_E01_PE004	Fachada	4,16	0,17	Usuario
P02_E01_PE005	Fachada	0,95	0,17	Usuario
P02_E01_PE006	Fachada	3,00	0,17	Usuario
P02_E01_PE007	Fachada	7,45	0,17	Usuario
P02_E01_PE008	Fachada	4,10	0,17	Usuario
P02_E01_PE009	Fachada	6,78	0,17	Usuario
P02_E01_PE010	Fachada	9,21	0,17	Usuario
P02_E01_PE011	Fachada	9,21	0,17	Usuario
P02_E01_PE012	Fachada	13,95	0,17	Usuario
P02_E01_PE013	Fachada	6,24	0,17	Usuario
P02_E01_PE014	Fachada	7,93	0,17	Usuario
P02_E01_PE015	Fachada	2,25	0,17	Usuario
P02_E01_PE016	Fachada	7,44	0,17	Usuario
P02_E01_PE017	Fachada	11,79	0,17	Usuario
P02_E01_FE002	Fachada	112,99	0,23	Usuario

Huecos y lucernarios

Nombre	Tipo	Superficie (m²)	Transmitancia (W/m²K)	Factor Solar	Modo de obtención transmitancia	Modo de obtención factor solar
Puerta Corredera	Hueco	5,63	2,13	0,64	Usuario	Usuario
Puerta Principal	Hueco	2,09	3,19	0,10	Usuario	Usuario
Puerta Garaje	Hueco	6,30	3,23	0,10	Usuario	Usuario
Ventana Seguridad	Hueco	0,70	2,11	0,64	Usuario	Usuario
Ventana Seguridad	Hueco	2,70	2,11	0,64	Usuario	Usuario
Ventana Seguridad	Hueco	1,62	2,11	0,64	Usuario	Usuario
VentanasSimples2	Hueco	9,40	2,11	0,64	Usuario	Usuario
VentanasSimples2	Hueco	7,36	2,11	0,64	Usuario	Usuario
VentanasSimples2	Hueco	13,60	2,11	0,64	Usuario	Usuario

3. INSTALACIONES TÉRMICAS

Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento Estacional (%)	Tipo de Energía	Modo de obtención
SIS1_EQ1_EQ_ED_AireAgua_BDC-ACS-Defecto	Expansión directa bomba de calor aire-agua	7,70	397,00	ElectricidadPeninsular	Usuario
SISTEMA_SUSTITUCION-Ficticio	Sistema de rendimiento estacional constante	-	96,00	GasNatural	PorDefecto
TOTALES		7,70			

Generadores de refrigeración

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento Estacional (%)	Tipo de Energía	Modo de obtención
SISTEMA_SUSTITUCION-Ficticio	Sistema de rendimiento estacional constante	-	252,00	ElectricidadPeninsular	PorDefecto
TOTALES		0,00			

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Demanda diaria de ACS a 60° C (litros/día)	160,00
---	--------

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento Estacional (%)	Tipo de Energía	Modo de obtención
SIS_EQ1_EQ_ED_AireAgua_BDC-ACS-Defecto	Expansión directa bomba de calor aire-agua	7,70	523,00	ElectricidadPeninsular	Usuario
SISTEMA_SUSTITUCION-Ficticio	Sistema de rendimiento estacional constante	-	96,00	GasNatural	PorDefecto

4. INSTALACIÓN DE ILUMINACION

(No aplicable)

5. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO Y OCUPACIÓN

(No aplicable)

6. ENERGÍAS RENOVABLES

Térmica

Nombre	Consumo de Energía Final,cubierto en función del servicio asociado (%)			Demanda de ACS cubierta (%)
	Calefacción	Refrigeración	ACS	
Sistema solar térmico	-	-	0,00	0,00
TOTALES	0,00	0,00	0,00	0,00

Eléctrica

Nombre	Energía eléctrica generada y autoconsumida (kWh/año)
-	0,00
TOTALES	0

ANEXO II

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	C1	Uso	CertificaciónVerificaciónNuevo
----------------	----	-----	--------------------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
<8.10 A 8.10-13.10 B 13.10-20.30 C 20.30-31.10 D 31.10-58.30 E 58.30-73.40 F =>73.40 G	8,73 B	CALEFACCIÓN		ACS	
		Emisiones calefacción (kgCO2/m2 año)	B	Emisiones ACS (kgCO2/m2 año)	A
		6,76		0,90	
				REFRIGERACIÓN	
Emisiones globales (kgCO2/m2 año)1		Emisiones refrigeración (kgCO2/m2 año)	-	Emisiones iluminación (kgCO2/m2 año)	-
		0,14		-	

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

	kgCO2/m2.año	kgCO2/año
Emisiones CO2 por consumo eléctrico	4,55	1003,71
Emisiones CO2 por combustibles fósiles	4,17	919,07

