



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

Eficiencia Energética y Ahorro Económico: Caso de
Estudio del Edificio de Castilla-La Mancha

Autor: Gonzalo Olivares Jarabo

Director: Iñigo Sanz Fernández

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Eficiencia Energética y Ahorro Económico: Caso de Estudio del Edificio de Castilla-La
Mancha

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

curso académico 2022/23 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

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

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Gonzalo Olivares Jarabo

Fecha: 12/ 07/ 2023



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Iñigo Sanz Fernández

Fecha://



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

Eficiencia Energética y Ahorro Económico: Caso de
Estudio del Edificio de Castilla-La Mancha

Autor: Gonzalo Olivares Jarabo

Director: Iñigo Sanz Fernández

Madrid

EFICIENCIA ENERGÉTICA Y AHORRO ECONÓMICO: CASO DE ESTUDIO DEL EDIFICIO DE CASTILLA-LA MANCHA

Autor: Olivares Jarabo, Gonzalo.

Director: Sanz Fernández, Iñigo

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

En el proyecto de mejora energética en el edificio de Castilla-La Mancha se han implementado diversas medidas, como la instalación de paneles solares, sistemas de aerotermia, iluminación LED y ventanas de doble acristalamiento. Estas acciones han llevado a resultados significativos, logrando un ahorro económico de más de 150.000 € en 10 años, mejorando la eficiencia energética, el confort de los residentes y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero.

Palabras clave: Mejora energética, Eficiencia energética, ahorro económico, gases efecto invernadero.

1. Introducción

El presente informe presenta un proyecto de mejora energética en el edificio de Castilla-La Mancha, con el objetivo de optimizar el consumo de energía, promover la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental. Este proyecto se basa en la idea de crear un entorno más sostenible, confortable y respetuoso con el medio ambiente para los residentes del edificio.



Ilustración 1. Fachada del edificio. Fuente: Catastro nacional

2. Definición del proyecto

El proyecto busca abordar los desafíos de eficiencia energética y consumo excesivo de energía que enfrenta el edificio de Castilla-La Mancha, generando costos económicos significativos y un impacto ambiental negativo. Con este fin, se han propuesto diversas medidas de mejora energética en el edificio.

3. Descripción y propuestas del proyecto

El proyecto comienza evaluando las condiciones climáticas del edificio en Castilla-La Mancha, considerando su ubicación en una región con clima semiárido y continental. Luego se analizan las preferencias de los habitantes y las condiciones iniciales del edificio en términos de eficiencia energética, consumo eléctrico y térmico, identificando áreas de mejora.

Con base en estas evaluaciones, se proponen varias medidas para mejorar la eficiencia energética del edificio. Se plantea la instalación de paneles solares para aprovechar la energía solar y reducir la dependencia de la red eléctrica convencional. Además, se propone la adopción de sistemas de aerotermia, con opciones como un emisor de aerotermia como el suelo radiante o radiadores de baja temperatura, para mejorar la climatización de manera eficiente.

Otras medidas incluyen la instalación de bombillas LED para mejorar la eficiencia en la iluminación y la sustitución de ventanas simples por ventanas de doble acristalamiento para un mejor aislamiento térmico y acústico. Se realiza una evaluación económica de estas propuestas, y todas son aprobadas excepto la instalación del sistema de aislamiento térmico exterior (SATE), debido a su alta inversión inicial que no se considera rentable con relación al ahorro que proporciona.

4. Resultados y conclusiones

A lo largo de 10 años, se logra un ahorro total de 150.000 € para todo el edificio, lo que representa un promedio de casi 10.000 € por vivienda. Estos ahorros continúan creciendo con el tiempo. El proyecto se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), promoviendo la energía asequible y no contaminante, ciudades y comunidades sostenibles, y acción por el clima.

	Inversión Inicial (€)	Ahorro (10 años) (€)	¿Rentable?	¿Seleccionada?
Paneles FV	16601.56	39842.06	SI	SI
Aeroterminia	145827.1	21413.50	SI	SI
SATE	28842.77	-2057.99	NO	NO
Ventanas Doble Acr.	12800	89600	SI	SI
Bombillas LED			SI	SI

Tabla 1. Ahorro y rentabilidad propuestas de mejora. Fuente: Elaboración propia

El proyecto se considera un éxito, ya que ha mejorado significativamente la eficiencia energética del edificio, reduciendo los costos de energía, las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorando el confort de los residentes. Aunque la instalación de SATE no se llevó a cabo debido a restricciones económicas, las medidas implementadas han demostrado ser rentables en un corto período de tiempo, y a largo plazo, la inversión en el sistema de aeroterminia resulta muy rentable. El proyecto destaca la importancia de implementar medidas sostenibles para alcanzar un futuro más eficiente y alineado con los ODS.

ENERGY EFFICIENCY AND ECONOMIC SAVINGS: CASE STUDY OF THE CASTILLA-LA MANCHA BUILDING

Author: Olivares Jarabo, Gonzalo.

Supervisor: Sanz Fernández, Iñigo.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

In the energy efficiency project in the Castilla-La Mancha building, various measures have been implemented, including the installation of solar panels, aerothermal systems, LED lighting, and double-glazed windows. These actions have yielded significant results, achieving economic savings of over €150,000 in 10 years, improving energy efficiency, enhancing resident comfort, and reducing greenhouse gas emissions.

Keywords: Energy efficiency, economic saving, greenhouse gas emissions.

1. Introduction

The Castilla-La Mancha building faces challenges related to energy efficiency and excessive energy consumption, resulting in significant economic costs and negative environmental impacts. To address these challenges, various energy efficiency measures have been proposed for implementation in the building.

The primary goal of this project is to achieve better utilization of energy resources and reduce energy consumption. By implementing efficient and sustainable solutions, the project aims to improve residents' comfort, lower energy costs, and contribute to climate change mitigation.



Illustration 1. Building facade. Source: National Cadastre

2. Project definition

The project aims to address the challenges of energy efficiency and excessive energy consumption faced by the Castilla-La Mancha building, which result in significant economic costs and a negative environmental impact. To achieve this, various energy improvement measures have been proposed for implementation in the building.

3. Project description and proposals

The project begins by evaluating the climatic conditions of the building in Castilla-La Mancha, considering its location in a semi-arid and continental region. The preferences of the residents and the initial conditions of the building in terms of energy efficiency, electric and thermal consumption are then analyzed, identifying areas for improvement.

Based on these evaluations, several measures are proposed to enhance the energy efficiency of the building. The installation of solar panels is suggested to harness solar energy and reduce reliance on the conventional electrical grid. Additionally, the adoption of aerothermal systems, such as underfloor heating or low-temperature radiators, is proposed to improve heating and cooling efficiency.

Other measures include the installation of LED bulbs to enhance lighting efficiency, and the replacement of single-pane windows with double-glazed windows to improve thermal and acoustic insulation. An economic evaluation is conducted for these proposals, and all are approved except for the installation of the Exterior Thermal Insulation System (SATE), which is deemed not cost-effective considering the initial investment compared to the savings it provides.

4. Results and Conclusion

Over a period of 10 years, a total savings of €150,000 is achieved for the entire building, averaging almost €10,000 per dwelling. These savings continue to grow over time. The project aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs), promoting affordable and clean energy, sustainable cities and communities, and climate action.

	Initial investment (€)	Savings (10 years) (€)	Profitable?	Selected?
PV Panels	16601.56	39842.06	YES	YES
Aerothermal	145827.1	21413.50	YES	YES
EIFS	28842.77	-2057.99	NO	NO
Double Glazed Windows	12800	89600	YES	YES
LED Lightbulb			YES	YES

Table 1. Savings and profitability proposals for improvement. Source: self made

The project is deemed successful as it significantly improves the energy efficiency of the building, reduces energy costs, and lowers greenhouse gas emissions while enhancing the

residents' comfort. Although the installation of SATE is not carried out due to economic constraints, the implemented measures prove cost-effective within a short timeframe, and the long-term investment in the aerothermal system proves highly profitable. The project highlights the importance of implementing sustainable measures to achieve a more efficient future aligned with the SDGs.

