



# MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER  
PLAN DE NEGOCIO DE PROPUESTA DE MEJORA  
ENERGÉTICA DE INSTALACIÓN

Autor: Carmen Banqueri Camy

Director: Íñigo Sanz Fernández

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
PLAN DE NEGOCIO DE PROPUESTA DE MEJORA  
ENERGÉTICA DE INSTALACIÓN  
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.

*Carmen Banqueri*

Fdo.: Carmen Banqueri Camy

Fecha: 23/06/ 2025

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Íñigo Sanz Fernández

Fecha: 23/06/2025

**SANZ  
FERNANDEZ  
IÑIGO -  
52367115W**

Firmado digitalmente  
por SANZ FERNANDEZ  
IÑIGO - 52367115W  
Fecha: 2025.06.23  
14:11:01 +02'00'





# MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER  
PLAN DE NEGOCIO DE PROPUESTA DE MEJORA  
ENERGÉTICA DE INSTALACIÓN

Autor: Carmen Banqueri Camy

Director: Íñigo Sanz Fernández

Madrid

# Agradecimientos

Quisiera agradecer especialmente a mi director, Íñigo Sanz Fernández, por su dedicación, guía y apoyo durante todo el desarrollo de este trabajo. Agradezco también a mi familia, por su respaldo constante a lo largo del máster, y por ser un pilar fundamental en esta etapa. Finalmente, expreso mi gratitud a la Universidad Pontificia Comillas por ofrecer una formación académica rigurosa y un entorno que fomenta el crecimiento profesional y personal.



# PLAN DE NEGOCIO DE PROPUESTA DE MEJORA ENERGÉTICA DE INSTALACIÓN

**Autor:** Banqueri Camy, Carmen.

Director: Sanz Fernández, Íñigo.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## RESUMEN DEL PROYECTO

Desarrollo del plan de negocio para la mejora energética de una vivienda unifamiliar en Alicante, incorporando aislamiento térmico, bomba de calor aerotérmica, iluminación LED e instalación fotovoltaica. La propuesta permite reducir el consumo energético anual, con beneficios económicos, ambientales y replicabilidad en viviendas similares.

**Palabras clave:** sostenibilidad, eficiencia energética, viabilidad económica

### 1. Introducción

Este trabajo evalúa la viabilidad técnica y económica de una propuesta de mejora energética en una vivienda unifamiliar situada en Alicante. El estudio parte del análisis del consumo energético real y del comportamiento de los usuarios, en un contexto climático mediterráneo.

A partir de datos reales de uso y consumo, se desarrolla una propuesta de intervención adaptada a las condiciones climáticas, constructivas y características propias de la vivienda. El estudio combina el enfoque técnico con la evaluación económica, integrando todas las actuaciones en un plan de negocio que permite valorar su viabilidad y escalabilidad.

### 2. Definición del proyecto

El proyecto plantea una intervención energética integral basada en cuatro medidas: mejora del aislamiento, instalación de bomba de calor aerotérmica, sustitución de luminarias por LED e incorporación de paneles fotovoltaicos. Estas actuaciones se evalúan tanto técnica como económicamente dentro de un plan de negocio orientado a maximizar el ahorro energético y garantizar la viabilidad de la inversión.



Ilustración 1 - Esquema de la bomba aerotérmica e instalación fotovoltaica [1]

### **3. Descripción del modelo/sistema/herramienta**

El estudio se apoya en herramientas específicas para la evaluación técnico-económica de cada medida propuesta. Se utiliza el software Saunier Duval® para el dimensionamiento de la bomba de calor aerotérmica, y PVSyst para el diseño y simulación de la instalación fotovoltaica según la radiación solar local y el perfil de consumo de la vivienda. La rentabilidad de las actuaciones se analiza mediante indicadores económicos como el periodo de retorno, el ahorro acumulado a largo plazo y la comparación de escenarios de inversión.

### **4. Resultados**

La aplicación conjunta de las cuatro propuestas permite reducir el consumo energético anual en 9.512 kWh, lo que equivale a una disminución aproximadamente del 55% respecto a la situación inicial. La inversión total asciende a 30.788 €, y se estima un periodo de retorno de 15 años.

### **5. Conclusiones**

Los resultados confirman que es viable y rentable acometer una rehabilitación energética integral en viviendas unifamiliares situadas en climas cálidos como el de Alicante. La combinación de tecnologías pasivas y activas permite reducir significativamente el consumo, mejorar el confort térmico y disminuir el impacto ambiental. Además, la estructura del plan de negocio facilita la toma de decisiones y la posible replicación del modelo en otras viviendas similares, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia energética.

### **6. Referencias**

- [1] VectorMine. (n.d.). *Heat pump system with solar panels for water heating outline diagram: Labeled educational scheme and technical drawing for plumbing installation*  
[Vector illustration]

# BUSINESS PLAN FOR A BUILDING ENERGY RETROFIT PROPOSAL

**Author: Banqueri Camy, Carmen.**

Supervisor: Sanz Fernández, Íñigo.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## ABSTRACT

Development of a business plan for the energy improvement of a single-family home in Alicante, incorporating thermal insulation, an aerothermal heat pump, LED lighting, and a photovoltaic system. The proposed solution achieves an annual energy consumption reduction, with economic, environmental, and replicable benefits for similar residential buildings

**Keywords:** sustainability, energy efficiency, economic feasibility

## 1. Introduction

This project assesses the technical and economic feasibility of an energy efficiency upgrade for a single-family house located in Alicante. The study is based on an analysis of actual energy consumption and user behavior, within a Mediterranean climate context.

Using real data on usage and consumption, an intervention strategy is developed and tailored to the climatic, structural, and operational conditions of the dwelling. The study combines a technical approach with economic evaluation, integrating all proposed measures into a business plan that assesses their viability and scalability.

## 2. Project definition

The project proposes a comprehensive energy retrofit based on four key measures: improved insulation, installation of an aerothermal heat pump, replacement of lighting with LED technology, and integration of photovoltaic panels. These actions are evaluated from both a technical and economic standpoint, within a business plan aimed at maximizing energy savings and ensuring investment viability.



Ilustración 2 - Esquema de la bomba aerotérmica e instalación fotovoltaica [1]

### **3. Description of the model/system/tool**

The study relies on specific tools for the technical and economic evaluation of each proposed measure. Saunier Duval® software is used to size the aerothermal heat pump, and PVSyst is employed to design and simulate the photovoltaic system based on local solar radiation and the household's consumption profile. Profitability is assessed through key financial indicators such as payback period, long-term cumulative savings, and investment scenario comparisons.

### **4. Results**

The combined implementation of the four proposed measures reduces the annual energy consumption by 9,512 kWh, representing an approximate decrease of 55% compared to the initial scenario. The total investment amounts to €30,788, with an estimated payback period of 15 years.

### **5. Conclusions**

The results confirm the technical and financial viability of undertaking a comprehensive energy retrofit in single-family homes located in warm climates such as Alicante. The combination of passive and active technologies significantly reduces consumption, improves thermal comfort, and lowers environmental impact. Moreover, the business plan structure supports informed decision-making and facilitates replication of the model in similar housing contexts, aligning with sustainability and energy efficiency goals.

### **6. References**

[1] VectorMine. (n.d.). *Heat pump system with solar panels for water heating outline diagram: Labeled educational scheme and technical drawing for plumbing installation* [Vector illustration]

## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>9</b>
1.1 Estado de la cuestión .....	10
1.2 Motivación .....	13
1.3 Objetivos del proyecto.....	13
<b>Capítulo 2. Análisis de la instalación .....</b>	<b>16</b>
2.1 Descripción de la vivienda .....	16
2.1.1 Características generales.....	16
2.1.2 Ubicación y condiciones climáticas .....	16
2.1.3 Dimensiones y distribución de espacios.....	20
2.2 Consumo energético actual .....	25
2.2.1 Historial de consumo.....	25
2.2.2 Costes energéticos actuales.....	29
2.2.3 Patrones de uso y comportamiento .....	30
<b>Capítulo 3. Propuesta de mejoras .....</b>	<b>35</b>
3.1 Evaluación de la eficiencia actual .....	35
3.1.1 Identificación de ineficiencias y puntos críticos.....	36
3.1.2 Mejora del aislamiento.....	37
3.1.3 Implementación de una bomba de calor aerotérmica .....	42
3.1.4 Instalación de paneles solares.....	46
3.1.5 Mejora de la iluminación .....	49
<b>Capítulo 4. Bomba aerotérmica .....</b>	<b>53</b>
4.1 Introducción y fundamentos de la bomba Aerotérmica.....	53
4.2 Aplicación específica la vivienda.....	54
4.2.1 Evaluación de la infraestructura actual.....	55
4.2.2 Diseño del sistema.....	55
4.2.3 Adaptaciones estructurales necesarias .....	57
4.3 Impacto económico .....	57
4.4 Cálculos y consideraciones .....	59
4.4.1 Aplicación a la vivienda estudiada.....	60

4.5 Software Sanier Duval ®.....	64
<b>Capítulo 5. Instalación fotovoltaica.....</b>	<b>68</b>
5.1 Elementos de la instalación fotovoltaica.....	68
5.1.1 Módulos fotovoltaicos .....	68
5.1.2 Inversor .....	71
5.2 Optimización del recurso solar.....	73
5.2.1 Análisis radiación solar .....	73
5.2.2 Base de cálculo de optimización y dimensionamiento .....	75
5.3 Impacto económico .....	80
<b>Capítulo 6. Plan de negocio .....</b>	<b>83</b>
6.1 Introducción.....	83
6.2 Objetivos del plan de negocio .....	84
6.3 Análisis de mercado .....	85
6.3.1 Análisis DAFO.....	85
6.4 Propuesta de valor .....	86
6.5 Plan de operaciones .....	87
6.5.1 Fases del proyecto.....	88
<b>Capítulo 7. Viabilidad económica.....</b>	<b>92</b>
7.1 Mejora del aislamiento .....	92
7.2 Mejora de la iluminación.....	94
7.3 Instalación de una bomba de calor aerotérmica.....	97
7.4 Instalación de paneles solares.....	100
7.5 Evaluación conjunta de todas las mejoras .....	103
<b>Capítulo 8. Conclusiones.....</b>	<b>106</b>
<b>Capítulo 9. Posibles acciones futuras .....</b>	<b>110</b>
<b>Capítulo 10. Bibliografía.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXO I: Fichas técnicas.....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXO II: Informe PVSYST.....</b>	<b>121</b>

***ANEXO III: ODS* ..... 122**

## *Índice de figuras*

Ilustración 1 - Esquema de la bomba aerotérmica e instalación fotovoltaica [1].....	7
Ilustración 2 - Esquema de la bomba aerotérmica e instalación fotovoltaica [1].....	9
Ilustración 3: Ubicación de la vivienda en el mapa de España .....	17
Ilustración 4: Ubicación de la vivienda en el mapa de Alicante .....	17
Ilustración 5: Vista de la planta de la vivienda.....	18
Ilustración 6: Climograma de Alicante con datos de 1990-2022 [Elaboración propia] .....	20
Ilustración 7: Plano planta baja parte izquierda.....	22
Ilustración 8: Plano planta baja parte derecha .....	22
Ilustración 9: Plano primera planta parte izquierda.....	23
Ilustración 10: Plano primera planta parte derecha .....	23
Ilustración 11: Plano del sótano parte izquierda.....	24
Ilustración 12: Plano del sótano parte derecha .....	25
Ilustración 13: Consumo de la vivienda en kWh en el periodo marzo 2021-mayo 2022....	26
Ilustración 14: Consumo de la vivienda en kWh en el periodo marzo 2022-mayo 2023....	26
Ilustración 15: Consumo de la vivienda en kWh en el periodo marzo 2023-mayo 2024....	26
Ilustración 16: Costes energéticos mayo 2024 .....	29
Ilustración 17: Costes energéticos marzo 2024 .....	29
Ilustración 18: Costes energéticos mayo 2023 .....	30
Ilustración 19: Coeficientes de simultaneidad según periodo [Elaboración propia].....	32
Ilustración 20: Impacto ambiental de la vivienda según la comercializadora.....	35
Ilustración 21: Vidrio de doble acristalamiento [9].....	38
Ilustración 22: Representación de las ventajas del doble acristalamiento [10] .....	38
Ilustración 23: Ciclo termodinámico bomba de calor [12].....	43
Ilustración 24: Esquema conexión componentes [13].....	46
Ilustración 25: Instalación de paneles fotovoltaicos [14] .....	47
Ilustración 26: Conexión mediante inversor [15] .....	49
Ilustración 27: Comparativa según tipo de iluminación [17] .....	50
Ilustración 28: Vista de la planta de la vivienda.....	54

Ilustración 29: Código Técnico de la Edificación CTE DB-HE. Anejo F [19].....	56
Ilustración 30: Mapa de España con la clasificación de zonas climáticas [26].....	63
Ilustración 31: Datos introducidos en el software. ....	64
Ilustración 32: Resultados del estudio del software .....	64
Ilustración 33: Bomba GENIA AIR MAX 12.....	65
Ilustración 34: Demanda y consumo de las bombas en kWh anualmente en función de la temperatura exterior.....	65
Ilustración 35: Consumo mensual de las bombas en kWh .....	66
Ilustración 36: Resultados informe software Saunier Duval® .....	66
Ilustración 37: Comparativa económica entre los distintos métodos .....	67
Ilustración 38: Efecto fotovoltaico [28] .....	68
Ilustración 39: Panel policristalino [29] .....	70
Ilustración 40: Panel monocristalino [29] .....	70
Ilustración 41: Panel amorfo [29].....	70
Ilustración 42: Inversor Huawei SUN2000-3KTL-L1 3000W [34].....	72
Ilustración 43: Estimaciones mensuales de la irradiación solar. [Fuente PVGIS] .....	75
Ilustración 44: Base de datos programa PVSyst.....	76
Ilustración 45. Latitud, longitud y altitud en PVSyst .....	76
Ilustración 46: Mapa de calor [Fuente: PVSyst] .....	77
Ilustración 47: Ángulos de inclinación y azimut en PVSyst .....	78
Ilustración 48: Datos de consumo de la vivienda en PVSyst a partir del histórico de consumo .....	78
Ilustración 49: Panel Solar Tiger Neo N-type 54HL4R-(V) [36].....	79
Ilustración 50: Optimización de paneles solares e inversor con PVSyst.....	80
Ilustración 51: Gráfico temporal de la inversión en el doble acristalamiento reflejando su punto de inflexión [Elaboración propia].....	93
Ilustración 52: Gráfico temporal de la inversión en la mejora de iluminación reflejando su punto de inflexión [Elaboración propia].....	96
Ilustración 53: Gráfico temporal de la inversión en la bomba aerotérmica reflejando su punto de inflexión [Elaboración propia].....	98

Ilustración 54: Gráfico temporal de la inversión en paneles solares reflejando su punto de inflexión [Elaboración propia].....	101
Ilustración 55: Gráfico temporal de la inversión conjunta de todas las mejoras reflejando su punto de inflexión [Elaboración propia].....	105

## *Índice de tablas*

Tabla 1: Media de datos meteorológicos Alicante 1990-2022 [Elaboración propia].....	19
Tabla 2: Coeficientes de simultaneidad según periodo [Elaboración propia].....	31
Tabla 3: Características bomba según tipo y clima [24] .....	62
Tabla 4: Comparativa tipos más comunes de módulos fotovoltaicos [27][29].....	70
Tabla 5: Especificaciones técnicas Inversor Huawei SUN2000-3KTL-L1 3000W [34] ....	72
Tabla 6: Análisis mensual radiación solar [Fuente: PVGIS].....	74
Tabla 7: Parámetros relevantes para el estudio solar [Fuente: PVSyst] .....	77
Tabla 8: Especificaciones Panel Solar Tiger Neo N-type 54HL4R-(V) [36].....	79
Tabla 9: Cronograma de las fases del proyecto [Elaboración propia].....	91
Tabla 10: Hipótesis inicial para la mejora del aislamiento [Elaboración propia] .....	93
Tabla 11: Plan financiero a 10 años tras instalación del doble acristalamiento [Elaboración propia].....	93
Tabla 12: Hipótesis inicial para la mejora de la iluminación [Elaboración propia] .....	95
Tabla 13: Plan financiero a 10 años tras la mejora de iluminación [Elaboración propia]...	95
Tabla 14: Hipótesis inicial instalación bomba de calor aerotérmica [Elaboración propia].	97
Tabla 15: Plan financiero a 10 años tras la instalación de la bomba aerotérmica [Elaboración propia].....	97
Tabla 16: Plan financiero a 20 años tras la instalación de la bomba aerotérmica [Elaboración propia].....	98
Tabla 17: Hipótesis inicial instalación de paneles solares [Elaboración propia] .....	100
Tabla 18: Plan financiero a 10 años tras la instalación de los paneles solares [Elaboración propia].....	100
Tabla 19: Plan financiero a 20 años tras la instalación de los paneles solares [Elaboración propia].....	102
Tabla 20: Inversión inicial del conjunto de todas las mejoras [Elaboración propia] .....	103
Tabla 21: Ahorro energético del conjunto de todas las mejoras [Elaboración propia] .....	104

## *Índice de ecuaciones*

Ecuación 1: Inversión inicial mejora de acristalamiento [Elaboración propia].....	39
Ecuación 2: Ahorro de consumo energético debido a la mejora de aislamiento [Elaboración propia].....	39
Ecuación 3: Ahorro económico debido a la mejora de aislamiento [Elaboración propia] ..	40
Ecuación 4: Ecuación del LCC [11] .....	40
Ecuación 5: Cálculo de los costes de mantenimiento acumulados [Elaboración propia] ...	41
Ecuación 6: Cálculo del valor presente de los ahorros [Elaboración propia].....	41
Ecuación 7: Cálculo del LCC [Elaboración propia] .....	41
Ecuación 8: Inversión inicial mejora iluminación [Elaboración propia].....	51
Ecuación 9: Consumo estimado bombillas LED [Elaboración propia].....	52
Ecuación 10: Consumo estimado bombillas fluorescentes [Elaboración propia] .....	52
Ecuación 11: Ahorro en kWh debido a la mejora en iluminación [Elaboración propia] ....	52
Ecuación 12: Ahorro en € debido a la mejora en iluminación [Elaboración propia] .....	52
Ecuación 13: Volumen depósito ACS [Elaboración propia].....	56
Ecuación 14: Cantidad de energía renovable suministrada por una bomba de calor (E <sub>RES</sub> ) [Elaboración propia] .....	59
Ecuación 15: Calor útil producido por la bomba [Elaboración propia] .....	59
Ecuación 16: Cálculo coeficiente de rendimiento estacional [Elaboración propia] .....	60
Ecuación 17: Potencia nominal mínima de la bomba de la vivienda [Elaboración propia]	62
Ecuación 18: Potencia nominal máxima de la bomba de la vivienda [Elaboración propia]	63
Ecuación 19: Rango valores potencia nominal bomba de la vivienda [Elaboración propia] .....	63
Ecuación 20: Calor útil producido por la bomba de la vivienda [Elaboración propia] .....	63
Ecuación 21: Energía renovable suministrada mediante la bomba de la vivienda [Elaboración propia].....	63
Ecuación 22: Ahorro en € debido a la instalación de paneles solares [Elaboración propia]	81
Ecuación 23: Retorno de la inversión en paneles solares [Elaboración propia].....	81

## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo de Fin de Máster se centra en la elaboración de un plan de negocio para una propuesta de mejora energética en una instalación específica, en este caso, una vivienda familiar ubicada en la ciudad de Alicante (España). Este proyecto surge de la necesidad de optimizar el consumo energético y mejorar la eficiencia de las instalaciones residenciales.

La vivienda seleccionada para el estudio es representativa de un amplio sector de residencias en regiones costeras mediterráneas, donde las condiciones climáticas demandan un enfoque especializado en la gestión y ahorro energético. La dirección exacta de la vivienda de estudio es Calle Duque de Rivas 3, Alicante, con una latitud de  $38,365^\circ$  y una longitud de  $-0,456^\circ$ .

Alicante, caracterizada por su clima cálido y extensas horas de sol, presenta una oportunidad única para la implementación de tecnologías de ahorro energético y energías renovables, como la solar térmica y fotovoltaica, que pueden ser clave en la reducción de consumos energéticos en el ámbito doméstico.

El plan de negocio abordará un análisis detallado del funcionamiento actual de la vivienda, evaluando aspectos como el aislamiento térmico, la eficiencia de los sistemas de calefacción y refrigeración, y el uso general de energía en el día a día. A partir de este análisis, se propondrán mejoras concretas y se calculará su impacto tanto en la reducción de consumo energético como en la viabilidad económica y ambiental del proyecto.

Este enfoque no solo pretende contribuir al bienestar y economía de los habitantes de la vivienda mediante la recopilación de datos concretos, como el consumo energético en kW y las facturas mensuales en euros, sino también ofrecer opciones claras de posibles mejoras. Asimismo, se busca servir de modelo para futuras iniciativas de mejora energética en el sector residencial, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible.

A través de la ejecución de este Trabajo de Fin de Máster, se espera establecer un precedente para la adopción de medidas energéticas eficientes que puedan ser replicadas en otras viviendas y comunidades en Alicante y regiones similares.

## ***1.1 ESTADO DE LA CUESTIÓN***

En la actualidad, el sector residencial enfrenta desafíos significativos en términos de eficiencia energética, orientados principalmente hacia la reducción de emisiones para alinearse con las agendas de sostenibilidad global. Este contexto impulsa la búsqueda de soluciones siempre ligadas a las mejoras de eficiencia energética. Este capítulo revisa las tecnologías y estrategias más relevantes que se están implementando para mejorar la eficiencia energética en viviendas, destacando ejemplos prácticos y marcos normativos que podrían influir significativamente en el proyecto propuesto. A través de esta revisión, se busca comprender cómo las innovaciones tecnológicas y los cambios normativos están modelando las prácticas actuales y futuras en el diseño y renovación de espacios habitacionales, con el objetivo último de contribuir a un futuro más sostenible y menos dependiente de energías contaminantes.

En primer lugar, el aislamiento térmico juega un papel crucial en la reducción de la demanda energética para climatización. Navacerrada et al. (2021): “El uso de materiales aislantes es el primer paso para reducir la energía requerida para mantener una buena temperatura en el interior de un edificio y alcanzar la eficiencia energética. El objetivo es diseñar materiales para aislamiento acústico y térmico baratos, biodegradables y reciclables como los basados en fibras naturales”[1]. En su trabajo se estudian las propiedades térmicas y acústicas de tejidos basados en fibras de fique, de coco y de algodón reciclado a partir de tejido denim. A su vez, se proponen posibles usos para los materiales fabricados basados en las exigencias del Código Técnico.

Asimismo, los sistemas de climatización han evolucionado hacia opciones más eficientes como las bombas de calor aire-agua que ofrecen una solución sostenible al ser capaces de proporcionar calefacción, refrigeración y agua caliente con un menor consumo energético. Se espera que la implementación de estos sistemas permita una reducción aproximada del consumo energético del 20-30% en comparación con sistemas tradicionales.

Qian et al. (2024) realizan un estudio técnico-económico profundizando en la energía geotérmica, una prometedora fuente renovable, para desarrollar cuatro sistemas distintos de triple generación en cuanto a eficiencia económica y rentabilidad de la inversión.

Este estudio no solo subraya el potencial de los sistemas geotérmicos de trigeneración para satisfacer las necesidades de energía, calor y agua, sino que también pone de relieve sus importantes beneficios económicos y su atractivo para la inversión, ofreciendo argumentos convincentes para su adopción en estrategias energéticas sostenibles [2].

En cuanto a la iluminación y los electrodomésticos, el uso de tecnología LED y los certificados de ahorro energético sigue siendo la norma para reducir el consumo eléctrico. Un Certificado de Ahorro Energético (CAE) es un documento electrónico que garantiza que, tras llevar a cabo una actuación de eficiencia energética, se ha conseguido un nuevo ahorro de energía final equivalente a 1 kWh. De esta forma, si se acomete una actuación que implica un nuevo ahorro anual de 500 kWh, se podrán obtener 500 CAE. Este instrumento permite monetizar los ahorros energéticos, recuperando parte del coste de las inversiones en eficiencia energética (cambio de iluminación, mejora del aislamiento térmico, renovación de equipos industriales o domésticos, etc.), ya que el usuario final podrá recibir una contraprestación si vende los ahorros obtenidos para su posterior certificación mediante el Sistema de CAE. Estos productos no solo disminuyen significativamente la cantidad de energía utilizada, sino que también prolongan la vida útil de cada dispositivo [3], al tiempo que mejoran la sensación de confort del usuario, quien percibe un entorno más agradable y funcional como resultado de las mejoras implementadas.

La integración de paneles solares fotovoltaicos y térmicos es especialmente pertinente en Alicante debido a su alta incidencia solar. Los avances en la eficiencia de estos paneles permiten una recuperación más rápida de la inversión inicial, promoviendo su adopción entre los propietarios de viviendas. Además, los sistemas de almacenamiento de energía, como las baterías de ion-litio, están comenzando a implementarse con mayor frecuencia para maximizar el aprovechamiento del autoconsumo solar.

La domótica ha transformado la gestión energética en las viviendas mediante el uso de sistemas inteligentes que ajustan el consumo de energía en tiempo real. Estos sistemas pueden controlar automáticamente aspectos como la iluminación, la temperatura y otros dispositivos electrónicos, adaptándolos según las necesidades del momento y las preferencias de los usuarios. Sin embargo, Xavier et al. (2022) explican cómo en el entorno del Internet de las Cosas (IoT), los recursos informáticos disponibles en la nube a menudo son incapaces de satisfacer las limitaciones de latencia de las aplicaciones de tiempo crítico debido a la gran distancia entre la nube y las fuentes de datos [4]. Es por esto, que este avance de mejora energética se va a quedar fuera de este Trabajo de Fin de Máster debido a su complejidad y encontrarse fuera del alcance esperado.

Los estudios de caso sobre la implementación de estas tecnologías en viviendas similares proporcionan una perspectiva valiosa sobre los desafíos y beneficios reales de estas implementaciones. Por ejemplo, el estudio de Build for Efficiency [5] demuestra los beneficios técnicos y económicos de la rehabilitación de edificios en España utilizando materiales aislantes de alto rendimiento.

Este análisis del estado de la cuestión revela que la integración de tecnologías avanzadas de eficiencia energética en viviendas no solo es viable sino esencial para enfrentar los retos energéticos actuales y futuros. La implementación de estas tecnologías en la vivienda de Alicante podría servir como modelo para futuras mejoras en la región.

## ***1.2 MOTIVACIÓN***

La vivienda objeto de estudio pertenece a un familiar que ha experimentado un incremento considerable en los costes de energía, con un aumento aproximado del 19% en el consumo energético en los últimos años, situación que resalta una problemática común en muchas residencias de la actualidad. Este escenario destaca la urgencia y relevancia de implementar soluciones efectivas que no solo promuevan un uso más racional y eficiente de la energía, sino que además contribuyan a la disminución del impacto ambiental y al alivio económico de los hogares.

Esta es la razón de motivación de realizar este Trabajo de Fin de Máster, ayudar a muchas personas que se encuentren en dicha situación y conseguir una mayor sostenibilidad en las viviendas actuales.

## ***1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO***

El proyecto tiene como objetivo principal diseñar un plan de negocio que mejore la eficiencia energética de una vivienda específica, reduciendo su consumo energético y optimizando su rendimiento. Esta iniciativa busca no solo proporcionar soluciones prácticas y rentables al propietario, sino proponer mejoras que también puedan servir de ejemplo para futuras implementaciones en otras viviendas similares. Los objetivos específicos dentro del trabajo son: análisis exhaustivo del consumo energético actual y del funcionamiento de los sistemas instalados, desarrollo de propuestas concretas para mejorar la eficiencia energética, evaluación de la viabilidad económica y los beneficios ambientales, creación de un plan de negocio completo e identificación y sistematización de las lecciones aprendidas para que puedan ser empleadas en otros proyectos.

El primer objetivo consiste en realizar un análisis exhaustivo del consumo energético actual y del funcionamiento de los sistemas instalados en la vivienda. Este estudio detallado permitirá identificar las principales fuentes de ineficiencia y establecer una línea base desde la cual medir el impacto de las intervenciones que se propongan. La evaluación incluirá la revisión de facturas de energía, el uso de dispositivos de medición y análisis de comportamientos de consumo. Este objetivo contribuye al ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y al ODS 12 (Producción y consumo responsables), ya que fomenta un uso más racional y eficiente de la energía.

El segundo objetivo se centra en el desarrollo de propuestas concretas para mejorar la eficiencia energética de la vivienda. Esto incluirá la actualización de aislamiento térmico, la optimización de los sistemas de calefacción y refrigeración, y la integración de soluciones basadas en energías renovables. Cada propuesta se diseñará teniendo en cuenta las especificidades específicas de la vivienda, buscando el mayor beneficio energético y económico. Este objetivo está alineado con el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y el ODS 13 (Acción por el clima), al promover medidas de eficiencia energética y energías renovables para reducir emisiones de CO<sub>2</sub>.

Como tercer objetivo, se realizará una evaluación de la viabilidad económica y los beneficios ambientales de las mejoras sugeridas. Este análisis incluirá la estimación de los costes que supongan la implementación de las propuestas, el análisis de retorno de inversión, la cuantificación del ahorro energético y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Este objetivo se vincula al ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura) y al ODS 13 (Acción por el clima), al evaluar soluciones sostenibles desde una perspectiva económica y ambiental.

El cuarto objetivo implica la creación de un plan de negocio completo que detalle los pasos para la implementación de las mejoras energéticas. Este plan incluirá cronogramas, presupuestos y estrategias de financiación, proporcionando un marco claro para la ejecución práctica del proyecto. Este objetivo contribuye al ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), al ofrecer herramientas prácticas para fomentar la sostenibilidad en el entorno urbano y residencial.

El quinto objetivo consiste en documentación de las lecciones aprendidas durante el desarrollo del proyecto. Este objetivo tiene como propósito identificar los desafíos encontrados, las soluciones aplicadas y las estrategias exitosas, generando un conocimiento práctico que pueda ser transferido a otros proyectos similares en contextos residenciales. Este objetivo está alineado con el ODS 4 (Educación de calidad), al fomentar la transferencia de conocimiento, y con el ODS 17 (Alianzas para lograr los objetivos), al compartir experiencias que pueden ser aplicadas en otros contextos.

## **Capítulo 2. ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN**

### ***2.1 DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA***

#### **2.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES**

El edificio objeto de estudio en este trabajo es una vivienda particular ubicada en la provincia de Alicante. La vivienda es una casa unifamiliar que se distribuye en tres plantas: planta baja, primer piso y sótano. El sótano incluye un garaje interior.

Además, la vivienda dispone de tres zonas exteriores diferenciadas: una piscina, un jardín y una terraza exterior. El jardín se extiende tanto en el nivel inferior como en el nivel bajo, mientras que la piscina y terraza se encuentran exclusivamente en el nivel bajo. La ocupación media de la vivienda es de 4,5 personas, lo que incluye tanto residentes permanentes como visitantes ocasionales.

La construcción de la vivienda se inició en el año 2016 y se llevó a cabo durante un período de 2 años. Finalmente, la obra fue concluida en el año 2018 momento en el cual fue inmediatamente habitada.

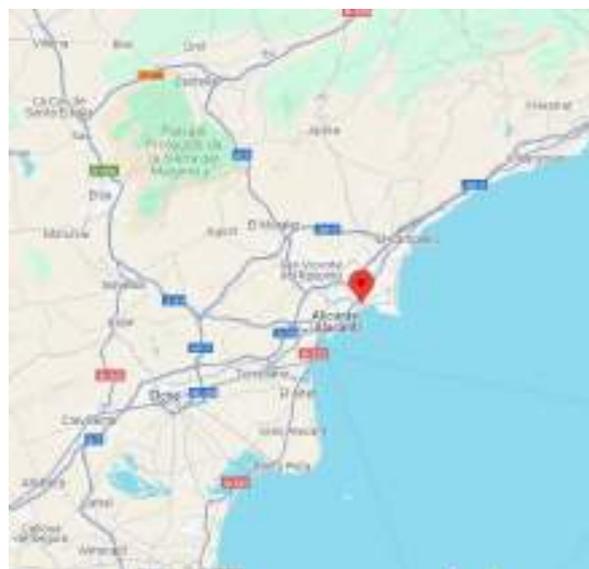
#### **2.1.2 UBICACIÓN Y CONDICIONES CLIMÁTICAS**

La vivienda se encuentra situada en la Calle Duque de Rivas, número 3, en la ciudad de Alicante. Esta ubicación se sitúa en la costa este de España, en la Comunidad Valenciana, con vistas al Mar Mediterráneo.



*Ilustración 3: Ubicación de la vivienda en el mapa de España*

La vivienda está ubicada al noreste del centro de Alicante con una elevada proximidad al mar y a áreas naturales como el Paisaje Protegido de la Sierra del Maigmó y la Sierra de Mariola.