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			
<35.80A 35.80-58.1B 58.10-90.00C 90.00-138.40D 138.40-254.10E 254.10-305.00F =>305.00G 46,60B		CALEFACCIÓN		ACS	
		Energía primaria no renovable calefacción (kWh/m2año)	B	Energía primaria no renovable ACS (kWh/m2año)	A
		34,99		5,34	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
		Energía primaria no renovable refrigeración (kWh/m2año)	-	Energía primaria no renovable iluminación (kWh/m2año)	-
		0,82		-	
Consumo global de energía primaria no renovable (kWh/m2año)1					

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	
<19.70A 19.70-32.0B 32.00-49.50C 49.50-76.20D 76.20-125.70E 125.70-147.00F =>147.00G	44,70C	A B C D E F G	
Demanda de calefacción (kWh/m2año)		Demanda de refrigeración (kWh/m2año)	

¹El 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

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m2•año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO2/m2•año)	
<35.80 A		<8.10 A	
35.80-58.1 B		8.10-13.10 B	
58.10-90.00 C		13.10-20.30 C	
90.00-138.40 D		20.30-31.10 D	
138.40-254.10 E		31.10-58.30 E	
254.10-305.00 F		58.30-73.40 F	
=>305.00 G		=>73.40 G	

CALIFICACIONES ENERGÉTICAS

DEMANDA DE CALEFACCIÓN (kWh/m2•año)		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (kWh/m2•año)	
<19.70 A		A	
19.70-32.0 B		B	
32.00-49.50 C		C	
49.50-76.20 D		D	
76.20-125.70 E		E	
125.70-147.00 F		F	
=>147.00 G		G	

ANÁLISIS TÉCNICO

Indicador	Calefacción		Refrigeración		ACS		Iluminación		Total	
	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior
Consumo Energía primaria (kWh/m2•año)										
Consumo Energía final (kWh/m2•año)										
Emisiones de CO2 (kgCO2/m2•año)										
Demanda (kWh/m2•año)										

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 MEDIDA DE MEJORA

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

Coste estimado de la medida

Otros datos de interés

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.

Fecha de realización de la visita del técnico certificador	04/03/25
--	----------

ANEXO IV

CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:

Nombre del edificio	Mejora con Sistema Solar Térmico		
Dirección	C/ - - - - -		
Municipio	Nigrán	Código Postal	Código Postal
Provincia	Pontevedra	Comunidad Autónoma	Galicia
Zona climática	C1	Año construcción	-
Normativa vigente (construcción / rehabilitación)	- Seleccione de la lista -		
Referencia/s catastral/es	ninguno		

Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:

☒ Edificio de nueva construcción	☐ Edificio Existente
☒ Vivienda	☐ Terciario
☒ Unifamiliar	☐ Edificio completo
☐ Bloque	☐ Local
☐ Bloque completo	
☐ Vivienda individual	

DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:

Nombre y Apellidos	Sandra Roque Pérez	NIF/NIE	123456789S
Razón social	Razón Social	NIF	-
Domicilio	Nombre calle - - - - -		
Municipio	Vigo	Código Postal	Codigo postal
Provincia	Pontevedra	Comunidad Autónoma	Galicia
e-mail:	-	Teléfono	-
Titulación habilitante según normativa vigente	-		
Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión:	HU CTE-HE y CEE Versión 2.0.2496.1177, de fecha 18-jul-2024		

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m2•año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO2/m2•año)	
<35.80 A 35.80-58.1 B 58.10-90.00 C 90.00-138.40 D 138.40-254.10 E 254.10-305.00 F =>305.00 G	41,48 B	<8.10 A 8.10-13.10 B 13.10-20.30 C 20.30-31.10 D 31.10-58.30 E 58.30-73.40 F =>73.40 G	7,86 A

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 19/06/2025

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 Organo Territorial Competente:

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

Superficie habitable (m²)		220,40	
Imagen del edificio		Plano de situación	

2. ENVOLVENTE TÉRMICA

Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie (m²)	Transmitancia (W/m²K)	Modo de obtención
P01_E01_PE001	Fachada	6,26	0,17	Usuario
P01_E01_PE002	Fachada	7,49	0,17	Usuario
P01_E01_PE003	Fachada	24,44	0,17	Usuario
P01_E01_FTER001	Suelo	28,60	0,12	Usuario
P01_E02_PE001	Fachada	4,77	0,17	Usuario
P01_E02_PE002	Fachada	5,21	0,17	Usuario
P01_E02_FTER002	Suelo	3,34	0,12	Usuario
P01_E03_PE001	Fachada	7,56	0,17	Usuario
P01_E03_FTER003	Suelo	5,85	0,12	Usuario
P01_E04_PE002	Fachada	6,67	0,17	Usuario
P01_E04_PE003	Fachada	10,45	0,17	Usuario
P01_E04_FTER004	Suelo	11,88	0,12	Usuario
P01_E05_PE001	Fachada	8,85	0,17	Usuario
P01_E05_PE002	Fachada	2,03	0,17	Usuario
P01_E05_PE003	Fachada	7,75	0,17	Usuario
P01_E05_PE004	Fachada	5,62	0,17	Usuario
P01_E05_FTER005	Suelo	11,92	0,12	Usuario
P01_E06_PE001	Fachada	6,93	0,17	Usuario
P01_E06_FTER006	Suelo	32,22	0,12	Usuario
P01_E07_FTER007	Suelo	6,78	0,12	Usuario
P01_E08_PE001	Fachada	1,92	0,17	Usuario
P01_E08_PE002	Fachada	8,32	0,62	Usuario
P01_E08_PE003	Fachada	3,06	0,62	Usuario
P01_E08_PE004	Fachada	5,03	0,17	Usuario
P01_E08_FTER008	Suelo	6,83	0,12	Usuario
P02_E01_FE001	Fachada	5,46	0,20	Usuario

P02_E01_PE002	Fachada	6,38	0,17	Usuario
P02_E01_PE003	Fachada	0,95	0,17	Usuario
P02_E01_PE004	Fachada	4,16	0,17	Usuario
P02_E01_PE005	Fachada	0,95	0,17	Usuario
P02_E01_PE006	Fachada	3,00	0,17	Usuario
P02_E01_PE007	Fachada	7,45	0,17	Usuario
P02_E01_PE008	Fachada	4,10	0,17	Usuario
P02_E01_PE009	Fachada	6,78	0,17	Usuario
P02_E01_PE010	Fachada	9,21	0,17	Usuario
P02_E01_PE011	Fachada	9,21	0,17	Usuario
P02_E01_PE012	Fachada	13,95	0,17	Usuario
P02_E01_PE013	Fachada	6,24	0,17	Usuario
P02_E01_PE014	Fachada	7,93	0,17	Usuario
P02_E01_PE015	Fachada	2,25	0,17	Usuario
P02_E01_PE016	Fachada	7,44	0,17	Usuario
P02_E01_PE017	Fachada	11,79	0,17	Usuario
P02_E01_FE002	Fachada	112,99	0,23	Usuario

Huecos y lucernarios

Nombre	Tipo	Superficie (m²)	Transmitancia (W/m²K)	Factor Solar	Modo de obtención transmitancia	Modo de obtención factor solar
Puerta Corredera	Huevo	5,63	2,13	0,64	Usuario	Usuario
Puerta Principal	Huevo	2,09	3,19	0,10	Usuario	Usuario
Puerta Garaje	Huevo	6,30	3,23	0,10	Usuario	Usuario
Ventana Seguridad	Huevo	0,70	2,11	0,64	Usuario	Usuario
Ventana Seguridad	Huevo	2,70	2,11	0,64	Usuario	Usuario
Ventana Seguridad	Huevo	1,62	2,11	0,64	Usuario	Usuario
VentanasSimples2	Huevo	9,40	2,11	0,64	Usuario	Usuario
VentanasSimples2	Huevo	7,36	2,11	0,64	Usuario	Usuario
VentanasSimples2	Huevo	13,60	2,11	0,64	Usuario	Usuario

3. INSTALACIONES TÉRMICAS

Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento Estacional (%)	Tipo de Energía	Modo de obtención
SIS1_EQ1_EQ_ED_AireAgua_BDC-ACS-Defecto	Expansión directa bomba de calor aire-agua	8,70	433,00	ElectricidadPeninsular	Usuario
SISTEMA_SUSTITUCION-Ficticio	Sistema de rendimiento estacional constante	-	95,00	GasNatural	PorDefecto
TOTALES		8,70			

Generadores de refrigeración

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento Estacional (%)	Tipo de Energía	Modo de obtención
SISTEMA_SUSTITUCION-Ficticio	Sistema de rendimiento estacional constante	-	252,00	ElectricidadPeninsular	PorDefecto
TOTALES		0,00			

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Demanda diaria de ACS a 60° C (litros/día)	160,00
---	--------

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento Estacional (%)	Tipo de Energía	Modo de obtención
SIS_EQ2_EQ_ED_AireAgua_BDC-ACS-Defecto	Expansión directa bomba de calor aire-agua	8,70	581,00	ElectricidadPeninsular	Usuario
SISTEMA_SUSTITUCION-Ficticio	Sistema de rendimiento estacional constante	-	95,00	GasNatural	PorDefecto

4. INSTALACIÓN DE ILUMINACION

(No aplicable)

5. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO Y OCUPACIÓN

(No aplicable)

6. ENERGÍAS RENOVABLES

Térmica

Nombre	Consumo de Energía Final,cubierto en función del servicio asociado (%)			Demanda de ACS cubierta (%)
	Calefacción	Refrigeración	ACS	
Sistema solar térmico	-	-	96,66	96,66
TOTALES	0,00	0,00	96,66	96,66