Índice de la memoria

<i>Índice de la memoria</i>	<i>I</i>
<i>Índice de tablas</i>	<i>IV</i>
<i>Índice de figuras</i>	<i>VI</i>
<i>Índice de ecuaciones</i>	<i>IX</i>
<i>Capítulo 1. Introducción</i>	<i>10</i>
<i>Capítulo 2. Motivación y Metodología</i>	<i>12</i>
2.1 Motivación	12
2.2 Metodología.....	13
<i>Capítulo 3. Estado de la Cuestión</i>	<i>16</i>
<i>Capítulo 4. El Edificio y su Entorno</i>	<i>18</i>
4.1 Condiciones Climáticas.....	18
4.2 Preferencias de los Habitantes.....	21
4.3 El Edificio	22
<i>Capítulo 5. Eficiencia Energética y Consumo</i>	<i>28</i>
5.1 Eficiencia Energética Inicial.....	28
5.2 Consumo Eléctrico y Térmico.....	30
<i>Capítulo 6. Sistemas de Calefacción</i>	<i>33</i>
6.1 Sistemas de calefacción en el mercado	33
6.2 Comparación y Evaluación de los Sistemas	37
6.3 Análisis y Elección del Sistema Óptimo	42
<i>Capítulo 7. Paneles Solares</i>	<i>48</i>
7.1 PVsyst.....	48
7.2 Zona I	51
7.3 Zona II.....	57

7.4	Conclusion de la totalidad del sistema de paneles FV	63
Capítulo 8. Sistema de Aerotermia.....		64
8.1	Potencia necesaria por Vivienda	64
8.2	Emisor de la Aerotermia.....	66
8.3	Consumo Eléctrico Necesario	67
8.4	Distribución de Bombas	68
Capítulo 9. Mejora de la Envolvente Térmica.....		71
9.1	Porque mejorar y como	71
9.2	SATE.....	72
Capítulo 10. Alternativas para mejorar el Edificio		75
10.1	Actualización de Ventanas	75
10.2	Sistemas de Iluminación Eficientes.....	76
10.3	Electrodomésticos Eficientes.....	77
Capítulo 11. Viabilidad Económica		79
11.1	Paneles Solares.....	79
11.1.1	Zona I	79
11.1.2	Zona II.....	82
11.1.3	Total.....	85
11.2	Sistema de Aerotermia	86
11.2.1	Distribución de Bombas	87
11.2.2	Emisor de la Aerotermia	91
11.2.3	Total.....	96
11.3	SATE.....	99
11.4	Alternativas	102
11.4.1	Ventanas de doble acristalamiento.....	102
11.4.2	Bombillas LED	103
11.5	Bonificaciones y Subvenciones.....	104
11.6	Ahorro Total.....	105
Capítulo 12. Alineación con los ODS y Acciones Futuras		106
12.1	Objetivos de Desarrollo Sostenible	106
12.2	Acciones Futuras	108

Capítulo 13. Conclusión..... 111

Capítulo 14. Bibliografía..... 113

ANEXO A 120

ANEXO B 121

ANEXO C 122

Índice de tablas

Tabla 1. División de las viviendas del edificio por pisos y superficie construida. Fuente: Catastro nacional	26
Tabla 2. Balances y resultados principales zona I. Fuente: PVsyst.....	54
Tabla 3. Balances y resultados principales zona II. Fuente: PVsyst	60
Tabla 4. Gastos de instalación paneles solares zona I. Fuente: Elaboración propia.....	80
Tabla 5. Balance económico a lo largo de los años zona I. Fuente: Elaboración propia	81
Tabla 6. Gastos de instalación paneles solares zona II. Fuente: Elaboración propia	83
Tabla 7. Balance económico a lo largo de los años zona II. Fuente: Elaboración propia ...	84
Tabla 8. Balance económico a lo largo de los años ambas zonas. Fuente: Elaboración propia	85
Tabla 9. Ahorro del consumo eléctrico anual debido a la aerotermia. Fuente: Elaboración propia	87
Tabla 10. Costes de instalación bombas aerotermia y costes anuales. Fuente: Elaboración propia	90
Tabla 11. Precio y potencia de los modelos de radiadores de baja temperatura. Fuente: PrecioGas.....	92
Tabla 12. Suelo radiante vs radiadores de baja temperatura. Fuente: PrecioGas	93
Tabla 13. Balance económico a lo largo de los años suelo radiante. Fuente: Elaboración propia	94
Tabla 14. Balance económico a lo largo de los años radiadores de baja temperatura. Fuente: Elaboración propia.....	94
Tabla 15. Balance económico actualizado a lo largo de los años aerotermia + emisor. Fuente: Elaboración propia.....	97
Tabla 16. Precio y conductividad térmica materiales para SATE. Fuente: PrecioGas	99
Tabla 17. Costes instalación SATE. Fuente: Elaboración propia	100
Tabla 18. Balance económico a lo largo de los años SATE. Fuente: Elaboración propia	101

Tabla 19. Ahorro y rentabilidad propuestas de mejora. Fuente: Elaboración propia..... 105

Índice de figuras

Ilustración 1. Ubicación Edificio en España. Fuente: Google Maps.....	10
Ilustración 2. Temperatura máxima y mínima promedio en invierno Ciudad Real. Fuente: Weather Spark	18
Ilustración 3. Temperatura máxima y mínima promedio en Ciudad Real. Fuente: Weather Spark.....	19
Ilustración 4. Promedio de temperaturas anuales Ciudad Real. Fuente: Weather Spark	20
Ilustración 5. Probabilidad de precipitaciones en Ciudad Real. Fuente: Weather Spark	20
Ilustración 6. Horas de luz natural Ciudad Real. Fuente: Weather Spark.....	21
Ilustración 7. Fachada del edificio. Fuente: Catastro nacional.....	23
Ilustración 8. Vista desde arriba del edificio. Fuente: Catastro nacional	24
Ilustración 9. Ubicación y orientación edificio. Fuente: Catastro nacional.....	24
Ilustración 10. Consumo eléctrico y destino de la factura. Fuente: Comunidad de vecinos	30
Ilustración 11. Resumen e importe de la factura. Fuente: Comunidad de vecinos.....	31
Ilustración 12. Consumo de la aerotermia vs otras energías. Fuente: Preciogas.....	46
Ilustración 13. Condiciones climáticas en Ciudad Real. Fuente: PVsyst.....	48
Ilustración 14. Trayectorias solares en Ciudad Real. Fuente: PVsyst.....	49
Ilustración 15. Meteo para Ciudad Real. Fuente: PVsyst.....	49
Ilustración 16. Zonas de posible instalación de paneles solares. Fuente: Elaboración propia	50
Ilustración 17. Orientación e inclinación del plano fijo zona I. Fuente: PVsyst.....	51
Ilustración 18. Superficie disponible de la zona I. Fuente: Elaboración propia.....	52
Ilustración 19. Módulo fotovoltaico zona I. Fuente: PVsyst.....	52
Ilustración 20. Inversor zona I. Fuente: PVsyst.....	53
Ilustración 21. Número de módulos y cadenas zona I. Fuente: PVsyst.....	53
Ilustración 22. Parámetros de simulación y resultados principales zona I. Fuente: PVsyst	54
Ilustración 23. Producciones normalizadas zona I. Fuente: PVsyst	55
Ilustración 24. Proporción de rendimiento zona I. Fuente: PVsyst.....	56
Ilustración 25. Superficie disponible de la zona II. Fuente: PVsyst.....	57

Ilustración 26. Distancia para el cálculo Azimut zona II. Fuente: Google Earth	57
Ilustración 27. Orientación e inclinación del plano fijo zona II. Fuente: PVsyst.....	58
Ilustración 28. Módulo fotovoltaico zona II. Fuente: PVsyst.....	58
Ilustración 29. Inversor zona II. Fuente: PVsyst	59
Ilustración 30. Número de módulos y cadenas zona II. Fuente: PVsyst	59
Ilustración 31. Parámetros de simulación y resultados principales zona II. Fuente: PVsyst	60
Ilustración 32. Producciones normalizadas zona II. Fuente: PVsyst.....	61
Ilustración 33. Proporción de rendimiento zona II. Fuente: PVsyst.....	62
Ilustración 34. Resultados principales de ambas zonas. Fuente: PVsyst	63
Ilustración 35. Región climática por provincias. Fuente: GasFrío&Calor	65
Ilustración 36. Ejemplo incorporación SATE en fachadas. Fuente: Hume Ingeniería.....	73
Ilustración 37. Funcionamiento ventanas doble acristalamiento. Fuente: Reformasintegrales10	76
Ilustración 38. Consumo bombillas LED vs incandescentes. Fuente: Endesa	77
Ilustración 39. Balance económico a lo largo de los años zona I. Fuente: Elaboración propia	82
Ilustración 40. Balance económico a lo largo de los años zona II. Fuente: Elaboración propia	85
Ilustración 41. Balance económico a lo largo de los años ambas zonas. Fuente: Elaboración propia	86
Ilustración 42. Bomba de calor de ACS Aquatermic HT 100. Fuente: GasFrío&Calor	88
Ilustración 43. Bomba Aerotermia Wolf MHA 55C. Fuente: GasFrío&Calor	89
Ilustración 44. BOMBA DE CALOR AEROTERMIA MONOBLOC AU082FYCRA(HW) ATW-MONO 13,5KW HAIER. Fuente: GasFrío&Calor.....	90
Ilustración 45. Balance económico a lo largo de los años suelo radiante vs radiadores baja temperatura. Fuente: Elaboración propia.....	95
Ilustración 46. Balance económico a lo largo de los años aerotermia + emisor. Fuente: Elaboración propia.....	98

Ilustración 47. Balance económico a lo largo de los años SATE. Fuente: Elaboración propia	102
Ilustración 48. Objetivos de desarrollo sostenible. Fuente: Naciones Unidas.....	106