*Ilustración 4: Ubicación de la vivienda en el mapa de Alicante*



*Ilustración 5: Vista de la planta de la vivienda*

Las condiciones climáticas, consecuentes de la ubicación de un edificio, son uno de los factores más importantes a considerar en cualquier análisis energético debido a su influencia directa en el consumo de energía para climatización, ventilación y otros sistemas. Alicante, situada en la costa este de España, disfruta de un clima mediterráneo semiárido, caracterizado por veranos calurosos y secos e inviernos suaves y relativamente húmedos.

La temperatura media anual en Alicante es de aproximadamente 18°C. Durante los meses de verano, las temperaturas medias suelen oscilar entre 26°C y 32°C, aunque en ocasiones pueden llegar a superar los 35°C. Por otro lado, durante los meses de invierno, las temperaturas medias varían entre 11°C y 17°C, con mínimas que rara vez descienden por debajo de los 6°C [6].

En lo relativo a las precipitaciones de la ciudad, la media anual es relativamente baja, situándose alrededor de 300 mm. Las lluvias se concentran principalmente en los meses de otoño y primavera. Los meses de verano son especialmente secos [7]. Ocasionalmente, hay ciertos episodios de lluvias torrenciales y tormentas, especialmente en otoño, debido a la gota fría o DANA (Depresión Aislada en Niveles Altos) [8].

Un factor muy relevante en la ciudad de Alicante, debido a su proximidad al mar, es la humedad. La humedad relativa es bastante estable a lo largo del año, siendo ligeramente más alta en invierno que en verano. Los niveles de humedad media suelen rondar entre 60-70%. Durante el verano, la humedad suele reducirse suavemente, aunque las brisas marinas pueden incrementar esta cifra ocasionalmente [6].

Alicante es conocida por su alta cantidad de horas de sol al año, promediando alrededor de 3.600 horas de sol anuales. Factor de alta importancia para nuestro posterior estudio de análisis energético. Los días de verano son largos y soleados, con una media de 10 a 12 horas de sol al día. Incluso en invierno, Alicante disfruta de un promedio de 7 a 8 horas de sol al día [6].

En relación con el viento, la región experimenta ráfagas predominantes del este y sureste, especialmente durante los meses más cálidos. La brisa marina es común en verano, proporcionando un efecto de enfriamiento natural que puede reducir la necesidad de refrigeración. En ocasiones, pueden producirse rachas de viento más intensas, especialmente durante tormentas y episodios de gota fría [8].

	T <sub>media</sub> (°C)	Prec medias (mm)	HR	H <sub>sol</sub> (h)
Enero	11,8	20	69%	7,7
Febrero	12,3	20	66%	8,3
Marzo	14,1	20	64%	9,6
Abril	16,2	30	64%	10,9
Mayo	19,3	30	64%	12,1
Junio	23,1	10	62%	12,8
Julio	25,8	5	64%	12,4
Agosto	26,4	5	67%	11,4
Septiembre	23,8	40	69%	9,9
Octubre	20	45	72%	8,8
Noviembre	15,6	35	69%	8,0
Diciembre	12,7	25	72%	7,4

*Tabla 1: Media de datos meteorológicos Alicante 1990-2022 [Elaboración propia]*

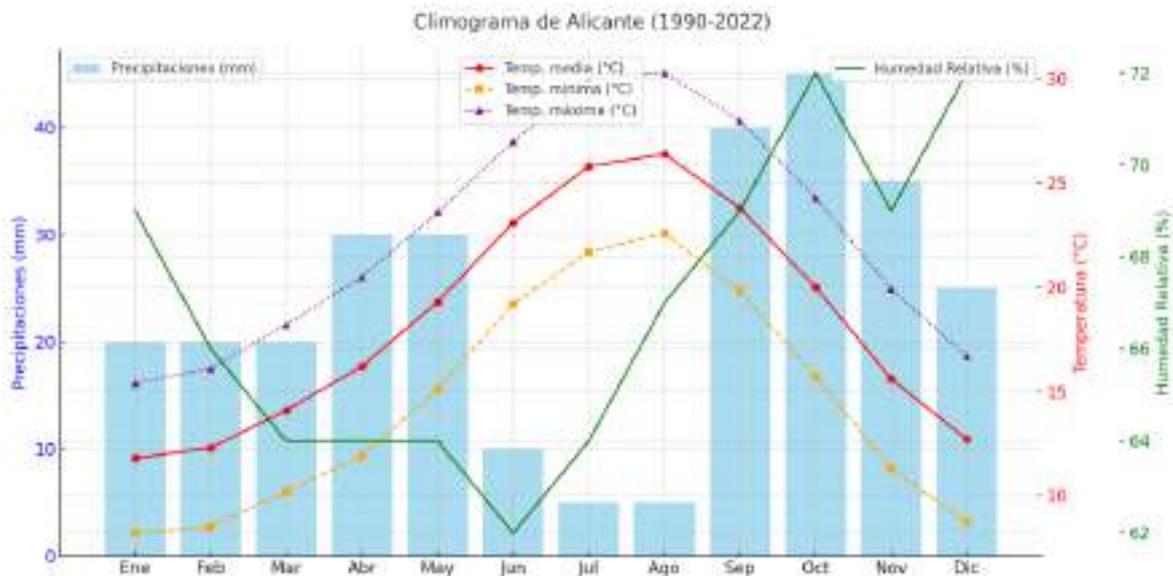


Ilustración 6: Climograma de Alicante con datos de 1990-2022 [Elaboración propia]

La ubicación de la vivienda, y el clima de Alicante presentan unas condiciones que, si se gestionan adecuadamente, pueden contribuir significativamente a la eficiencia energética de una vivienda.

### 2.1.3 DIMENSIONES Y DISTRIBUCIÓN DE ESPACIOS

La vivienda consta de tres plantas, incluyendo planta baja, primer piso y sótano. En conjunto, constituyen una superficie total construida de aproximadamente 566 metros cuadrados. La superficie total construida de una vivienda incluye todas las áreas construidas, abarcando muros interiores y exteriores, balcones, terrazas, garajes y trasteros. Por otro lado, la superficie útil de la vivienda se refiere únicamente al espacio habitable y aprovechable dentro de la vivienda, excluyendo los muros y áreas no habitables, midiendo aproximadamente 366 metros cuadrados.

Las tres plantas están interconectadas mediante un sistema de ascensor y una serie de escaleras. El ascensor proporciona una forma accesible y cómoda de moverse entre los distintos niveles, mientras que las escaleras ofrecen una alternativa práctica para el acceso vertical entre las plantas. Esta combinación de ascensor y escaleras asegura que cada planta sea fácilmente accesible desde cualquier otro nivel de la vivienda.

Es importante considerar que el tiro del ascensor podría influir en la circulación del aire y las condiciones climáticas entre las plantas. Dependiendo de la hermeticidad del sistema y las características del edificio, este fenómeno podría facilitar la transferencia de aire acondicionado o calefacción, así como posibles diferencias de humedad, entre los niveles. Esto subraya la importancia de un diseño eficiente para optimizar el confort térmico y minimizar posibles ineficiencias energéticas derivadas de esta interacción.

### ***2.1.3.1 Planta baja***

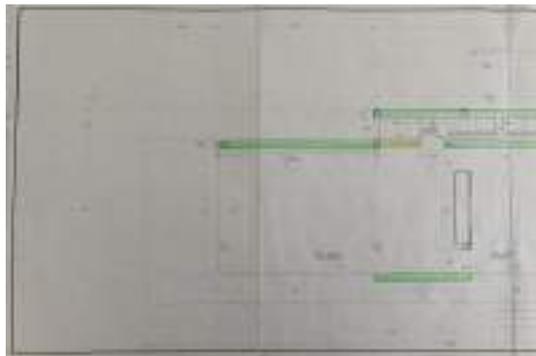
La planta baja es aquella que alberga la mayor parte de la vida común de la vivienda. En esta área se encuentran las principales zonas comunes donde los residentes pasan la mayor parte del tiempo, como el salón, el comedor, el recibidor y la cocina. Además, cuenta con 3 habitaciones, 2 baños y un aseo. Esta planta es el centro de la actividad diaria y social de la casa.

La superficie construida de la planta baja es de 234,50 m<sup>2</sup>, mientras que la superficie útil es de 199,30 m<sup>2</sup>. Desde una vista superior de la vivienda, en el borde derecho se encuentra la primera habitación. Tal como se mencionó anteriormente, hay tres dormitorios consecutivos, con dos baños intercalados entre ellos, todos unidos por un pasillo de 11,80 m<sup>2</sup>. Las dimensiones de los dormitorios son de 15,60 m<sup>2</sup>, 15,60 m<sup>2</sup> y 17,30 m<sup>2</sup>, respectivamente. Los baños tienen dimensiones de 5,60 m<sup>2</sup> y 6,50 m<sup>2</sup>. Cada habitación está diseñada para alojar a una persona, con la posibilidad de alojar a dos en caso de visitas.

Continuando con una vista superior y yendo de derecha a izquierda, a continuación de los dormitorios, se encuentra la cocina. Entre el último dormitorio y la cocina hay un distribuidor de 11,50 m<sup>2</sup>, que permite tanto el acceso a la cocina como la subida al primer piso o bajada al sótano a través de unas escaleras. La cocina presenta una superficie útil de 30 m<sup>2</sup>.

A la izquierda de la cocina se encuentran el aseo y el recibidor, con superficies de 4,15 m<sup>2</sup> y 21,25 m<sup>2</sup> respectivamente. Adyacente al aseo está el ascensor, que ocupa una superficie de 4,8 m<sup>2</sup> y facilita la conexión entre las tres plantas del edificio. En el extremo izquierdo de la planta baja se ubica el salón-comedor, que en conjunto tiene una superficie útil de 54 m<sup>2</sup>.

En resumen, desde una vista superior, los dormitorios y baños están alineados a la derecha, seguidos por un distribuidor que conecta con la cocina y las escaleras al primer piso. A la izquierda de la cocina se encuentran el aseo y el recibidor, y en el extremo izquierdo, el salón-comedor. Esta planta es clave para la actividad diaria y social de la casa.



*Ilustración 7: Plano planta baja parte izquierda*



*Ilustración 8: Plano planta baja parte derecha*

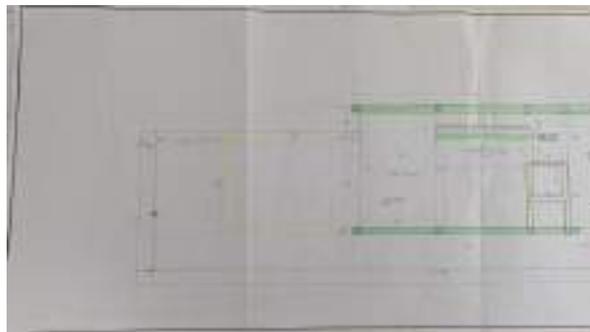
### **2.1.3.2 Primera Planta**

La primera planta posee unas dimensiones inferiores que la planta baja y alberga únicamente un dormitorio, un despacho, un baño, un aseo, un vestidor, una sala de estar y un solárium.

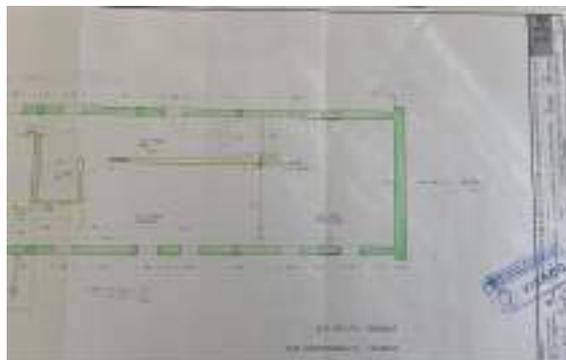
La superficie construida de la primera planta es de 133,50 m<sup>2</sup>, mientras que la superficie útil es de 103,60 m<sup>2</sup>. Desde una vista superior de la vivienda, el solárium se encuentra en el borde derecho, con una superficie de 28,50 m<sup>2</sup>. A la izquierda del solárium, y con acceso directo a él, se sitúan el dormitorio, el baño y el aseo, con superficies de 23,50 m<sup>2</sup>, 16 m<sup>2</sup> y 2,70 m<sup>2</sup> respectivamente.

Continuando con una vista superior y yendo de derecha a izquierda, se encuentra primero el vestidor, que tiene una superficie de 18,60 m<sup>2</sup>, seguido por el despacho, de 14 m<sup>2</sup> y el acceso al ascensor de 4,80 m<sup>2</sup>. El despacho está conectado a la sala de estar mediante un distribuidor que también da acceso a las escaleras que conectan la primera planta con la planta baja. Estas escaleras, con 17 peldaños, ocupan una superficie de 6 m<sup>2</sup> y permiten subir o bajar una altura de 3,10 m. La sala de estar, ubicada en el extremo izquierdo de la planta, tiene una superficie de 24,30 m<sup>2</sup>.

La primera planta, más pequeña que la planta baja, se distribuye desde una vista superior, con el solárium a la derecha, seguido por el dormitorio, el baño y el aseo. A continuación, se encuentran el vestidor y el despacho, que se conecta a la sala de estar mediante un distribuidor. Este distribuidor también da acceso a las escaleras que comunican con la planta baja.



*Ilustración 9: Plano primera planta parte izquierda*



*Ilustración 10: Plano primera planta parte derecha*

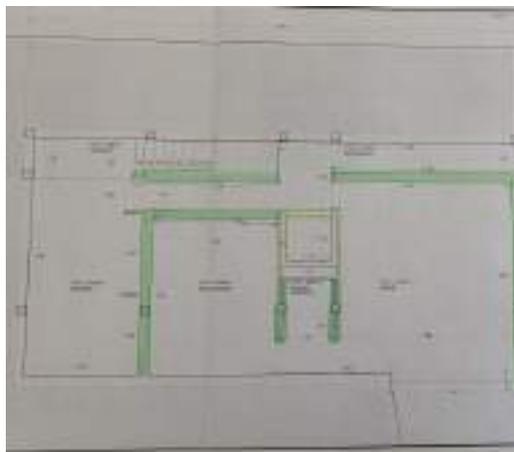
### 2.1.3.3 Sótano

La tercera y última planta de la vivienda es el sótano. En esta planta, es importante diferenciar no solo entre la superficie útil (166,50 m<sup>2</sup>) y la construida (198 m<sup>2</sup>), sino también definir la superficie útil computable, que es de 63,10 m<sup>2</sup>. A diferencia de la superficie útil general, la superficie útil computable excluye las áreas no habitables y de uso limitado.

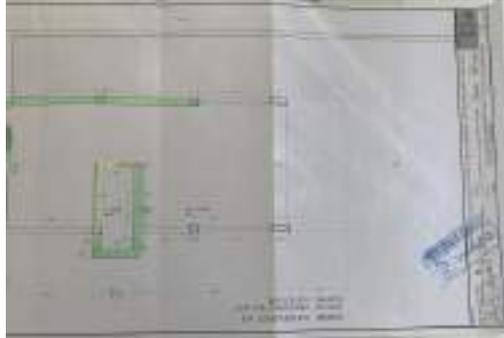
En el lado derecho del sótano se encuentra una sala destinada al uso común y zona de juegos, con una superficie de 57,75 m<sup>2</sup>, además de un baño de 5,35 m<sup>2</sup>. Seguido de esta área, hay un distribuidor de 14,30 m<sup>2</sup> que proporciona acceso al garaje, cuya superficie es de 27,25 m<sup>2</sup>.

A la izquierda del garaje se encuentra el acceso al ascensor, que ocupa una superficie de 4,80 m<sup>2</sup>, así como una sala destinada al uso de electrodomésticos, como lavadora o secadora, con una superficie de 19,50 m<sup>2</sup>. Finalmente, en el extremo izquierdo del sótano están el trastero, que tiene una superficie de 21 m<sup>2</sup>, y la conexión a las escaleras que comunican con la planta baja. Estas escaleras, que cuentan con 17 peldaños hasta la planta baja, ocupan una superficie de 8,60 m<sup>2</sup>.

El sótano es la última planta de la vivienda y cuenta con áreas diferenciadas. Una sala de juegos y un baño a la derecha, junto a un distribuidor que da acceso al garaje. A la izquierda del garaje se encuentra el acceso al ascensor y una sala para electrodomésticos. En el extremo izquierdo del sótano están el trastero y las escaleras que conectan con la planta baja.



*Ilustración 11: Plano del sótano parte izquierda*



*Ilustración 12: Plano del sótano parte derecha*

#### **2.1.3.4 Zonas exteriores**

Además de las tres plantas interiores, la vivienda cuenta con diversas zonas exteriores que enriquecen su funcionalidad y confort. Entre estas áreas se incluyen una piscina y un jardín.

La entrada principal de la vivienda está acompañada por una rampa que facilita el acceso al garaje y un pasillo que facilita el acceso a la vivienda.

## **2.2 CONSUMO ENERGÉTICO ACTUAL**

### **2.2.1 HISTORIAL DE CONSUMO**

El análisis del consumo energético de la vivienda en los últimos años, como se refleja en las gráficas adjuntas, muestra una variación significativa en los patrones de consumo de energía distribuida entre los periodos valle, llano, y punta. Estas gráficas permiten observar cómo ha evolucionado el consumo total en kilovatios-hora (kWh) en distintos momentos del día y a lo largo de los últimos años: 2021, 2022, y 2023.

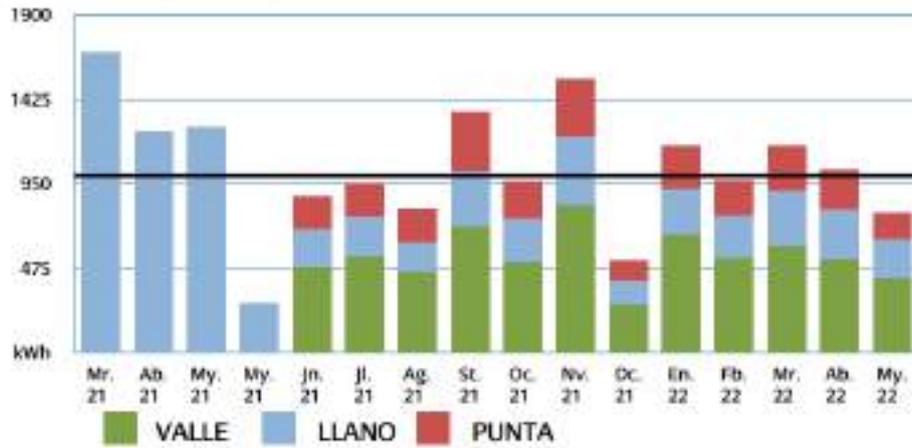


Ilustración 13: Consumo de la vivienda en kWh en el periodo marzo 2021-mayo 2022

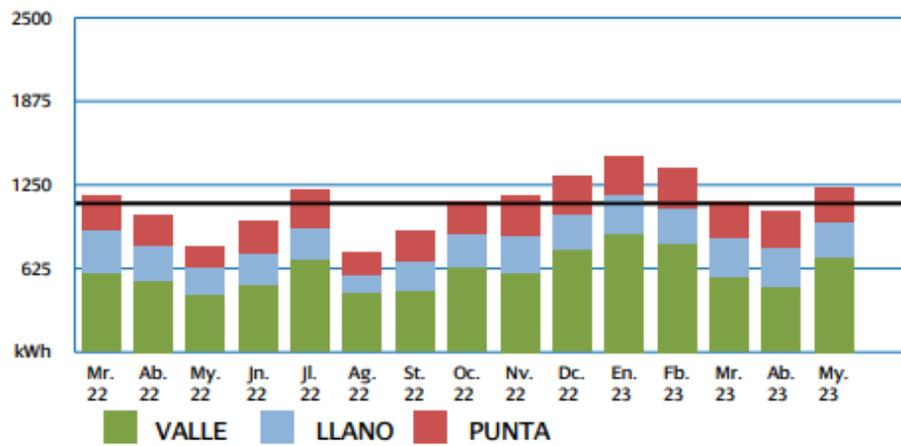


Ilustración 14: Consumo de la vivienda en kWh en el periodo marzo 2022-mayo 2023

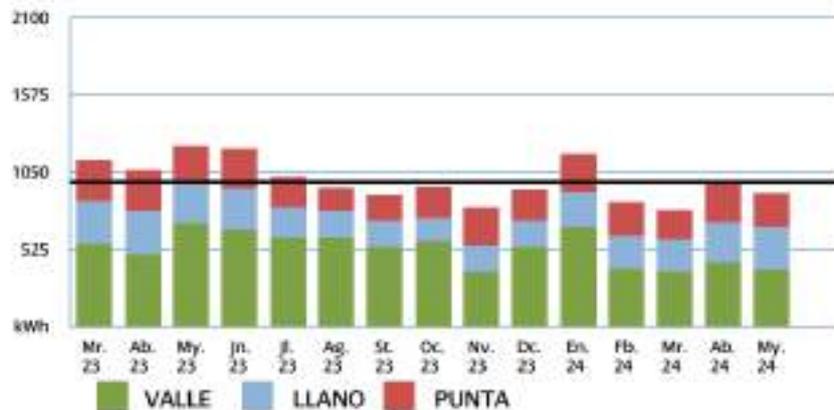


Ilustración 15: Consumo de la vivienda en kWh en el periodo marzo 2023-mayo 2024

En el periodo que abarca de marzo de 2021 a mayo de 2022, se aprecia una fluctuación notable del consumo total de energía. Se observa que los meses de mayor consumo fueron marzo y noviembre de 2021, con picos que superan los 1.425 kWh. Durante el año 2021, la tendencia de consumo parece ser relativamente estable, aunque se pueden observar meses como mayo que presenta una disminución notable en comparación con los meses de marzo y noviembre.

A principios de 2022, el consumo muestra una tendencia ligeramente más estable comparado con el año anterior, con una distribución más uniforme entre los meses de marzo de 2022 a mayo de 2022. Sin embargo, aún se observan fluctuaciones significativas entre los diferentes periodos de facturación (valle, llano, punta). El consumo durante el periodo representa una proporción relevante en el total de la energía consumida.

A partir de marzo de 2022 hasta mayo de 2023, el consumo total muestra una leve reducción en comparación con el año anterior. Aunque algunos picos en los meses de invierno (especialmente diciembre de 2022 y enero de 2023) reflejan un aumento, especialmente durante las horas de consumo punta, en general la vivienda ha mantenido un consumo más equilibrado a lo largo de este periodo.

Este periodo se caracteriza por un consumo total que oscila entre los 625 kWh y 1.250 kWh por mes, con una menor variación entre meses en comparación con el año 2021. Se puede inferir que el hogar ha tenido un comportamiento más eficiente, aunque todavía hay un consumo considerable.

Durante el periodo de marzo de 2023 hasta mayo de 2024, se observa una tendencia general de reducción del consumo energético en comparación con los dos años previos. Aunque los meses de invierno, como diciembre de 2023 y enero de 2024, presentan nuevamente picos en el consumo, se nota una disminución respecto a los mismos meses del año anterior.

En esta etapa, el consumo total mensual rara vez supera los 1.050 kWh, lo que indica una reducción en el uso de energía. Esta reducción es significativa en comparación con el año 2021, donde los picos eran más frecuentes y pronunciados.

Para entender mejor las fluctuaciones y demandas de energía a lo largo del día, se han incluido los coeficientes de simultaneidad en función del horario. Estos coeficientes representan el porcentaje del uso simultáneo de los sistemas energéticos y dispositivos eléctricos en la vivienda. Identificar estos valores permite optimizar el diseño del sistema energético y ajustar la capacidad instalada para evitar ineficiencias.

Los coeficientes de simultaneidad pueden variar significativamente a lo largo del día y están influenciados por las actividades diarias de los residentes. A continuación, se describen las variaciones típicas junto con valores aproximados de los coeficientes de simultaneidad, expresados como proporción del consumo máximo.

Durante las horas punta, que suelen comprender de 8:00 a 10:00 y de 18:00 a 22:00, el consumo simultáneo alcanza sus niveles más altos. Por la mañana, las actividades como preparar el desayuno, ducharse y usar sistemas de calefacción o aire acondicionado contribuyen a un uso intensivo de la energía. Por la tarde-noche, actividades como cocinar, iluminar la vivienda y el uso de electrodomésticos incrementan el consumo. En estos horarios, los coeficientes de simultaneidad suelen oscilar entre 0.7 y 0.9 en la mañana y entre 0.8 y 1.0 en la noche.

En las horas valle, que generalmente abarcan desde las 0:00 hasta las 8:00, el consumo simultáneo es mínimo, ya que la mayoría de los residentes están durmiendo y los dispositivos eléctricos permanecen apagados o en modo de reposo. Algunas excepciones pueden ser electrodomésticos programados, como lavadoras o lavavajillas o el uso de calefacción o aire acondicionado en meses de invierno o verano. Durante estas horas, los coeficientes de simultaneidad suelen variar entre 0.1 y 0.3.

Por otro lado, las horas llano comprenden dos intervalos: de 10:00 a 18:00 y de 22:00 a 0:00. Durante este tiempo, el consumo es más moderado y estable, asociado a actividades como el uso de dispositivos electrónicos, iluminación en áreas comunes y el funcionamiento de electrodomésticos básicos. Por la noche, también se incluyen actividades como ver la televisión o usar dispositivos electrónicos. En estos horarios, los coeficientes de simultaneidad oscilan entre 0.3 y 0.6 durante el día y entre 0.4 y 0.7 durante la noche.

## 2.2.2 COSTES ENERGÉTICOS ACTUALES

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

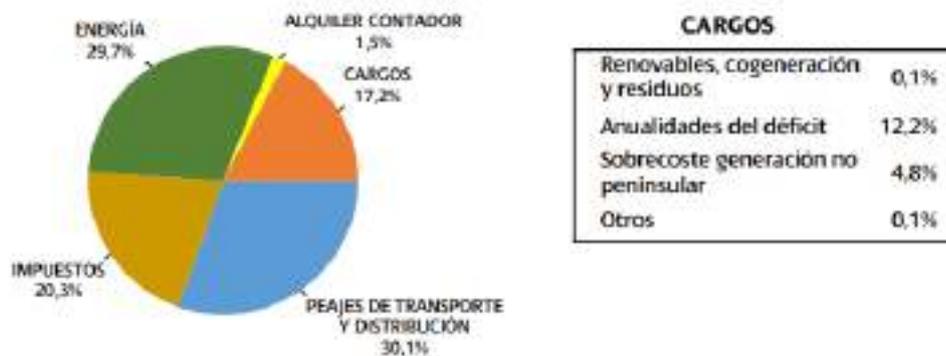


Ilustración 16: Costes energéticos mayo 2024

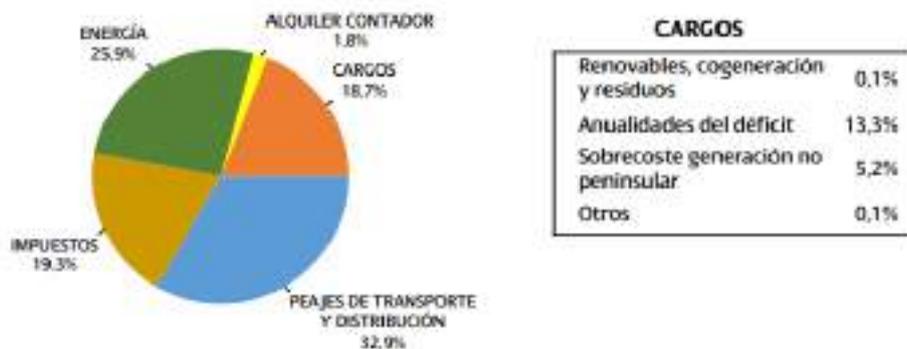


Ilustración 17: Costes energéticos marzo 2024



*Ilustración 18: Costes energéticos mayo 2023*

## 2.2.3 PATRONES DE USO Y COMPORTAMIENTO

### 2.2.3.1 Horarios de ocupación y uso de la vivienda

El historial de consumo energético reflejado en el apartado 2.2.1, nos proporciona una visión indirecta de los horarios de ocupación y el uso intensivo de los recursos energéticos en la vivienda, viendo cómo se reparte el consumo entre los periodos valle, llano y punta. Dado que la energía se distribuye en estos tres periodos, es posible inferir ciertos hábitos de ocupación y utilización de los sistemas eléctricos según la intensidad de uso en cada franja horaria.

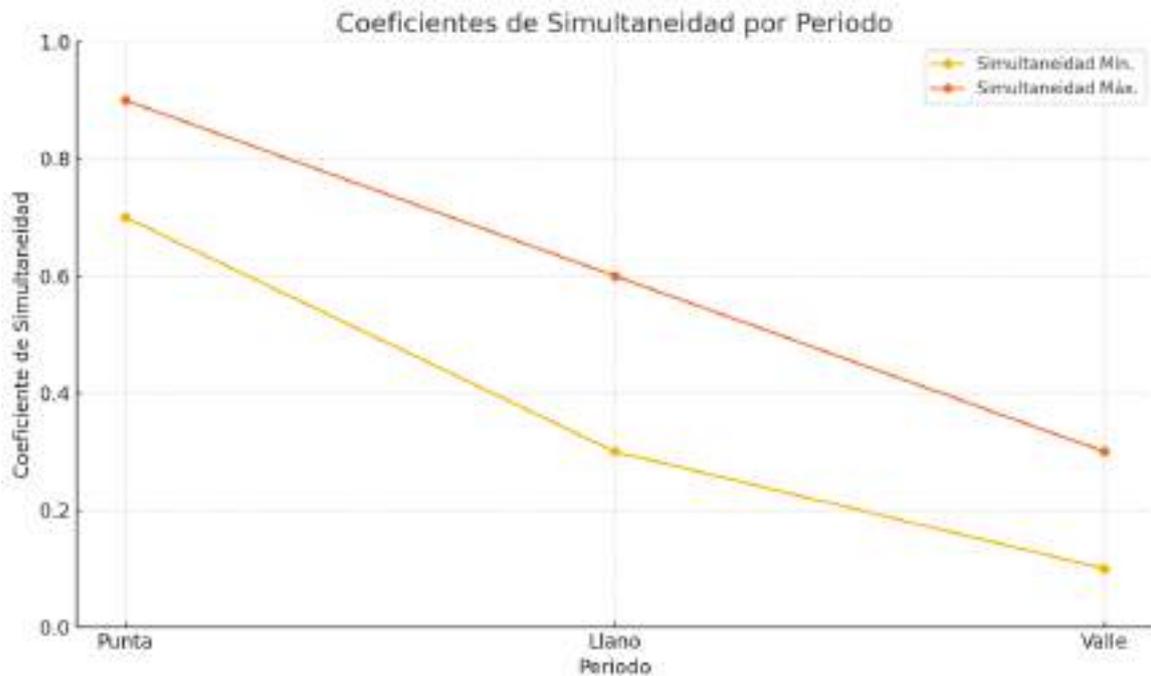
Las horas punta suelen coincidir con los momentos del día en los que las tarifas eléctricas son más altas, generalmente en horarios laborales o de mayor actividad, como las primeras horas de la tarde o el inicio de la noche (8:00 a 10:00 o 18:00 a 22:00). Los factores de simultaneidad en este periodo oscilan típicamente entre 0.7 y 0.9, lo que significa que entre el 70% y el 90% de la capacidad total de la vivienda puede estar en uso simultáneamente. En las gráficas observadas, se nota que el consumo durante las horas punta representa una parte significativa del total energético, lo que sugiere que la vivienda está habitada y en uso durante esas franjas horarias. Esto puede coincidir con actividades diarias de mayor consumo, como cocinar, el uso de aparatos eléctricos (lavadoras, lavavajillas, etc.) o la climatización de la vivienda.

El periodo llano, que incluye horarios con tarifas intermedias (generalmente de 10:00 a 18:00 y de 22:00 a 00:00), también muestra un consumo considerable, lo que indica que la vivienda tiene cierta actividad también durante estos horarios. Los factores de simultaneidad en este intervalo suelen variar entre 0.3 y 0.6, lo que refleja un uso menos intenso pero constante de los sistemas eléctricos. Esto puede ser indicativo de una ocupación parcial del hogar durante las mañanas o un uso moderado de los aparatos eléctricos para tareas que requieren un consumo energético constante pero no intenso, como la iluminación o el uso de ordenadores.

El periodo valle, donde las tarifas suelen ser más bajas y que suele corresponder a las horas nocturnas (de 00:00 a 08:00), el consumo simultáneo es menor. En este caso, los factores de simultaneidad oscilan entre 0.1 y 0.3, lo que significa que entre el 10% y el 30% de la capacidad máxima de la vivienda está en uso. No obstante, en los meses de invierno se observa un aumento en el consumo de este periodo debido al uso continuo de calefacción o sistemas de climatización, así como de electrodomésticos programados, como lavadoras o secadoras, para aprovechar las tarifas más económicas. Esto indica que, aunque la vivienda no está activamente ocupada durante estas horas, algunos sistemas permanecen en funcionamiento para garantizar el confort térmico o completar tareas domésticas.