Eléctrica

Nombre	Energía eléctrica generada y autoconsumida (kWh/año)
Fotovoltaica insitu	0,0
TOTALES	0

ANEXO II

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	C1	Uso	Certificación	Verificación	Nuevo
----------------	----	-----	---------------	--------------	-------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
<8.10A 8.10-13.10B 13.10-20.30C 20.30-31.10D 31.10-58.30E 58.30-73.40F =>73.40G	7,86A	CALEFACCIÓN		ACS	
		Emisiones calefacción (kgCO2/m2 año)	B	Emisiones ACS (kgCO2/m2 año)	A
		6,55		0,25	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
		Emisiones refrigeración (kgCO2/m2 año)	-	Emisiones iluminación (kgCO2/m2 año)	-
		0,14		-	
		Emisiones globales (kgCO2/m2 año)1			

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

	kgCO2/m2.año	kgCO2/año
Emisiones CO2 por consumo eléctrico	3,69	812,76
Emisiones CO2 por combustibles fósiles	4,17	919,07

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			
<35.80A 35.80-58.1B 58.10-90.00C 90.00-138.40D 138.40-254.10E 254.10-305.00F =>305.00G 41,48B		CALEFACCIÓN		ACS	
		Energía primaria no renovable calefacción (kWh/m2año)	B	Energía primaria no renovable ACS (kWh/m2año)	A
		33,72		1,50	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
		Energía primaria no renovable refrigeración (kWh/m2año)	-	Energía primaria no renovable iluminación (kWh/m2año)	-
Consumo global de energía primaria no renovable (kWh/m2año)1		0,82		-	

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	
<19.70A 19.70-32.0B 32.00-49.50C 49.50-76.20D 76.20-125.70E 125.70-147.00F =>147.00G 44,70C		A B C D E F G	
Demanda de calefacción (kWh/m2año)		Demanda de refrigeración (kWh/m2año)	

¹El 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

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m2•año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO2/m2•año)	
<35.80 A		<8.10 A	
35.80-58.1 B		8.10-13.10 B	
58.10-90.00 C		13.10-20.30 C	
90.00-138.40 D		20.30-31.10 D	
138.40-254.10 E		31.10-58.30 E	
254.10-305.00 F		58.30-73.40 F	
=>305.00 G		=>73.40 G	

CALIFICACIONES ENERGÉTICAS

DEMANDA DE CALEFACCIÓN (kWh/m2•año)		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (kWh/m2•año)	
<19.70 A		A	
19.70-32.0 B		B	
32.00-49.50 C		C	
49.50-76.20 D		D	
76.20-125.70 E		E	
125.70-147.00 F		F	
=>147.00 G		G	

ANÁLISIS TÉCNICO

Indicador	Calefacción		Refrigeración		ACS		Iluminación		Total	
	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior
Consumo Energía primaria (kWh/m2•año)										
Consumo Energía final (kWh/m2•año)										
Emisiones de CO2 (kgCO2/m2•año)										
Demanda (kWh/m2•año)										

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 MEDIDA DE MEJORA

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

Coste estimado de la medida

Otros datos de interés

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.

Fecha de realización de la visita del técnico certificador	04/03/25
--	----------