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Media superficies viviendas	26
Ecuación 2. Consumo eléctrico anual de todo el edificio.....	30
Ecuación 3. Coste unitario kWh	31
Ecuación 4. Gasto anual del edificio debido al consumo eléctrico	31
Ecuación 5. Gasto anual del edificio debido al consumo térmico.....	32
Ecuación 6. Gasto anual del edificio debido al consumo eléctrico y térmico	32
Ecuación 7. Gasto anual de cada vivienda debido al consumo eléctrico y térmico	32
Ecuación 8. Producción total de los paneles solares (kW)	63
Ecuación 9. Potencia calorífica necesaria por vivienda (GasFrío&Calor).....	64
Ecuación 10. Potencia calorífica necesaria por vivienda (GasFrío&Calor).....	66
Ecuación 11. Potencia térmica anual necesaria del edificio	67
Ecuación 12. Consumo eléctrico anual del edificio para alimentar la aerotermia	68
Ecuación 13. Costes anuales de mantenimiento y limpieza zona I	80
Ecuación 14. Ahorro anual debido a los paneles FV zona I.....	80
Ecuación 15. Costes anuales mantenimiento y limpieza zona II.....	83
Ecuación 16. Ahorro anual debido a los paneles FV zona II	83
Ecuación 17. Inversión inicial suelo radiante del edificio.....	91
Ecuación 18. Coste instalación radiadores baja T°	92
Ecuación 19. Coste instalación del edificio radiadores baja T°	92
Ecuación 20. Consumo eléctrico actualizado para aerotermia	96
Ecuación 21. Coste anual del edificio del consumo eléctrico para aerotermia	96
Ecuación 22. Coste mantenimiento y limpieza anual SATE.....	100
Ecuación 23. Ahorro anual del edificio debido al SATE	100
Ecuación 24. Ahorro anual por vivienda debido a las ventanas de doble acristalamiento	103

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

El presente informe presenta un proyecto de mejora energética en el edificio de Castilla-La Mancha, con el objetivo de optimizar el consumo de energía, promover la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental. Este proyecto se basa en la idea de crear un entorno más sostenible, confortable y respetuoso con el medio ambiente para los residentes del edificio.

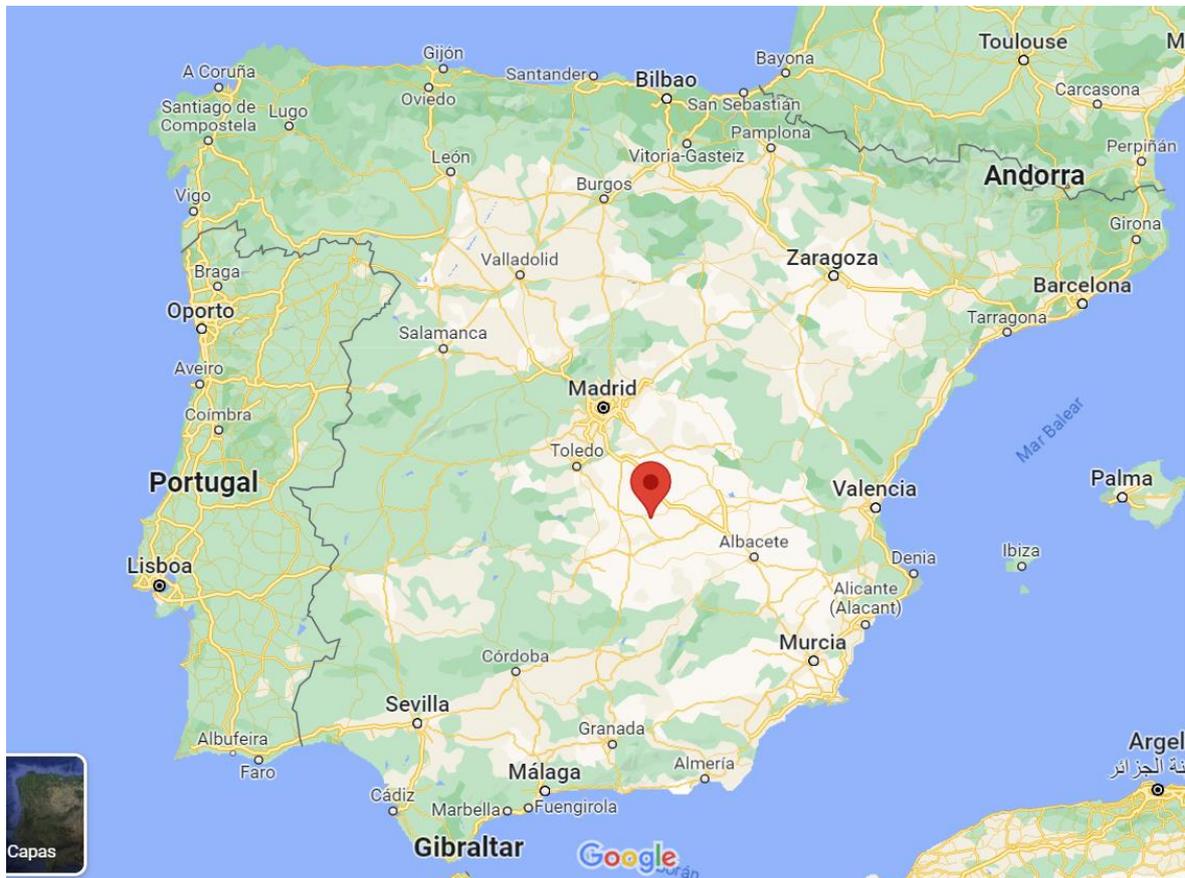


Ilustración 1. Ubicación Edificio en España. Fuente: Google Maps

El edificio de Castilla-La Mancha se enfrenta a desafíos en términos de eficiencia energética y consumo excesivo de energía, lo que resulta en costos económicos significativos y un

impacto ambiental negativo. Para abordar estos desafíos, se ha propuesto llevar a cabo diversas medidas de mejora energética en el edificio.

Este proyecto tiene como objetivo principal lograr un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos y una reducción en el consumo de energía. A través de la implementación de soluciones eficientes y sostenibles, se busca mejorar el confort de los residentes, reducir los costos energéticos y contribuir a la mitigación del cambio climático.

Aunque las propuestas específicas para el proyecto aún están en proceso de evaluación y aprobación, se están considerando diversas acciones como la instalación de paneles solares, la adopción de sistemas de climatización eficientes, el reemplazo de luminarias convencionales por iluminación LED, la mejora en el aislamiento térmico y otras medidas que permitan optimizar el consumo energético.

La importancia de este proyecto radica en su potencial para transformar el edificio en un entorno más sostenible y mejorar la calidad de vida de los residentes. Además, se busca alinear las acciones del proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), establecidos por las Naciones Unidas, para promover una transición hacia un futuro más sostenible y resiliente.

En resumen, el proyecto de mejora energética en el edificio de Castilla-La Mancha tiene como objetivo implementar medidas eficientes y sostenibles para optimizar el consumo de energía y reducir el impacto ambiental. A través de este proyecto, se busca mejorar el confort de los residentes, reducir los costos energéticos y contribuir a la construcción de un futuro más sostenible y alineado con los ODS.

Capítulo 2. MOTIVACIÓN Y METODOLOGÍA

2.1 MOTIVACIÓN

El proyecto de mejora energética en el edificio de Castilla-La Mancha surge de la convicción de que es fundamental adoptar medidas para mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo en busca de un futuro más sostenible. La motivación principal es crear un entorno más respetuoso con el medio ambiente y alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas.

El objetivo es optimizar la eficiencia energética del edificio, disminuir su huella de carbono y reducir el impacto ambiental asociado a su funcionamiento. Esto implica explorar soluciones que mejoren la climatización y el confort de los vecinos, promoviendo un ambiente más saludable y agradable para todos.

Al mejorar la eficiencia energética, el edificio logrará una reducción en el consumo de energía y, por ende, en los costes asociados. Esto generará ahorros económicos significativos tanto para la comunidad como para los vecinos individualmente. Además, la mejora energética incrementará el valor del edificio a largo plazo, ya que los compradores y arrendatarios valoran cada vez más la eficiencia y sostenibilidad en las propiedades.

Al alinearse con los ODS, el proyecto contribuirá activamente a la acción por el clima y a la creación de ciudades y comunidades sostenibles. Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y utilizar fuentes de energía renovable se convertirá en un ejemplo a seguir para otros proyectos y comunidades, promoviendo un impacto positivo en el entorno.

La motivación también radica en el bienestar y comodidad de los vecinos. Una mejora en la climatización y en la eficiencia energética garantizará un ambiente interior más saludable, con una temperatura estable y una calidad de aire óptima. Esto contribuirá al bienestar de los residentes y mejorará su calidad de vida.

2.2 METODOLOGÍA

El presente apartado describe la metodología propuesta para llevar a cabo el proyecto de mejora energética en el edificio de Castilla-La Mancha. La metodología se basa en un enfoque sistemático y progresivo que permitirá identificar las medidas más adecuadas para optimizar el consumo de energía y mejorar la eficiencia energética del edificio. A continuación, se detallan los pasos principales de la metodología:

1. Evaluación inicial:

- Se realizará una evaluación exhaustiva del estado actual del edificio en términos de eficiencia energética, consumo de energía, sistemas de climatización, aislamiento térmico, iluminación y electrodomésticos.

- Se recopilarán datos sobre los consumos energéticos actuales y se analizarán los patrones de consumo para identificar las áreas de mayor gasto y las oportunidades de mejora.

2. Diseño de soluciones:

- En base a los resultados de la evaluación, se diseñarán las soluciones específicas para mejorar la eficiencia energética del edificio.

- Se considerarán medidas como la instalación de paneles solares, la adopción de sistemas de climatización eficientes, el reemplazo de luminarias convencionales por iluminación LED, la mejora en el aislamiento térmico, entre otras.

- Se establecerán criterios técnicos y normativos para la selección de equipos y materiales, asegurando la calidad y el cumplimiento de los estándares energéticos.