<b>Periodo</b>	<b>Horario</b>	<b>C.Simultaneidad (Mín)</b>	<b>C.Simultaneidad (Máx)</b>
Horas punta	08:00-10:00 / 18:00-22:00	0,7	0,9
Horas llano	10:00-18:00 / 22:00-00:00	0,3	0,6
Horas valle	00:00-08:00	0,1	0,3

*Tabla 2: Coeficientes de simultaneidad según periodo [Elaboración propia]*



*Ilustración 19: Coeficientes de simultaneidad según periodo [Elaboración propia]*

En general, la variación del consumo en las diferentes franjas horarias indica que la vivienda está habitada tanto durante el día como en la noche, y que los hábitos de uso energético están vinculados a tareas cotidianas que aprovechan tanto las horas valle como las horas punta.

### **2.2.3.2 Comportamiento energético de los residentes**

El análisis del comportamiento energético de los residentes revela un uso de los recursos energéticos que responde principalmente a las necesidades y actividades diarias. La vivienda presenta un consumo considerable durante las horas de mayor demanda energética, lo que indica que los residentes realizan muchas de sus actividades cotidianas en esos momentos, coincidiendo con las tarifas más altas. Aunque se observan intentos por trasladar parte de su consumo a las horas valle, en general, aún se puede optimizar el uso de la energía para reducir el impacto económico y mejorar la eficiencia.

Los hábitos de consumo muestran que las actividades más intensivas en términos energéticos, como cocinar, lavar la ropa o usar sistemas de climatización, suelen concentrarse durante las horas punta. Esto refleja una rutina típica en la que los residentes priorizan el confort y la practicidad sobre la optimización económica. Por ejemplo, la preparación de comidas en horarios específicos o el uso de sistemas de calefacción y aire acondicionado para mantener una temperatura agradable son factores clave que influyen en el comportamiento energético. Durante las horas llano, el consumo tiende a estabilizarse, asociado principalmente a tareas de menor intensidad energética, como la iluminación o el uso de dispositivos electrónicos. En las horas valle, los residentes aprovechan las tarifas más económicas para programar electrodomésticos como lavadoras, lavavajillas o secadoras, aunque este hábito no parece estar completamente consolidado.

Una característica significativa es el uso constante de sistemas de climatización, especialmente durante los meses más fríos del año. Este comportamiento sugiere que los residentes dependen del sistema de calefacción para mantener una temperatura adecuada en la casa, lo cual podría estar vinculado a las condiciones de aislamiento de la vivienda. En este sentido, resulta fundamental fijar límites de temperatura de confort que contribuyan tanto al bienestar térmico como a la eficiencia energética. Los rangos recomendados de temperatura de confort son de 19-21 °C en invierno y de 24-26 °C en verano. Mantener estos rangos no solo optimiza el consumo energético, sino que también puede reducir significativamente los costes de operación de los sistemas de climatización.

Por otro lado, el comportamiento energético de los residentes parece no estar completamente optimizado para las tarifas dinámicas. Durante las horas punta, cuando el coste de la electricidad es más elevado, el consumo sigue siendo notablemente alto, lo que indica que hay un uso intensivo de electrodomésticos en esas franjas horarias. Este patrón puede estar relacionado con actividades rutinarias que coinciden con esos momentos del día, como la preparación de comidas o el uso de dispositivos electrónicos.

Además, los hábitos energéticos muestran que, si bien se está realizando un esfuerzo para trasladar parte del consumo a las horas valle, probablemente motivado por el coste más bajo de la energía en esas horas, no se está aprovechando al máximo esta franja horaria. Aumentar el uso de dispositivos programables para las tareas que no requieren intervención inmediata podría resultar en un ahorro significativo.

En resumen, el comportamiento energético de los residentes está marcado por las actividades diarias y la utilización de energía en horarios clave, aunque con margen de mejora en términos de eficiencia y ahorro económico. Ajustar más estratégicamente el consumo y adoptar medidas adicionales de ahorro energético, como la optimización de sistemas de climatización o la incorporación de energías renovables, contribuiría a un uso más eficiente de la energía en la vivienda.

## Capítulo 3. PROPUESTA DE MEJORAS

### 3.1 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ACTUAL

La vivienda objeto de estudio presenta una serie de ineficiencias que se han identificado a lo largo del análisis de su funcionamiento energético. Entre los aspectos más notables, destacan los altos niveles de consumo energético durante las horas punta, lo cual implica un coste económico elevado debido a la dependencia de sistemas de climatización poco eficientes y un aislamiento térmico deficiente.

El análisis también revela que, aunque la vivienda se encuentra en una región con alto potencial para el aprovechamiento de la energía solar, actualmente no se están utilizando sistemas de energías renovables. Esto no solo incrementa los costes de energía, sino que también tiene un impacto medioambiental significativo, como lo demuestran los indicadores medioambientales de la comercializadora que suministra la electricidad de la vivienda.



Ilustración 20: Impacto ambiental de la vivienda según la comercializadora

En su categoría de impacto, las emisiones de CO<sub>2</sub> alcanzan un valor de 260 g/kWh, un nivel por encima de la media nacional de 121 g/kWh, situando a esta fuente de energía en el nivel más bajo, la categoría G. Además, los residuos radiactivos de alta actividad ascienden a 970 µg/kWh, también por encima de la media nacional de 512 µg/kWh.

### **3.1.1 IDENTIFICACIÓN DE INEFICIENCIAS Y PUNTOS CRÍTICOS**

Partiendo de este contexto, las ineficiencias actuales pueden abordarse mediante una serie de mejoras que incluyen la optimización del aislamiento térmico, la renovación de los sistemas de climatización y la implementación de energías renovables, como los paneles solares.

La falta de doble acristalamiento y el escaso aislamiento en paredes y techos son responsables de las pérdidas de calor en invierno y del exceso de calor en verano. Mejorar el aislamiento permitiría reducir significativamente la demanda de climatización, lo que a su vez reduciría el consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al uso intensivo de sistemas de calefacción y aire acondicionado. La incorporación de ventanas de doble acristalamiento y el uso de materiales aislantes en techos y paredes contribuirían a mejorar la eficiencia energética de la vivienda y reducir el impacto ambiental, minimizando las emisiones de gases de efecto invernadero.

Además, la implementación de una bomba de calor aerotérmica permitiría sustituir los sistemas de calefacción y refrigeración actuales por una tecnología más eficiente, que tiene la capacidad de proporcionar calefacción, refrigeración y agua caliente a un menor coste energético. Esto no solo mejoraría el bienestar de los residentes, sino que también contribuiría a un ahorro considerable en el consumo eléctrico durante todo el año, reduciendo así las emisiones de CO<sub>2</sub> y la generación de residuos radiactivos de alta actividad. Además, este tipo de intervenciones no solo aumentan la eficiencia y reducen el impacto ambiental, sino que también añaden valor a la vivienda de cara a su posible revalorización en el mercado, ya que se convierte en un inmueble más atractivo desde el punto de vista energético y sostenible.

Por otro lado, la adopción de energías renovables juega un papel clave en la mejora del perfil energético y medioambiental de la vivienda. Dado el alto nivel de radiación solar en Alicante, con más de 3.600 horas de sol (lo que equivale al 41% de las 8.760 horas totales que tiene el año), la instalación de paneles solares fotovoltaicos y térmicos podría cubrir gran parte de las necesidades energéticas de la vivienda y, por lo tanto, el impacto ambiental negativo derivado de sus emisiones y residuos.

### **3.1.2 MEJORA DEL AISLAMIENTO**

Una de las medidas más efectivas para optimizar el rendimiento energético de la vivienda es la mejora del aislamiento.

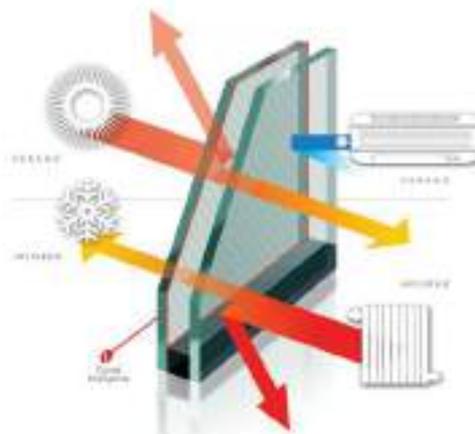
Actualmente, la vivienda presenta deficiencias en el aislamiento térmico principalmente debido a materiales constructivos antiguos o poco eficientes, así como a un diseño que no priorizó la eficiencia energética. Estas deficiencias incluyen pérdidas de calor a través de ventanas y puertas mal selladas, paredes con un aislamiento inadecuado o inexistente, y techos o suelos que no cuentan con barreras térmicas efectivas. Esto provoca una pérdida considerable de calor en invierno, lo que incrementa la necesidad de sistemas de calefacción, y un aumento excesivo del calor en verano, lo que demanda un uso intensivo de sistemas de refrigeración.

La incorporación de ventanas con doble acristalamiento reducirá significativamente la transferencia de calor, mejorando la capacidad de la vivienda para mantener una temperatura interior confortable sin necesidad de recurrir a sistemas de calefacción o refrigeración de forma constante. Además, este tipo de mejora permite aprovechar mejor el buen clima durante todo el año de la ciudad de Alicante, reduciendo tanto el consumo energético como los costes asociados.



*Ilustración 21: Vidrio de doble acristalamiento [9]*

El doble acristalamiento ofrece varias ventajas, entre ellas el ahorro energético. Además, su construcción hermética proporciona un excelente aislamiento tanto térmico como acústico, lo que contribuye a la reducción de la condensación. Además, incrementa la seguridad al ofrecer mayor resistencia a roturas y ayuda a minimizar los daños causados por los rayos UV en los objetos del interior [10].



*Ilustración 22: Representación de las ventajas del doble acristalamiento [10]*

### 3.1.2.1 Impacto económico mejora de aislamiento

La mejora del aislamiento térmico en la vivienda mediante la incorporación de ventanas con doble acristalamiento supone una inversión inicial significativa, pero con importantes beneficios económicos y energéticos a largo plazo. A continuación, se presenta un proxy del análisis de los costes asociados, el ahorro energético esperado y el periodo de amortización.

Para calcular la inversión inicial, se considera que la vivienda cuenta con un total de 20 ventanas (entre habitaciones y espacios comunes), con un tamaño medio de 1,2 m x 1,5 m. El coste promedio de una ventana con doble acristalamiento, incluyendo materiales y mano de obra, varía entre 250 y 400 € por unidad, dependiendo de la calidad del material y el tipo de perfil de la ventana (PVC, aluminio, etc.). Asumiendo un coste medio de 325 € por ventana, el coste total de la mejora sería:

$$Inversión_{Doble\ acristalamiento} = 20\ ventanas * 325€ = 6500€$$

*Ecuación 1: Inversión inicial mejora de acristalamiento [Elaboración propia]*

El doble acristalamiento reduce las pérdidas de calor y la ganancia de calor no deseada, mejorando la eficiencia energética del sistema de climatización (calefacción y refrigeración). Se estima que estas ventanas pueden disminuir entre un 20% y un 30% el consumo energético destinado a climatización.

Si el consumo energético actual destinado a climatización de la vivienda es de aproximadamente 17.500 kWh/año (considerando calefacción y aire acondicionado), la reducción esperada sería:

$$Ahorro_{consumo} = 17.500 \frac{kwh}{año} * 0,25 = 4.375 \frac{kwh}{año}$$

*Ecuación 2: Ahorro de consumo energético debido a la mejora de aislamiento [Elaboración propia]*

Estableciendo que el precio promedio de la electricidad en España en 2023 fue de aproximadamente 0,23€/kWh, el ahorro económico anual se calcula como:

$$Ahorro_{económico} = 4.375 \frac{kwh}{año} * 0,23 \frac{€}{kwh} = 1006,2 \frac{€}{año}$$

*Ecuación 3: Ahorro económico debido a la mejora de aislamiento [Elaboración propia]*

Este ahorro anual de 1006,25 € significa que, en aproximadamente 7 años, la inversión inicial estará completamente amortizada. A partir de ese momento, la vivienda comenzará a generar un ahorro neto, lo que representa no solo una ventaja económica para los residentes, sino también una mejora en la sostenibilidad del hogar. Este resultado refleja la rentabilidad a medio plazo de las inversiones en eficiencia energética, destacando que los beneficios no se limitan únicamente al ahorro económico, sino que también incluyen una reducción significativa del impacto ambiental, gracias a la menor demanda energética de fuentes no renovables.

### 3.1.2.1.1 Life Cycle Cost

La mejora del aislamiento térmico en la vivienda mediante la incorporación de ventanas con doble acristalamiento supone una inversión inicial significativa, pero con importantes beneficios económicos y energéticos a largo plazo. Además del análisis de amortización, es útil evaluar el LCC (Life Cycle Cost) para estimar el coste total de la inversión a lo largo de su vida útil, incluyendo tanto los costes iniciales como los ahorros generados.

Para realizar el análisis del LCC, se han considerado varios elementos clave. La inversión inicial es de 6.500 €, correspondiente al coste total de las 20 ventanas instaladas. La vida útil de las ventanas se estima en 25 años, con un ahorro económico anual de 1.006,25 € derivado de la mejora en la eficiencia energética, calculado previamente. Además, se incluye un coste de mantenimiento estimado en el 1% del coste inicial por año, equivalente a 65 € anuales. Se asume que los precios de la electricidad aumentan un 2% anual, en línea con la inflación energética histórica, y para actualizar los valores al presente, se aplica una tasa de descuento del 3%, reflejando el valor actual del dinero a lo largo de la vida útil del sistema.

$$LCC = Inversión\ inicial + Costes\ de\ mantenimiento - Valor\ presente\ de\ los\ ahorros$$

*Ecuación 4: Ecuación del LCC [11]*

El coste total de mantenimiento actualizado al presente se calcula considerando una tasa de descuento del 3%.

$$\text{Coste total mantenimiento} = \sum_{t=1}^{25} \frac{65 * (1 + 0,02)^t}{(1 + 0,03)^t} \approx 1430\text{€}$$

*Ecuación 5: Cálculo de los costes de mantenimiento acumulados [Elaboración propia]*

El ahorro energético anual, ajustado por la inflación de precios de la electricidad, se actualiza al presente con la tasa de descuento del 3%.

$$\text{Valor presente de los ahorros} = \sum_{t=1}^{25} \frac{1006,25 * (1 + 0,02)^t}{(1 + 0,03)^t} \approx 20.740\text{€}$$

*Ecuación 6: Cálculo del valor presente de los ahorros [Elaboración propia]*

Finalmente, se calcula el LCC como:

$$LCC = 6.500 + 1.430 - 20.740 = -12,810\text{€}$$

*Ecuación 7: Cálculo del LCC [Elaboración propia]*

Un LCC negativo indica que la inversión no solo se amortiza completamente, sino que además genera un beneficio neto significativo durante su vida útil. Esto refuerza la viabilidad económica de la mejora del aislamiento térmico, destacando que, además de los ahorros económicos, la vivienda experimentará una mejora en su confort térmico y en su impacto ambiental.

### **3.1.3 IMPLEMENTACIÓN DE UNA BOMBA DE CALOR AEROTÉRMICA**

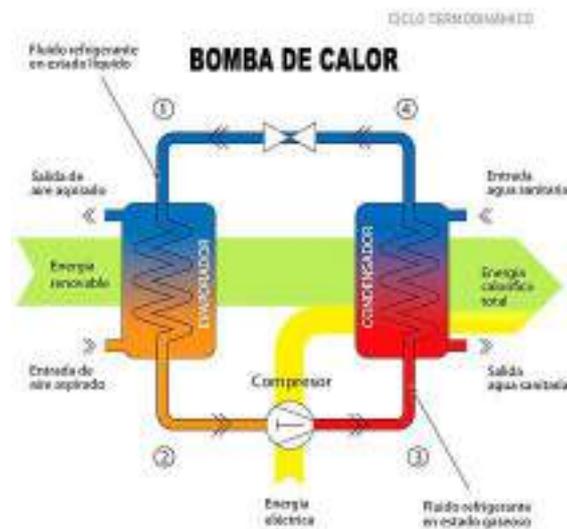
La bomba de calor aerotérmica es una tecnología eficiente que aprovecha la energía presente en el aire exterior para producir calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria. En el caso de la vivienda objeto de estudio, la implementación de este sistema representa una mejora significativa en términos de eficiencia energética y sostenibilidad. La aerotermia, se basa en un principio termodinámico por el cual el calor es absorbido del aire, incluso en condiciones de bajas temperaturas, y es transformado para su aprovechamiento en sistemas de climatización. Este proceso permite generar energía térmica con un consumo eléctrico reducido, lo que resulta en ahorros significativos tanto en consumo energético como en emisiones de gases de efecto invernadero.

En la vivienda de Alicante, donde las condiciones climáticas son favorables y las necesidades de calefacción y refrigeración están equilibradas, la aerotermia puede desempeñar un papel clave en la optimización del consumo energético. El clima mediterráneo, con inviernos suaves y veranos cálidos, es ideal para maximizar el rendimiento de esta tecnología, que aprovecha eficientemente las temperaturas exteriores para mantener el confort térmico en el interior del hogar.

Respecto a la posibilidad de incluir hilo radiante, no se ha considerado su implementación debido a las características específicas del clima y las necesidades de la vivienda. Si bien el hilo radiante es una solución eficiente para calefacción en climas más fríos, su uso en un entorno mediterráneo, como Alicante, no resulta prioritario debido a la limitada demanda de calefacción durante el año. Además, la aerotermia ya cubre las necesidades de calefacción con un rendimiento superior y la capacidad adicional de ofrecer refrigeración y agua caliente sanitaria, consolidándose como una solución integral y más adecuada para las condiciones de esta vivienda.

### 3.1.3.1 Funcionamiento de la bomba

Una bomba de calor aerotérmica funciona mediante un ciclo de compresión y expansión de refrigerante, extrayendo calor del aire exterior y transfiriéndolo a un sistema de calefacción o refrigeración interno. Durante el invierno, el dispositivo extrae calor del aire exterior y lo transfiere al interior de la vivienda, calentando el aire o el agua de un circuito de calefacción. En verano, este ciclo se invierte: la bomba de calor actúa como un sistema de aire acondicionado, extrayendo el calor del interior de la vivienda y expulsándolo al exterior. Además de calefacción y refrigeración, una bomba de calor aerotérmica puede suministrar agua caliente sanitaria, lo que incrementa su versatilidad y convierte este sistema en una solución integral para las necesidades energéticas de la vivienda [12].



*Ilustración 23: Ciclo termodinámico bomba de calor [12]*

Como se observa en la figura 12, el proceso de funcionamiento de la bomba de calor aerotérmica comienza con la compresión del gas refrigerante, lo que incrementa su temperatura. A continuación, el gas caliente transfiere su calor al aire o al agua del sistema de calefacción de la vivienda. Posteriormente, el refrigerante se expande, lo que provoca una disminución de su temperatura, permitiendo que vuelva a extraer calor del aire exterior. Este ciclo se repite de manera continua, proporcionando calefacción en invierno y refrigeración en verano.

### ***3.1.3.2 Requerimientos necesarios para la propuesta***

La instalación de una bomba de calor aerotérmica en la vivienda requiere varios componentes esenciales, cada uno desempeñando un papel clave para garantizar su funcionamiento. En primer lugar, está la unidad exterior, encargada de captar el calor del aire exterior. Esta unidad contiene un compresor y un ventilador que hacen circular el refrigerante a través del sistema. Es crucial que la unidad exterior se coloque en un lugar bien ventilado y protegido de la luz solar directa para optimizar su rendimiento y maximizar su eficiencia.

La unidad interior, por su parte, es la que distribuye el calor que ha sido captado por la unidad exterior a través del sistema de calefacción de la vivienda. Dependiendo de la configuración de la casa, en la vivienda de estudio se conectará a un sistema de radiadores de baja temperatura, permitiendo así una distribución eficiente del calor dentro de los espacios habitables.

Otro componente fundamental es el depósito de agua caliente sanitaria (ACS). Este depósito almacena el agua calentada por la bomba de calor para su uso en la vivienda. El tamaño del depósito debe estar adecuadamente dimensionado para satisfacer las necesidades diarias de los residentes, garantizando una disponibilidad continua de agua caliente.

Además, los sistemas de aerotermia incluyen un sistema de control y termostatos inteligentes. Estos dispositivos permiten ajustar la temperatura de manera precisa, optimizando el consumo de energía en función de las condiciones climáticas y los hábitos de uso de la vivienda, lo que contribuye a un ahorro energético considerable.

Finalmente, el sistema utiliza el circuito de tuberías de distribución existente para los radiadores, permitiendo una distribución eficiente del calor a través de toda la vivienda. Este enfoque optimiza el uso de la infraestructura actual, garantizando una climatización adecuada y un confort térmico en todas las estancias, adaptándose a las necesidades de la vivienda.

### ***3.1.3.3 Condiciones específicas de la vivienda***

La instalación de una bomba de calor aerotérmica en una vivienda de tres plantas, como es el caso de la vivienda en Alicante, requiere un análisis detallado de la distribución de espacios y de los sistemas de calefacción existentes. Actualmente, la vivienda utiliza un sistema de calefacción basado en radiadores eléctricos que presentan un alto consumo energético debido a su dependencia de la electricidad para generar calor directamente. Como alternativa más eficiente, se propone la implementación de una bomba de calor aerotérmica conectada a radiadores de baja temperatura. Estos nuevos radiadores están diseñados para operar con agua a temperaturas más bajas, lo que mejora el rendimiento de la bomba de calor al reducir el esfuerzo necesario para calentar el agua y permite un descenso del consumo energético de hasta un 40% en comparación con los sistemas eléctricos convencionales.

Además, la bomba de calor ofrece una mejora significativa en términos de eficiencia estacional, con un COP (Coeficiente de Rendimiento) que puede alcanzar valores de 4 a 5, lo que significa que, por cada kWh de electricidad consumido, se generan entre 4 y 5 kWh de energía térmica. Esta mejora multiplica por 3 o 4 el rendimiento de los radiadores eléctricos actuales. También, al utilizar radiadores de baja temperatura, se logra un reparto térmico más uniforme en los espacios, mejorando el confort y reduciendo las fluctuaciones de temperatura.

La ubicación de la unidad exterior es crucial para maximizar el rendimiento del sistema aerotérmico. La vivienda cuenta con un jardín trasero de amplias dimensiones y una terraza en la planta baja, ambos lugares adecuados para la instalación de la unidad exterior. Estos espacios ofrecen una ventilación adecuada que permite garantizar un flujo de aire continuo, esencial para que la bomba de calor opere de manera eficiente. La elección correcta del lugar podría reducir las pérdidas de eficiencia del sistema en hasta un 10%, ya que la exposición directa a la luz solar o una ubicación con poca ventilación pueden afectar negativamente su rendimiento. Por otro lado, al garantizar un aislamiento adecuado de las tuberías conectadas a la unidad exterior, se pueden evitar pérdidas térmicas adicionales y mejorar la eficiencia global del sistema en al menos un 5%.

Finalmente, la bomba de calor no solo contribuye a reducir el consumo energético de la vivienda, sino que también disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 30%, al sustituir los radiadores eléctricos por un sistema más eficiente y respetuoso con el medio ambiente. Esto representa una mejora tanto en el rendimiento energético como en la sostenibilidad de la vivienda, consolidando esta intervención como una solución integral para optimizar el uso de recursos y reducir los costes operativos.



*Ilustración 24: Esquema conexión componentes [13]*

### 3.1.4 INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES

La instalación de paneles solares representa una de las medidas más efectivas para mejorar la eficiencia energética de la vivienda. Aprovechando la ubicación de la vivienda en Alicante, una zona que cuenta con un promedio de más de 3.600 horas de sol al año, la energía solar es una fuente renovable que ofrece un enorme potencial para cubrir una parte significativa de las necesidades energéticas de la vivienda. Los paneles solares permiten aprovechar la radiación solar para generar electricidad y calentar agua, lo que reduce la dependencia de fuentes de energía convencionales y, por lo tanto, disminuye los costes energéticos y el impacto ambiental.

Para la vivienda en estudio, se propone la instalación de paneles solares fotovoltaicos, los cuales tienen la capacidad de convertir la radiación solar en electricidad. Estos paneles captan la energía solar y la transforman en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. La electricidad generada puede ser utilizada directamente para cubrir las necesidades eléctricas de la vivienda o almacenada en baterías para su uso en momentos de baja producción solar, como durante la noche o días nublados.



*Ilustración 25: Instalación de paneles fotovoltaicos [14]*

Este enfoque contribuirá significativamente a la reducción de la factura energética, disminuyendo la dependencia de la red eléctrica y aprovechando al máximo los recursos solares de la región. Además, al tratarse de energía renovable, la instalación de paneles solares fotovoltaicos ayudará a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, alineándose con los objetivos de sostenibilidad ambiental del proyecto.

La instalación de paneles solares en la vivienda ofrece una serie de ventajas importantes. En primer lugar, contribuye a una reducción significativa del consumo energético. La energía solar captada por los paneles fotovoltaicos permite cubrir una parte considerable de las necesidades energéticas de la vivienda, lo que disminuye el uso de electricidad proveniente de la red. Durante los meses de verano, cuando la radiación solar es más intensa, los paneles fotovoltaicos pueden llegar a cubrir la mayor parte del consumo eléctrico de la vivienda, optimizando el aprovechamiento de la energía solar. Además, en combinación con un sistema de almacenamiento, los paneles podrían cubrir necesidades incluso en momentos de baja producción solar.

Para esta vivienda, se han considerado sistemas de baterías de ion-litio como una opción viable y eficiente, debido a su alta capacidad de almacenamiento, su larga vida útil y su madurez tecnológica. Estos sistemas permiten almacenar el excedente de energía generado durante las horas de mayor radiación y utilizarlo posteriormente, maximizando el autoconsumo solar y reduciendo aún más la dependencia de la red eléctrica.

En términos económicos, la instalación de paneles solares ofrece un ahorro considerable en las facturas de energía. Aunque la inversión inicial para su instalación puede ser elevada, los beneficios a largo plazo son sustanciales. El ahorro derivado de la generación propia de electricidad y calor se acumula con el tiempo, y el retorno de la inversión suele alcanzarse entre 7 y 10 años, dependiendo del consumo energético de la vivienda y de las tarifas eléctricas vigentes.

Aunque en España existen subvenciones y ayudas disponibles para la instalación de energías renovables, estas no deben ser consideradas como un factor determinante en la viabilidad económica del proyecto, ya que su concesión no está garantizada. Por tanto, cualquier plan económico debe basarse exclusivamente en los costes e ingresos previstos bajo las condiciones normales del mercado. Si la subvención llegara a concederse, esta representaría un beneficio adicional que podría acelerar el retorno de la inversión., pero no condiciona la rentabilidad intrínseca de la instalación.

Otro beneficio importante es la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Al utilizar una fuente de energía limpia como la solar, la vivienda disminuye significativamente su huella de carbono. La electricidad generada por los paneles fotovoltaicos sustituye el uso de energía proveniente de fuentes fósiles, lo que contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta ventaja es especialmente relevante considerando que la electricidad actual utilizada en la vivienda tiene un impacto medioambiental considerable, con emisiones de CO<sub>2</sub> de 260 g/kWh, lo que está por encima de la media nacional.

Finalmente, la instalación de un sistema de almacenamiento, como baterías de ion-litio, permite incrementar la autonomía energética de la vivienda. Estas baterías almacenan la energía generada por los paneles solares durante el día para su uso en momentos en los que la producción solar es baja, como durante la noche o en días nublados. Esto maximiza el aprovechamiento del sistema solar y reduce aún más la dependencia de la red eléctrica, proporcionando una mayor independencia energética y seguridad en el suministro.

Los paneles fotovoltaicos se conectarán directamente al sistema eléctrico de la vivienda mediante un inversor que convierte la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna, que es la que se utiliza en los electrodomésticos y sistemas eléctricos del hogar. La energía generada puede ser consumida directamente o almacenada en baterías para su uso posterior.

No obstante, si se incluye un cargador para vehículos eléctricos, se podría prescindir del inversor en esta etapa del sistema. Este cargador tiene la capacidad de utilizar directamente la corriente continua generada por los paneles fotovoltaicos para recargar las baterías del vehículo eléctrico, optimizando así el proceso de almacenamiento y aprovechamiento de la energía generada. Esta configuración representa una solución eficiente que simplifica la instalación, reduce costes y maximiza el uso de la energía solar en caso de que la vivienda disponga o tenga previsto incorporar un vehículo eléctrico en el futuro.



*Ilustración 26: Conexión mediante inversor [15]*

### 3.1.5 MEJORA DE LA ILUMINACIÓN

La iluminación es uno de los aspectos clave para mejorar la eficiencia energética en cualquier vivienda. Actualmente, la vivienda cuenta con un sistema de iluminación basado en bombillas fluorescentes en la mayoría de sus habitaciones y espacios exteriores.

Si bien las bombillas fluorescentes ofrecen una mayor eficiencia en comparación con las bombillas incandescentes tradicionales, siguen siendo menos eficientes y tienen una vida útil más corta que las tecnologías más modernas, como los LED. La vida útil promedio de una bombilla fluorescente suele rondar las 2.000 horas, lo que contrasta significativamente con la vida útil de los LED, que puede superar las 25.000 horas, ofreciendo una alternativa mucho más duradera y eficiente. Además, las bombillas fluorescentes contienen mercurio, lo que presenta un riesgo ambiental y de salud si no se gestionan adecuadamente al final de su vida útil. Por lo tanto, aunque las fluorescentes consumen menos energía que las incandescentes, existe una clara oportunidad de mejora en términos de eficiencia y sostenibilidad.

Para mejorar la eficiencia energética de la vivienda, se propone la sustitución de todas las bombillas fluorescentes por bombillas LED. Las bombillas LED son significativamente más eficientes, consumiendo hasta un 50% menos de energía que las fluorescentes, además de tener una vida útil mucho más prolongada, lo que reduce la necesidad de reemplazos frecuentes y, por lo tanto, los residuos generados [16].