ANEXO V

Presupuesto

Nat	Un.	Resumen / Comentario	Un.	Largo	Ancho	Alto	Medición	Cantidad	Precio Ajustado	Importe
Capítulo	U	DEMOLICIONES								5.453,41 €
Partida	m2	DEMOLICIÓN DE CUBIERTA						90,02	14,00 €	1.260,28 €
		Demolición de cubierta inclinada, realizada mediante medios manuales, compuesta por forjado de hormigón armado y cubrición de teja. Incluyendo retirada escombros a pie de carga, limpieza y medios auxiliares, transporte. Estimando verdadera magnitud en su medición.								
			2,00	5,70	2,09		23,83			
			2,00	3,67	4,52		33,18			
			1,00	8,10	1,78		14,42			
			0,50	8,10	4,59		18,59			
Partida	m2	DEMOLICIÓN MECÁNICA LOSA HORMIGÓN ARMADO MAX. 30cm						2,33	208,08 €	484,83 €
		Demolición de losa de hormigón armado inclinada o plana de espesor máximo 30 cm., realizada mediante compresor y martillo rompedor neumático. Incluyendo retirada escombros a pie de carga, limpieza y medios auxiliares. Sin incluir transporte ni canon de eliminación de residuos. Estimando superficie realizada, descontando huecos en su medición.								
		losa de escaleras exteriores	1,00	2,33	1,00		2,33			
Partida	m2	DEMOLICIÓN MANUAL TABIQUE LAD. HUECO DOBLE 9 cm						26,61	13,47 €	358,38 €
		Demolición de tabique cerámico de ladrillo hueco doble hasta espesor de 9 cm., realizada mediante medios manuales. Incluyendo retirada escombros a pie de carga y limpieza. Sin incluir transporte ni canon de eliminación de residuos. Estimando superficie realizada en su medición, descontando huecos superiores a 1 m2. en su medición.								
		planta baja	1,00	3,17	2,50		7,93			
		planta alta	1,00	3,73	2,50		9,33			
			1,00	0,64	2,50		1,60			
			1,00	1,90	2,50		4,75			
		apertura de hueco	1,00	1,20	2,50		3,00			
			2,00				2,00			
Partida	m2	DEMOLICIÓN MANUAL FÁBRICA LADR. HUECO DOBLE 1/2ASTA						25,27	16,04 €	405,43 €
		Demolición de fábrica de ladrillo hueco doble de espesor media asta, realizada mediante medios manuales. Incluyendo retirada de escombros a pie de carga, limpieza y medios auxiliares. Sin incluir transporte ni canon de eliminación de residuos. Estimando superficie realizada, descontando huecos en su medición.								
			1,00	7,60		2,50	19,00			
			1,00	2,85		2,20	6,27			
Partida	m2	DEMOLICIÓN MANUAL CARPINT. METÁLICA MUROS S/RECUP.						37,84	13,47 €	509,63 €
		Desmontaje de carpintería de metálica en muros sin recuperación material, realizada mediante medios manuales, incluyendo desmontaje de cerros, hojas y herrajes. Incluyendo retirada escombros a pie de carga y limpieza. Sin incluir transporte ni canon de eliminación de residuos. Estimando verdadera magnitud en su medición.								
			2,00	1,20	0,60		1,44			
			3,00	1,50	1,30		5,85			
			2,00	1,20	0,60		1,44			
			4,00	1,95	1,25		9,75			
			1,00	7,30	1,75		12,78			
			2,00	1,35	1,35		3,65			
			1,00	2,25	1,30		2,93			
Partida	U	DEMOLICIÓN MANUAL CARPINT. MADERA TABIQUES S/RECUP						13,00	17,95 €	233,32 €
		Demolición de carpintería de madera en tabiques sin recuperación material, realizada mediante medios manuales, incluyendo desmontaje de cerros, hojas y herrajes. Incluyendo retirada escombros a pie de carga y limpieza. Sin incluir transporte ni canon de eliminación de residuos. Estimando verdadera magnitud en su medición. incluso escalera interior de peldaños de madera.								
		puertas de paso interior	12,00				12,00			
		escalera interior	1,00				1,00			
Partida	m2	DEMOLICIÓN MANUAL PAVIMENTO BALDOSA						130,50	16,87 €	2.201,54 €
		Demolición de pavimento de baldosa de cualquier tipo, realizada mediante medios manuales. Incluyendo retirada de escombros a pie de carga y limpieza. Sin incluir transporte ni canon de eliminación de residuos. Estimando superficie realizada en su medición.								
		PLANTA ALTA								
		dormitorio 2	1,00	2,70	3,10		8,37			
		dormitorio 3	1,00	3,59	3,10		11,13			
		dormitorio 4	1,00	2,55	4,37		11,14			
		pasillo	1,00	0,64	2,47		1,58			
		baños	2,00	1,45	2,47		7,16			
		salita	1,00	4,68	4,41		20,64			
		PLANTA BAJA								
		salón	1,00	27,91			27,91			
		dormitorio 1	1,00	11,73			11,73			
		distribuidor interior	1,00	1,70	2,87		4,88			
		aseo	1,00	2,85			2,85			
		distribuidor exterior	1,00	1,59	2,81		4,47			
		distribuidor	1,00	8,92			8,92			
		PORCHÉ EXTERIOR	1,00	1,20	8,10		9,72			
Cap. 1										5.453,41 €
Capítulo	U	ESTRUCTURA Y CUBIERTA								18.594,51 €
Partida	PA	PERFIL HUECO CUADRADO S 275 P/ATORNILLAR						1,00	6,34 €	6,34 €
		Perfil hueco de sección cuadrada de acero laminado en caliente S 275 de 3 mm. de espesor, unión atornillada; empleados como elementos estructurales. Incluso imprimación antioxidante, pequeño material, desperdicios y medios auxiliares. Estimando peso teórico en su medición.								
Partida	u	PILASTRAS COMPLETA PIEDRA ARENISCAS LABRADA 25x25 cm						3,00	2.536,03 €	7.608,09 €
		Pilastra completa realizada mediante piedra granítica arenisca de 25x25 cm. de sección, y 2,50 m. de altura, tomado con mortero de cemento M-5 y rejuntado con cemento. Incluyendo replanteo, pérdidas, limpieza y parte proporcional de pequeño material. Estimando unidad instalada en su medición.								
Partida	m2	CUBR. PANEL CHAPA ACERO GALV. PRELAC.+P.EXP.+PREL.						123,46	51,45 €	6.352,02 €
		Panel sandwich compuesto por dos chapas de acero galvanizado prelacado, con núcleo interior de poliestireno expandido de espesor 40 cm., para cubrición de cubiertas inclinadas. Colocado mediante gachos al soporte metálico. Acabado con teja cerámica curva, tomada con mortero de cemento M-5. Incluyendo parte proporcional de piezas de cumbrera, remate lateral, piezas de ventilación, pérdidas, limpieza y medios auxiliares. Incluyendo piezas cumbrera, remate lateral, piezas ventilación, pérdidas, limpieza y medios auxiliares. Estimando superficie realizada en verdadera magnitud, descontando huecos superiores a 1 m2. en su medición.								
			1,00	11,10	6,04		67,04			
			1,00	10,84	3,77		40,87			
			1,00	4,38	2,60		11,39			
			1,00	3,47	1,20		4,16			