3. Análisis de viabilidad:

- Se llevará a cabo un análisis detallado de la viabilidad técnica y económica de las distintas propuestas de mejora energética consideradas, teniendo en cuenta factores como el retorno

de inversión, los costos de implementación, los beneficios esperados y la vida útil de los equipos y sistemas propuestos.

- Se evaluará la alineación de las medidas de mejora energética con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y su contribución a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

4. Implementación y seguimiento:

- Una vez aprobadas las soluciones propuestas, se procederá a la implementación de las medidas de mejora energética en el edificio.

- Se recopilarán datos de consumo energético para medir los ahorros energéticos y económicos obtenidos.

5. Concienciación y planes futuros:

- Se brindará información sobre el ahorro energético obtenido, los beneficios económicos, el confort mejorado y la contribución al medio ambiente, incentivando la participación activa de los residentes en el uso eficiente de la energía.

- Basándonos en los resultados exitosos de este proyecto, se recomienda considerar otras medidas de eficiencia energética y energías renovables en el futuro, como la implementación de sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia, la instalación de sensores de movimiento para el control de iluminación y la promoción de medidas de ahorro energético entre los residentes.

En conclusión, la metodología propuesta para el proyecto de mejora energética en el edificio de Castilla-La Mancha se basa en una evaluación inicial detallada, el diseño de soluciones adecuadas, un análisis de viabilidad técnica y económica, la implementación y seguimiento, y una comunicación efectiva para promover la concienciación y participación de los residentes seguida de planes a futuro. Esta metodología permitirá lograr una mejora

significativa en la eficiencia energética del edificio, reducir los costos y contribuir al desarrollo de un entorno más sostenible.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El proyecto de mejora energética en el edificio de Castilla-La Mancha se encuentra en una etapa crucial de evaluación y planificación. En esta fase inicial, es importante comprender el estado actual del edificio en términos de eficiencia energética, consumo, confort y alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

1. **Eficiencia energética:** El edificio presenta deficiencias en términos de eficiencia energética, lo cual se traduce en un consumo energético elevado. La falta de aislamiento térmico adecuado, ventanas ineficientes y sistemas de climatización obsoletos contribuyen a la pérdida de energía y a un rendimiento energético deficiente.
2. **Consumo energético:** El consumo energético actual del edificio es significativo y genera costos considerables tanto para la comunidad como para los vecinos. Se estima que existe una gran oportunidad para reducir el consumo energético mediante la implementación de medidas de eficiencia energética y la adopción de fuentes de energía renovable.
3. **Confort de los residentes:** El confort de los residentes se ve afectado por las deficiencias en el aislamiento térmico y la climatización inadecuada. Las fluctuaciones de temperatura, la falta de regulación y el ruido exterior impactan negativamente en la calidad de vida de los vecinos. Mejorar el confort interior será un objetivo clave del proyecto de mejora energética.
4. **Alineación con los ODS:** Actualmente, el edificio no está alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por las Naciones Unidas. Existe una necesidad de integrar medidas sostenibles y de eficiencia energética para contribuir a la acción por el clima y a la creación de comunidades sostenibles.

En resumen, el estado de la cuestión del proyecto de mejora energética en el edificio de Castilla-La Mancha revela deficiencias en la eficiencia energética, un consumo energético elevado, problemas de confort para los residentes y una falta de alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Estos desafíos presentan una oportunidad para implementar

medidas que mejorarán la eficiencia energética, reducirán el consumo, optimizarán el confort de los vecinos y contribuirán a la sostenibilidad y resiliencia del edificio.

Capítulo 4. EL EDIFICIO Y SU ENTORNO

4.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS

Cuando se trata de mejorar un sistema de calefacción en un lugar específico, es importante tener en cuenta las condiciones climáticas de la zona y las características del lugar en sí. En el caso de Ciudad Real, Castilla-La Mancha, es una ciudad ubicada en el centro de España, con un clima semiárido y continental (1). Los inviernos son fríos, con temperaturas que pueden caer por debajo de 0°C (2), lo que significa que se requiere una calefacción eficiente y efectiva para mantener una temperatura confortable en el interior, y los veranos son calurosos y secos, con temperaturas que pueden superar los 30°C (2).

Temperatura máxima y mínima promedio en el invierno en el Aeropuerto Central Ciudad Real

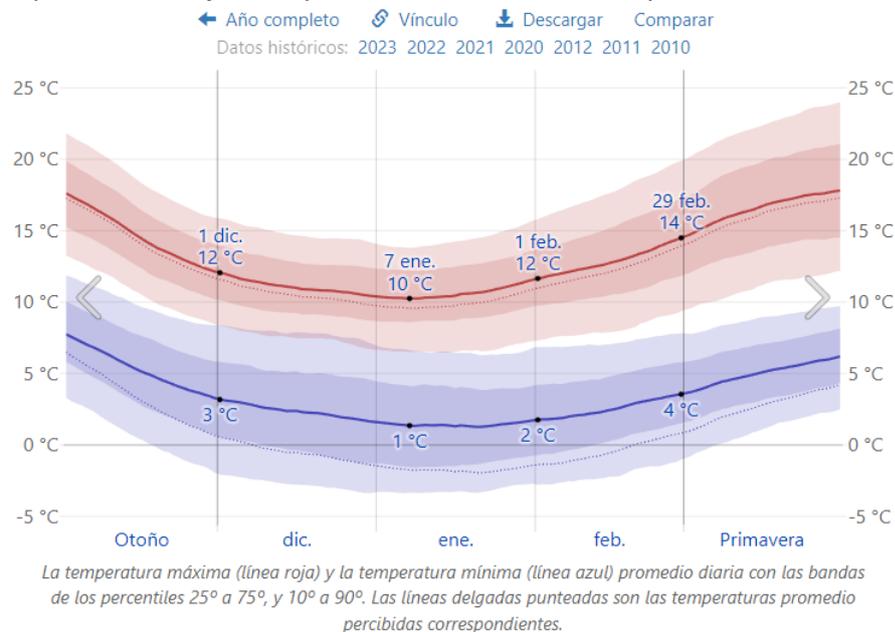


Ilustración 2. Temperatura máxima y mínima promedio en invierno Ciudad Real. Fuente: Weather Spark

En la figura 2 podemos ver que el rango de temperaturas en invierno en Castilla la Mancha, Ciudad Real se mueve en el rango de [0, 10] grados Celsius

aproximadamente, lo que confirma que los inviernos en la zona son fríos y se necesita un sistema eficiente para satisfacer el confort de los habitantes del edificio.

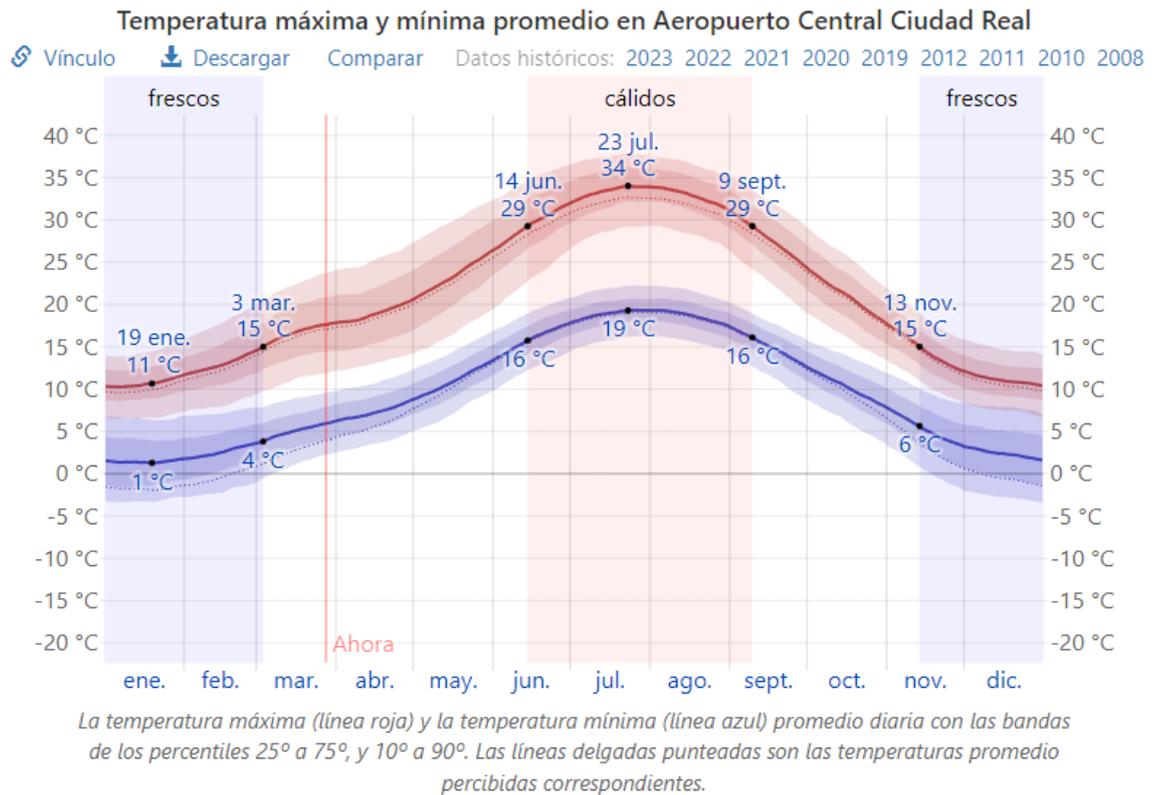


Ilustración 3. Temperatura máxima y mínima promedio en Ciudad Real. Fuente: Weather Spark

En la figura 3 vemos que claramente que los veranos, de junio a septiembre, son calurosos y secos, con temperaturas promedio que pueden superar fácilmente los 35°C durante el día, bajando a alrededor de 18°C durante la noche.