	LED	Fluorescente	Halógena	Incandescente
100-150	10	15	25	40
150-200	15	20	35	55
200-250	20	30	45	70
250-300	25	40	55	85
300-350	30	50	65	100
350-400	35	60	75	120
400-450	40	70	85	140
450-500	45	80	95	160
500-550	50	90	105	180
550-600	55	100	115	200
600-650	60	110	125	220
650-700	65	120	135	240
700-750	70	130	145	260
750-800	75	140	155	280
800-850	80	150	165	300
850-900	85	160	175	320
900-950	90	170	185	340
950-1000	95	180	195	360
1000-1050	100	190	205	380
1050-1100	105	200	215	400
1100-1150	110	210	225	420
1150-1200	115	220	235	440
1200-1250	120	230	245	460
1250-1300	125	240	255	480
1300-1350	130	250	265	500
1350-1400	135	260	275	520
1400-1450	140	270	285	540
1450-1500	145	280	295	560
1500-1550	150	290	305	580
1550-1600	155	300	315	600
1600-1650	160	310	325	620
1650-1700	165	320	335	640
1700-1750	170	330	345	660
1750-1800	175	340	355	680
1800-1850	180	350	365	700
1850-1900	185	360	375	720
1900-1950	190	370	385	740
1950-2000	195	380	395	760
2000-2050	200	390	405	780
2050-2100	205	400	415	800
2100-2150	210	410	425	820
2150-2200	215	420	435	840
2200-2250	220	430	445	860
2250-2300	225	440	455	880
2300-2350	230	450	465	900
2350-2400	235	460	475	920
2400-2450	240	470	485	940
2450-2500	245	480	495	960
2500-2550	250	490	505	980
2550-2600	255	500	515	1000
2600-2650	260	510	525	1020
2650-2700	265	520	535	1040
2700-2750	270	530	545	1060
2750-2800	275	540	555	1080
2800-2850	280	550	565	1100
2850-2900	285	560	575	1120
2900-2950	290	570	585	1140
2950-3000	295	580	595	1160
3000-3050	300	590	605	1180
3050-3100	305	600	615	1200
3100-3150	310	610	625	1220
3150-3200	315	620	635	1240
3200-3250	320	630	645	1260
3250-3300	325	640	655	1280
3300-3350	330	650	665	1300
3350-3400	335	660	675	1320
3400-3450	340	670	685	1340
3450-3500	345	680	695	1360
3500-3550	350	690	705	1380
3550-3600	355	700	715	1400
3600-3650	360	710	725	1420
3650-3700	365	720	735	1440
3700-3750	370	730	745	1460
3750-3800	375	740	755	1480
3800-3850	380	750	765	1500
3850-3900	385	760	775	1520
3900-3950	390	770	785	1540
3950-4000	395	780	795	1560
4000-4050	400	790	805	1580
4050-4100	405	800	815	1600
4100-4150	410	810	825	1620
4150-4200	415	820	835	1640
4200-4250	420	830	845	1660
4250-4300	425	840	855	1680
4300-4350	430	850	865	1700
4350-4400	435	860	875	1720
4400-4450	440	870	885	1740
4450-4500	445	880	895	1760
4500-4550	450	890	905	1780
4550-4600	455	900	915	1800
4600-4650	460	910	925	1820
4650-4700	465	920	935	1840
4700-4750	470	930	945	1860
4750-4800	475	940	955	1880
4800-4850	480	950	965	1900
4850-4900	485	960	975	1920
4900-4950	490	970	985	1940
4950-5000	495	980	995	1960
5000-5050	500	990	1005	1980
5050-5100	505	1000	1015	2000
5100-5150	510	1010	1025	2020
5150-5200	515	1020	1035	2040
5200-5250	520	1030	1045	2060
5250-5300	525	1040	1055	2080
5300-5350	530	1050	1065	2100
5350-5400	535	1060	1075	2120
5400-5450	540	1070	1085	2140
5450-5500	545	1080	1095	2160
5500-5550	550	1090	1105	2180
5550-5600	555	1100	1115	2200
5600-5650	560	1110	1125	2220
5650-5700	565	1120	1135	2240
5700-5750	570	1130	1145	2260
5750-5800	575	1140	1155	2280
5800-5850	580	1150	1165	2300
5850-5900	585	1160	1175	2320
5900-5950	590	1170	1185	2340
5950-6000	595	1180	1195	2360
6000-6050	600	1190	1205	2380
6050-6100	605	1200	1215	2400
6100-6150	610	1210	1225	2420
6150-6200	615	1220	1235	2440
6200-6250	620	1230	1245	2460
6250-6300	625	1240	1255	2480
6300-6350	630	1250	1265	2500
6350-6400	635	1260	1275	2520
6400-6450	640	1270	1285	2540
6450-6500	645	1280	1295	2560
6500-6550	650	1290	1305	2580
6550-6600	655	1300	1315	2600
6600-6650	660	1310	1325	2620
6650-6700	665	1320	1335	2640
6700-6750	670	1330	1345	2660
6750-6800	675	1340	1355	2680
6800-6850	680	1350	1365	2700
6850-6900	685	1360	1375	2720
6900-6950	690	1370	1385	2740
6950-7000	695	1380	1395	2760
7000-7050	700	1390	1405	2780
7050-7100	705	1400	1415	2800
7100-7150	710	1410	1425	2820
7150-7200	715	1420	1435	2840
7200-7250	720	1430	1445	2860
7250-7300	725	1440	1455	2880
7300-7350	730	1450	1465	2900
7350-7400	735	1460	1475	2920
7400-7450	740	1470	1485	2940
7450-7500	745	1480	1495	2960
7500-7550	750	1490	1505	2980
7550-7600	755	1500	1515	3000
7600-7650	760	1510	1525	3020
7650-7700	765	1520	1535	3040
7700-7750	770	1530	1545	3060
7750-7800	775	1540	1555	3080
7800-7850	780	1550	1565	3100
7850-7900	785	1560	1575	3120
7900-7950	790	1570	1585	3140
7950-8000	795	1580	1595	3160
8000-8050	800	1590	1605	3180
8050-8100	805	1600	1615	3200
8100-8150	810	1610	1625	3220
8150-8200	815	1620	1635	3240
8200-8250	820	1630	1645	3260
8250-8300	825	1640	1655	3280
8300-8350	830	1650	1665	3300
8350-8400	835	1660	1675	3320
8400-8450	840	1670	1685	3340
8450-8500	845	1680	1695	3360
8500-8550	850	1690	1705	3380
8550-8600	855	1700	1715	3400
8600-8650	860	1710	1725	3420
8650-8700	865	1720	1735	3440
8700-8750	870	1730	1745	3460
8750-8800	875	1740	1755	3480
8800-8850	880	1750	1765	3500
8850-8900	885	1760	1775	3520
8900-8950	890	1770	1785	3540
8950-9000	895	1780	1795	3560
9000-9050	900	1790	1805	3580
9050-9100	905	1800	1815	3600
9100-9150	910	1810	1825	3620
9150-9200	915	1820	1835	3640
9200-9250	920	1830	1845	3660
9250-9300	925	1840	1855	3680
9300-9350	930	1850	1865	3700
9350-9400	935	1860	1875	3720
9400-9450	940	1870	1885	3740
9450-9500	945	1880	1895	3760
9500-9550	950	1890	1905	3780
9550-9600	955	1900	1915	3800
9600-9650	960	1910	1925	3820
9650-9700	965	1920	1935	3840
9700-9750	970	1930	1945	3860
9750-9800	975	1940	1955	3880
9800-9850	980	1950	1965	3900
9850-9900	985	1960	1975	3920
9900-9950	990	1970	1985	3940
9950-10000	995	1980	1995	3960
10000-10050</				

Además, las bombillas LED no contienen mercurio, lo que las convierte en una opción más segura y ecológica. Otra ventaja importante es que las LED generan muy poco calor en comparación con las fluorescentes, lo que contribuye a mantener un ambiente más fresco en la vivienda, especialmente durante los meses de verano en Alicante. Esta característica reduce también la carga sobre los sistemas de climatización, lo que incrementa el ahorro energético total. Otro aspecto importante es la calidad de la luz y cómo esta puede influir en el confort de los habitantes.

La mejora del sistema de iluminación de la vivienda mediante la sustitución de bombillas fluorescentes por LED supone un avance significativo en términos de eficiencia energética, ahorro económico y sostenibilidad ambiental. Esta medida no solo reduce el consumo eléctrico, sino que también mejora la calidad de la iluminación y reduce la generación de residuos peligrosos, contribuyendo así a un hogar más eficiente y respetuoso con el medio ambiente.

### ***3.1.5.1 Impacto económico mejora iluminación***

La implementación de un sistema de iluminación basado en bombillas LED conlleva una inversión inicial que, aunque superior a las bombillas fluorescentes, se compensa rápidamente gracias al ahorro energético y la mayor vida útil de estas bombillas. A continuación, se presenta un proxy del análisis económico detallado de la mejora propuesta.

Para calcular el coste inicial, se ha estimado el número total de bombillas necesarias en la vivienda considerando sus dimensiones y el número de habitaciones. Si la vivienda cuenta con aproximadamente 50 bombillas fluorescentes, cada una se sustituirá por una bombilla LED. El coste promedio de una bombilla LED de buena calidad ronda los 8-12 euros por unidad, dependiendo de la potencia y la marca. Tomando 12 euros por bombilla, el coste total de sustitución sería:

$$Inversión_{LED} = 50 \text{ bombillas} * 12€ = 600€$$

*Ecuación 8: Inversión inicial mejora iluminación [Elaboración propia]*

Cada bombilla fluorescente tiene un consumo promedio de 20 W, mientras que las bombillas LED equivalentes consumen alrededor de 10 W para generar la misma cantidad de luz. Si asumimos que las luces están encendidas unas 5 horas al día, el consumo energético diario y anual por cada tipo de bombilla sería:

$$\text{Consumo}_{LED} = 8 \text{ W} * 5 \frac{\text{h}}{\text{día}} * 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 14,60 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

*Ecuación 9: Consumo estimado bombillas LED [Elaboración propia]*

$$\text{Consumo}_{Fluorescentes} = 15 \text{ W} * 5 \frac{\text{h}}{\text{día}} * 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 27,38 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

*Ecuación 10: Consumo estimado bombillas fluorescentes [Elaboración propia]*

Por lo tanto, el ahorro de consumo energético debido a la mejora de iluminación sería:

$$\text{Ahorro}_{\text{Consumo Iluminación}} = 50 \text{ bombillas} * (37,38 - 14,60) = 638,75 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

*Ecuación 11: Ahorro en kWh debido a la mejora en iluminación [Elaboración propia]*

El coste promedio de la electricidad en España en 2023 fue de aproximadamente 0,23 €/kWh.

Con este dato, el ahorro económico anual sería:

$$\text{Ahorro}_{\text{Consumo Iluminación}} = 638,75 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} * 0,23 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 147 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

*Ecuación 12: Ahorro en € debido a la mejora en iluminación [Elaboración propia]*

Este ahorro anual de 147 € significa que la inversión inicial estará completamente amortizada, y a partir de ese momento, la vivienda comenzará a generar un ahorro neto.

## **Capítulo 4. BOMBA AEROTÉRMICA**

### ***4.1 INTRODUCCIÓN Y FUNDAMENTOS DE LA BOMBA AEROTÉRMICA***

La bomba de calor aerotérmica, como se explica en el capítulo 3, es una tecnología eficiente que utiliza la energía térmica del aire exterior para climatizar la vivienda y generar agua caliente sanitaria. En el caso de la vivienda estudiada, ubicada en Alicante, las condiciones climáticas suaves y soleadas favorecen un rendimiento óptimo de este sistema.

Actualmente, la vivienda emplea radiadores eléctricos de alta temperatura con un elevado consumo energético, por lo que la implementación de un sistema de radiadores de baja temperatura conectados a la bomba aerotérmica permitirá reducir significativamente el consumo y mejorar el confort térmico. Una de las ventajas clave de este tipo de dispositivos es su inercia térmica, que permite mantener el calor en los radiadores durante un periodo prolongado incluso después de que el sistema haya dejado de funcionar. Esta característica no solo mejora el confort al garantizar temperaturas estables, sino que también reduce el número de ciclos de encendido y apagado de la bomba de calor, optimizando así su eficiencia energética y alargando su vida útil [18].

Actualmente, los radiadores existentes en la vivienda son de alta temperatura, diseñados para operar con temperaturas de entrada entre 70 °C y 90 °C. Estos dispositivos tienen una capacidad promedio de emisión térmica de 1.500 W por unidad, lo que, si bien asegura el calentamiento de los espacios, conlleva un elevado consumo energético. Además, los sistemas de regulación de los radiadores actuales son manuales y limitados, lo que dificulta el ajuste preciso de la temperatura en las diferentes estancias de la vivienda, provocando un uso ineficiente de la energía. Este es uno de los factores clave por los cuales su reemplazo por radiadores de baja temperatura, con sistemas de regulación individual más avanzados, resulta una medida necesaria para optimizar la eficiencia energética del hogar.

Además, la disposición de espacios exteriores, el jardín y la terraza, facilita una instalación adecuada de la unidad exterior, garantizando un funcionamiento eficiente. Esta tecnología, combinada con los paneles solares propuestos, que se explicarán en detalle en el próximo capítulo, optimizará el uso de energía renovable y reducirá tanto las emisiones como los costes operativos de la vivienda.

#### ***4.2 APLICACIÓN ESPECÍFICA LA VIVIENDA***

La implementación de una bomba de calor aerotérmica en la vivienda de estudio requiere una adaptación cuidadosa a sus características estructurales, su configuración actual de sistemas de climatización y las condiciones climáticas de la región de Alicante en la que se encuentra situada. La vivienda, con dirección C/ Duque de Rivas 3, presenta un entorno óptimo para el uso de esta tecnología debido a su clima mediterráneo, con inviernos suaves y veranos cálidos. Estas condiciones permiten que la bomba aerotérmica opere de manera eficiente durante todo el año, maximizando su rendimiento y contribuyendo a la reducción del consumo energético.



*Ilustración 28: Vista de la planta de la vivienda*

### **4.2.1 EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA ACTUAL**

En su configuración actual, la vivienda emplea radiadores eléctricos de alta temperatura como principal sistema de calefacción. Este enfoque, aunque funcional, presenta varias desventajas. El consumo energético de estos radiadores es elevado, ya que dependen completamente de la electricidad para generar calor.

Para solucionar estas ineficiencias, se propone reemplazar los radiadores eléctricos por un sistema de radiadores de baja temperatura conectados a la bomba de calor aerotérmica. Este tipo de calefacción funciona a baja temperatura, permitiendo que la bomba aproveche al máximo su capacidad de ahorro energético.

### **4.2.2 DISEÑO DEL SISTEMA**

El diseño contempla tres componentes principales: la unidad exterior, la unidad interior y el sistema de distribución del calor. La unidad exterior se instalará en la terraza, que ofrece una ventilación adecuada y acceso directo al aire exterior. La ubicación específica será seleccionada cuidadosamente para evitar la exposición directa al sol y la intemperie, lo que podría afectar tanto la durabilidad como el rendimiento del sistema. Por ello, se considerará el uso de elementos de protección, como cubiertas o estructuras que permitan una adecuada ventilación sin comprometer la protección contra los efectos del clima, como lluvias intensas, radiación solar directa o posibles vientos fuertes. Esta protección asegurará una operación eficiente y prolongará la vida útil del equipo.

La unidad interior estará conectada al sistema de radiadores de baja temperatura que se implementará en las tres plantas de la vivienda, asegurando una distribución eficiente del calor.

El sistema de distribución también incluye un depósito de agua caliente sanitaria (ACS), dimensionado para satisfacer las necesidades diarias de los residentes. Este depósito permitirá que la bomba de calor proporcione agua caliente de manera continua y eficiente, mejorando la funcionalidad general del hogar. Según el Código Técnico de la Edificación CTE DB-HE 2019[17], el consumo medio de ACS en una residencia es de aproximadamente 41 litros por persona al día. Considerando que la ocupación media de la vivienda objeto de estudio es de 4,5 personas, el volumen del depósito debe dimensionarse para unos 185 litros, asegurando así un suministro adecuado a las demandas de la vivienda.

Tabla c-Anejo F Demanda orientativa de ACS para usos distintos del residencial privado

Criterio de demanda	Litros/día-persona
Hospitales y clínicas	55
Ambulatorio y centro de salud	41
Hotel *****	69
Hotel ****	55
Hotel ***	41
Hotel/hostal **	34
Camping	21
Hostal/pensión *	28
Residencia	41
Centro penitenciario	28
Albergue	24
Vestuarios/Duchas colectivas	21
Escuela sin ducha	4
Escuela con ducha	21
Cuarteles	28
Fábricas y talleres	21
Oficinas	2
Gimnasios	21

Ilustración 29: Código Técnico de la Edificación CTE DB-HE. Anejo F [19]

$$\text{Volumen requerido} = 4,5 \text{ personas} \times 41 \frac{\text{litros}}{\text{persona} \cdot \text{día}} = 184 \text{ litros}$$

Ecuación 13: Volumen depósito ACS [Elaboración propia]

### **4.2.3 ADAPTACIONES ESTRUCTURALES NECESARIAS**

La vivienda, al no contar con un sistema de radiadores de baja temperatura actualmente, requerirá la instalación de este sistema. Las tuberías de estos radiadores operan a temperaturas más bajas que los radiadores convencionales, lo que maximiza la eficiencia de la bomba de calor aerotérmica. Durante la instalación, se integrará este sistema en todas las plantas habitables de la vivienda, asegurando su compatibilidad con el resto de la instalación.

En cuanto a la infraestructura eléctrica, será necesario realizar una conexión directa entre los sistemas de la bomba aerotérmica y el suministro eléctrico de la vivienda. Dado que este sistema complementará la instalación de paneles solares fotovoltaicos, se diseñará para maximizar el uso de energía renovable generada in situ. Esto reducirá la dependencia de la red eléctrica, disminuyendo tanto los costes operativos como el impacto ambiental.

### **4.3 IMPACTO ECONÓMICO**

La implementación de una bomba de calor aerotérmica en una vivienda unifamiliar supone una inversión inicial significativa, pero con beneficios económicos que la convierten en una opción rentable a largo plazo. Para una vivienda de aproximadamente 366 m<sup>2</sup> (contando con 3 plantas), el coste de instalación de una bomba de calor aerotérmica, incluyendo el sistema de radiadores de baja temperatura, se sitúa entre 15.000 € y 24.000 €. lo que representa una horquilla aproximada del 60% entre el valor mínimo y máximo. Este rango depende de factores como la marca del equipo seleccionado, la complejidad del proyecto y las tarifas de los instaladores. La inversión inicial puede variar, pero en la mayoría de los casos, se justifica ampliamente por los ahorros energéticos y económicos que genera este sistema [20].

El ahorro en consumo energético es uno de los principales atractivos de la bomba de calor aerotérmica. Al sustituir radiadores eléctricos convencionales por esta tecnología, se puede reducir el consumo eléctrico asociado a la climatización y la producción de agua caliente sanitaria en un 25% respecto al consumo inicial [21]. En el caso de la vivienda objeto de estudio, con un consumo anual estimado de 17.500 kWh utilizando radiadores eléctricos, la implementación de una bomba aerotérmica permitiría reducir este consumo a unos 4.375 kWh anuales. Con un precio medio de la electricidad de 0,15 €/kWh, los costes energéticos actuales de 2.625 € anuales se reducirían en aproximadamente 656,25 €, es decir, en un 25%. Esto implica un ahorro anual estimado de 1.968,75 €, permitiendo amortizar la inversión inicial en un periodo de entre 8 y 13 años, dependiendo de los usos del sistema y las condiciones de la vivienda.

Además, existen diversos programas de subvenciones y ayudas destinadas a la instalación de tecnologías renovables como la aerotermia. En el caso de la vivienda de estudio, las ayudas de las que se podría beneficiar serían: ayuda del gobierno español que permite deducir el 40% del coste en el IRPF (con un ahorro de hasta 3000 €) y las subvenciones Next Generation EU [22]. Dichas ayudas no son garantías absolutas y no deben considerarse como un factor determinante en el plan de negocio. Si estas ayudas llegan a concretarse, representarían un beneficio adicional que podría acelerar el retorno de la inversión, pero el análisis debe fundamentarse exclusivamente en los costes e ingresos previstos bajo condiciones normales del mercado.

Otro aspecto económico importante es el incremento del valor de la propiedad. La incorporación de tecnologías eficientes y sostenibles, como la aerotermia, hace que las viviendas sean más atractivas en el mercado inmobiliario. Los compradores potenciales valoran cada vez más las soluciones energéticas sostenibles, no solo por su contribución al medio ambiente, sino también por los ahorros que generan en las facturas energéticas a lo largo del tiempo. Esto significa que la inversión en aerotermia no solo se traduce en ahorros operativos, sino también en una revalorización del inmueble.

Finalmente, la estabilidad frente a las fluctuaciones en los precios de la energía es una ventaja clave. Al depender en gran medida de una fuente de energía renovable como el aire exterior, la bomba aerotérmica reduce la vulnerabilidad de la vivienda a los cambios en los precios de los combustibles fósiles y la electricidad de la red. Esto proporciona mayor predictibilidad en los costes energéticos y seguridad económica a largo plazo.

#### **4.4 CÁLCULOS Y CONSIDERACIONES**

Según la directiva 2009/28 de la UE, las bombas de calor pueden considerarse como fuentes de energía renovable únicamente si superan ciertos valores de rendimiento estacional (SPF). En la Decisión 2013/114, se establece la fórmula para calcular la cantidad de energía renovable suministrada por estas bombas de calor ( $E_{RES}$ ), considerando factores como el calor útil producido por la bomba ( $Q_{usable}$ ) y el valor estacional del COP (SPF) [23].

$$E_{RES} = Q_{usable} * \left(1 - \frac{1}{SPF}\right)$$

*Ecuación 14: Cantidad de energía renovable suministrada por una bomba de calor ( $E_{RES}$ ) [Elaboración propia]*

El calor útil producido por la bomba se calcula como el producto entre  $H_{HP}$  (horas anuales equivalentes a potencia térmica nominal) y  $P_{rated}$  (potencia nominal de refrigeración o calefacción).

$$Q_{usable} = H_{HP} * P_{rated}$$

*Ecuación 15: Calor útil producido por la bomba [Elaboración propia]*

Por otro lado, el SPF (Seasonal Performance Factor) es el coeficiente de rendimiento estacional. Antes de 2013, se empleaban métodos de comparación como el COP (Coeficiente de Rendimiento) y el EER (Ratio de Eficiencia Energética) para evaluar el rendimiento de las bombas de calor bajo condiciones de carga al 100%. Sin embargo, dado que estos equipos suelen operar con cargas parciales durante la mayor parte del tiempo, se constató que dichos métodos no reflejaban con precisión su eficiencia real. Por esta razón, se introdujo el SPF, que proporciona una evaluación más representativa del rendimiento estacional [22].

$$SPF = \frac{\text{Energía útil proporcionada por la bomba } (Q_{usable})}{\text{Energía eléctrica consumida por la bomba}}$$

*Ecuación 16: Cálculo coeficiente de rendimiento estacional [Elaboración propia]*

Para ser considerada renovable, el SPF debe superar el valor mínimo de  $1,15/\eta$ , donde  $\eta$  representa la eficiencia media de generación eléctrica, establecida en 0,455 para bombas eléctricas.

#### **4.4.1 APLICACIÓN A LA VIVIENDA ESTUDIADA**

A efectos estadísticos la UE sólo considera como renovable la bomba de calor en modo de calefacción. Alicante, considerado un clima más cálido según la clasificación de la UE, implica que las bombas de calor tienen una menor aportación de energía renovable cuando operan en modo de calefacción, ya que se estima que solo el 10% de la potencia nominal de calefacción se utiliza efectivamente para este propósito en este tipo de clima. Esto se debe a que las necesidades de calefacción en climas más cálidos son más limitadas en comparación con climas medios o fríos.

Este dato tiene implicaciones importantes para la vivienda estudiada, ya que el rendimiento general de la bomba de calor aerotérmica en Alicante estará más orientado hacia la refrigeración y el agua caliente sanitaria, donde no se reconoce oficialmente como energía renovable según la normativa europea. No obstante, esto no implica que la tecnología no sea eficiente; al contrario, la bomba de calor sigue representando una solución energética de alta eficiencia, capaz de reducir significativamente el consumo eléctrico y las emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con sistemas de climatización convencionales.

Además, para maximizar la aportación renovable y el rendimiento del sistema en este contexto climático, es esencial complementar la bomba de calor con otras tecnologías renovables, como los paneles solares fotovoltaicos. Esto permite no solo reducir la dependencia de la red eléctrica, sino también mejorar la calificación energética de la vivienda al integrar distintas fuentes de energía sostenible.

En conclusión, aunque el uso de la bomba de calor en Alicante no aprovecha completamente su capacidad renovable en modo calefacción debido a la limitada demanda de calor, sigue siendo una opción estratégica para mejorar la eficiencia energética y avanzar hacia un modelo más sostenible en climas cálidos.

La bomba de calor aerotérmica a implementar será del tipo aire-agua reversible, las condiciones climáticas de Alicante influyen directamente en el rendimiento del sistema y en su capacidad para ser considerada como una fuente de energía renovable ya que se considera dentro de la sección clima más cálido.

	Clima más cálido		Clima medio		Clima más frío	
	H <sub>HP</sub>	SPF	H <sub>HP</sub>	SPF	H <sub>HP</sub>	SPF
Aire-Aire	1.200	2,7	1.770	2,6	1.970	2,5
Aire-Aire (reversible)	120	2,7	710	2,6	1.970	2,5
Aire-agua	1.170	2,7	1.640	2,6	1.710	2,5
Aire-Agua (reversible)	117	2,7	660	2,6	1.710	2,5
Tierra-Agua	1.340	3,5	2.070	3,5	2.470	3,5

Tabla 3: Características bomba según tipo y clima [24]

Como se puede observar en la Tabla 2 las horas de operación anual equivalente (H<sub>HP</sub>) para un clima más cálido, la bomba de calor aire-agua reversible se espera que opere 117 horas equivalentes en modo de calefacción. Este valor refleja el uso limitado de calefacción en Alicante debido a los inviernos suaves.

Por otro lado, el SPF (factor de rendimiento estacional) para la configuración de bomba a implementar es de 2,7, un valor suficiente para superar el límite mínimo requerido por la normativa de la UE para ser considerada una fuente de energía renovable.

Para una vivienda de 366 m<sup>2</sup> en Alicante, un clima cálido, la demanda de calefacción y refrigeración por metro cuadrado varía según el aislamiento y las características constructivas. Estableciendo el rango típico de carga térmica en climas cálidos de 50-70 W/m<sup>2</sup>, asumiremos que la vivienda tiene un aislamiento razonable conseguido a través del doble acristalamiento explicado en el capítulo 3 y de acuerdo con las indicaciones del Documento Básico de Ahorro de Energía, se ha calculado el rango de valores en los que se debe encontrar potencia nominal de la bomba [25].

$$P_{ratedmin} = Superficie_{total} * Carga_{térmica} = 366 \text{ m}^2 * 50 \frac{W}{m^2} = 18,3 \text{ kW}$$

Ecuación 17: Potencia nominal mínima de la bomba de la vivienda [Elaboración propia]

$$P_{ratedmax} = Superficie_{total} * Carga_{t\acute{e}rmica} = 366 \text{ m}^2 * 70 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 25,6 \text{ kW}$$

*Ecuación 18: Potencia nominal máxima de la bomba de la vivienda [Elaboración propia]*

$$18,3 \text{ kW} \leq P_{rated} \leq 25,6 \text{ kW}$$

*Ecuación 19: Rango valores potencia nominal bomba de la vivienda [Elaboración propia]*

A partir de la potencia nominal (19,4 kW según la bomba elegida en el próximo apartado), se ha podido calcular el calor útil producido por la bomba a implementar.

$$Q_{usable} = H_{HP} * P_{rated} = 117 * 19,4 = 2.270 \text{ kWh}$$

*Ecuación 20: Calor útil producido por la bomba de la vivienda [Elaboración propia]*

Se definen a efectos estadísticos 3 climas en Europa. El clima más frío está basado en Helsinki y no existe en España. El clima medio está basado en Estrasburgo y existe en España en las siguientes Comunidades: Navarra, Castilla-León, la Rioja y Aragón. Por último, se encuentra el clima más cálido, el cual está basado en Atenas, y es con el que cuentan el resto de las comunidades de España.



*Ilustración 30: Mapa de España con la clasificación de zonas climáticas [26]*

Como se menciona anteriormente, al clasificarse Alicante como un clima más cálido, se considera sólo el 10% de la potencia nominal de calefacción.

$$E_{RES} = 10\% * Q_{usable} * \left(1 - \frac{1}{SPF}\right) = 0,1 * 2270 * \left(1 - \frac{1}{2,7}\right) = 142,9 \text{ kWh}$$

*Ecuación 21: Energía renovable suministrada mediante la bomba de la vivienda [Elaboración propia]*

De esta manera, la cantidad de energía renovable suministrada mediante la bomba de calor en la vivienda de estudio será de 142,9 kWh. Cabe mencionar que, la futura integración de los paneles solares con el sistema de aerotermia permitirá que una mayor proporción de la energía utilizada provenga de fuentes renovables, reduciendo aún más el impacto ambiental y los costes operativos.

#### **4.5 SOFTWARE SANIER DUVAL ®**

A partir de los cálculos y observaciones descritos en el capítulo, se ha empleado la ejecución del Software de la compañía especializada en sistemas de climatización para hogares Sanier Duval®, con el objetivo de seleccionar la bomba óptima a implementar en la vivienda.

En un primer lugar, se han introducido los siguientes datos: tipo de vivienda (unifamiliar), localidad (Alicante), superficie calentada en m<sup>2</sup> (366 m<sup>2</sup>), tipo de instalación (radiadores de baja temperatura), temperatura de confort (21°C) y nivel de aislamiento (bueno 5-10 cm).

Tipo de vivienda <b>Unifamiliar</b>	Localidad <b>Alicante</b>	Superficie calentada m <sup>2</sup> <b>366</b>	Tipo de instalación <b>Radiadores baja...</b>
Consumo anual combustible actual <b>No Aportado</b>		Temperatura de confort <b>21 ° C</b>	

*Ilustración 31: Datos introducidos en el software.*

Bomba seleccionada <b>GENIA AIR MAX 12 (2 ud.)</b>	Potencia diseño <b>19.43 kW</b>	Zona climática considerada <b>B4</b>	Temperatura exterior de diseño <b>2.5 ° C</b>
---	------------------------------------	---	--

\* Resultados según normativa vigente.

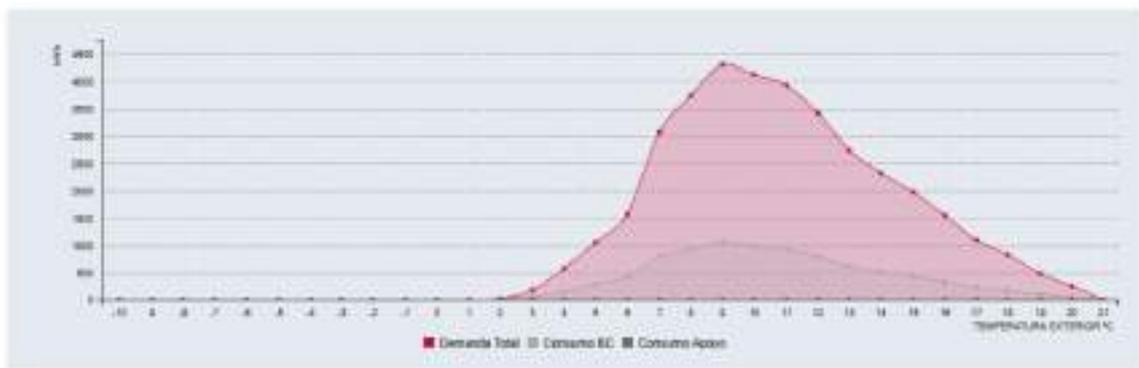
*Ilustración 32: Resultados del estudio del software*

Según los datos proporcionados, tal como se observa en la imagen 18, el software ha determinado que la bomba más adecuada para el sistema es la GENIA AIR MAX 12, requiriéndose 2 unidades para cumplir con las exigencias establecidas en la normativa vigente. Este sistema combinado proporciona una potencia de diseño de 19,43 kW (dentro del rango de 18,3-25,6 kW que se consideraba óptimo para la bomba según los cálculos del apartado anterior), asegurando así que se satisfagan las necesidades térmicas de la vivienda de manera eficiente

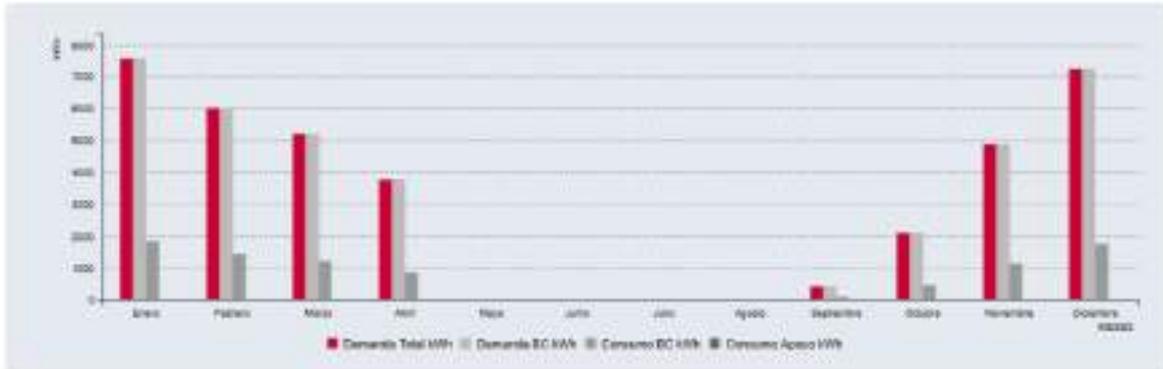


*Ilustración 33: Bomba GENIA AIR MAX 12*

Con el modelo de bomba ya seleccionado, el software Saunier Duval® muestra las gráficas en la que se representa la demanda y consumo de la bomba en kWh anualmente en función de la temperatura exterior. Y, por otro lado, representa el consumo mensual en kWh.