Partida	m3	H.ARM. HA-25 TM20mm NORM V.B. LOSA IN. B500S	5,48	844,54 €	4.628,06 €
		Hormigón armado fabricado de central de resistencia 25 N/mm2., cualquier tipo de consistencia, con tamaño de árido hasta 20 mm. y para ambientes no agresivos y normales en losas inclinadas. Incluyendo armado de acero corrugado B-500-S 85 kg/m3., encofrado y desencofrado, vertido de hormigón con camión-bomba y vibrado. Estimando volumen teórico en su medición.			
		escalera	1,00	2,33	1,00 2,33
		cerramiento de hueco de escalera	1,00	1,66	1,90 3,15
Cap_2					18.594,51 €
Capitulo	U	CANTERÍA			30.400,65 €
Partida	m2	CERRAMIENTO EXTERIOR	289,53	105,00 €	30.400,65 €
		Suministro y colocación de cerramiento exterior, a base de fachada ventilada de granito del país, de 3 cm. de espesor, textura abujardada, colocada sobre periferia de acero galvanizado, con anclajes ocultos colocación con juntas de 0,5 cm. Incluso p/p de limpieza e hidrofugado de la piedra. Medido con deducción de huecos mayores de 5 m2.			
		fachada este	1,00	73,33	73,33
		fachada oeste	1,00	90,47	90,47
		fachada norte	1,00	64,59	64,59
		fachada sur	1,00	61,14	61,14
Cap_3					30.400,65 €
Capitulo	U	ALBAÑILERÍA			18.549,95 €
Partida	m2	FAB. BLOQUES TERMOARCILLA e=19 cm.	168,87	41,24 €	6.964,87 €
		Fábrica formada por bloques cerámicos de arcilla aligerada machiembrados de dimensiones 30x19x19 cm., tomada con mortero de cemento M 7.5. Incluyendo replanteo, piezas singulares, pérdidas, limpieza y medios auxiliares. Estimando superficie realizada, descontando huecos superiores a 0,5 m2. en su medición.			
		planta alta	1,00	10,08	2,15 21,67
			2,00	4,89	2,85 27,87
		planta baja	1,00	10,20	2,50 25,50
			2,00	0,95	2,50 4,75
			1,00	1,40	2,50 3,50
			1,00	8,25	2,50 20,63
		planta bajo cubierta	1,00	10,50	3,50 36,75
			2,00	1,50	3,50 10,50
			1,00	7,08	2,50 17,70
Partida	m2	TABICÓN L.H.D. 24x11.5x9 cm. M-5	79,00	30,10 €	2.377,90 €
		Tabique cerámico formado con ladrillo hueco doble de dimensiones 24x11.5x9 cm., tomado con mortero de cemento M-5. Incluyendo replanteo, pérdidas, limpieza y medios auxiliares. Estimando la superficie realizada, descontando huecos superiores a 1 m2. en su medición.			
		planta baja tabiquería interior	1,00	1,55	2,50 3,88
			1,00	3,17	2,50 7,93
		planta primera tabiquería			
		cerrado de huecos de puertas	2,00	0,70	2,00 2,80
		ampliación baños	1,00	3,26	2,50 8,15
			3,00	0,75	2,50 5,63
		entrada dormitorio	1,00	1,00	2,50 2,50
		planta bajo cubierta			
		dormitorio 2	1,00	3,10	2,50 7,75
		dormitorio 4	1,00	1,05	2,50 2,63
			1,00	0,74	2,50 1,85
			1,00	3,89	2,50 9,73
			1,00	0,60	2,50 1,50
			1,00	3,48	2,50 8,70
		baño	1,00	1,70	2,50 4,25
		dormitorio 5	1,00	4,68	2,50 11,70
Partida	m2	ENFOSC. M. CS III-W0 MAEST. FRATASADO VERT.	326,82	24,82 €	8.112,33 €
		Enfoscado fratasado de mortero de cemento CS III-W0 aplicado en paramentos verticales en interiores, maestreado, de espesor 20 mm., incluyendo guardavivos y mallas de refuerzo en encuentros, limpieza y medios auxiliares, descontando huecos superiores a 1.5 m2. en su medición.			
		planta alta	1,00	10,08	2,15 21,67
			2,00	4,89	2,85 27,87
		planta baja	1,00	10,20	2,50 25,50
			2,00	0,95	2,50 4,75
			1,00	1,40	2,50 3,50
			1,00	8,25	2,50 20,63
		planta bajo cubierta	1,00	10,50	3,50 36,75
			2,00	1,50	3,50 10,50
			1,00	7,08	2,50 17,70
		TERMOARCILLA			
		DIVISIONES INTERIORES			
		planta baja tabiquería interior	2,00	1,55	2,50 7,75
			2,00	3,17	2,50 15,85
		planta primera tabiquería			
		dormitorio 2	2,00	3,10	2,50 15,50
		cerrado de huecos de puertas	4,00	0,70	2,00 5,60
		ampliación baños	2,00	3,26	2,50 16,30
			6,00	0,75	2,50 11,25
		entrada dormitorio	2,00	1,00	2,50 5,00
		planta bajo cubierta			
		dormitorio 4	2,00	1,05	2,50 5,25
			2,00	0,74	2,50 3,70
			2,00	3,89	2,50 19,45
			2,00	0,60	2,50 3,00
			2,00	3,48	2,50 17,40
		baño	2,00	1,70	2,50 8,50
		dormitorio 5	2,00	4,68	2,50 23,40
Partida	m2	FALSO TECHO DE ESCAYOLA	43,35	25,26 €	1.094,85 €
		Falso techo formado con placas de escayola, tomado con pasta de escayola. Incluyendo pequeño material, limpieza y medios auxiliares. Estimando superficie realizada, descontando huecos superiores a 1.5 m2. en su medición.			
		salón	1,00	3,00	2,00 6,00
		PLANTA BAJO CUBIERTA			
		dormitorio 4	1,00	16,62	16,62
		baño 3	1,00	5,57	5,57
		dormitorio 5	1,00	15,16	15,16
Cap_4					18.549,95 €