Promedio	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.	nov.	dic.
Máxima	11 °C	13 °C	17 °C	19 °C	24 °C	30 °C	33 °C	33 °C	28 °C	21 °C	14 °C	11 °C
Temp.	6 °C	7 °C	11 °C	13 °C	17 °C	23 °C	27 °C	26 °C	22 °C	15 °C	10 °C	6 °C
Mínima	1 °C	3 °C	5 °C	7 °C	11 °C	16 °C	19 °C	19 °C	15 °C	10 °C	5 °C	2 °C

Ilustración 4. Promedio de temperaturas anuales Ciudad Real. Fuente: Weather Spark

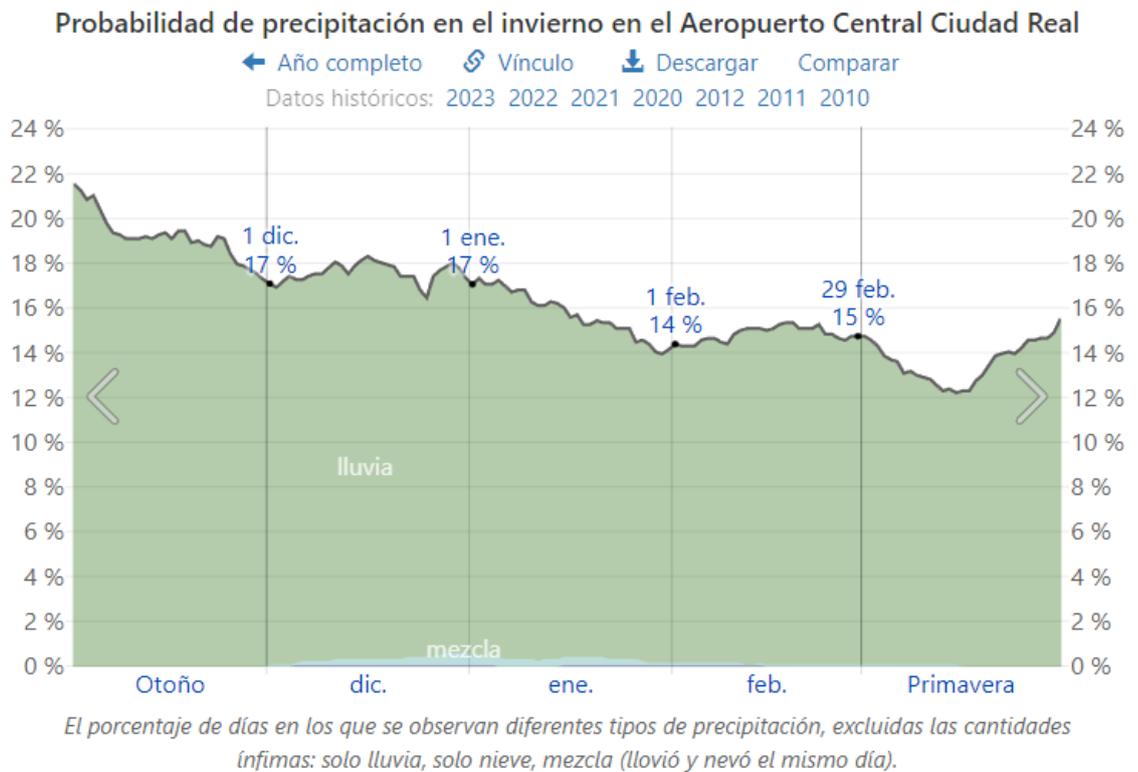


Ilustración 5. Probabilidad de precipitaciones en Ciudad Real. Fuente: Weather Spark

El patrón de precipitaciones en Ciudad Real es bastante típico del clima mediterráneo, con la mayor parte de la lluvia cayendo en los meses de primavera y otoño. Los meses más secos suelen ser julio y agosto. La precipitación anual total es de aproximadamente 400-500 mm. (3)

Horas de	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.	nov.	dic.
Luz natural	9,8h	10,8h	12,0h	13,3h	14,3h	14,8h	14,6h	13,6h	12,4h	11,1h	10,0h	9,5h

Ilustración 6. Horas de luz natural Ciudad Real. Fuente: Weather Spark

En cuanto a las horas de luz, Ciudad Real tiene una cantidad significativa de sol durante todo el año. Durante los meses de verano, puede tener hasta 14 horas de luz solar al día, mientras que, en invierno, esta cifra se reduce a aproximadamente a algo más de 9 horas al día. En total, Ciudad Real recibe alrededor de 3000-3700 horas de sol al año, lo que la convierte en una de las regiones más soleadas de España. (4)

El viento en Ciudad Real no es particularmente fuerte ni constante, pero puede ser notable en algunas épocas del año. Los vientos suelen ser más fuertes en primavera y otoño, con velocidades que pueden alcanzar los 20 km/h. Durante el verano, los vientos suelen ser más ligeros. (5)

En resumen, Ciudad Real tiene un clima mediterráneo continentalizado con inviernos fríos y veranos calurosos. Las precipitaciones son más comunes en la primavera y el otoño, y las horas de sol son abundantes durante todo el año. Estos factores climáticos deben tenerse en cuenta al considerar los sistemas de calefacción y refrigeración para los edificios en esta región.

4.2 PREFERENCIAS DE LOS HABITANTES

También es importante tener en cuenta las necesidades y preferencias de los habitantes del lugar en cuanto a la temperatura y el confort. Por ejemplo, si el lugar está habitado por personas mayores o niños pequeños, puede ser necesario mantener una temperatura más alta para evitar problemas de salud.

Según los resultados de búsqueda, el porcentaje de población de 65 años o más por comunidad autónoma en España varía según la fuente y el año de referencia. Según el INE (6), a 1 de enero de 2022, el porcentaje medio nacional era del 20,1%, siendo

las comunidades con mayor proporción Asturias (25,6%), Castilla y León (25,3%) y Galicia (24,9%), y las comunidades con menor proporción Baleares (14,9%), Murcia (15,4%) y Canarias (15,5%). Como se puede observar, hay una tendencia al aumento del porcentaje de población mayor de 65 años en España y a una mayor diferencia entre las comunidades más envejecidas y las menos envejecidas. Según el censo de 2019 (7), el porcentaje estimado para Campo de Criptana (23,4%) se sitúa por encima de la media nacional y cerca de las comunidades más envejecidas.

Las personas de tercera edad tienen preferencias y necesidades relevantes a tener en cuenta, como la temperatura, muchas personas mayores prefieren mantener una temperatura ambiente cálida y constante para sentirse cómodas. Una temperatura promedio de alrededor de 22-24°C es comúnmente considerada confortable. El control de la temperatura es importante para brindar a las personas mayores la posibilidad de controlar la temperatura en su entorno. Esto puede ser mediante termostatos regulables en cada habitación o en espacios comunes, lo que les permite ajustar la temperatura según sus preferencias personales. Otro factor para tener en cuenta es la seguridad, siendo esta fundamental en las personas mayores en términos de calefacción. Los sistemas de calefacción deben ser seguros y cumplir con todas las normativas de seguridad relevantes para evitar riesgos de incendio, quemaduras o intoxicación. Se debe prestar atención a que haya una ventilación adecuada y asegurarse de que no haya acumulación de polvo, humedad excesiva o contaminantes en el aire. Es importante que las viviendas y los espacios comunes sean accesibles para las personas mayores, permitiendo un fácil acceso a los controles de calefacción y evitando barreras físicas que dificulten su movimiento y comodidad.

4.3 EL EDIFICIO

El espacio para calentar es un edificio de 4 plantas con apartamentos, específicamente 4 apartamentos por cada planta (haciendo un total de 16 viviendas). El uso de este espacio está destinado para uso de vivienda, por lo que suponemos que la calefacción deberá usarse durante todo el día.



Ilustración 7. Fachada del edificio. Fuente: Catastro nacional

El edificio está hecho de ladrillos de arcilla, el cual es un material duradero y resistente, el techo está cubierto con tejas cerámicas dispuestas en un patrón regular. Cada planta tiene un balcón el cual está revestido con barandillas metálicas.