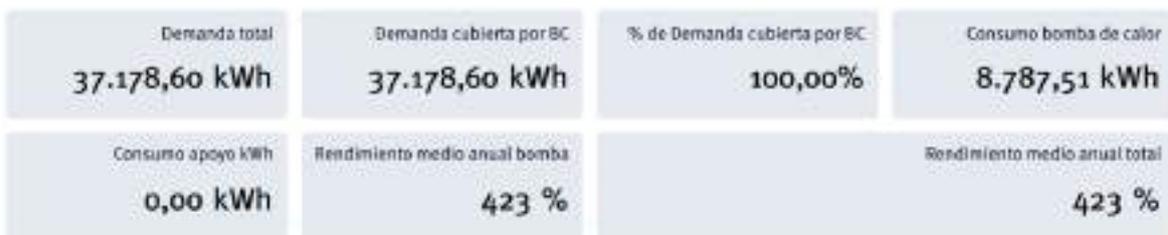


*Ilustración 34: Demanda y consumo de las bombas en kWh anualmente en función de la temperatura exterior*



*Ilustración 35: Consumo mensual de las bombas en kWh*

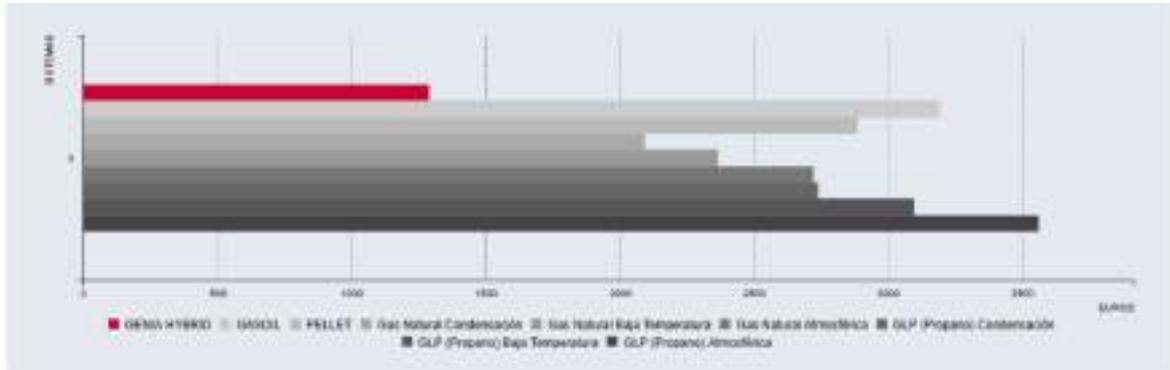
El informe del software Saunier Duval® concluye en los siguientes resultados:



*Ilustración 36: Resultados informe software Saunier Duval®*

Se puede observar como la demanda total anual de energía, 31.178,6 kWh, es cubierta en su totalidad (100%) por las bombas de calor, eliminando la necesidad de un sistema de apoyo adicional. El consumo de las bombas de calor es de 8.787,5 kWh al año, lo que demuestra su eficiencia comparada con sistemas de calefacción convencionales.

Por último, se puede observar una comparativa entre los distintos métodos en términos económicos y concluir que la bomba aerotérmica seleccionada supondrá un ahorro en los costes energéticos.



*Ilustración 37: Comparativa económica entre los distintos métodos*

## Capítulo 5. INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

En este capítulo se detalla otra propuesta para la mejora de la eficiencia energética de la vivienda como es la instalación de paneles solar en la misma. El objetivo principal de esta instalación fotovoltaica es fomentar el autoconsumo de la energía generada, contribuyendo así a la reducción del consumo energético de la vivienda.

### 5.1 ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

#### 5.1.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

El módulo fotovoltaico, también conocido como panel o placa solar, es el dispositivo que capta la energía solar para iniciar el proceso de transformación en energía sostenible. El material semiconductor del que está recubierto, habitualmente silicio, es sensible a la luz y genera electricidad al recibir la radiación solar gracias al fenómeno físico conocido como efecto fotovoltaico [27].

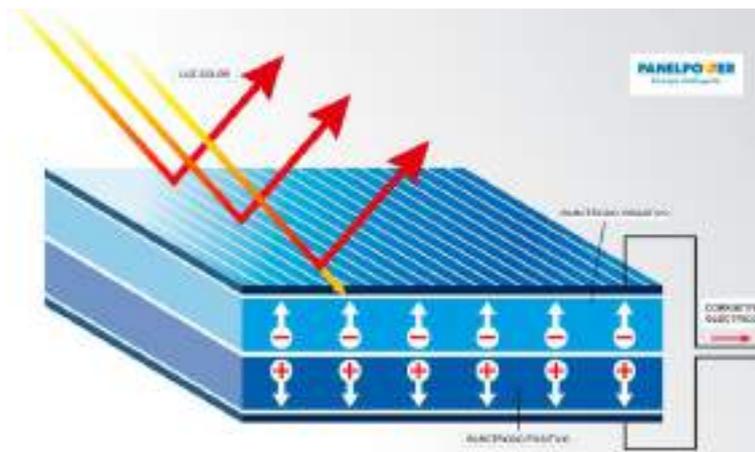


Ilustración 38: Efecto fotovoltaico [28]

El efecto fotovoltaico, descubierto por primera vez en 1839 por Edmond Becquere, es una propiedad de los materiales semiconductores que les permite generar una corriente eléctrica cuando se exponen a la luz solar. Primero, la luz impacta en una celda fotovoltaica y es absorbida por su componente principal, el silicio. Estos fotones entrantes hacen que los electrones del silicio se suelten, lo que eventualmente se convertirá en electricidad. Hay dos capas de silicio que se utilizan en las células fotovoltaicas, y cada una está especialmente tratada para crear un campo eléctrico. Es decir, un lado tiene una carga neta positiva (gracias al boro) y el otro tiene una carga neta negativa (gracias al fósforo). Este campo eléctrico hace que los electrones sueltos fluyan en una dirección a través de la celda solar, generando una corriente eléctrica continua. Una vez con la corriente generada, los electrones se transfieren a cables para llegar en forma de electricidad a un inversor de corriente para que puedas llegar electricidad alterna [28].

Los tipos más comunes de módulos fotovoltaicos son el silicio monocristalino, policristalino y de capa fina.

<i>Monocristalino</i>	<i>Policristalino</i>	<i>Capa Fina o amorfo</i>
Módulos azul oscuro cuyas células tienen unos bordes redondeados y están formadas por cristales de silicio monocristalino, todos orientados en la misma dirección.	Módulos azules con tonos cambiantes compuestos por cristales de silicio orientados de manera no uniforme.	Módulos flexibles, más baratos y de menor eficiencia.

<p>Con luz perpendicular garantizan una buena producción de energía, con una eficiencia de ~18-21%.</p>	<p>Menor eficiencia (15-17%) si reciben los rayos del sol perpendicularmente, pero su rendimiento es mayor a lo largo del día.</p>	<p>Baja eficiencia media entre el 7-13%, debido a la mala calidad del silicio utilizado.</p>
 <p><i>Ilustración 39: Panel policristalino [29]</i></p>	 <p><i>Ilustración 40: Panel monocristalino [29]</i></p>	 <p><i>Ilustración 41: Panel amorfo [29]</i></p>

*Tabla 4: Comparativa tipos más comunes de módulos fotovoltaicos [27][29]*

El rendimiento de los módulos dependerá, además, de sus características técnicas, como la potencia pico ( $W_p$ ) de cada módulo, su eficiencia, la tolerancia a temperaturas elevadas y la capacidad de soportar condiciones climáticas adversas.

En la vivienda de estudio se ha optado por implementar la instalación fotovoltaica con módulos monocristalinos debido a las características propias de estos paneles descritas en la tabla anterior. La potencia de los paneles será de 450  $W_p$  debido a la afirmación de Solarix “Optar por unos módulos de tamaño reducido puede ayudar a diseñar distribuciones del campo fotovoltaico en las que quepan más placas y más potencia instalada. Por eso cuando abordamos proyectos de instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo en viviendas, lo normal es que optemos por paneles que rondan los 450  $W_p$ ” [30].

El módulo escogido para la instalación es el panel solar Tiger Neo N-type 54HL4R-(V) 425-445 Watt Monocristalino. Se ha escogido este módulo del productor JinkoSolar, ya que fue el mayor el top 1 fabricante con más módulos vendidos en 2023. Además, se ha elegido dentro de este productor un módulo de 445 Wp por ser el más cercano a la recomendación de 450 por parte de Solarix, y monocristalino debido a sus características. El coste de cada módulo es de 67,39 €.

La ficha técnica del panel solar escogido se muestra en el Anexo I.

### **5.1.2 INVERSOR**

El inversor es un componente esencial en cualquier sistema fotovoltaico, ya que convierte la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA) utilizable en la red eléctrica. Esta conversión es fundamental para el funcionamiento de los electrodomésticos y otros dispositivos eléctricos en la vivienda [32].

Un inversor fotovoltaico debe ser capaz de convertir la energía generada por los paneles solares de manera eficiente, garantizando un rendimiento óptimo mediante una potencia máxima adecuada para la instalación. Es esencial que cuente con sistemas de protección que detengan su funcionamiento ante fallos, optimice la producción de energía incluso en condiciones adversas como sombras parciales y registre datos para monitorizar y detectar problemas, asegurando así la eficiencia y la fiabilidad del sistema [33].

El inversor seleccionado en este estudio es de tipo monofásico, el más habitual en viviendas residenciales. Además, se optará por un inversor híbrido, que destaca por su compatibilidad con sistemas de almacenamiento de energía. Estos dispositivos pueden funcionar perfectamente sin baterías, pero ofrecen la posibilidad de incorporarlas en el futuro si el usuario lo considera necesario. El modelo elegido es Inversor Huawei SUN2000-3KTL-L1 3000W, debido a sus características y precio asequible de 520,30€ [34]. La ficha técnica del panel solar escogido se muestra en el Anexo I.



*Ilustración 42: Inversor Huawei SUN2000-3KTL-L1 3000W [34]*

Tipo/Función/Modelo:	SUN2000-3KTL-L1	SUN2000-3KTL-L1	SUN2000-3KTL-L1	SUN2000-3KTL-L1	SUN2000-3KTL-L1	SUN2000-3KTL-L1	SUN2000-3KTL-L1
<b>Eficiencia</b>							
Modo de trabajo:	98,7 %	98,8 %	98,7 %	98,8 %	98,8 %	98,8 %	98,8 %
Modo de arranque:	98,7 %	98,8 %	98,7 %	98,8 %	98,8 %	98,8 %	98,8 %
<b>Entrada (AC)</b>							
Entrada AC (1 Línea, 3 fases)	2400 VA	2400 VA	2400 VA	2400 VA	2400 VA	2400 VA	2400 VA
Modo de conexión:	WY - 3Ø/3L						
Modo de conexión de neutro:	3Ø/3L						
Modo de conexión de tierra:	TT, TN						
Modo de conexión de protección:	TN, TT						
Modo de conexión de puesta a tierra:	TN, TT						
<b>Entrada (Batería DC)</b>							
Modo de conexión:	270V - 50A/150A/225A/300A						
Modo de conexión de neutro:	3Ø/3L						
Modo de conexión de tierra:	3Ø/3L						
Modo de conexión de protección:	3Ø/3L						
Modo de conexión de puesta a tierra:	3Ø/3L						
<b>Salida</b>							
Modo de conexión:	3Ø/3L						
Modo de conexión de neutro:	3Ø/3L						
Modo de conexión de tierra:	3Ø/3L						
Modo de conexión de protección:	3Ø/3L						
Modo de conexión de puesta a tierra:	3Ø/3L						
<b>Protección &amp; Características</b>							
Protección contra sobrecargas:	Sí						
Protección contra sobrecargas de línea:	Sí						
Protección contra sobrecargas de fase:	Sí						
Protección contra sobrecargas de neutro:	Sí						
Protección contra sobrecargas de tierra:	Sí						
Protección contra sobrecargas de protección:	Sí						
Protección contra sobrecargas de puesta a tierra:	Sí						
Protección contra sobrecargas de conexión:	Sí						
Protección contra sobrecargas de puesta a tierra de conexión:	Sí						
<b>Condiciones generales</b>							
Temperatura de trabajo:	-25°C ~ 55°C						
Temperatura de almacenamiento:	-40°C ~ 70°C						
Humedad:	0 ~ 95% (sin condensación)						
Altura:	0 ~ 3000 m						
Compatibilidad:	Compatible con Huawei SUN2000-3KTL-L1						
<b>Compatibilidad con otros dispositivos</b>							
Compatibilidad con otros dispositivos:	Compatible con otros dispositivos						

*Tabla 5: Especificaciones técnicas Inversor Huawei SUN2000-3KTL-L1 3000W [34]*

## ***5.2 OPTIMIZACIÓN DEL RECURSO SOLAR***

### **5.2.1 ANÁLISIS RADIACIÓN SOLAR**

Se define radiación solar como la energía emitida por el Sol, la cual se propaga en todas direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas [35]. Según la forma en la que llega a la Tierra se puede clasificar en tres tipos distintos:

- ✓ La radiación solar directa es la que traspasa la atmósfera y alcanza la superficie de la Tierra sin haber sufrido dispersión alguna en su trayectoria.
- ✓ La radiación solar difusa la que alcanza la superficie de la Tierra tras haber sufrido múltiples desviaciones en su trayectoria, por ejemplo, por los gases presentes en la atmósfera.
- ✓ La radiación solar reflejada es aquella fracción de radiación solar que es reflejada por la propia superficie terrestre, en un fenómeno conocido como efecto albedo.

La combinación de todas las tres componentes distintas de radiación da lugar a la radiación solar global, siendo la radiación directa y la difusa las más relevantes para el análisis del proyecto.

El análisis de radiación se ha realizado mediante el uso del Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), una herramienta clave en el desarrollo del proyecto. Este software gratuito, reconocido a nivel internacional, proporciona información detallada sobre la radiación solar y el rendimiento estimado de los sistemas fotovoltaicos en diferentes ubicaciones geográficas. Su ámbito de aplicación abarca toda Europa, África y amplias regiones de Asia y América, lo que lo convierte en un recurso esencial tanto para proyectos residenciales como industriales. Validado por la Unión Europea, PVGIS es ampliamente utilizado en investigaciones académicas y técnicas, consolidándose como un estándar de referencia en el diseño de sistemas fotovoltaicos.

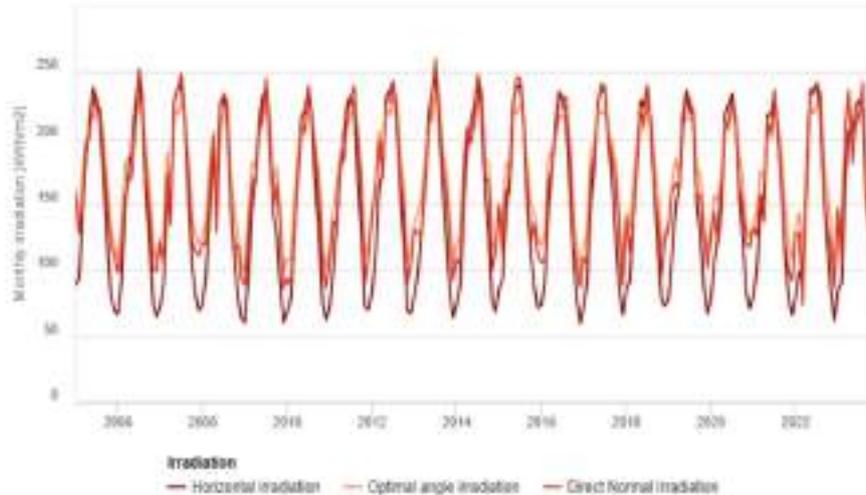
La siguiente tabla, elaborada a partir de los datos obtenidos de la herramienta PVGIS y utilizando las coordenadas específicas de la vivienda (latitud 38,365° y longitud -0,456°), presenta un estudio mensual de cinco factores clave, basado en información recopilada desde el año 2005 hasta 2023. Estos cinco factores son:

- ✓ GHI (Global Horizontal Irradiation), se refiere a la irradiación solar en un plano horizontal en  $\text{kwh/m}^2$
- ✓ OII (Optimal Inclined Irradiation), representa la irradiación solar en un plano inclinado óptimamente para maximizar la captación solar en  $\text{kwh/m}^2$
- ✓ BNI (Beam Normal Irradiation), corresponde a la irradiación directa sobre un plano normal a los rayos solares en  $\text{kwh/m}^2$
- ✓ Kd es el coeficiente entre la radiación difusa y la radiación global
- ✓ La temperatura expresada en grados Celsius.

PVGIS	GHI $\text{kwh/m}^2$	OII $\text{kwh/m}^2$	BNI $\text{kwh/m}^2$	Kd -	Temp °C
<b>Ene</b>	77	129	123	0,35	12,35
<b>Feb</b>	95	138	122	0,38	12,79
<b>Mar</b>	142	175	153	0,38	14,48
<b>Abr</b>	175	187	173	0,36	16,49
<b>May</b>	215	208	204	0,34	19,68
<b>Jun</b>	230	212	223	0,31	23,42
<b>Jul</b>	237	222	238	0,29	26,17
<b>Ago</b>	211	217	222	0,29	26,42
<b>Sept</b>	158	186	170	0,34	23,89
<b>Oct</b>	120	164	144	0,37	20,58
<b>Nov</b>	81	127	113	0,39	16,03
<b>Dic</b>	67	113	101	0,40	13,35
<b>Anual</b>	1808	2078	1987	0,35	18,80

Tabla 6: Análisis mensual radiación solar [Fuente: PVGIS]

### Monthly solar irradiation estimates



*Ilustración 43: Estimaciones mensuales de la irradiación solar. [Fuente PVGIS]*

Además, PVGIS se ha empleado para determinar los valores óptimos de orientación y acimut de los paneles fotovoltaicos. La intensidad de la radiación solar varía dependiendo de estos parámetros, que están determinados por la ubicación geográfica y la disposición específica del lugar de estudio. Una correcta selección de estos ángulos es esencial para optimizar el diseño y maximizar el rendimiento de las placas solares.

El acimut, que mide el ángulo entre el norte geográfico y la proyección del Sol sobre el plano horizontal, es un parámetro crucial para optimizar la captación de energía solar. La inclinación óptima es de  $34^\circ$  siendo el azimut  $9^\circ$ .

### 5.2.2 BASE DE CÁLCULO DE OPTIMIZACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO

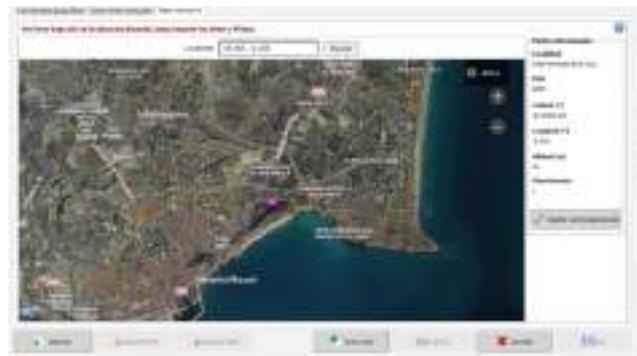
El objetivo del estudio es simular el diseño y la generación teórica de energía por parte de los paneles solares a instalar en la vivienda. Se busca maximizar la potencia generada, garantizando a su vez una inversión económicamente viable. Para llevar a cabo este análisis, se empleará el software PVSyst, una herramienta especializada en la simulación y diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica.

Este programa dispone de una amplia base de datos que incluye numerosos registros de diversos parámetros, como se observa en la imagen a continuación.



*Ilustración 44: Base de datos programa PVSyst*

En primer lugar, se han determinado la latitud y la longitud de la vivienda objeto de estudio.



*Ilustración 45. Latitud, longitud y altitud en PVSyst*

Una vez identificado el punto donde se realizará la instalación, es posible determinar el mapa de calor de la zona, así como todos los parámetros relevantes para el estudio, como la irradiación horizontal global, irradiación difusa horizontal, temperatura, velocidad del viento, turbidez Linke y humedad relativa.

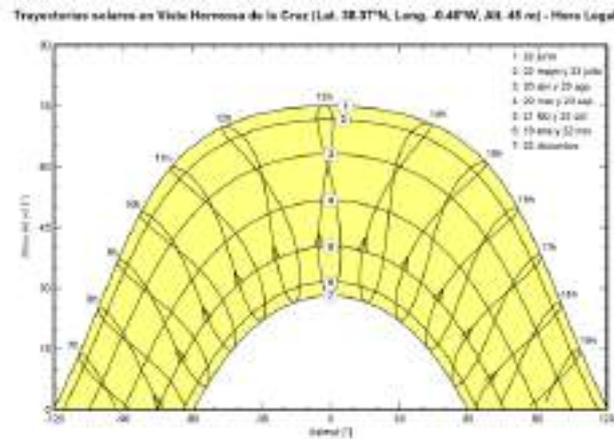


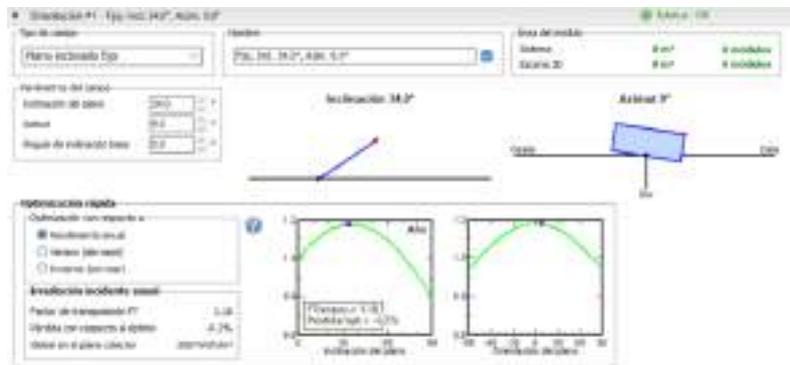
Ilustración 46: Mapa de calor [Fuente: PVSyst]

	Irradiación horizontal global kWh/m <sup>2</sup> /mes	Irradiación difusa horizontal kWh/m <sup>2</sup> /mes	Temperatura °C	Velocidad del viento m/s	Turbidez Linke [ ]	Humedad relativa %
Enero	179.3	25.7	11.1	3.40	3.878	94.7
Febrero	213.2	24.8	11.4	3.49	3.524	94.0
Marzo	241.8	21.9	11.9	3.50	3.332	91.4
Abril	276.1	16.7	16.0	3.29	3.203	91.3
Mayo	321.4	19.8	19.8	3.00	4.361	91.7
Junio	333.7	21.3	23.7	3.91	4.344	96.3
Julio	326.8	27.8	27.1	3.89	4.997	96.3
Agosto	308.4	36.7	27.8	3.80	4.527	93.3
Septiembre	279.8	36.1	22.9	3.30	3.948	96.7
Octubre	213.8	45.7	20.3	3.59	3.230	97.9
Noviembre	179.3	23.8	14.7	3.30	3.524	91.3
Diciembre	140.3	26.3	11.0	3.30	3.794	91.1
<b>Año</b>	<b>3756.8</b>	<b>655.8</b>	<b>18.4</b>	<b>3.1</b>	<b>3.643</b>	<b>93.7</b>

Irradiación horizontal global variabilidad año a año: 2.3%

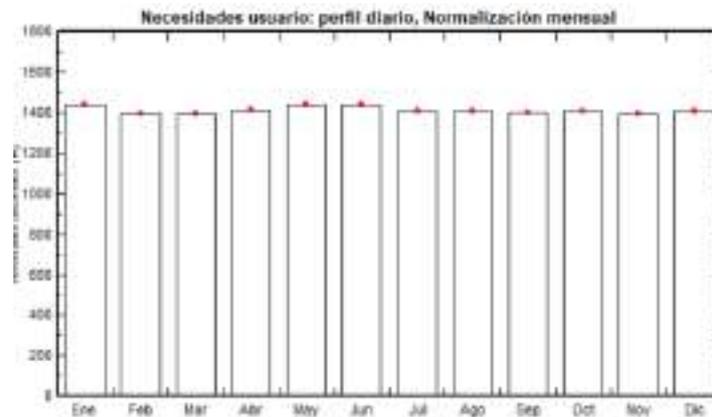
Tabla 7: Parámetros relevantes para el estudio solar [Fuente: PVSyst]

A continuación, se han fijado los ángulos de inclinación y azimut óptimos calculados en el apartado anterior con el programa PVGIS. Se puede observar que, con estos ángulos, el factor de trasposición es de 1,18, significa que obtendremos un 18% de potencia más que si pusiéramos los paneles a ras del suelo.



*Ilustración 47: Ángulos de inclinación y azimut en PVSyst*

Es fundamental determinar el consumo energético de la vivienda. En este caso, se ha registrado el consumo a nivel mensual, utilizando los datos históricos analizados en el capítulo 2.



*Ilustración 48: Datos de consumo de la vivienda en PVSyst a partir del histórico de consumo*

La optimización de los paneles se realiza utilizando todos los datos mencionados anteriormente e incorporando el tipo de paneles solares y el inversor definidos en el apartado anterior. En este caso, la instalación se optimiza con 8 paneles Tiger Neo N-type 54HL4R-(V) de 425-445 W monocristalinos y un inversor Huawei SUN2000-3KTL-L1 de 3000 W.

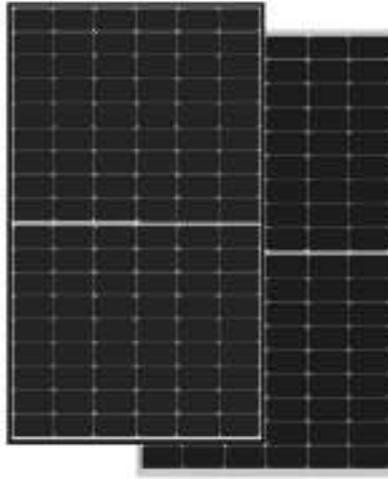
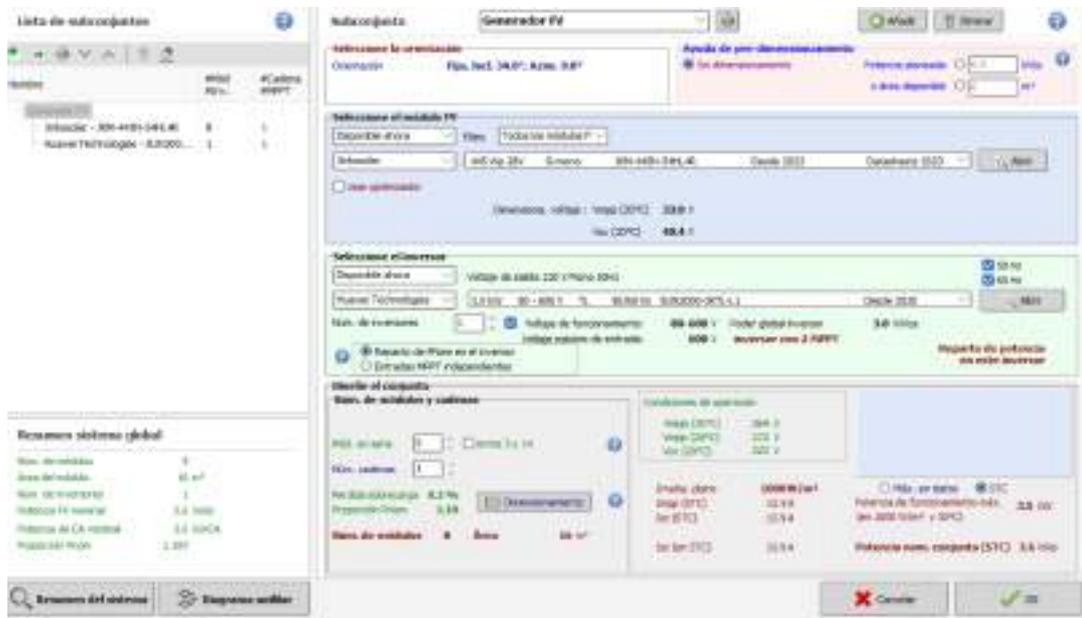


Ilustración 49: Panel Solar Tiger Neo N-type 54HLAR-(V) [36]

SPECIFICATIONS											
Module type	JEM423r-54H4R		JEM432r-54H4R		JEM433r-54H4R		JEM434r-54H4R		JEM435r-54H4R		
	JEM423N-54H4R-V		JEM432N-54H4R-V		JEM433N-54H4R-V		JEM434N-54H4R-V		JEM435N-54H4R-V		
	IRC	HOCT	IRC	HOCT	IRC	HOCT	IRC	HOCT	IRC	HOCT	
Maximum Power (P <sub>max</sub> )	423Wp	320Wp	432Wp	323Wp	433Wp	327Wp	440Wp	331Wp	445Wp	335Wp	
Maximum Power Voltage (V <sub>mp</sub> )	33.18V	26.99V	33.38V	30.10V	33.39V	30.20V	33.21V	30.36V	33.02V	31.79V	
Maximum Power Current (I <sub>mp</sub> )	13.21A	11.67A	13.38A	10.73A	13.35A	10.78A	13.46A	10.85A	13.48A	11.89A	
Open-circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	38.75V	36.81V	38.75V	37.00V	39.14V	37.20V	38.28V	37.41V	39.39V	37.61V	
Short-circuit Current (I <sub>sc</sub> )	13.66A	11.03A	13.75A	11.09A	13.80A	11.14A	13.81A	11.19A	13.93A	11.25A	
Module Efficiency (STC) (%)	21.27%		21.32%		21.77%		22.02%		22.27%		
Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C										
Maximum system voltage	1500V/1500VDC (IEC)										
Maximum system load rating	75A										
Power tolerance	0~+3%										
Temperature coefficient of P <sub>max</sub>	-0.29%/°C										
Temperature coefficient of V <sub>oc</sub>	0.225%/°C										
Temperature coefficient of I <sub>sc</sub>	0.045%/°C										
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C										

Tabla 8: Especificaciones Panel Solar Tiger Neo N-type 54HLAR-(V) [36]



*Ilustración 50: Optimización de paneles solares e inversor con PVSystem*

En esta situación optimizada con PVSystem, se estima que la energía generada útil por los paneles solares es de 5.412 kWh anuales. El informe completo de la instalación, que incluye un diagrama de pérdidas, se encuentra en el Anexo II. A partir de este momento, se asumirá que la instalación de los paneles solares en la cubierta se llevará a cabo con los ocho paneles y el inversor previamente mencionados.

### **5.3 IMPACTO ECONÓMICO**

La instalación fotovoltaica propuesta tiene como objetivo principal fomentar el autoconsumo energético, reduciendo los costes asociados al consumo eléctrico de la vivienda y garantizando una inversión económicamente viable en el largo plazo.

El coste total de los equipos necesarios para la instalación incluye los paneles solares, el inversor y materiales adicionales. Las 8 unidades del modelo Tiger Neo N-type 54HL4R-(V) de 425-445 Wp con un precio unitario de 70,94 € representan un total de 567,52 €. El inversor Huawei SUN2000-3KTL-L1 de 3000W presenta un gasto de 520,30 €. Los materiales y accesorios adicionales comprenden cables, estructuras de soporte, sistemas de conexión y elementos de fijación se estiman en 500 €.

Por otro lado, la mano de obra para la instalación y puesta en marcha se valorada en 1.100€. De esta manera, el coste total estimado de la instalación, teniendo en cuenta materiales y mano de obra, asciende a 2.687,82 €.

Con base en el análisis de irradiación solar realizado con PVGIS y PVSyst, se estima una generación anual de energía útil de 5.412 kWh gracias a la instalación de los paneles solares. Este valor equivale a aproximadamente un 60% del consumo total anual de la vivienda. Considerando un coste medio de la electricidad de 0,23 €/kWh, el ahorro anual en la factura eléctrica será de aproximadamente:

$$\text{Ahorro energético} = 5.412 \frac{\text{kwh}}{\text{año}} * 0,23 \frac{\text{€}}{\text{kwh}} = 1.244,8 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

*Ecuación 22: Ahorro en € debido a la instalación de paneles solares [Elaboración propia]*

El tiempo estimado para recuperar la inversión inicial se calcula considerando el coste total de la instalación y el ahorro anual en la factura eléctrica. A partir de este tiempo, la generación de energía será prácticamente gratuita, generando ahorros netos para el usuario.

$$ROI = \frac{\text{coste total}}{\text{ahorro anual}} = \frac{2.687,82 \text{ €}}{1.244,8 \text{ €}} = 2,16 \text{ años}$$

*Ecuación 23: Retorno de la inversión en paneles solares [Elaboración propia]*

Es importante considerar que los paneles solares tienen una vida útil estimada de 25 años, mientras que el inversor necesitará ser reemplazado entre los 10 y 15 años. Sin embargo, dado que el retorno de la inversión (ROI) se alcanza en menos de 10 años, a partir del tercer año la instalación comenzará a generar beneficios potenciales, los cuales permitirán financiar la inversión en un nuevo inversor alrededor del año 10.

## **Capítulo 6. PLAN DE NEGOCIO**

### ***6.1 INTRODUCCIÓN***

El plan de negocio tiene como propósito principal evaluar la viabilidad económica y técnica de las propuestas de mejora energética planteadas para la vivienda objeto de estudio. Este análisis no solo persigue optimizar el consumo de energía y reducir los costes asociados, sino también demostrar que las inversiones en tecnologías sostenibles son rentables a medio y largo plazo.

La relevancia de este plan de negocio se fundamenta en el contexto actual del mercado energético, donde el incremento en los precios de la energía y la necesidad de cumplir con objetivos de sostenibilidad global impulsan la implementación de soluciones eficientes. En particular, la vivienda de Alicante, situada en una región con un alto potencial de aprovechamiento solar, ofrece una oportunidad significativa para demostrar los beneficios de adoptar energías renovables y tecnologías de eficiencia energética.

A lo largo del capítulo se presenta un enfoque integral que conecta la sostenibilidad ambiental con la rentabilidad económica, destacando cómo este modelo puede replicarse en otras viviendas similares. De esta manera, el plan de negocio no solo aspira a ser una herramienta útil para el caso específico estudiado, sino también un referente para proyectos futuros en entornos residenciales que busquen avanzar hacia la transición energética y el ahorro económico. Este enfoque permite alinear los objetivos del trabajo con las necesidades del mercado y las prioridades medioambientales actuales, reforzando la justificación del proyecto en términos de impacto social, económico y ambiental.