Capitulo	U	SOLADOS Y ALICATADOS	12.410,17 €			
Partida	m2	TARIMA FLOTANTE MADERA LAMINADA AC3 1220x22mm./5mm	103,63		29,76 €	3.084,44 €
		Tarima flotante formada por tablas madera laminada AC3 de 2.440x 1.220x 22 mm. de dimensión y capa de rodadura de roble de 5 mm. de espesor, colocado sobre una lámina aislante acústico y unión machihembrada con juntas encoladas con cola de acetato de polivinilo. Incluyendo pérdidas, limpieza y medios auxiliares. Estimando superficie realizada en su medición.				
		PLANTA ALTA				
		salón	1,00	20,64	20,64	
		vestibulo	1,00	13,11	13,11	
		dormitorio 2	1,00	11,44	11,44	
		vestidor	1,00	8,06	8,06	
		dormitorio 3	1,00	15,42	15,42	
		PLANTA BAJO CUBIERTA				
		dormitorio 4	1,00	16,62	16,62	
		dormitorio 5	1,00	15,16	15,16	
		distribuidor	1,00	3,18	3,18	
Partida	m2	BALDOSA GRES PORCELÁNICO MÁX. 60x60 cm. ADH.CEM.C1	94,93		98,24 €	9.325,73 €
		Pavimento discontinuo compuesto por baldosas de gres porcelánico de dimensiones máximas 60x 60 cm. de precio máximo material 50 euros, tomado con adhesivo cementoso C1 y moetero de juntas, incluyendo pérdidas, limpieza y medios auxiliares. Estimando superficie realizada en su medición.				
		PLANTA BAJA				
		almacén	1,00	21,58	21,58	
		bodega	1,00	3,15	3,15	
		aseo	1,00	4,37	4,37	
		dormitorio 1	1,00	11,73	11,73	
		salón 1	1,00	27,91	27,91	
		distribuidor 1	1,00	8,92	8,92	
		caldera	1,00	2,05	2,05	
		PLANTA ALTA				
		baño 1	1,00	5,28	5,28	
		baño 2	1,00	4,37	4,37	
		PLANTA BAJO CUBIERTA				
		baño 3	1,00	5,57	5,57	
Cap_5						12.410,17 €