Ilustración 8. Vista desde arriba del edificio. Fuente: Catastro nacional

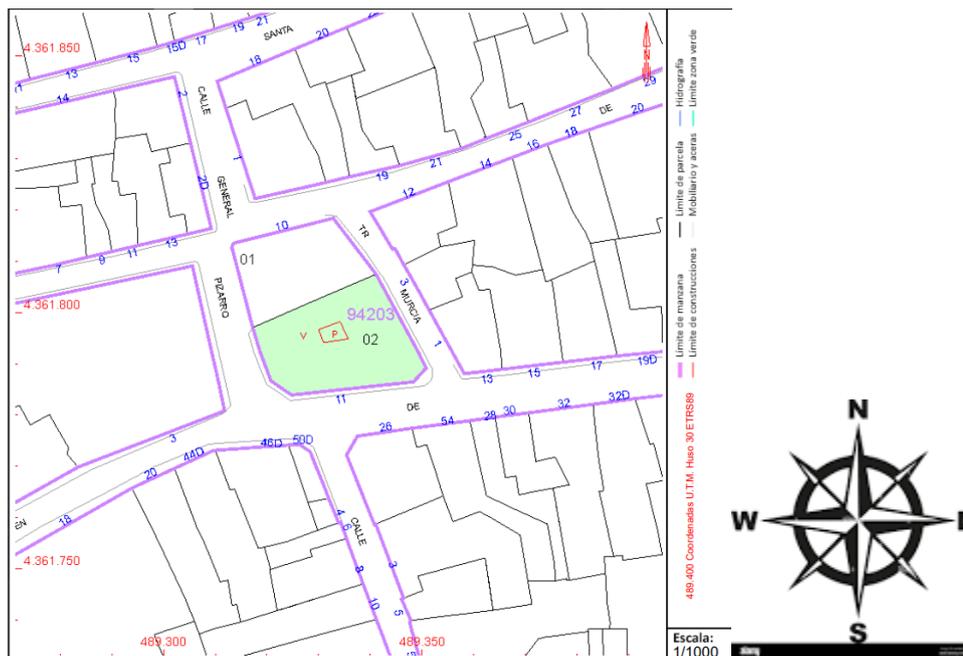


Ilustración 9. Ubicación y orientación edificio. Fuente: Catastro nacional

En la figura 9 podemos ver la orientación de la casa es hacia el sur con un par de grados al este.

La orientación de un edificio es un factor importante que considerar en términos de eficiencia energética y confort interior. La orientación hacia el sur es beneficiosa en

muchas regiones, especialmente en el hemisferio norte (8), ya que permite aprovechar la radiación solar durante gran parte del día. Al tener una orientación sur, la fachada principal del edificio recibe una mayor cantidad de luz solar directa durante las horas del día. Esto puede proporcionar beneficios como:

Aprovechamiento de la energía solar, la exposición al sol puede ayudar a calentar naturalmente el interior del edificio durante los meses más fríos, reduciendo la carga de calefacción requerida. Otro beneficio es la iluminación natural, la luz solar directa puede iluminar el interior del edificio, reduciendo así la necesidad de iluminación artificial.

Sin embargo, al estar ligeramente desplazada hacia el este, la fachada principal del edificio recibirá luz solar directa en horas específicas de la mañana (8), antes de que el sol alcance su punto más alto. Esto puede resultar en una menor cantidad de calor solar directo en las horas de la tarde.

En general, la orientación sur con una ligera inclinación hacia el este sigue siendo una buena orientación para aprovechar los beneficios de la radiación solar y la luz natural en un edificio. Puede contribuir a un ambiente interior más cómodo y a reducir la dependencia de la energía artificial para la calefacción y la iluminación.

REFERENCIA CATASTRAL	DIRECCIÓN	USO	SUP. CONSTR	AÑO
9420302VJ8692S0001WZ	CL VIRGEN DE CRIPTANA 5 Es:- Pi:01 Pt:--	Industrial	240	1979
9420302VJ8692S0002EX	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:00 Pt:02	Comercial	198	1979
9420302VJ8692S0003RM	CL VIRGEN DE CRIPTANA 5 Es:- Pi:00 Pt:--	Residencial	146	1979
9420302VJ8692S0004TQ	CL VIRGEN DE CRIPTANA 5 Es:- Pi:00 Pt:--	Comercial	75	1979
9420302VJ8692S0005YW	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:00 Pt:04	Comercial	21	1979
9420302VJ8692S0006UE	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:01 Pt:01	Residencial	141	1973
9420302VJ8692S0007IR	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:01 Pt:02	Residencial	96	1973
9420302VJ8692S0008OT	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:01 Pt:03	Residencial	184	1973
9420302VJ8692S0009PY	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:01 Pt:04	Residencial	145	1973
9420302VJ8692S0010IR	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:02 Pt:01	Residencial	141	1973
9420302VJ8692S0011OT	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:02 Pt:02	Residencial	96	1973
9420302VJ8692S0012PY	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:02 Pt:03	Residencial	184	1973
9420302VJ8692S0013AU	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:02 Pt:04	Residencial	145	1973
9420302VJ8692S0014SI	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:03 Pt:01	Residencial	141	1973
9420302VJ8692S0015DO	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:03 Pt:02	Residencial	96	1973
9420302VJ8692S0016FP	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:03 Pt:03	Residencial	184	1973
9420302VJ8692S0017GA	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:03 Pt:04	Residencial	145	1973
9420302VJ8692S0018HS	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:04 Pt:01	Residencial	141	1973
9420302VJ8692S0019JD	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:04 Pt:02	Residencial	96	1973
9420302VJ8692S0020GA	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:04 Pt:03	Residencial	184	1973
9420302VJ8692S0021HS	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:04 Pt:04	Residencial	141	1973
9420302VJ8692S0022JD	CL VIRGEN DE CRIPTANA 11 Pi:-1 Pt:01	Industrial	86	1979

Tabla 1. División de las viviendas del edificio por pisos y superficie construida. Fuente: Catastro nacional

El edificio consta de cuatro plantas, con cuatro viviendas por cada una de ellas. En la tabla 1 observamos que hay una quinta planta (designada como planta 00), cuyas instalaciones están destinadas al uso comercial o industrial, por lo que no entran en las cuentas del edificio ni en el análisis para mejorarlo, es decir, que no comparten gastos ni consumos con el resto de los vecinos y sus facturas van por separado.

Cada planta tiene 4 viviendas como ya hemos dicho, cada planta tiene una vivienda de 141 m², 96 m², 184 m² y 145 m².

Haciendo la media:

$$\frac{(141 + 96 + 184 + 145)}{4} = 141,5$$

Ecuación 1. Media superficies viviendas

Para realizar los cálculos pertinentes usaremos 141,5 m² como la superficie de cada vivienda.

Se puede resumir o aproximar cada vivienda por la vivienda de 145 m², ya que vamos a aproximar el valor de la superficie de todas a 141,5 y esa es la más cercana a este valor. Por lo que también podemos asumir todas las viviendas como si fuesen la de 145.

Esta vivienda dispone de tres habitaciones, con puertas de 77x207 y una ventana en cada habitación de 115x115. Un salón con una puerta de 150x200 y una ventana de 220x110. Un salón de estar con una ventana de 165x77 y un ventanal de 220x250 que conecta con la terraza, que es de 12x13. Y, por último, una cocina con una puerta de 77x207 con dos ventanas de 55x100.

Capítulo 5. EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONSUMO

5.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA INICIAL

La eficiencia energética del edificio en sus condiciones iniciales se considera mala debido a una serie de factores que contribuyen al consumo excesivo de energía y a un rendimiento energético deficiente:

1. Fachada de ladrillo: El ladrillo, como material de construcción, tiene una baja capacidad de aislamiento térmico (9). Esto significa que la transferencia de calor a través de la fachada es más rápida, lo que resulta en una mayor pérdida de energía durante los meses fríos y una mayor ganancia de calor durante los meses cálidos. Como resultado, el sistema de calefacción y refrigeración del edificio tiene que trabajar más para mantener una temperatura interior confortable, lo que aumenta el consumo energético.
2. Ventanas simples: Las ventanas simples no proporcionan un buen aislamiento térmico ni acústico. Permiten la transferencia de calor hacia el exterior en invierno y la entrada de calor no deseado en verano. Además, las ventanas simples no son eficientes en cuanto a la reducción de la entrada de ruido exterior. Como resultado, el sistema de climatización tiene que compensar estas pérdidas y ganancias de calor, aumentando así el consumo energético.
3. Iluminación con bombillas incandescentes: Las bombillas incandescentes son conocidas por su baja eficiencia energética, ya que convierten gran parte de la energía consumida en calor en lugar de luz. (10) Estas bombillas consumen mucha más energía que las alternativas más eficientes, como las bombillas LED. El uso generalizado de bombillas incandescentes en el edificio resulta en un consumo de energía innecesariamente elevado para la iluminación.

4. Sistema de calefacción de caldera de gasoil y radiadores convencionales: Los sistemas de calefacción de caldera de gasoil y radiadores convencionales son menos eficientes que otras alternativas más modernas y sostenibles. (11) Estos sistemas pueden presentar problemas de rendimiento, pérdida de calor en las tuberías o radiadores, y consumo excesivo de combustible. Además, si la caldera está rota, su eficiencia puede ser aún menor.

5. Equipos de electrodomésticos antiguos: Los electrodomésticos antiguos suelen tener una menor eficiencia energética en comparación con los modelos más modernos. Estos dispositivos consumen más energía para realizar las mismas funciones, lo que contribuye a un consumo energético innecesariamente elevado en el edificio.

6. Puertas ineficientes: Las puertas ineficientes pueden permitir la entrada de corrientes de aire no deseadas, lo que dificulta mantener una temperatura estable en el interior del edificio. Esto implica un mayor consumo de energía para mantener el confort térmico.