## ***6.2 OBJETIVOS DEL PLAN DE NEGOCIO***

Los objetivos del plan de negocio se centran en demostrar la viabilidad y los beneficios de las mejoras propuestas para optimizar la eficiencia energética de la vivienda objeto de estudio. Este enfoque busca abordar tanto aspectos económicos como medioambientales, promoviendo un modelo que sea funcional, sostenible y replicable en otras viviendas con características similares.

Desde un punto de vista económico, el plan tiene como objetivo principal reducir significativamente los costes energéticos actuales de la vivienda mediante la implementación de soluciones eficientes como la bomba de calor aerotérmica, los paneles solares, la mejora del aislamiento y la iluminación tipo LED. Estas medidas no solo reducirán el gasto energético, sino que también incrementarán el valor de la vivienda, convirtiéndola en un ejemplo de sostenibilidad rentable en el largo plazo.

En el ámbito ambiental, los objetivos incluyen minimizar el impacto medioambiental de la vivienda reduciendo las emisiones de dióxido de carbono y promoviendo el uso de energías renovables. Esto se alinea con las estrategias globales de sostenibilidad y contribuye al cumplimiento de metas como la transición energética y la mitigación del cambio climático.

A nivel social, el proyecto busca mejorar la calidad de vida de los residentes al optimizar el confort térmico, la seguridad y la funcionalidad de la vivienda. Al mismo tiempo, pretende inspirar a otras viviendas a adoptar estas soluciones mediante un modelo práctico y accesible.

Finalmente, uno de los objetivos clave del plan es determinar si el proyecto es ejecutable en la práctica, considerando tanto los recursos necesarios como las condiciones específicas de su implementación. Este análisis permitirá tomar decisiones fundamentadas sobre su viabilidad y su posible replicación en el futuro.

## **6.3 ANÁLISIS DE MERCADO**

El análisis de mercado es fundamental para contextualizar la viabilidad del plan de negocio en el entorno actual y destacar las oportunidades que ofrece la implementación de medidas de eficiencia energética en el sector residencial. Este apartado se centra en estudiar las condiciones del mercado energético, evaluar las fortalezas y debilidades del proyecto e identificar las oportunidades y amenazas externas que podrían influir en su desarrollo.

En el mercado energético residencial se observa una creciente necesidad de soluciones que mejoren la eficiencia y reduzcan la dependencia de fuentes no renovables. Los cambios regulatorios, junto con las políticas públicas orientadas a fomentar la sostenibilidad, han generado incentivos y subvenciones para proyectos que promuevan el uso de energías renovables y tecnologías eficientes. En este contexto, el plan de negocio se posiciona como una solución que responde a las necesidades actuales de los propietarios de viviendas, quienes buscan reducir sus costes energéticos mientras cumplen con estándares más sostenibles.

### **6.3.1 ANÁLISIS DAFO**

El análisis DAFO (debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades) permite profundizar en las características específicas de un proyecto.

Entre las fortalezas destaca el alto potencial solar de la región de Alicante, que facilita el aprovechamiento de tecnologías como los paneles solares, así como el impacto positivo de las mejoras en términos de reducción de costes energéticos y de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Por otro lado, entre las debilidades se encuentra la inversión inicial requerida, que podría suponer una barrera para algunos propietarios, aunque esta se compensa con el retorno económico a medio y largo plazo.

Las oportunidades incluyen el acceso a subvenciones públicas y la creciente concienciación sobre la necesidad de transitar hacia modelos energéticos más sostenibles.

Por último, las amenazas no deben ser ignoradas, como los posibles cambios futuros en la regulación o variaciones en los costes de instalación y mantenimiento.

Este análisis no solo refuerza la relevancia del proyecto en el contexto actual, sino que también permite identificar los factores clave para garantizar su éxito. La capacidad de adaptarse a las condiciones del mercado y aprovechar las oportunidades disponibles será determinante para asegurar la implementación efectiva de las medidas propuestas. El estudio del entorno de mercado, en combinación con las fortalezas internas del proyecto, sitúa al plan de negocio como una iniciativa viable y atractiva para contribuir al avance de la eficiencia energética en el sector residencial.

## ***6.4 PROPUESTA DE VALOR***

La propuesta de valor del plan de negocio radica en ofrecer una solución integral para la mejora de la eficiencia energética en viviendas residenciales, combinando tecnologías avanzadas, viabilidad económica y sostenibilidad ambiental. Este enfoque busca transformar una vivienda tradicional en un modelo de referencia para el consumo energético eficiente, alineado con las necesidades actuales de ahorro, confort y responsabilidad ambiental.

El plan propone la implementación de una serie de medidas concretas que, juntas, maximizan los beneficios para el propietario. Entre ellas destacan la instalación de una bomba de calor aerotérmica, que optimiza la climatización con un consumo energético reducido; los paneles solares, que aprovechan al máximo el alto potencial solar de la región de Alicante para generar electricidad limpia; y la mejora del aislamiento térmico, que disminuye las pérdidas de energía y mejora el confort térmico. Estas acciones se complementan con la sustitución de la iluminación convencional por tecnología LED, logrando una reducción adicional del consumo eléctrico.

La propuesta de valor no solo se centra en los beneficios económicos, como la disminución de los costes energéticos y el retorno de la inversión a medio plazo, sino también en el impacto ambiental positivo que genera. La reducción significativa de emisiones de dióxido de carbono y el menor uso de recursos no renovables convierten al proyecto en una iniciativa sostenible que contribuye directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Además, este plan de negocio se posiciona como un modelo replicable y adaptable a otras viviendas con características similares. Esto permite no solo la mejora de una vivienda en particular, sino también el desarrollo de un marco que pueda aplicarse a nivel comunitario o regional, ampliando los beneficios económicos y ambientales a una escala mayor.

Un elemento destacado de esta propuesta es la revalorización de la vivienda, dado que las mejoras implementadas no solo optimizan el consumo energético y reducen costes, sino que también aumentan el valor patrimonial de la misma. Esto representa un beneficio adicional para los propietarios, que ven en estas inversiones una oportunidad de mejorar la calidad de su inmueble mientras contribuyen al cuidado del medio ambiente.

Al garantizar un enfoque práctico y accesible, la propuesta de valor se alinea con las expectativas de los propietarios de viviendas que buscan soluciones modernas, eficientes y responsables para optimizar sus recursos energéticos.

## ***6.5 PLAN DE OPERACIONES***

La instalación de las mejoras energéticas propuestas para la vivienda se organiza en distintas fases que aseguran una ejecución eficiente y ordenada. Cada etapa está diseñada para minimizar el impacto en la vida diaria de los residentes y optimizar los recursos disponibles. Este proceso tiene una duración total estimada de quince días laborables e incluye desde la preparación inicial hasta el inicio de las actividades de mantenimiento.

El plan de mantenimiento se enfoca en garantizar el óptimo rendimiento y la durabilidad de las soluciones implementadas, así como en preservar la eficiencia energética lograda. Para ello, se contempla la realización de varias actividades.

En primer lugar, la revisión periódica de los sistemas instalados. Se establece un calendario semestral para la inspección de los equipos clave, como la bomba de calor aerotérmica y los paneles solares, verificando su correcto funcionamiento y detectando posibles desgastes o fallos.

La segunda actividad es la limpieza y mantenimiento de los paneles solares. Para asegurar su máxima eficiencia, se recomienda la limpieza de los paneles solares cada seis meses, especialmente en zonas donde se acumulen suciedad o residuos [37].

A su vez, es necesario la verificación del aislamiento térmico. Cada dos años, se realizará una evaluación del estado del aislamiento térmico de la vivienda, identificando posibles deterioros que puedan afectar su capacidad para minimizar las pérdidas de energía [38].

Por otro lado, se habrá de llevar a cabo la sustitución de componentes de iluminación LED. Aunque los sistemas LED tienen una alta durabilidad, se incluirá la reposición de unidades en caso de desgaste o fallos para mantener una iluminación eficiente.

Además, el propietario contará con un manual detallado con las recomendaciones de mantenimiento específicas para cada sistema y un listado de proveedores o técnicos cualificados para realizar las tareas necesarias. Este enfoque asegura no solo la sostenibilidad técnica del proyecto, sino también la maximización de los beneficios económicos y ambientales a largo plazo.

### **6.5.1 FASES DEL PROYECTO**

En primer lugar, se realiza una preparación del sitio y la logística necesaria, lo que requiere dos días. Durante esta etapa se inspeccionan las áreas donde se instalarán los sistemas, se confirma la disposición de los espacios y se verifica que las herramientas y los equipos estén disponibles. Además, se coordina el cronograma de trabajo con los técnicos especializados para asegurar que todas las tareas se lleven a cabo de manera secuencial y eficiente.

La siguiente fase es la instalación de la bomba de calor aerotérmica, que tiene una duración aproximada de tres días. Este proceso comienza con la colocación de la unidad exterior en la terraza. Posteriormente, se conectan las tuberías y los conductos que unen la unidad exterior con la interior, y se instala el depósito de agua caliente sanitaria en un espacio accesible dentro de la vivienda. Finalmente, se adaptan los radiadores existentes para optimizar su funcionamiento con la nueva tecnología y se realizan pruebas iniciales para garantizar la eficiencia del sistema.

La instalación de los paneles solares fotovoltaicos ocupa cinco días. Este trabajo incluye el montaje de las estructuras de soporte en la cubierta de la vivienda, la fijación de los paneles solares y la conexión entre ellos mediante cables. También se instala el inversor, que convierte la energía generada de corriente continua a corriente alterna y se integra el sistema fotovoltaico con el circuito eléctrico de la vivienda. Una vez completada la instalación, se realizan pruebas para verificar que los paneles funcionan correctamente y que generan electricidad de manera óptima.

En todos los trabajos de instalación, es fundamental tener en cuenta las actividades relacionadas con la prevención de riesgos laborales (PRL), dado que se trata de tareas que implican trabajos en altura. Para garantizar la seguridad de los trabajadores, se requiere el uso de equipos de protección individual, como arneses de seguridad, cascos y calzado antideslizante, además de la instalación segura de andamios o plataformas que permitan acceder de manera estable y controlada a las cubiertas de la vivienda. También resulta imprescindible que el personal encargado de la instalación cuente con la formación adecuada en trabajos en altura y conozca los protocolos de seguridad necesarios para prevenir accidentes. Por último, se recomienda la presencia de un responsable de seguridad que supervise las operaciones, identifique posibles riesgos y asegure el cumplimiento de las normativas vigentes [39].

La mejora del aislamiento térmico requiere cuatro días. Esta fase incluye la sustitución de las ventanas existentes por unidades de doble acristalamiento, tarea que demanda aproximadamente entre dos y tres horas por ventana. Además, se aplican materiales aislantes en paredes y techos seleccionados para minimizar las pérdidas térmicas y se inspecciona el sellado de las áreas intervenidas para garantizar un rendimiento adecuado.

Por último, la sustitución del sistema de iluminación se lleva a cabo en un solo día. En esta etapa, se retiran las bombillas fluorescentes existentes y se instalan bombillas LED de alta eficiencia energética en todas las habitaciones y áreas exteriores. Una vez concluida la instalación, se revisa el sistema de iluminación para comprobar la uniformidad de la luz y el correcto funcionamiento de las nuevas luminarias.

Tras completar estas fases de instalación, se establece un plan de mantenimiento que comienza con una revisión inicial un mes después de la finalización de los trabajos. Durante esta inspección, se verifica el rendimiento de la bomba de calor, se asegura que los paneles solares no tengan obstrucciones y estén limpios y se evalúa el estado del aislamiento y las luminarias. Además, se realizarían pequeños ajustes en caso de ser necesarios. El mantenimiento periódico se programa cada seis meses, incluyendo actividades como la limpieza de los paneles solares, la inspección de la bomba de calor para prevenir fallos y la revisión del estado del aislamiento. En el caso de las bombillas LED, estas tienen una vida útil de diez a quince años, por lo que las sustituciones serán a largo plazo.

Adicionalmente, dentro del proceso de finalización de los trabajos, se incluyen todas las actividades necesarias para la recogida y correcta gestión de los materiales sobrantes. Esto implica la retirada de restos de construcción, embalajes y otros desechos generados durante la instalación, asegurando que estos se manejen de acuerdo con las normativas de gestión de residuos. Este procedimiento no solo contribuye a la limpieza y orden del espacio intervenido, sino que también garantiza un impacto ambiental mínimo, alineándose con los objetivos sostenibles del proyecto.

Este cronograma de instalación y mantenimiento garantiza la correcta ejecución del proyecto, la maximización de los beneficios energéticos y económicos y la preservación de la eficiencia de los sistemas a lo largo del tiempo.



Tabla 9: Cronograma de las fases del proyecto [Elaboración propia]

## **Capítulo 7. VIABILIDAD ECONÓMICA**

El presente capítulo se centra en la evaluación económica de las propuestas de mejora energética diseñadas para la vivienda en estudio. Este análisis tiene como objetivo principal determinar la viabilidad financiera de cada una de las soluciones planteadas, considerando los costes de inversión inicial, el ahorro energético estimado, los plazos de amortización y los beneficios económicos a largo plazo.

A través de un enfoque detallado y basado en datos reales, se pretende demostrar cómo las medidas adoptadas pueden no solo optimizar el rendimiento energético de la vivienda, sino también ofrecer un retorno de inversión atractivo para el propietario. Además, se incluyen proyecciones económicas que permiten evaluar la sostenibilidad de las inversiones en un contexto actual y futuro.

### ***7.1 MEJORA DEL AISLAMIENTO***

La mejora del aislamiento térmico constituye una de las intervenciones más efectivas para incrementar la eficiencia energética de la vivienda, al reducir significativamente las pérdidas de calor en invierno y la ganancia de calor en verano. En este análisis, se evalúa la viabilidad económica de implementar ventanas de doble acristalamiento en todas las estancias de la vivienda.

La viabilidad económica de la mejora del aislamiento se calcula considerando el número actual de ventanas en la vivienda, el coste estimado en el mercado para su instalación, el porcentaje de ahorro energético proyectado en función del consumo anual y del precio medio de la electricidad del último año.

**Hipótesis inicial**

Ventanas	20
Coste doble acristalamiento	325 €/ventana
Mantenimiento	0 €
% Ahorro	25%
Consumo anual vivienda	17.500 kwh/año
Precio medio electricidad en 2023	0,23 €/kw

Tabla 10: Hipótesis inicial para la mejora del aislamiento [Elaboración propia]

La siguiente tabla presenta un plan financiero a 10 años, donde se detallan tanto el flujo de caja anual como el acumulado tras la instalación de los cristales de doble acristalamiento.

Plan de negocio	año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
Inversión inicial	-6.500 €	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mantenimiento	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ahorro energético	-	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €
FLUJO DE CAJA PERIODO	-6.500 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €
FLUJO DE CAJA ACUMULADO	-6.500 €	-5.473 €	-4.446 €	-3.420 €	-2.393 €	-1.366 €	-339 €	688 €	1.715 €	2.741 €	3.768 €

Tabla 11: Plan financiero a 10 años tras instalación del doble acristalamiento [Elaboración propia]

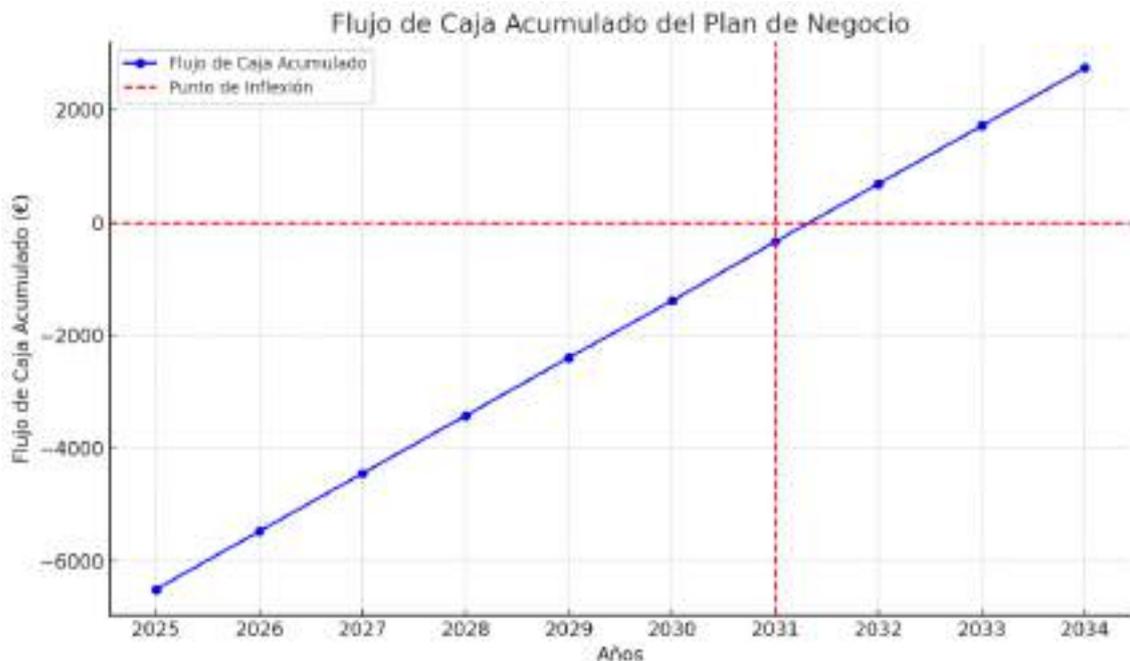


Ilustración 51: Gráfico temporal de la inversión en el doble acristalamiento reflejando su punto de inflexión [Elaboración propia]

Según el plan financiero de la tabla, se puede observar que, tras el año 6, el flujo de caja acumulado pasa a ser positivo, lo que indica que la inversión se ha recuperado. No solo se recupera la inversión, sino que a partir del año 7 la inversión inicial comenzará a generar retornos.

En conclusión, la mejora del aislamiento térmico mediante la instalación de ventanas de doble acristalamiento representa una intervención económicamente viable a medio plazo. Este resultado refuerza la efectividad de esta medida no solo en términos de ahorro energético, sino también como una apuesta sostenible y rentable a largo plazo.

## ***7.2 MEJORA DE LA ILUMINACIÓN***

La mejora del sistema de iluminación de la vivienda es una medida fundamental para incrementar la eficiencia energética y reducir los costes asociados al consumo eléctrico. En este análisis, se evalúa la viabilidad económica de sustituir las bombillas fluorescentes actuales por bombillas LED, que presentan una mayor eficiencia energética, una vida útil más larga y una menor huella ambiental.

Las bombillas LED tienen una vida útil estimada de entre 10 y 15 años, dependiendo de las condiciones de uso y la calidad del producto instalado. Esto representa una ventaja significativa frente a las bombillas fluorescentes, cuya vida útil promedio es de aproximadamente 2 a 3 años. Esta diferencia implica una reducción considerable en los costes de mantenimiento y reposición a lo largo del tiempo, lo que incrementa el retorno de la inversión inicial [40].

Además, las luminarias LED mantienen un nivel de rendimiento constante durante gran parte de su vida útil, lo que garantiza una iluminación eficiente y estable. Incluso cuando se acerca al final de su ciclo de vida, el deterioro de la luminosidad es gradual, a diferencia de otras tecnologías, que tienden a fallar de manera más abrupta. Esto no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también reduce la necesidad de reemplazos frecuentes, optimizando los recursos empleados en su mantenimiento [41].

Desde un enfoque ambiental, el uso de bombillas LED contribuye a disminuir la generación de residuos, ya que su mayor durabilidad implica menos productos desechados en el tiempo [42]. Esto, combinado con su menor consumo energético, refuerza su impacto positivo tanto en la sostenibilidad del proyecto como en la reducción de la huella ecológica de la vivienda.

La viabilidad económica de la mejora de la iluminación se calcula considerando el número actual bombillas en la vivienda, el coste estimado que tienen en el mercado, la diferencia de consumo entre una bombilla fluorescente y una LED, las horas de uso anuales y el precio medio de la electricidad en España en 2023.

Hipótesis inicial	
Bombillas	50
Coste bombillas LED	12 €/bombilla
Mantenimiento	0 €
Consumo medio bombilla fluorescente	15 W
Consumo medio bombilla LED	8 W
Horas de uso medio	5 h/día
Precio medio electricidad	0,23 €/kw

Tabla 12: Hipótesis inicial para la mejora de la iluminación [Elaboración propia]

El ahorro energético se ha calculado considerando la diferencia en el consumo de las bombillas fluorescentes y las bombillas LED, multiplicado por el número de horas de uso al año y el total de bombillas. El ahorro económico derivado del ahorro energético se calcula multiplicando el ahorro en kWh por el precio promedio de la electricidad.

La siguiente tabla presenta un plan financiero a 10 años, donde se detallan tanto el flujo de caja anual como el acumulado tras la mejora en la iluminación.

Plan de negocio	año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
Inversión inicial	-600 €	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mantenimiento	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ahorro energético	-	150 €	150 €	150 €	150 €	150 €	150 €	150 €	150 €	150 €	150 €
FLUJO DE CAJA PERIODO	-600 €	150 €	150 €	150 €	150 €	150 €	150 €	150 €	150 €	150 €	150 €
FLUJO DE CAJA ACUMULADO	-600 €	-450 €	-300 €	-150 €	0 €	150 €	299 €	449 €	599 €	749 €	899 €

Tabla 13: Plan financiero a 10 años tras la mejora de iluminación [Elaboración propia]



*Ilustración 52: Gráfico temporal de la inversión en la mejora de iluminación reflejando su punto de inflexión  
[Elaboración propia]*

Según el plan financiero de la tabla, en el año 5 se recuperará por completo la inversión ya que el flujo de caja acumulado es positivo. No solo se recuperará la inversión, sino que a partir de este mismo año la inversión inicial comenzará a generar retornos.

La sustitución de bombillas fluorescentes por bombillas LED en la vivienda es una medida económicamente viable a medio plazo, con un periodo de amortización aproximado de 4 años y 1 mes. Además del ahorro económico, esta mejora contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir el consumo energético, las emisiones asociadas y la generación de residuos peligrosos. A partir del octavo año, la inversión comenzará a generar beneficios netos, consolidándose como una opción eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

### 7.3 INSTALACIÓN DE UNA BOMBA DE CALOR AEROTÉRMICA

La implementación de una bomba de calor aerotérmica representa una de las medidas más efectivas para reducir el consumo energético destinado a la climatización de la vivienda, aprovechando la energía del aire exterior de manera eficiente y sostenible. Este apartado analiza la viabilidad económica de esta intervención, considerando los costes de instalación, el ahorro energético estimado y el periodo de amortización.

La inversión inicial incluye el coste del equipo y los gastos asociados a su instalación. El ahorro energético anual se calcula como el porcentaje de reducción estimado sobre el consumo actual de climatización. Por otro lado, el ahorro económico anual se determina multiplicando el ahorro energético por el precio promedio de la electricidad.

Hipótesis inicial	
Bomba aerotérmica	19.500 €
Coste instalación (mano obra y materiales)	2.000 €
Consumo anual vivienda	17.500 kwh/año
% ahorro energético	25%
Precio medio electricidad	0,23 €/kw
Subvenciones (IRPF +EU)	5.000 €
Mantenimiento	100 €

Tabla 14: Hipótesis inicial instalación bomba de calor aerotérmica [Elaboración propia]

La siguiente tabla presenta un plan financiero a 10 años, donde se detallan tanto el flujo de caja anual como el acumulado tras la instalación de la bomba aerotérmica.

Plan de negocio	año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
Inversión inicial	-21.500 €	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mantenimiento	-	-100 €	-100 €	-100 €	-100 €	-100 €	-100 €	-100 €	-100 €	-100 €	-100 €
Ahorro energético	-	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €
Subvenciones	5.000 €	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FLUJO DE CAJA PERIODO	-16.500 €	927 €	927 €	927 €	927 €	927 €	927 €	927 €	927 €	927 €	927 €
FLUJO DE CAJA ACUMULADO	-16.500 €	-15.573 €	-14.646 €	-13.720 €	-12.793 €	-11.866 €	-10.939 €	-10.012 €	-9.086 €	-8.159 €	-7.232 €

Tabla 15: Plan financiero a 10 años tras la instalación de la bomba aerotérmica [Elaboración propia]

Según el plan financiero de la tabla, se puede observar que, tras 10 años, el flujo de caja acumulado sigue siendo negativo, lo que indica que la inversión aún no se ha recuperado completamente dentro de ese periodo. Sin embargo, será en el año 18 cuando se recuperará por completo la inversión. No solo se recuperará la inversión, sino que a partir del año 18 la inversión inicial comenzará a generar retornos.

Plan de negocio										
	año 11	año 12	año 13	año 14	año 15	año 16	año 17	año 18	año 19	año 20
Inversión inicial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mantenimiento	-100 €	-100 €	-100 €	-100 €	-100 €	-100 €	-100 €	-100 €	-100 €	-100 €
Ahorro energético	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €	1.027 €
Subvenciones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FLUJO DE CAJA PERIODO	927 €	927 €	927 €	927 €	927 €	927 €	927 €	927 €	927 €	927 €
<b>FLUJO DE CAJA ACUMULADO</b>	<b>-6.305 €</b>	<b>-5.378 €</b>	<b>-4.451 €</b>	<b>-3.525 €</b>	<b>-2.598 €</b>	<b>-1.671 €</b>	<b>-744 €</b>	<b>183 €</b>	<b>1.109 €</b>	<b>2.036 €</b>

Tabla 16: Plan financiero a 20 años tras la instalación de la bomba aerotérmica [Elaboración propia]

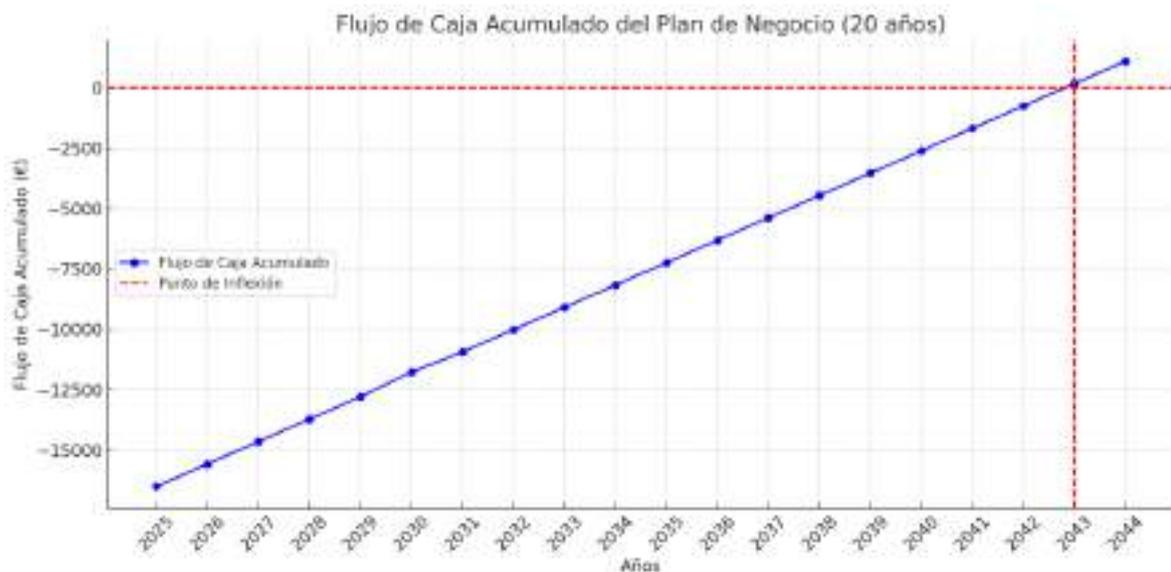


Ilustración 53: Gráfico temporal de la inversión en la bomba aerotérmica reflejando su punto de inflexión [Elaboración propia]

La instalación de una bomba de calor aerotérmica en la vivienda es una medida económicamente viable a largo plazo, con un período de amortización estimado en torno a los 18 años. Este plazo de recuperación de la inversión puede considerarse razonable dentro del sector de la climatización y las soluciones energéticas sostenibles, especialmente si se comparan con otras alternativas que pueden requerir períodos similares o incluso mayores para alcanzar un retorno positivo.

Es importante destacar que la vida útil de una bomba de calor aerotérmica suele llegar hasta los 25 años [43], lo que significa que, una vez amortizada la inversión inicial, el sistema continuará generando ahorros significativos en el consumo eléctrico durante al menos siete años adicionales, consolidando su rentabilidad a largo plazo. Esta solución no solo proporciona beneficios económicos directos, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, alineándose con los objetivos globales de transición energética.

Además, este análisis debe ser contextualizado según las condiciones específicas de cada caso. Por ejemplo, factores como el coste de la electricidad, las subvenciones disponibles y el clima de la región pueden influir en la percepción de si 15 años es un plazo adecuado. En zonas con costes energéticos elevados o mayores subsidios, el período de amortización podría acortarse, aumentando la percepción de viabilidad del proyecto.

En conclusión, el período de amortización de 18 años puede considerarse equilibrado en términos de sostenibilidad y rentabilidad para una inversión de esta naturaleza. Sin embargo, es recomendable realizar un análisis financiero detallado en cada caso para garantizar que se ajusta a las expectativas y necesidades del propietario.

## 7.4 INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES

La instalación de paneles solares fotovoltaicos en la vivienda representa una medida clave para aprovechar el potencial solar de la región de Alicante, reduciendo el consumo de electricidad de la red y promoviendo la sostenibilidad energética. Este apartado evalúa la viabilidad económica de dicha intervención, considerando los costes de instalación, los ahorros proyectados y el periodo de amortización.

La inversión inicial para la instalación de los paneles solares se calcula considerando el coste de instalación total y su mantenimiento. El ahorro energético anual se calcula considerando el porcentaje de autoconsumo y la producción total de los paneles solares. Por último, el ahorro económico derivado del autoconsumo se calcula multiplicando el ahorro energético por el precio promedio de la electricidad.

### Hipótesis inicial

Nº paneles	8
Panel r Tiger Neo N-type 54HL4R-(V) 425-445 Watt Monocristalino	70,94 €
Inversor Huawei SUN2000-3KTL-L1	520,30 €
Coste instalación (mano de obra y materiales)	1.100 €
Generación de energía útil	5.412 kWh
Precio medio electricidad	0,23 €/kW
Mantenimiento anual	300 €

Tabla 17: Hipótesis inicial instalación de paneles solares [Elaboración propia]

La siguiente tabla presenta un plan financiero a 10 años, donde se detallan tanto el flujo de caja anual como el acumulado tras la instalación de los paneles solares y el inversor.

Plan de negocio	año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
Inversión inicial	-2.188 €	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mantenimiento	-	-300 €	-300 €	-300 €	-300 €	-300 €	-300 €	-300 €	-300 €	-300 €	-300 €
Ahorro energético	-	1.270 €	1.270 €	1.270 €	1.270 €	1.270 €	1.270 €	1.270 €	1.270 €	1.270 €	1.270 €
FLUJO DE CAJA PERIODO	-2.188 €	970 €	970 €	970 €	970 €	970 €	970 €	970 €	970 €	970 €	970 €
FLUJO DE CAJA ACUMULADO	-2.188 €	-1.218 €	-247 €	723 €	1.693 €	2.663 €	3.633 €	4.604 €	5.574 €	6.544 €	7.514 €

Tabla 18: Plan financiero a 10 años tras la instalación de los paneles solares [Elaboración propia]



*Ilustración 54: Gráfico temporal de la inversión en paneles solares reflejando su punto de inflexión  
[Elaboración propia]*

La instalación de paneles solares es una inversión altamente rentable, con un flujo de caja acumulado positivo desde el tercer año. A lo largo de 10 años, los ahorros energéticos superan ampliamente la inversión inicial y los costes de mantenimiento, alcanzando un beneficio acumulado de 7.514 €. Esto demuestra que la medida no solo es viable económicamente, sino que también ofrece beneficios sostenibles a largo plazo.

Sin embargo, es fundamental incluir en el análisis del ciclo de vida (LCC) factores clave como el envejecimiento de los paneles solares y la consecuente reducción de su rendimiento a lo largo del tiempo. Aunque los paneles solares tienen una vida útil estimada de 25 años, su eficiencia puede disminuir entre un 0,5 % y un 1 % anual, lo que impacta en la capacidad de generación de energía. Además, el inversor, suele requerir reemplazo entre los 10 y 15 años, lo que representa un coste adicional que debe considerarse en la evaluación financiera.

Asimismo, los costes de mantenimiento, aunque relativamente bajos, incluyen actividades como la limpieza periódica de los paneles para maximizar su eficiencia y la inspección del sistema para prevenir fallos. Estas actividades deben incorporarse en el análisis para reflejar con precisión los costes operativos del sistema a lo largo de su ciclo de vida.