Capitulo	U	CARPINTERÍA EXTERIOR	4.847,36 €			
Partida	m2	VENTI/BALCÓN ALUM. LACADO PRACTIC. HASTA 2,5m2	1,00		220,40 €	220,40 €
		Carpintería exterior para ventanas y/o balcones practicables compuesta por precerco de aluminio anodizado y cerco de aluminio lacado hasta 2.5 m2. Incluyendo Doble acristalamiento compuesto por dos lunas de vidrio incoloras de espesor 4 y 6 mm. respectivamente, separadas por una cámara de aire de espesor 12 mm. Incluyendo doble sellado de silicona, colocación de junquillos y calzos; herrajes, sellados, juntas de estanqueidad para acristalamiento. Estimando superficie del hueco en su medición.				
Partida	m2	PUERTA ALUM. LACADO PRACT. S< 2,5 m2. C/POLIUR.	1,60		333,19 €	533,10 €
		Puerta metálica ciega practicable compuesta por precerco de aluminio anodizado y cerco de aluminio lacado, con núcleo de panel aislante de poliuretano hasta 2.5 m2. Incluyendo herrajes. Según memoria de proyecto. Estimando superficie hoja en su medición.				
		entrada	1,00	0,80	2,00	1,60
Partida	m2	VENTANAS EXTERIORES	1,00		4.847,36 €	4.847,36 €
		Ventana fija y doble acristalamiento 450x1300 sin persiana, sin guías.	3,00	1,30	0,45	568,5
		Ventana dos hojas 1300x1200 con persiana monoblock aluminio térmico.	4,00	1,30	1,20	2263,44
		Ventana una hoja 930x1120 con persiana monoblock aluminio térmico.	1,00	0,93	1,12	380,55
		Ventana una hoja 920x1120 con persiana monoblock aluminio térmico.	1,00	0,92	1,12	423,17
		Esquinero dos hojas 1450x1120 con persiana monoblock aluminio térmico.	1,00	1,45	1,12	843,00
		Ventana una hoja 930x600 con persiana monoblock aluminio térmico.	1,00	0,93	0,60	368,70
Cap_6						4.847,36 €

Capitulo	U	CARPINTERÍA INTERIOR	4.849,81 €			
Partida	m2	PUERTA CIEGA PASO LISA MACIZA ROBLE	23,00		200,94 €	4.621,67 €
		Puerta madera ciega abatible de paso lisa hueca compuesta por precerco de pino, cerco, hoja canteada y tapajuntas de madera roble para barnizar. Incluyendo herrajes. Estimando superficie hoja en su medición.				
		planta baja	3,00	0,80	2,00	4,80
			1,00	0,70	2,00	1,40
			1,00	1,40	2,00	2,80
		planta primera	5,00	0,70	2,00	7,00
			1,00	1,40	2,00	2,80
		planta bajo cubierta	3,00	0,70	2,00	4,20
Partida	U	PRECERCO MADERA PINO ESCUADRÍA 90x35 cm.	14,00		16,30 €	228,14 €
		Precerco de madera de pino de 90x 35 cm. de escuadría. Incluso recibido, aplomado y parte proporcional de pequeño material para su colocación. Estimando superficie del hueco en su medición.				
			14,00		14,00	
Cap_7						4.849,81 €

Capítulo	U	PINTURA				4.873,86 €
Partida	m2	PINTURA PLÁSTICA LISA BLANCA INT.				473,6510,29 €4.873,86 €
		Pintura plástica lisa blanca, aplicación sobre paramentos verticales y horizontales de ladrillo, yeso o cemento en interiores. Medido superficie aplicada descontando huecos. Incluso lijado, emplastecido, fondo si fuera necesario y dos manos.				
		PLANTA BAJA				
		bodega	2,00	1,66	2,50	8,30
			2,00	1,90	2,50	9,50
		dormitorio 1	2,00	4,10	2,50	20,50
			2,00	3,17	2,50	15,85
		salón	2,00	6,55	2,50	32,75
			2,00	4,33	2,50	21,65
			2,00	0,95	2,50	4,75
			1,00	0,20	2,50	0,50
		distribuidor	2,00	4,06	2,50	20,30
			2,00	2,27	2,50	11,35
			1,00	2,00	2,50	5,00
		PLANTA PRIMERA				
		salón	2,00	4,68	2,50	23,40
			2,00	4,41	2,50	22,05
		dormitorio 2	2,00	3,69	2,50	18,45
			2,00	3,10	2,50	15,50
		vestidor	2,00	2,60	2,50	13,00
			2,00	3,10	2,50	15,50
		dormitorio 3	2,00	4,68	2,50	23,40
			2,00	4,37	2,50	21,85
		hall	2,00	5,57	2,50	27,85
			2,00	3,52	2,50	17,60
		PLANTA SEGUNDA				
		dormitorio 4	2,00	3,48	2,50	17,40
			2,00	4,94	2,50	24,70
		dormitorio 5	2,00	4,68	2,50	23,40
			2,00	3,24	2,50	16,20
		distribuidor	2,00	1,84	2,50	9,20
			2,00	6,74	2,50	33,70
Cap. 8						4.873,86 €
Capítulo	U	GESTIÓN DE RESIDUOS				1,001.680,00 €1.680,00 €
Capítulo	U	SEGURIDAD Y SALUD				1,002.800,00 €2.800,00 €
TOTAL						104.459,72 €