En conclusión, el análisis del LCC demuestra que, incluso considerando la reducción gradual del rendimiento y los costes de mantenimiento, la instalación de paneles solares sigue siendo una opción rentable y sostenible. La siguiente tabla presenta el plan financiero a 20 años, asumiendo el reemplazo del inversor en el año 10 y los paneles solares en el año 20.

Plan de negocio										
	año 11	año 12	año 13	año 14	año 15	año 16	año 17	año 18	año 19	año 20
Inversión inicial	-520 €	-	-	-	-	-	-	-	-	-568 €
Mantenimiento	-300 €	-300 €	-300 €	-300 €	-300 €	-300 €	-300 €	-300 €	-300 €	-300 €
Ahorro energético	1.270 €	1.270 €	1.270 €	1.270 €	1.270 €	1.270 €	1.270 €	1.270 €	1.270 €	1.270 €
FLUJO DE CAJA PERIODO	450 €	970 €	970 €	970 €	970 €	970 €	970 €	970 €	970 €	403 €
<b>FLUJO DE CAJA ACUMULADO</b>	<b>7.964 €</b>	<b>8.934 €</b>	<b>9.904 €</b>	<b>10.875 €</b>	<b>11.845 €</b>	<b>12.815 €</b>	<b>13.785 €</b>	<b>14.755 €</b>	<b>15.726 €</b>	<b>16.128 €</b>

*Tabla 19: Plan financiero a 20 años tras la instalación de los paneles solares [Elaboración propia]*

Aunque en el año 10 sea necesario realizar una reinversión en el inversor, y en el año 20 se deba sustituir los paneles solares, en la Tabla 20 se puede observar como la inversión global sigue siendo altamente rentable. Estas reinversiones pueden afrontarse fácilmente con los ahorros acumulados durante los primeros años de operación, lo que garantiza la sostenibilidad económica del sistema.

La instalación de paneles solares en la vivienda es una medida altamente rentable, mientras contribuye a la sostenibilidad ambiental mediante la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y la dependencia de fuentes de energía no renovables. Esta solución no solo optimiza los costes energéticos, sino que también incrementa el valor de la propiedad y fomenta la independencia energética.

## ***7.5 EVALUACIÓN CONJUNTA DE TODAS LAS MEJORAS***

Una vez analizada de forma individual la viabilidad económica de cada una de las propuestas de mejora energética planteadas en este Trabajo de Fin de Máster, resulta conveniente realizar un análisis conjunto que considere los efectos acumulativos y las sinergias entre todas ellas. Esta evaluación integrada permite no solo estimar el impacto económico total de la intervención sobre la vivienda, sino también valorar su efecto agregado sobre el consumo energético, la sostenibilidad ambiental y la rentabilidad a medio y largo plazo.

En este sentido, se ha modelizado un escenario en el que todas las mejoras propuestas — mejora del aislamiento térmico mediante doble acristalamiento, sustitución de luminarias por tecnología LED, instalación de una bomba de calor aerotérmica y colocación de una instalación de paneles solares fotovoltaicos— son implementadas simultáneamente en el año 0. Esta simultaneidad permite obtener un análisis más realista y completo de la interacción entre las medidas, particularmente en lo que respecta a la reducción de la demanda energética y a la eficiencia global del sistema.

Desde el punto de vista económico, la inversión total inicial necesaria para llevar a cabo todas las actuaciones se estima en 30.788 €, cifra que incluye tanto costes directos (materiales, equipos, instalación) como indirectos (gestión de obra, licencias, adaptaciones menores). Esta inversión representa un desembolso significativo, pero razonable si se considera el alto grado de intervención sobre la eficiencia global de la vivienda.

<b>Inversión inicial</b>	
Aislamiento	6.500 €
Iluminación	600 €
Bomba de calor aerotérmica	21.500 €
Instalación Fotovoltaica	2.188 €
<b>Total</b>	<b>30.788 €</b>

*Tabla 20: Inversión inicial del conjunto de todas las mejoras [Elaboración propia]*

Por otro lado, el ahorro energético es un parámetro más delicado porque no puede calcularse simplemente sumando los ahorros individuales, ya que hay interdependencias que reducen el ahorro total si se consideran todas las mejoras juntas. Por lo que se ha aplicado un coeficiente de corrección del 19% [44], por los siguientes motivos:

- ✓ El aislamiento térmico mejora la eficiencia de la bomba de calor, por lo tanto disminuye su necesidad de energía. No puedes contabilizar todo el ahorro del aislamiento y al mismo tiempo el ahorro total de la bomba como si operara en una vivienda sin mejoras.
- ✓ La electricidad generada por los paneles solares cubre parte del consumo de iluminación y de la bomba de calor. Por tanto, si ya consideras que los equipos consumen menos energía y encima parte de esa energía es autogenerada, hay que evitar contar ese ahorro dos veces.
- ✓ En menor medida, hay una eficiencia cruzada: por ejemplo, si la iluminación LED reduce la carga térmica en verano, eso también reduce la demanda de refrigeración.

El ahorro energético estimado como resultado de la aplicación conjunta de todas las medidas asciende a aproximadamente 9.512 kWh anuales.

<b>Ahorro energético</b>	
Aislamiento	2.346 kwh/año
Iluminación	1.057 kwh/año
Bomba de calor aerotérmica	4.540 kwh/año
Instalación Fotovoltaica	3.800 kwh/año
Ajuste debido a interdependencias	19%
<b>Total</b>	<b>9.512 kwh/año</b>

*Tabla 21: Ahorro energético del conjunto de todas las mejoras [Elaboración propia]*

Considerando un precio medio de la electricidad de 0,2347 €/kWh y el consumo energético estimado de la vivienda tras la implementación de las mejoras, se ha desarrollado un plan de negocio con un horizonte temporal de 20 años, en el que se han tenido en cuenta la inversión inicial, los costes de mantenimiento, y el ahorro económico anual generado por las medidas aplicadas.



*Ilustración 55: Gráfico temporal de la inversión conjunta de todas las mejoras reflejando su punto de inflexión [Elaboración propia]*

En términos económicos, el ahorro anual derivado de esta reducción del consumo permite recuperar progresivamente la inversión inicial, alcanzando el punto de equilibrio financiero o payback en torno al año 15 desde la implementación del conjunto de medidas. A partir de dicho momento, los beneficios netos se traducen en ahorro directo para los residentes.

La evaluación conjunta de todas las mejoras energéticas confirma que la combinación de estrategias pasivas, como la mejora del aislamiento, con tecnologías activas de alta eficiencia, como la bomba aerotérmica y los sistemas fotovoltaicos, permite alcanzar una eficiencia energética global muy superior a la que se lograría con medidas aisladas. Se estima que el consumo energético de la vivienda puede reducirse en más de un 55% respecto a la situación inicial, lo que tiene un efecto directo no solo sobre el coste energético, sino también sobre el confort térmico, la calidad ambiental interior y la revalorización del inmueble.

## Capítulo 8. CONCLUSIONES

El presente Trabajo de Fin de Máster se centra en la elaboración de un plan de negocio para implementar mejoras energéticas en una vivienda unifamiliar ubicada en Alicante. Este proyecto surge de la necesidad de optimizar el consumo energético en el sector residencial, reduciendo tanto los costes asociados como el impacto ambiental y se alinea con los objetivos globales de sostenibilidad.

A lo largo del trabajo se ha realizado un análisis exhaustivo del estado actual de la vivienda, identificando ineficiencias clave relacionadas con el aislamiento térmico, el sistema de climatización, la iluminación y la falta de aprovechamiento de energías renovables. Estas áreas críticas no solo resultaban en elevados costes energéticos, sino que también generaban una significativa huella ambiental, con emisiones de CO<sub>2</sub> y residuos radiactivos muy por encima de la media nacional.

A partir de esta evaluación, se propusieron cuatro intervenciones principales:

- Mejora del aislamiento térmico, mediante la instalación de ventanas de doble acristalamiento.
- Sustitución del sistema de iluminación, reemplazando bombillas fluorescentes por tecnología LED.
- Instalación de una bomba de calor aerotérmica, para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.
- Implementación de paneles solares fotovoltaicos, aprovechando el alto potencial solar de la región.

El análisis de viabilidad económica de cada medida ha revelado que, aunque la inversión inicial puede ser significativa, los ahorros generados a largo plazo hacen que estas mejoras sean rentables y sostenibles, con periodos de amortización razonables.

Desde un punto de vista económico, cada intervención ha demostrado ser viable, con periodos de amortización que oscilan entre los 3 y 18 años. Este enfoque también garantiza beneficios económicos netos a partir del periodo de amortización, consolidando la rentabilidad del proyecto.

En términos ambientales, las medidas propuestas contribuyen significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Por ejemplo:

- La mejora del aislamiento térmico reduce la demanda de climatización en aproximadamente un 30 %, disminuyendo las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas en una proporción similar. Esto se traduce en un ahorro significativo en el consumo energético total de la vivienda, especialmente en regiones con climas extremos.
- La bomba de calor aerotérmica y los paneles solares sustituyen el uso de fuentes de energía no renovables, logrando una reducción del 40 % en el consumo eléctrico de la red y eliminando completamente los residuos radiactivos derivados del uso de energías convencionales. Estas tecnologías renovables no solo optimizan el rendimiento energético, sino que también contribuyen directamente a la sostenibilidad ambiental.
- La iluminación LED disminuye el consumo eléctrico en hasta un 80 % en comparación con tecnologías tradicionales como las bombillas incandescentes o fluorescentes. Además, al tener una vida útil hasta cinco veces mayor, reduce la generación de residuos. asociados en un 70 %, lo que refuerza su impacto positivo tanto a nivel económico como ambiental.

Este proyecto no solo cumple con los objetivos específicos planteados, sino que también ofrece un modelo replicable para otras viviendas en condiciones similares. La ubicación de la vivienda, en una región mediterránea con alta incidencia solar y temperaturas moderadas, representa un entorno ideal para implementar este tipo de medidas. Sin embargo, los principios y metodologías utilizados pueden adaptarse a viviendas en otras regiones, ajustando los parámetros a las condiciones locales.

Además, el enfoque integral del proyecto subraya la importancia de abordar la eficiencia energética considerando tanto los aspectos técnicos como económicos y ambientales. Este enfoque asegura que las mejoras propuestas sean sostenibles a largo plazo y maximicen los beneficios para los propietarios.

El desarrollo del proyecto ha permitido alcanzar de manera integral los cinco objetivos establecidos al inicio, confirmando la viabilidad y el impacto positivo de las medidas propuestas.

- Primer objetivo: análisis exhaustivo del consumo energético actual y del funcionamiento de los sistemas instalados en la vivienda. Se realizó un estudio detallado que identificó las principales fuentes de ineficiencia energética en la vivienda. Este análisis permitió establecer una línea base precisa para medir el impacto de las intervenciones implementadas, así como priorizar las áreas que requerían atención inmediata. Como resultado, se obtuvieron datos que fundamentaron todas las decisiones posteriores, cumpliendo plenamente este objetivo.
- Segundo objetivo: desarrollo de propuestas concretas para mejorar la eficiencia energética. Las propuestas desarrolladas incluyen la instalación de una bomba de calor aerotérmica, paneles solares, mejoras en el aislamiento térmico e iluminación LED. Estas soluciones fueron diseñadas teniendo en cuenta las características específicas de la vivienda, maximizando tanto el beneficio energético como el económico. Además, se aseguró que cada intervención se alinee con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 7, 9 y 13, promoviendo una transición hacia un modelo energético más sostenible.

- Tercer objetivo: evaluación de la viabilidad económica y los beneficios ambientales de las mejoras sugeridas. Se llevó a cabo un análisis financiero y ambiental exhaustivo que incluyó la cuantificación del ahorro energético, la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y el retorno de la inversión. Los resultados demuestran que las medidas implementadas no solo son viables económicamente, sino que también generan beneficios ambientales significativos, fortaleciendo la justificación para replicar estas soluciones en otros contextos.
- Cuarto objetivo: creación de un plan de negocio completo. El proyecto culminó con la elaboración de un plan de negocio detallado que incluye cronogramas y presupuestos. Este plan proporciona un marco práctico y replicable para la implementación de las mejoras propuestas, contribuyendo al cumplimiento del ODS 11 al fomentar comunidades sostenibles. Además, se documentaron las estrategias y herramientas necesarias para facilitar su ejecución en otros proyectos residenciales.
- Quinto objetivo: identificación y sistematización de lecciones aprendidas. Durante el desarrollo del proyecto, se documentaron los desafíos encontrados, las soluciones aplicadas y las estrategias exitosas, generando un conocimiento práctico que puede transferirse a otros contextos. Esto cumple con el ODS 4 y el ODS 17, al fomentar la transferencia de conocimiento y la colaboración para ampliar el impacto de las iniciativas desarrolladas.

En resumen, este Trabajo de Fin de Máster demuestra que es posible transformar una vivienda convencional en un modelo de sostenibilidad energética mediante medidas concretas, viables y económicamente rentables. Este proyecto no solo contribuye al bienestar de los residentes y al cuidado del medio ambiente, sino que también establece un precedente para la adopción de prácticas más sostenibles en el sector residencial. La integración de eficiencia energética y energías renovables es, sin duda, un paso esencial hacia un futuro más sostenible y resiliente.

## Capítulo 9. POSIBLES ACCIONES FUTURAS

Si bien este proyecto ha demostrado la viabilidad económica y ambiental de las medidas propuestas, existen diversas áreas de mejora y exploración que podrían potenciar aún más el impacto de las soluciones energéticas implementadas. Estas acciones futuras podrían desempeñar un papel crucial en la evolución de las tecnologías sostenibles, adaptándose a las necesidades emergentes y los avances tecnológicos. A continuación, se presentan algunas de las líneas más prometedoras.

Una de las innovaciones más prometedoras en el campo de las energías renovables es el desarrollo de paneles híbridos, que combinan la generación de energía fotovoltaica y fototérmica en una única solución. Estos paneles permiten no solo producir electricidad, como los paneles fotovoltaicos tradicionales, sino también aprovechar la energía térmica generada para calentar agua o complementar sistemas de calefacción. Esta doble funcionalidad incrementa significativamente la eficiencia energética del sistema y maximiza el aprovechamiento del espacio disponible, especialmente en viviendas con limitaciones de superficie en sus cubiertas [45].

Los paneles híbridos representan una solución ideal para aumentar el rendimiento total del sistema energético de la vivienda. Además, la implementación de esta tecnología podría reducir aún más los costes energéticos y mejorar la sostenibilidad general del proyecto. Futuras investigaciones podrían centrarse en la viabilidad técnica y económica de su integración en el modelo propuesto, así como en el análisis de su retorno de inversión comparado con los sistemas actuales [46].

Para maximizar el autoconsumo solar, se recomienda explorar sistemas de almacenamiento energético, como baterías de ion-litio de alta capacidad. Estas baterías permitirían almacenar el excedente de energía generado durante el día para su uso en horarios de menor producción solar, como las noches [47]. El avance en la tecnología de baterías, incluyendo opciones más sostenibles como las baterías de estado sólido, podría hacer que esta opción sea más asequible y eficiente en el futuro.

Integrar estos sistemas no solo aumentaría la independencia energética de los hogares, sino que también ofrecería una mayor estabilidad en el suministro eléctrico, especialmente en momentos de alta demanda o fallos en la red eléctrica.

La domótica representa un área clave para optimizar el consumo energético en tiempo real. Sensores inteligentes, termostatos programables y sistemas de gestión energética basados en inteligencia artificial podrían ajustarse automáticamente para maximizar la eficiencia y el confort de los residentes [48]. Por ejemplo, un sistema de gestión energética integrado podría priorizar el uso de energía almacenada o directamente generada por los paneles solares, adaptándose a las necesidades del hogar y las condiciones climáticas.

Además, la conexión de estos sistemas a plataformas digitales permitiría a los usuarios monitorizar y controlar su consumo desde dispositivos móviles, aumentando la conciencia energética y facilitando ajustes en tiempo real.

El éxito de iniciativas como este proyecto depende en gran medida del apoyo institucional y la creación de políticas públicas que faciliten su implementación. En este sentido, sería fundamental promover incentivos fiscales adicionales para la adopción de tecnologías sostenibles, así como desarrollar campañas de concienciación sobre los beneficios económicos y ambientales de las mismas.

Asimismo, sería conveniente establecer normativas que fomenten el uso de sistemas híbridos y otras tecnologías avanzadas, haciendo que su adopción sea más accesible para el público general.

Futuros trabajos podrían enfocarse en la investigación y el desarrollo de materiales más eficientes y sostenibles para los sistemas energéticos. Por ejemplo, el uso de materiales reciclables en la fabricación de paneles solares o baterías podría reducir aún más el impacto ambiental del proyecto. Además, mejorar la durabilidad y eficiencia de los sistemas prolongaría su vida útil y disminuiría los costes asociados al mantenimiento y reemplazo de componentes.

Un aspecto clave para el futuro será explorar cómo este modelo energético puede ser replicado y adaptado a otras viviendas, comunidades e incluso regiones enteras. Esto implicaría analizar las condiciones específicas de diferentes entornos, como climas extremos o áreas urbanas densamente pobladas, para ajustar las soluciones propuestas. Además, se podrían establecer programas piloto en diferentes contextos para evaluar la eficacia del modelo y recoger datos adicionales.

Este proyecto demuestra que es posible transformar una vivienda convencional en un modelo de sostenibilidad energética mediante medidas concretas, viables y económicamente rentables. Sin embargo, el camino hacia un futuro más sostenible y resiliente requiere un esfuerzo continuo de innovación e investigación. La integración de tecnologías avanzadas como paneles híbridos, almacenamiento energético y domótica, junto con el apoyo de políticas públicas, podría ampliar aún más el impacto de estas soluciones.

En resumen, el trabajo realizado hasta ahora sienta las bases para un modelo replicable y escalable, pero las acciones futuras señaladas en este capítulo abren nuevas oportunidades para consolidar la transición energética y garantizar un entorno más sostenible para las generaciones venideras.

## Capítulo 10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Navacerrada, M. Á., De la Prida, D., Sesmero, A., Pedrero, A., Gómez, T., & Fernández-Morales, P. (2021). Comportamiento acústico y térmico de materiales basados en fibras naturales para la eficiencia energética en edificación. *Informes de la Construcción*, 73(561), e373. <https://doi.org/10.3989/ic74558>
- [2] Qian, X., Dai, J., Jiang, W., Cai, H., Ye, X., & Vafadaran, M. S. (2024). Economic viability and investment returns of innovative geothermal tri-generation systems: A comparative study. *Renewable Energy*, 226, 120396. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120396>
- [3] *Sistema de Certificados de Ahorro Energético (CAE)*. (s. f.). Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/energia/eficiencia/cae.html>
- [4] Xavier, T. C. S., Delicato, F. C., Pires, P. F., Amorim, C. L., Li, W., & Zomaya, A. Y. (2022). Managing heterogeneous and time-sensitive IoT applications through collaborative and energy-aware resource allocation. *ACM Transactions on Internet of Things*. *Artículo 3488248* <https://doi.org/10.1145/j.renene.2022.3488348>
- [5] Build for efficiency *Estudio energético de rehabilitación*. [https://www.kommerling.es/sites/default/files/document/Build%20For%20Efficiency\\_Estudio%20energ%C3%A9tico%20rehabilitaci%C3%B3n.pdf](https://www.kommerling.es/sites/default/files/document/Build%20For%20Efficiency_Estudio%20energ%C3%A9tico%20rehabilitaci%C3%B3n.pdf)

[6] *Clima Alicante: Temperatura, Climograma y Temperatura del agua de Alicante.* (s. f.).

<https://es.climate-data.org/europe/espana/comunidad-valenciana/alicante-105/>

[7] *Guía de climas en el mundo: Clima y Tiempo- Alicante, España.* (s. f.).

<https://www.climasyviajes.com/clima/espa%C3%B1a/alicante>

[8] De Meteorología, A. E. (s. f.). *El Tiempo: Alicante/Alacant (Alacant/Alicante) -*

*Predicción 7 días - Tabla - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España. Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España.*

<https://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/municipios/alacant-alicante-id03014>

[9] Ferrocanor. (s.f.). *Ventajas del doble acristalamiento.* Recuperado el 1 de octubre de

2024, <https://ferrocanor.com/es/blog/articulos/ventajas-doble-acristalamiento/>

[10] Acrystalarte. (s.f.). *Doble acristalamiento.* Recuperado el 1 de octubre de 2024,

<https://www.acrystalarte.com/doble-acristalamiento/>

[11] World Class Manufacturing. (n.d.). *Cálculo del LCC.* [https://world-class-](https://world-class-manufacturing.com/es/LCC/lcc_calculation.html)

[manufacturing.com/es/LCC/lcc\\_calculation.html](https://world-class-manufacturing.com/es/LCC/lcc_calculation.html)

[12] DSC Solar. (s.f.). *Aeroterminia y geoterminia: ¿Cuáles son sus diferencias?* Recuperado

el 5 de octubre de 2024, <https://dscsolar.es/aeroterminia-y-geoterminia/>

[13] Calor y Frío. (s.f.). *Bomba de calor: Qué es, tipos y cómo funciona.* Recuperado el 5

de octubre de 2024, <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/bomba-de->

[calor/bomba-de-calor.html](https://www.caloryfrio.com/calefaccion/bomba-de-calor/bomba-de-calor.html)

[14] Primenergy. (s.f.). *Placas solares: Cómo funciona una instalación fotovoltaica.*

Recuperado el 5 de octubre de 2024, <https://www.primenergy.es/blog/placas-solares-como-funciona-una-instalacion-fotovoltaica/>

[15] Paneles Solares en Guadalajara. (s.f.). *¿Cómo funcionan los paneles solares?*.

Recuperado el 5 de octubre de 2024,

<https://panelessolaresenguadalajara.com/recursos/como-funcionan-los-paneles-solares/>

[16] Ecoluz LED. (s.f.). *¿Qué consumo tiene una bombilla LED?*. Recuperado el 5 de

octubre de 2024, <https://www.ecoluzled.com/content/8-que-consumo-tiene-una-bombilla-led>

[17] Ovacen. (s.f.). *Lámparas LED: Tipos y características de las luces LED*. Recuperado

el 5 de octubre de 2024, <https://ovacen.com/lamparas-led/>

[18] Haverland. (2015, enero 21). *¿Qué es la inercia térmica?*.

<https://haverland.com/2015/01/21/que-es-la-inercia-termica/>

[19] Código Técnico de la Edificación CTE DB-HE. Anejo F Demanda de referencia de ACS.

[20] Preciogas. (n.d.). Instalaciones de aerotermia. Recuperado el 20 de octubre de 2024,

de <https://preciogas.com/instalaciones/aerotermia>

[21] Ovacen. (n.d.). *Aerotermia: Qué es y cómo funciona*. Recuperado el 22 de octubre de

2024, de <https://ovacen.com/aerotermia/>

[22] Naturclima. (2024). *Subvenciones y ayudas aerotermia 2024: ¿Cómo solicitarlas?*.

Recuperado de <https://www.naturclima.energy/aerotermia/subvenciones/>

[23] Curso Ingeniería Energética (2024). Tema 4: CICLOS DE REFRIGERACIÓN Y BOMBA DE CALOR AVANZADOS

[24] Toshiba Aire. (n.d.). *¿Qué es SCOP?*. Recuperado el 24 de Octubre de 2024, de <https://www.toshiba-aire.es/que-es-scop>

[25] Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE ) (2022) Normativa del Código Técnico de la Edificación (CTE).

[26] Calor y Frío. (n.d.). *Zonas climáticas en España según el CTE*.  
<https://www.caloryfrio.com/calefaccion/zonas-climaticas-espana-segun-cte.html>

[27] Enel Green Power. (n.d.). *Módulos fotovoltaicos: Qué son y cómo funcionan*.  
Recuperado el 27 de Octubre de 2024, de <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-solar/modulo-fotovoltaico>

[28] Panel Power. (n.d.). *¿Cómo funcionan los paneles solares?*. Recuperado el 27 de Octubre de 2024, de <https://www.panelpower.com.mx/como-funcionan-los-paneles-solares/>

[29] Ecofener. (n.d.). *Paneles solares fotovoltaicos*. Recuperado el 27 de Octubre de 2024, de <https://ecofener.com/6-paneles-solares-fotovoltaicos>

[30] Solarix. (n.d.). *Fotovoltaica: El tamaño sí importa*. Recuperado el 31 de Octubre de 2024, de <https://www.solarix.es/blog/fotovoltaica-tamano-si-importa/>

- [31] Sector Uno. (n.d.). *Ficha técnica panel solar Escelco 450W monocristalino, 144 células Silver y Black*. <https://sectoruno.es/shop/material-fotovoltaico/modulos-fotovoltaicos/panel-solar-escelco-450w-monocristalino-144-celulas-silver-y-black>
- [32] SFE Solar. (n.d.). *Tipos de inversores fotovoltaicos: ¿Cuál necesitas para tu instalación?*. Recuperado el 2 de noviembre de 2024, de <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/tipos-inversores-fotovoltaicos/>
- [33] E4e Soluciones. (n.d.). *Inversor fotovoltaico: Características y tipos*. Recuperado el 2 de noviembre de 2024, de <https://www.e4e-soluciones.com/blog-eficiencia-energetica/inversor-fotovoltaico-caracteristicas-tipos>
- [34] Autosolar. (n.d.). *Inversor Huawei SUN2000-3KTL-L1 3000W*. Recuperado el 2 de noviembre de 2024, de <https://autosolar.es/inversores-hibridos-monofasicos/inversor-huawei-sun2000-3ktl-11-3000w>
- [35] Iberdrola. (n.d.). *Radiación solar: Qué es, tipos e importancia*. Recuperado el 3 de noviembre de 2024, de <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/radiacion-solar>
- [36] Jinko Solar. (n.d.). *Ficha técnica: JKM425-445N-54HL4R-V-F1.3C1*. <https://jinkosolar.eu/wp-content/uploads/JKM425-445N-54HL4R-V-F1.3C1-EN-BF-EU.pdf>

- [37] Iberdrola. (n.d.). *Cómo limpiar y mantener las placas solares para un óptimo rendimiento.* <https://www.iberdrola.es/blog/autoconsumo/mantenimiento-placas-solares-limpiar>
- [38] Grup Boixadera. (n.d.). *Cómo mejorar el aislamiento térmico de un piso.* <https://www.grupboixadera.com/como-mejorar-el-aislamiento-termico-de-un-piso/>
- [39] Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (n.d.). *Equipos de elevación y manutención.* <https://www.insst.es/normativa/equipos-de-trabajo/equipos-de-elevacion-y-manutencion>
- [40] CompraTuLed. (n.d.). *¿Cuánto duran las bombillas LED?* <https://compratuled.es/blog/cuanto-duran-bombillas-led>
- [41] AutoSolar. (n.d.). *¿Cuánto tiempo dura un LED?* <https://autosolar.es/eficiencia-energetica/cuanto-tiempo-dura-un-led>
- [42] ALG. (n.d.). *Iluminación LED y sostenibilidad: ¿Cómo contribuye al medio ambiente?* <https://algsa.es/es/noticia/iluminacion-led-y-sostenibilidad-como-contribuye-al-medio-ambiente/>
- [43] Kosner. (n.d.). *Vida útil de la aerotermia.* <https://www.kosner.es/vida-util-aerotermia/>
- [44] ESEFICIENCIA. (2025, marzo 21). *El IDAE publica una guía para el cálculo de ahorro de energía según la Directiva de Eficiencia Energética.*

<https://www.eseficiencia.es/2025/03/21/idae-publica-guia-calculo-ahorro-energia-segun-directiva-eficiencia-energetica>

[45] Iberdrola. (n.d.). *Así son los tejados solares híbridos*.

<https://www.iberdrola.es/blog/autoconsumo/asi-son-tejados-solares-hibridos>

[46] Endef. (n.d.). *Paneles solares híbridos*. <https://endef.com/paneles-solares-hibridos/>

[47] Iberdrola. (n.d.). *Baterías de ion-litio: Cómo funcionan y cuáles son sus aplicaciones*.

<https://www.iberdrola.com/innovacion/baterias-ion-litio>

[48] Tu Alarma Sin Cuotas. (n.d.). *Ahorro energético y domótica: Cómo reducir el*

*consumo eléctrico en tu hogar*. <https://www.tualarmasincuotas.es/blog/ahorro-energetico-domotica/>

## **ANEXO I: FICHAS TÉCNICAS**

# Tiger Neo N-type 54HL4R-(V) 425-445 Watt MONO-FACIAL MODULE

## N-Type

Positive power tolerance of 0~+3%

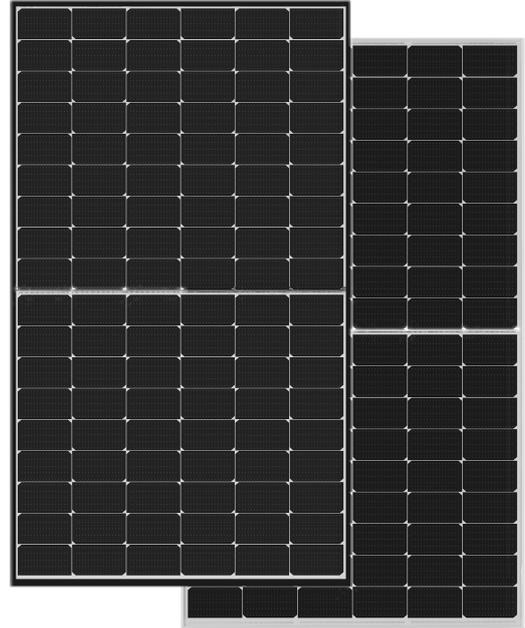
IEC61215(2016), IEC61730(2016)

ISO9001:2015: Quality Management System

ISO14001:2015: Environment Management System

ISO45001:2018

Occupational health and safety management systems



## Key Features



### SMBB Technology

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



### PID Resistance

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



### Durability Against Extreme Environmental Conditions

High salt mist and ammonia resistance.



### Hot 2.0 Technology

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

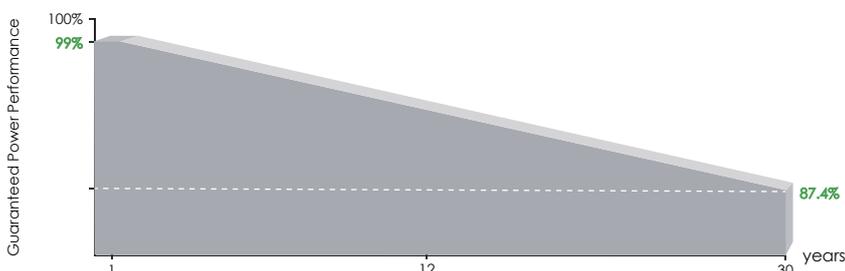


### Enhanced Mechanical Load

Certified to withstand: wind load (4000 Pascal) and snow load (6000 Pascal).



## LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

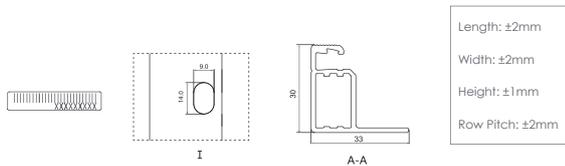
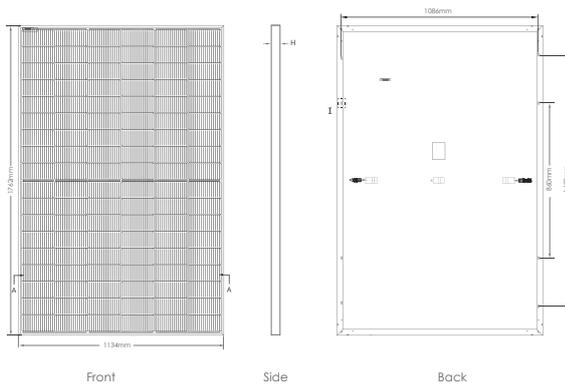


**15** Year Product Warranty

**30** Year Linear Power Warranty

**0.40%** Annual Degradation Over 30 years

## Engineering Drawings



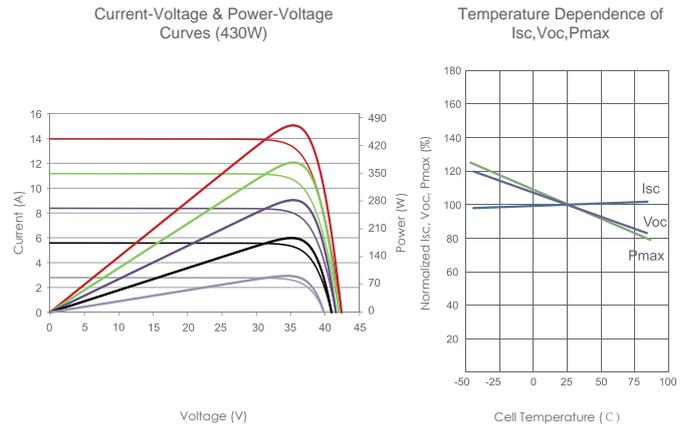
Note: For dimensional tolerances, refer to the detailed module drawings

## Packaging Configuration

( Two pallets = One stack )

36pcs/pallets, 72pcs/stack, 936pcs/ 40'HQ Container

## Electrical Performance & Temperature Dependence



## Mechanical Characteristics

Cell Type	N type Mono-crystalline
No. of cells	108 (2×54)
Dimensions	1762×1134×30mm (69.36×44.65×1.18 inch)
Weight	22 kg (48.50 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm <sup>2</sup> (+): 400mm, (-): 200mm or Customized Length

## SPECIFICATIONS

Module Type	JKM425N-54HL4R		JKM430N-54HL4R		JKM435N-54HL4R		JKM440N-54HL4R		JKM445N-54HL4R	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	425Wp	320Wp	430Wp	323Wp	435Wp	327Wp	440Wp	331Wp	445Wp	335Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	32.18V	29.99V	32.38V	30.10V	32.59V	30.33V	32.81V	30.56V	33.02V	30.76V
Maximum Power Current (Imp)	13.21A	10.67A	13.28A	10.73A	13.35A	10.78A	13.41A	10.83A	13.48A	10.89A
Open-circuit Voltage (Voc)	38.75V	36.81V	38.95V	37.00V	39.16V	37.20V	39.38V	37.41V	39.59V	37.61V
Short-circuit Current (Isc)	13.66A	11.03A	13.73A	11.09A	13.80A	11.14A	13.86A	11.19A	13.93A	11.25A
Module Efficiency STC (%)	21.27%		21.52%		21.77%		22.02%		22.27%	
Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.29%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.25%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.045%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

\*STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup> Cell Temperature 25°C AM=1.5  
 NOCT: Irradiance 800W/m<sup>2</sup> Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s



## Seguridad activa

Protección contra arcos eléctricos  
active con tecnología de IA



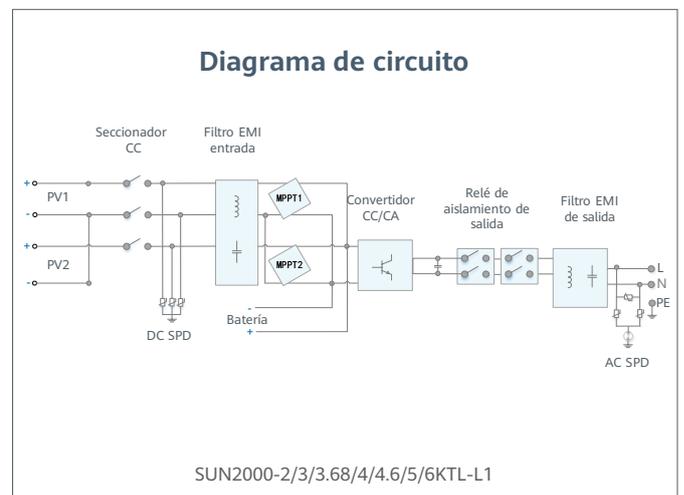
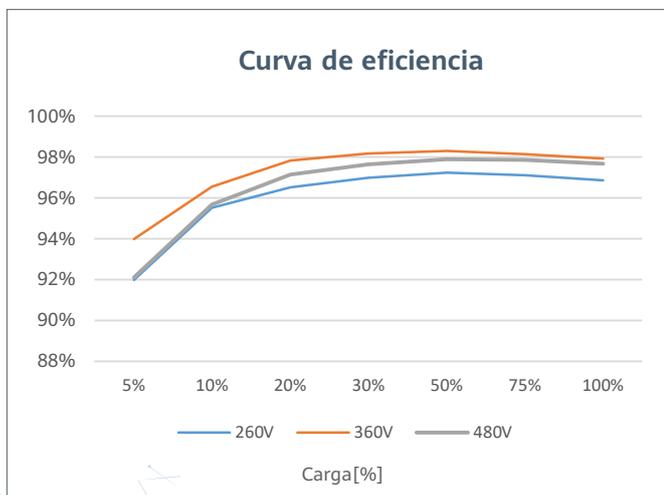
## Mayor rendimiento

Hasta un 30 % más de  
energía con optimizadores



## 2x POTENCIA de Batería

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



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

Especificaciones técnicas	SUN2000 -2KTL-L1	SUN2000 -3KTL-L1	SUN2000 -3.68KTL-L1	SUN2000 -4KTL-L1	SUN2000 -4.6KTL-L1	SUN2000 -5KTL-L1	SUN2000 -6KTL-L1 <sup>1</sup>
---------------------------	---------------------	---------------------	------------------------	---------------------	-----------------------	---------------------	----------------------------------

**Eficiencia**

Eficiencia Máxima	98.2 %	98.3 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %
Eficiencia europea	96.7 %	97.3 %	97.3 %	97.5 %	97.7 %	97.8 %	97.8 %

**Entrada ( FV )**

Entrada de CC máxima recomendada <sup>2</sup>	3,000 Wp	4,500 Wp	5,520 Wp	6,000 Wp	6,900 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp
Máx. tensión de entrada	600 V <sup>3</sup>						
Tensión de arranque	100 V						
Rango de tensión de operación de MPPT	90 V – 560 V <sup>3</sup>						
Tensión nominal de entrada	360 V						
Máx. intensidad por MPPT	12.5 A						
Máx. intensidad de cortocircuito por MPPT	18 A						
Cantidad de MPPTs	2						
Máx. número de entradas por MPPT	1						

**Entrada ( Batería CC )**

Batería compatible	LG Chem RESU 7H_R / 10H_R						
Rango de tensión de operación	350 ~ 450 Vcc						
Max. corriente de operación	10 A @7H_R / 15 A @10H_R						
Potencia de carga máxima	3,500 W @7H_R / 5,000 W @10H_R						
Potencia máxima de descarga @ 7H_R	2,200 W	3,300 W	3,500 W				
Potencia máxima de descarga @ 10H_R	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W
Batería compatible	HUAWEI Smart ESS Battery 5kWh – 30kWh <sup>1</sup>						
Rango de tensión de operación	350 ~ 560 Vdc						
Max. corriente de operación	15 A						
Potencia de carga máxima	5,000 W <sup>4</sup>						
Potencia máxima de descarga	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W

**Salida**

Conexión a la red eléctrica	Monofásica						
Potencia de salida nominal	2,000 W	3,000 W	3,680 W	4,000 W	4,600 W	5,000 W <sup>5</sup>	6,000 W
Máx. potencia aparente de CA	2,200 VA	3,300 VA	3,680 VA	4,400 VA	5,000 VA <sup>6</sup>	5,500 VA <sup>7</sup>	6,000 VA
Tensión nominal de Salida	220 Vac / 230 Vac / 240 Vac						
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz						
Máx. intensidad de salida	10 A	15 A	16 A	20 A	23 A <sup>8</sup>	25 A <sup>8</sup>	27.3 A
Factor de potencia ajustable	0.8 leading ... 0.8 lagging						
Máx. distorsión armónica total	≤ 3 %						
Salida para SAI	Sí (a través de Backup Box-B0 <sup>1</sup> )						

**Protección & Características**

Protección anti-isla	Sí
Protección contra polaridad inversa de CC	Sí
Monitorización de aislamiento	Sí
Protección contra descargas atmosféricas CC	Sí, clase de protección TIPO II compatible según EN / IEC 61643-11
Protección contra descargas atmosféricas CA	Sí, clase de protección TIPO II compatible según EN / IEC 61643-11
Monitorización de la corriente residual	Sí
Protección contra sobreintensidad de CA	Sí
Protección contra cortocircuito de CA	Sí
Protección contra sobretensión de CA	Sí
Protección contra sobrecalentamiento	Sí
Protección de falla de arco	Sí
Carga inversa de la batería desde la red	Sí

**Datos generales**

Rango de temperatura de operación	-25 ~ +60 °C
Humedad relativa de operación	0 %RH ~ 100 %RH
Altitud de operación	0 ~ 4,000 m (disminución de la capacidad eléctrica a partir de los 2000 m)
Ventilación	Convección natural
Pantalla	Indicadores LED; WLAN integrado + aplicación FusionSolar
Comunicación	RS485, WLAN a través del módulo WLAN incorporado en el inversor Ethernet a través de Smart Dongle-WLAN-FE (Opcional); 4G / 3G / 2G a través de Smart Dongle-4G (Opcional)
Peso (incluido soporte de montaje)	12.0 kg
Dimensiones (incluido soporte de montaje)	365mm * 365mm * 156 mm
Grado de protección	IP65
Consumo de energía durante la noche	< 2,5 W

**Compatibilidad con optimizadores**

Optimizador compatible con MBUS CC	SUN2000-450W-P
------------------------------------	----------------

**Cumplimiento de estándares (más opciones disponibles previa solicitud)**

Seguridad	EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2
Estándares de conexión a red eléctrica	G98, G99, EN 50549-1, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777.2, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, IEC61727, IEC62116

\* 1 Disponible en Q3 del 2020.  
 \* 2 La potencia fotovoltaica de entrada máxima del inversor es de 10.000Wp cuando las cadenas largas se diseñen y conecten al completo de optimizadores de potencia SUN2000-450W-P.  
 \* 3 El límite máximo de tensión de entrada y de operación se reducirán a 495 V cuando el inversor se conecte y funcione con la batería LG.  
 \* 4 2.500W en las baterías HUAWEI ESS de 5kWh  
 \* 5 AS4777.2:4,991W. \* 6. VDE-AR-N 4105:4,600VA / AS4777.2:4,999VA. \*7. AS4777.2:4,999VA / C10/11:5,000VA. \* 8. AS4777.2: 21.7A.

## **ANEXO II: INFORME PVSYST**

# PVsyst - Simulation report

## Grid-Connected System

---

Project: Proyecto Alicante

Variant: Variante 0

No 3D scene defined, no shadings

System power: 3560 Wp

Vista Hermosa de la Cruz - Spain



**PVsyst V8.0.1**

VCO, Simulation date:  
22/11/24 17:26  
with V8.0.1

**Project summary**

**Geographical Site**

Vista Hermosa de la Cruz  
Spain

**Situation**

Latitude 38.37 °N  
Longitude -0.46 °W  
Altitude 45 m  
Time zone UTC+1

**Project settings**

Albedo 0.20

**Weather data**

Vista Hermosa de la Cruz  
Meteonorm 8.2 (2003-2020), Sat=7% - Sintético

**System summary**

**Grid-Connected System**

No 3D scene defined, no shadings

**Orientation #1**

**Fixed plane**

Tilt/Azimuth 34 / 9 °

**Near Shadings**

no Shadings

**User's needs**

Daily profile  
Monthly normalization  
Average 33.9 kWh/Day

**System information**

**PV Array**

Nb. of modules 8 units  
Pnom total 3560 Wp

**Inverters**

Nb. of units 1 unit  
Pnom total 3000 W  
Pnom ratio 1.187

**Results summary**

Produced Energy 6273.8 kWh/year Specific production 1762 kWh/kWp/year Perf. Ratio PR 86.27 %  
Apparent energy 6273.8 kVAh/year

**Table of contents**

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Detailed User's needs	5
Main results	6
Loss diagram	7
Predef. graphs	8
Single-line diagram	9

**PVsyst V8.0.1**

VC0, Simulation date:  
22/11/24 17:26  
with V8.0.1

**General parameters****Grid-Connected System**

No 3D scene defined, no shadings

**Orientation #1****Fixed plane**

Tilt/Azimuth 34 / 9 °

**Sheds configuration**

No 3D scene defined

**Models used**

Transposition Perez  
Diffuse Perez, Meteonorm  
Circumsolar separate

**Horizon**

Free Horizon

**Near Shadings**

no Shadings

**User's needs**

Daily profile  
Monthly normalization  
Average 33.9 kWh/Day

**Grid injection point****Power factor**

Cos(phi) (leading) 1.000

**PV Array Characteristics****PV module**

Manufacturer Generic  
Model JKM-445N-54HL4R  
(Original PVsyst database)  
Unit Nom. Power 445 Wp  
Number of PV modules 8 units  
Nominal (STC) 3560 Wp  
Modules 1 strings x 8 In series

**At operating cond. (30°C)**

Pmpp 3520 Wp  
U mpp 264 V  
I mpp 13 A

**Total PV power**

Nominal (STC) 3.56 kWp  
Total 8 modules  
Module area 16.0 m<sup>2</sup>

**Inverter**

Manufacturer Generic  
Model SUN2000-3KTL-L1  
(Original PVsyst database)  
Unit Nom. Power 3.00 kWac  
Number of inverters 1 unit  
Total power 3.0 kWac  
Operating voltage 80-600 V  
Pnom ratio (DC:AC) 1.19  
Power sharing within this inverter

**Total inverter power**

Total power 3 kWac  
Number of inverters 1 unit  
Pnom ratio 1.19

**Array losses****Thermal Loss factor**

Module temperature according to irradiance  
Uc (const) 20.0 W/m<sup>2</sup>K  
Uv (wind) 0.0 W/m<sup>2</sup>K/m/s

**DC wiring losses**

Global array res. 302 mΩ  
Loss Fraction 1.5 % at STC

**Module Quality Loss**

Loss Fraction -0.5 %

**Module mismatch losses**

Loss Fraction 1.0 % at MPP

**Strings Mismatch loss**

Loss Fraction 0.1 %

**IAM loss factor**

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

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



**PVsyst V8.0.1**

VCO, Simulation date:  
22/11/24 17:26  
with V8.0.1

**AC wiring losses**

**Inv. output line up to MV transfo**

Inverter voltage 230 Vac mono  
Loss Fraction 0.18 % at STC

**Inverter: SUN2000-3KTL-L1**

Wire section (1 Inv.) Copper 1 x 2 x 70 mm<sup>2</sup>  
Wires length 50 m

**AC losses in transformers**

**MV transfo**

Medium voltage 20 kV

**Transformer parameters**

Nominal power at STC 3.49 kVA  
Iron Loss (24/24 Connexion) 0.00 kVA  
Iron loss fraction 0.09 % at STC  
Copper loss 0.04 kVA  
Copper loss fraction 1.16 % at STC  
Coils equivalent resistance 3 x 529 mΩ



**PVsyst V8.0.1**

VCO, Simulation date:  
22/11/24 17:26  
with V8.0.1

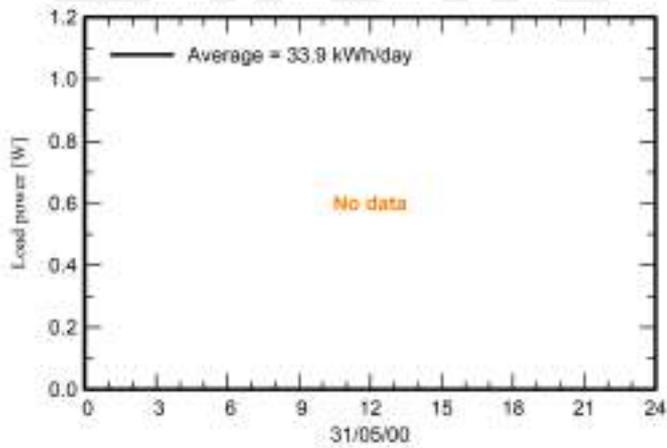
**Detailed User's needs**

Daily profile, Monthly normalization, average = 33.9 kWh/day

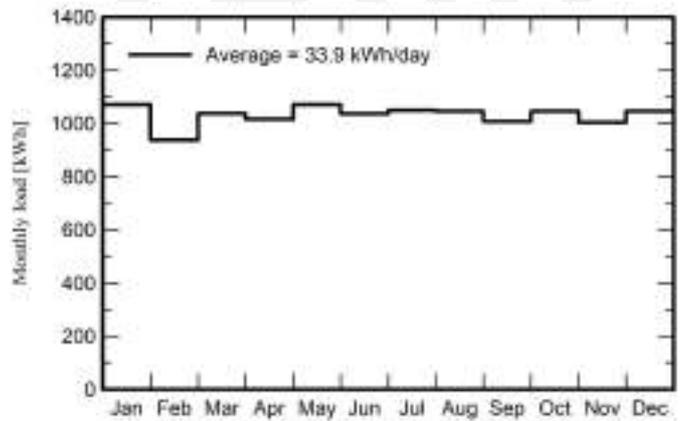
Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
1.07	0.94	1.04	1.02	1.07	1.04	1.05	1.05	1.01	1.05	1.00	1.05	12.4	MWh

Hourly load	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h	10 h	11 h	W
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	W
	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h	19 h	20 h	21 h	22 h	23 h	W
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	W

**Daily profile**



**Monthly normalization**





**PVsyst V8.0.1**

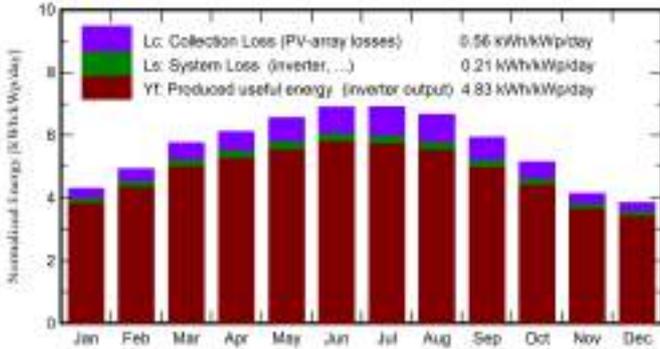
VCO, Simulation date:  
22/11/24 17:26  
with V8.0.1

**Main results**

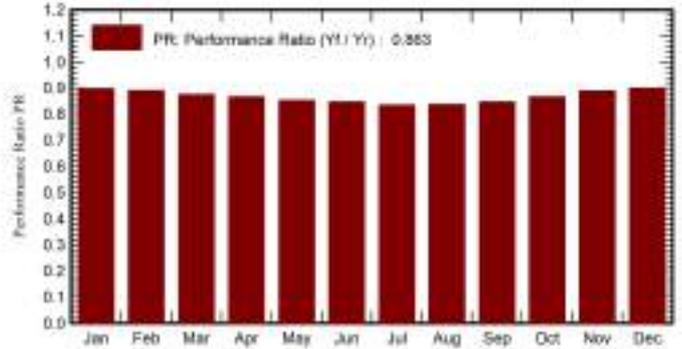
**System Production**

Produced Energy	6273.8 kWh/year	Specific production	1762 kWh/kWp/year
Apparent energy	6273.8 kWh/year	Perf. Ratio PR	86.27 %

**Normalized productions (per installed kWp)**



**Performance Ratio PR**



**Balances and main results**

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
January	78.3	28.69	11.14	133.3	131.5	444.1	0.000	0.000	426.1	0.000
February	93.2	34.50	11.40	137.8	135.8	455.5	0.000	0.000	436.8	0.000
March	141.8	52.51	13.87	178.3	175.2	579.3	0.000	0.000	555.3	0.000
April	170.1	67.73	16.00	183.4	179.5	590.4	0.000	0.000	565.7	0.000
May	211.4	74.97	19.50	203.0	198.1	643.5	0.000	0.000	616.2	0.000
June	223.7	81.27	23.69	206.7	201.8	650.3	0.000	0.000	623.1	0.000
July	226.5	77.64	27.11	214.1	209.0	664.4	0.000	0.000	636.5	0.000
August	198.4	76.75	27.48	206.3	202.0	641.5	0.000	0.000	614.8	0.000
September	150.6	56.12	23.93	177.8	174.2	558.8	0.000	0.000	535.5	0.000
October	115.8	45.68	20.32	159.3	156.8	512.2	0.000	0.000	491.1	0.000
November	79.1	33.59	14.72	123.9	122.1	409.4	0.000	0.000	392.3	0.000
December	68.0	26.32	11.96	118.9	117.4	396.6	0.000	0.000	380.5	0.000
Year	1756.8	655.75	18.47	2042.8	2003.5	6545.9	0.000	0.000	6273.8	0.000

**Legends**

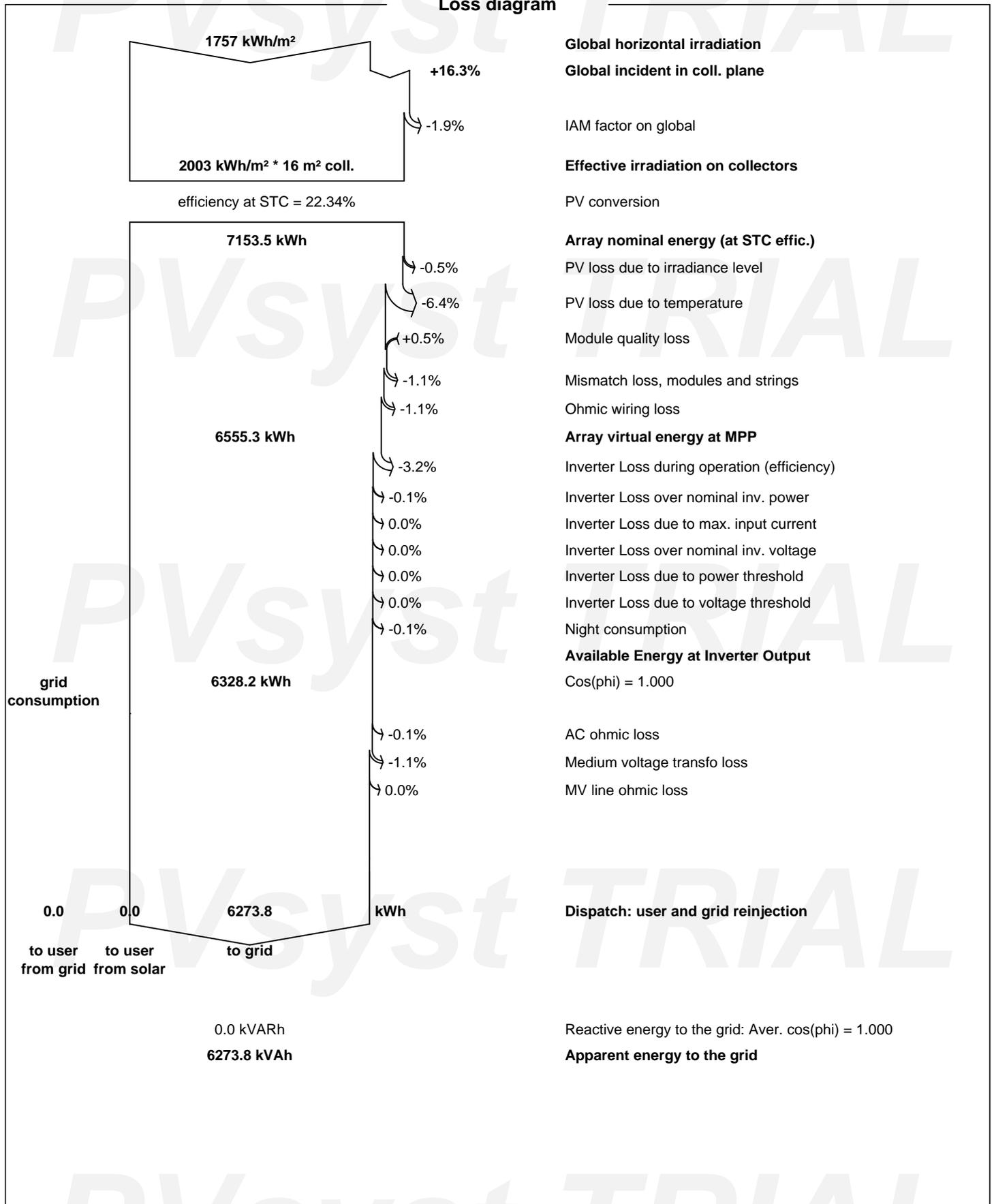
GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_User	Energy supplied to the user
T_Amb	Ambient Temperature	E_Solar	Energy from the sun
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Grid	Energy injected into grid
GlobEff	Effective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



PVsyst V8.0.1

VCO, Simulation date:  
22/11/24 17:26  
with V8.0.1

Loss diagram



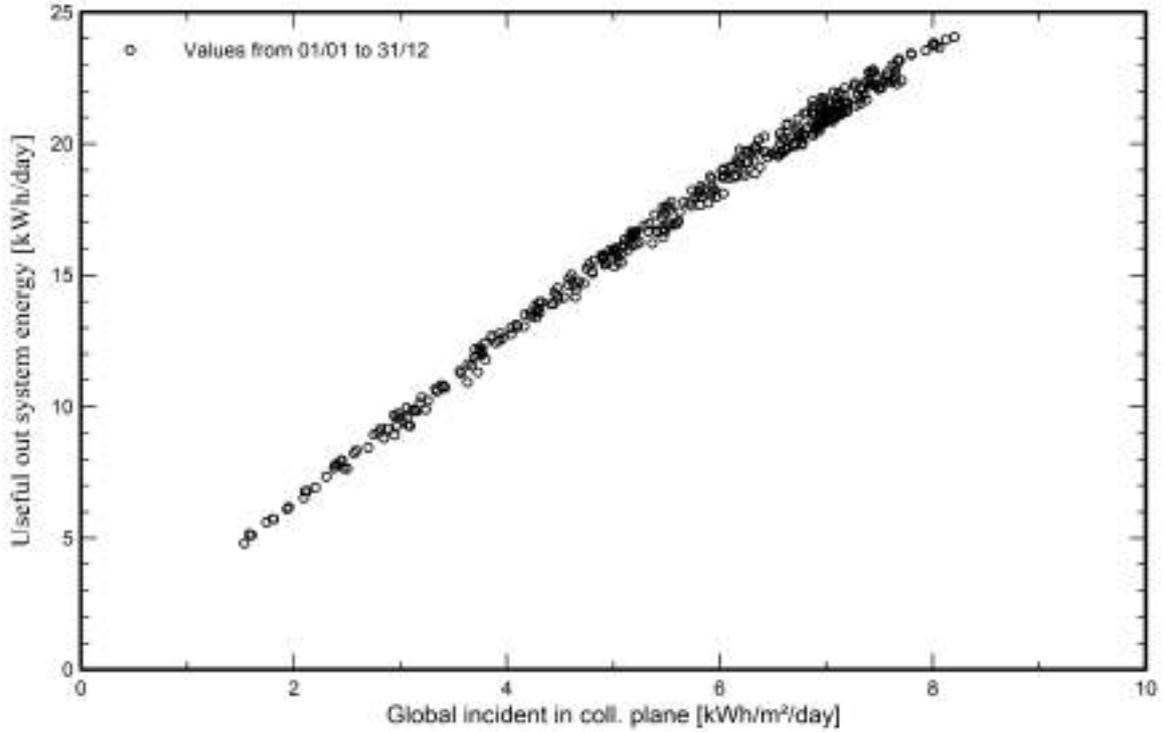


**PVsyst V8.0.1**

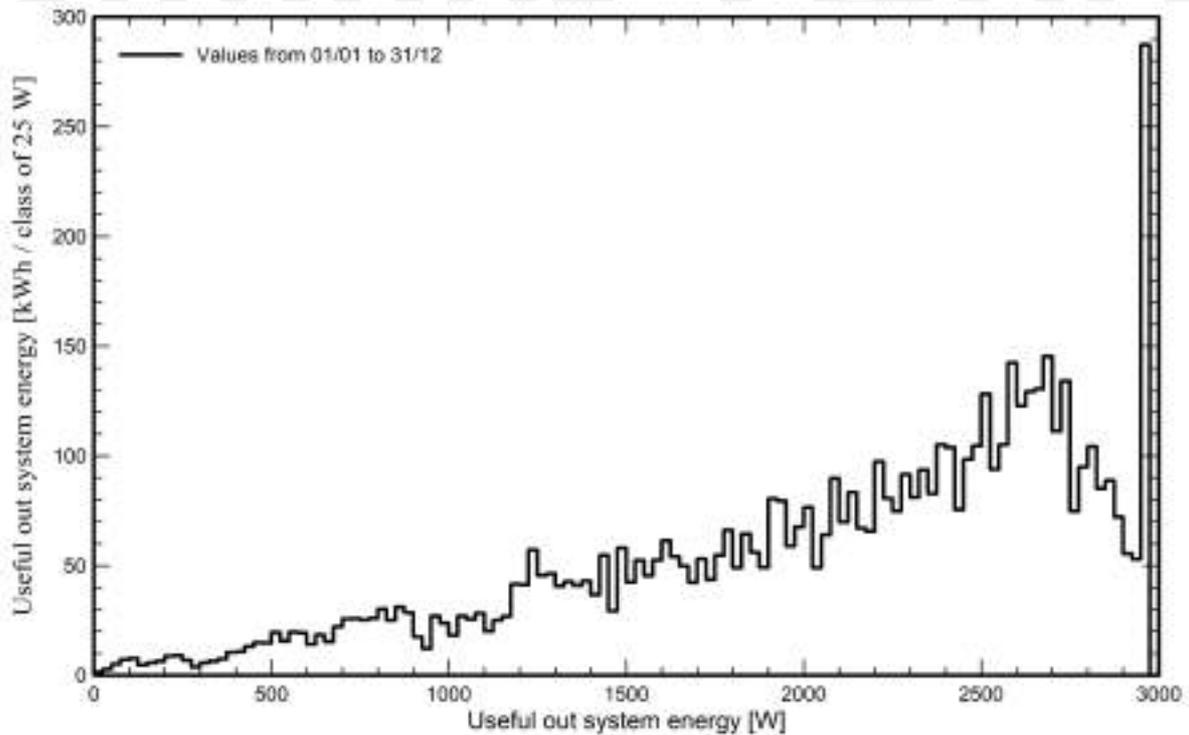
VC0, Simulation date:  
22/11/24 17:26  
with V8.0.1

**Predef. graphs**

**Diagrama entrada/salida diaria**



**Distribución de potencia de salida del sistema**

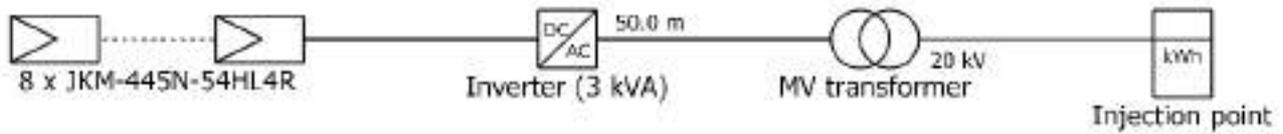




PVsyst V8.0.1

VCO, Simulation date:  
22/11/24 17:26  
with V8.0.1

# Single-line diagram



PV module	JKM-445N-54HL4R
Inverter	SUN2000-3KTL-L1
String	8 x JKM-445N-54HL4R

Proyecto Alicante

VCO : Variante 0

22/11/24

## **ANEXO III: ODS**

El proyecto de rehabilitación energética de la vivienda presentado tiene como finalidad no solo mejorar el desempeño energético de la vivienda, sino también alinear cada uno de sus cinco objetivos técnicos con la Agenda 2030 a través de una contribución tangible a siete de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Uno de los pilares fundamentales del proyecto es el ODS 7: Energía asequible y no contaminante, en torno al cual gira toda la estrategia de mejora. Se parte de un diagnóstico riguroso del comportamiento energético de la vivienda, que permite identificar ineficiencias en el consumo y pérdidas que afectan tanto al coste del servicio como a su impacto ambiental. A partir de esta línea base, se desarrollan soluciones técnicas como la integración de energías renovables (solar fotovoltaica, aerotermia) y la modernización de sistemas de climatización y control. Estas acciones fomentan un acceso más equitativo a energía moderna, reducen la dependencia de combustibles fósiles y contribuyen al cumplimiento de metas globales como la duplicación de la eficiencia energética para 2030. Además, disminuyen significativamente los costos energéticos para los habitantes.

En paralelo, el proyecto incide de manera directa en el ODS 12: Producción y consumo responsables al promover una gestión más eficiente de los recursos energéticos. La cuantificación precisa del consumo permite visualizar de forma clara el impacto del comportamiento diario de los usuarios sobre el medio ambiente. A través de la renovación de equipos y el alargamiento del ciclo de vida útil de aquellos aún eficientes, se minimiza la generación de residuos electrónicos y materiales.

Por su parte, el ODS 13: Acción por el clima se refleja en todas las decisiones encaminadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Cada mejora implementada contribuye de forma medible a mitigar el cambio climático. El análisis económico de estas medidas, que incorpora una visión de ciclo de vida, demuestra que invertir en eficiencia no sólo es viable, sino estratégico.

En relación al ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles, el proyecto subraya cómo la intervención sobre una sola vivienda puede sentar las bases para una transformación más amplia del entorno urbano. Cuando se replican de forma sistemática, las estrategias de rehabilitación energética alivian la carga sobre las infraestructuras urbanas, fortalecen la resiliencia frente a eventos climáticos extremos y mejoran la calidad de vida de los ciudadanos.

En conclusión, la rehabilitación energética planteada no es una mera intervención técnica localizada, sino una propuesta integral que articula múltiples dimensiones del desarrollo sostenible. La mejora energética de una vivienda individual se transforma en un catalizador de transformación estructural, aportando beneficios medibles en términos de eficiencia, reducción de emisiones, equidad social y educación ambiental.