En conclusión, la eficiencia energética del edificio en condiciones iniciales se ve afectada por la fachada de ladrillo, ventanas simples, iluminación con bombillas incandescentes, un sistema de calefacción de caldera de gasoil con radiadores convencionales y en mal estado, equipos de electrodomésticos antiguos y puertas ineficientes. Estos factores contribuyen a un mayor consumo de energía y a un rendimiento energético deficiente. Para mejorar la eficiencia energética, es necesario abordar estos aspectos mediante la adopción de medidas de mejora, como el mejoramiento del aislamiento, la instalación de ventanas de doble acristalamiento, la sustitución de bombillas incandescentes por LED, la actualización del sistema de calefacción, la renovación de los electrodomésticos y la mejora de las puertas.

5.2 CONSUMO ELÉCTRICO Y TÉRMICO

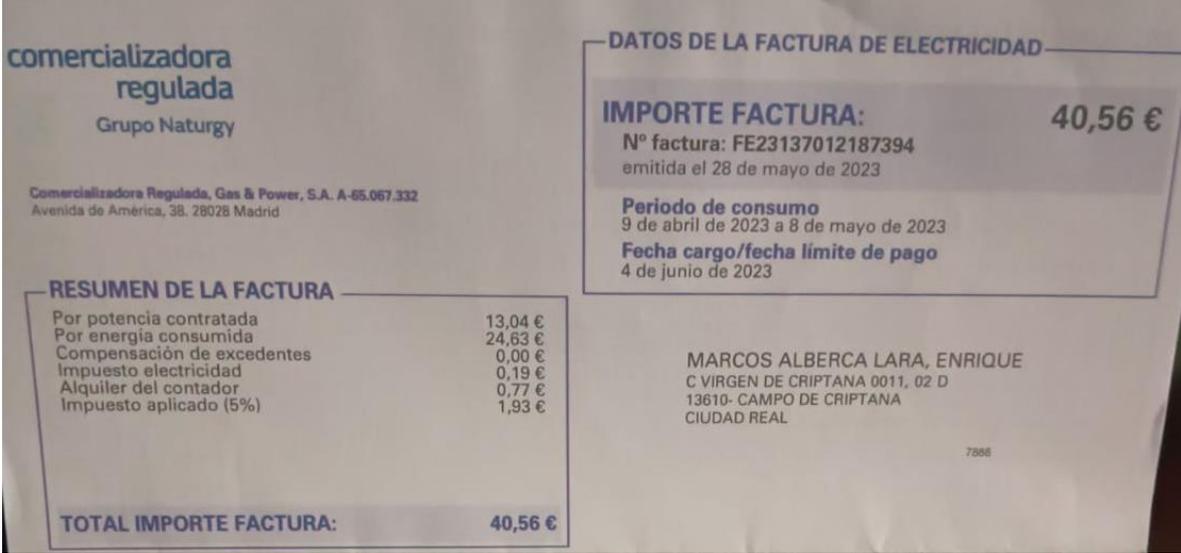


Ilustración 10. Consumo eléctrico y destino de la factura. Fuente: Comunidad de vecinos

En la figura 10 podemos ver el consumo eléctrico anual y mensual de una de las viviendas del edificio (en concreto el portal 4 de la planta 2, siendo este de superficie 145 m²). Al ser esta vivienda la normalizada, podemos aproximar el consumo eléctrico del edificio con un simple cálculo:

$$2175 \frac{kWh}{año} \times 16 \text{ viviendas} = 34800 \cong 35000 \frac{kWh}{año} \text{ edificio}$$

Ecuación 2. Consumo eléctrico anual de todo el edificio



RESUMEN DE LA FACTURA	
Por potencia contratada	13,04 €
Por energía consumida	24,63 €
Compensación de excedentes	0,00 €
Impuesto electricidad	0,19 €
Alquiler del contador	0,77 €
Impuesto aplicado (5%)	1,93 €
TOTAL IMPORTE FACTURA:	40,56 €

DATOS DE LA FACTURA DE ELECTRICIDAD	
IMPORTE FACTURA:	40,56 €
Nº factura: FE23137012187394	
emitida el 28 de mayo de 2023	
Periodo de consumo	9 de abril de 2023 a 8 de mayo de 2023
Fecha cargo/fecha límite de pago	4 de junio de 2023

MARCOS ALBERCA LARA, ENRIQUE
C VIRGEN DE CRIPTANA 0011, 02 D
13610- CAMPO DE CRIPTANA
CIUDAD REAL

Ilustración 11. Resumen e importe de la factura. Fuente: Comunidad de vecinos

En la figura 11 vemos que para el periodo facturado (9 de abril hasta el 8 de mayo de 2023) el importe asociado al consumo eléctrico es 40,56 €, y el consumo en ese tiempo es de 175 kWh (figura 5), por lo que calculamos el coste por cada kWh:

$$\frac{40,56\text{€}}{175 \text{ kWh}} = 0,2318 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

Ecuación 3. Coste unitario kWh

Conociendo estos dos valores, calculamos el coste total del edificio en cuanto a consumo eléctrico en el periodo de un año:

$$35000 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times 0,2318 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 8112 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Ecuación 4. Gasto anual del edificio debido al consumo eléctrico

En cuanto al consumo térmico sabemos que el edificio usa una caldera de gasoil por la que cada vecino paga 150 € mensuales. Para calcular el coste total del edificio en cuanto a consumo térmico en el periodo de un año:

$$150 \frac{\text{€}}{\text{mes}} \times 16 \text{ viviendas} \times 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} = 28800 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Ecuación 5. Gasto anual del edificio debido al consumo térmico

Por lo que el gasto total anual del edificio en términos de consumos eléctricos y térmicos es de:

$$28800 \frac{\text{€}}{\text{año}} + 8112 \frac{\text{€}}{\text{año}} = 36912 \text{ €/año}$$

Ecuación 6. Gasto anual del edificio debido al consumo eléctrico y térmico

Lo que significa que cada vivienda paga al mes:

$$36912 \frac{\text{€}}{\text{año}} \times \frac{1}{16} \text{ viviendas} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 192,25 \frac{\text{€}}{\text{mes}}$$

Ecuación 7. Gasto anual de cada vivienda debido al consumo eléctrico y térmico

Capítulo 6. SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

6.1 SISTEMAS DE CALEFACCIÓN EN EL MERCADO

lista completa de los diferentes sistemas de calefacción existentes (12):

1. Calefacción eléctrica
2. Calefacción de gas natural
3. Calefacción de gas propano
4. Calefacción de gasóleo
5. Calefacción de biomasa
6. Calefacción por suelo radiante
7. Calefacción de bomba de calor
8. Calefacción solar térmica
9. Calefacción geotérmica
10. Calefacción por aerotermia
11. Calefacción de gas de hulla
12. Calefacción de keroseno
13. Calefacción de parafina
14. Calefacción por rayos infrarrojos

15. Calefacción por vapor de agua
16. Calefacción por radiación
17. Calefacción de combustión de aceite
18. Calefacción de combustión de carbón
19. Calefacción de combustión de madera
20. Calefacción de combustión de pellets
21. Calefacción de combustión de residuos
22. Calefacción de fuelóleo
23. Calefacción de gas licuado del petróleo (GLP)
24. Calefacción de gas de síntesis
25. Calefacción de hidrógeno
26. Calefacción de energía nuclear.

Es importante tener en cuenta que algunos de estos sistemas son más comunes y populares que otros, y que los precios y capacidades energéticas varían según cada uno de ellos.

En primera estancia, procederemos a eliminar aquellos sistemas cuyos valores económicos sean desorbitados o demasiado altos, así como aquellos cuya eficiencia energética sea baja. Tras este proceso nos quedamos con la siguiente lista:

1. Calefacción eléctrica
2. Calefacción de gas natural
3. Calefacción de gas propano

4. Calefacción de gasóleo
5. Calefacción de biomasa
6. Calefacción por suelo radiante
7. Calefacción de bomba de calor
8. Calefacción solar térmica
9. Calefacción geotérmica
10. Calefacción por aerotermia

Es importante tener en cuenta que, aunque algunos sistemas de calefacción puedan ser más caros en términos de costos iniciales, su eficiencia energética puede hacerlos más económicos a largo plazo. Procedemos a analizar las ventajas y desventajas de los sistemas de calefacción seleccionados (13):

1. Calefacción eléctrica:
 - Ventajas: Fácil de instalar y mantener, no produce emisiones dañinas para el medio ambiente, se puede controlar con precisión. (14)
 - Desventajas: Costo de energía eléctrica es alto, no es muy eficiente para calentar grandes espacios. (14)
2. Calefacción de gas natural:
 - Ventajas: Bajo costo de combustible, eficiente y efectiva para calentar grandes espacios. (15)
 - Desventajas: Se necesita una conexión de gas natural, no es amigable con el medio ambiente, puede ser peligroso si no se instala adecuadamente. (15)
3. Calefacción de gas propano:

- Ventajas: Fácil de instalar y transportar, es más eficiente que la calefacción eléctrica, no requiere una conexión de gas natural.
 - Desventajas: Costo de combustible es más alto que el gas natural, emite gases de efecto invernadero.
4. Calefacción de gasóleo:
- Ventajas: Eficiente para calentar grandes espacios, relativamente fácil de encontrar combustible.
 - Desventajas: Costo de combustible es alto, emite gases de efecto invernadero, es necesario disponer de espacio para almacenar el combustible.
5. Calefacción de biomasa:
- Ventajas: Utiliza combustibles renovables, emite bajas emisiones de CO₂, es relativamente eficiente. (15)
 - Desventajas: Costo de combustible puede variar, requiere espacio de almacenamiento para combustibles, necesita de una caldera especial. (15)
6. Calefacción por suelo radiante:
- Ventajas: Distribuye el calor de manera uniforme, no ocupa espacio en las paredes, es eficiente energéticamente. (16)
 - Desventajas: Costo de instalación es alto, necesita una fuente de energía adicional para calentar el agua, no es adecuado para remodelaciones. (16)
7. Calefacción de bomba de calor:
- Ventajas: Utiliza energía renovable, eficiente en el consumo de energía, no produce emisiones de CO₂. (16)
 - Desventajas: Costo de instalación es alto, puede ser ruidosa, no es adecuada para climas extremadamente fríos. (16)
8. Calefacción solar térmica:

- Ventajas: Utiliza energía renovable, no produce emisiones de CO₂, bajo costo de operación. (15)
 - Desventajas: Costo de instalación es alto, no es adecuado para climas fríos, la eficiencia puede variar dependiendo de la ubicación y la cantidad de luz solar recibida. (15)
9. Calefacción geotérmica:
- Ventajas: Alta eficiencia energética, energía renovable y sostenible, bajo mantenimiento, sistema duradero. (17)
 - Desventajas: Costo de instalación inicial más alto, necesidad de perforación en el suelo, espacio requerido para la instalación. (17)
10. Calefacción por aerotermia:
- Ventajas: Utiliza energía renovable del aire, alta eficiencia energética, puede proporcionar refrigeración en verano. (17)
 - Desventajas: Costo de instalación inicial más alto, dependencia de la temperatura exterior, necesidad de espacio exterior para la unidad. (17)

En cuanto a los costos de instalación y mantenimiento, varían según el sistema de calefacción y las condiciones específicas de cada caso. Por ejemplo, la calefacción eléctrica es fácil de instalar y mantener, pero el costo de la energía eléctrica puede ser alto. Por otro lado, la calefacción de biomasa puede ser más barata en términos de combustible, pero requiere una caldera especial y espacio de almacenamiento.

6.2 COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS

Criterio para comparar los diferentes sistemas (18):

- Costo inicial de instalación

- Costo de mantenimiento
- Eficiencia energética
- Tipo de combustible requerido y su disponibilidad
- Impacto ambiental y emisiones de CO₂ (grado de sostenibilidad)
- Capacidad de calefacción y tamaño del espacio a calentar
- Comodidad y facilidad de uso
- Durabilidad y vida útil
- Ruido producido
- Seguridad
- Posibilidad de integración con otros sistemas de calefacción y energía renovable
- Disponibilidad de profesionales capacitados para instalación y mantenimiento del sistema
- Garantías y soporte tras la venta (depende del fabricante o proveedor)

1. Calefacción eléctrica: La calefacción eléctrica tiene un costo inicial de instalación bajo, ya que no requiere de una infraestructura compleja. El costo de mantenimiento es también relativamente bajo, aunque depende del uso y la eficiencia del equipo. La eficiencia energética es moderada y depende del tipo de calefacción eléctrica. No requiere combustible aparte de la electricidad, que está ampliamente disponible. Su impacto ambiental es moderado, dependiendo de cómo se produzca la electricidad. En cuanto a la capacidad de calefacción, depende del modelo y tamaño del dispositivo, pero puede ser adecuada para espacios pequeños a medianos. Es cómodo y fácil de usar, y su durabilidad y vida útil son altas con el mantenimiento adecuado. Produce poco ruido y es seguro de usar. Se puede integrar con otros sistemas de calefacción y energía renovable. La disponibilidad de profesionales capacitados es alta, y las garantías y el soporte tras la venta dependen del fabricante. (19)

2. Calefacción de gas natural: Este tipo de calefacción tiene un costo inicial de instalación moderado, y el costo de mantenimiento es moderado a alto. La eficiencia energética es alta

y el combustible requerido es el gas natural, que está bastante disponible. Su impacto ambiental es moderado, ya que, aunque el gas natural emite CO₂ al quemarse, es menos que otros combustibles fósiles. La capacidad de calefacción es alta y puede ser utilizada en grandes espacios. Es cómoda y relativamente fácil de usar, y su durabilidad y vida útil son altas con el mantenimiento adecuado. Hace poco ruido y es seguro de usar. Se puede integrar con otros sistemas de calefacción y energía renovable. La disponibilidad de profesionales capacitados es alta, y las garantías y el soporte tras la venta dependen del fabricante. (19)

3. Calefacción de gas propano: La calefacción de gas propano tiene un costo inicial de instalación moderado y un costo de mantenimiento moderado. Su eficiencia energética es alta. El combustible requerido es el gas propano, que está bastante disponible. Su impacto ambiental es moderado a alto, ya que el gas propano emite CO₂ al quemarse. La capacidad de calefacción es alta y puede ser utilizada en grandes espacios. Es cómoda y relativamente fácil de usar, y su durabilidad y vida útil son altas con el mantenimiento adecuado. Produce poco ruido y es seguro de usar. Se puede integrar con otros sistemas de calefacción y energía renovable. La disponibilidad de profesionales capacitados es alta, y las garantías y el soporte tras la venta dependen del fabricante. (20)

4. Calefacción de gasóleo: Esta calefacción tiene un costo inicial de instalación moderado a alto, y el costo de mantenimiento es alto. La eficiencia energética es moderada. El combustible requerido es el gasóleo, que está bastante disponible. Su impacto ambiental es alto, ya que el gasóleo emite una gran cantidad de CO₂ al quemarse. La capacidad de calefacción es alta y puede ser utilizada en grandes espacios. Es menos cómoda y fácil de usar que otros sistemas, y su durabilidad y vida útil son moderadas con el mantenimiento adecuado. Produce un ruido moderado y su seguridad depende de la correcta instalación y mantenimiento. No se integra fácilmente con otros sistemas de calefacción y energía renovable. La disponibilidad de profesionales capacitados es alta, y las garantías y el soporte tras la venta dependen del fabricante. (21)

5. Calefacción de biomasa: La calefacción de biomasa tiene un costo inicial de instalación alto, y el costo de mantenimiento es moderado a alto. La eficiencia energética es moderada.

El combustible requerido es la biomasa, que es renovable pero su disponibilidad puede variar. Su impacto ambiental es moderado, ya que la biomasa es renovable pero su quema emite CO₂. La capacidad de calefacción es alta y puede ser utilizada en grandes espacios. Es menos cómoda y fácil de usar que otros sistemas, y su durabilidad y vida útil son moderadas con el mantenimiento adecuado. Produce un ruido moderado y su seguridad depende de la correcta instalación y mantenimiento. Se puede integrar con otros sistemas de calefacción y energía renovable. La disponibilidad de profesionales capacitados es moderada, y las garantías y el soporte tras la venta dependen del fabricante. (13)

6. Calefacción por suelo radiante: Esta calefacción tiene un costo inicial de instalación alto, ya que requiere una remodelación importante del suelo. El costo de mantenimiento es bajo. Su eficiencia energética es muy alta. No requiere combustible directamente, ya que puede funcionar con electricidad o con un sistema de agua caliente. Su impacto ambiental es bajo a moderado, dependiendo de la fuente de energía. La capacidad de calefacción es alta y es ideal para grandes espacios. Es muy cómoda y fácil de usar, y su durabilidad y vida útil son altas con el mantenimiento adecuado. Produce poco ruido y es muy seguro de usar. Se integra fácilmente con otros sistemas de calefacción y energía renovable. La disponibilidad de profesionales capacitados es moderada, y las garantías y el soporte tras la venta dependen del fabricante. (16)

7. Calefacción de bomba de calor: La bomba de calor tiene un costo inicial de instalación moderado a alto, y el costo de mantenimiento es moderado. Su eficiencia energética es muy alta, ya que puede extraer calor del aire exterior o del suelo. No requiere combustible aparte de la electricidad, que está ampliamente disponible. Su impacto ambiental es bajo, especialmente si la electricidad proviene de fuentes renovables. La capacidad de calefacción es alta y puede ser utilizada en grandes espacios. Es cómoda y fácil de usar, y su durabilidad y vida útil son altas con el mantenimiento adecuado. Produce poco ruido y es muy seguro de usar. Se puede integrar con otros sistemas de calefacción y energía renovable. La disponibilidad de profesionales capacitados es alta, y las garantías y el soporte tras la venta dependen del fabricante. (16)

8. Calefacción solar térmica: La calefacción solar térmica tiene un costo inicial de instalación alto, pero el costo de mantenimiento es bajo. Su eficiencia energética es muy alta, ya que utiliza la energía del sol, que es gratuita. No requiere combustible. Su impacto ambiental es muy bajo, ya que no produce emisiones de CO₂. La capacidad de calefacción es moderada a alta, dependiendo del clima y la ubicación. Es cómoda y fácil de usar, y su durabilidad y vida útil son altas con el mantenimiento adecuado. Produce poco ruido y es muy seguro de usar. Se puede integrar con otros sistemas de calefacción y energía renovable. La disponibilidad de profesionales capacitados es moderada a alta, y las garantías y el soporte tras la venta dependen del fabricante. (22)

9. Calefacción geotérmica: La calefacción geotérmica tiene un costo inicial de instalación muy alto, ya que requiere de perforaciones profundas en la tierra. El costo de mantenimiento es bajo. Su eficiencia energética es muy alta, ya que utiliza la energía constante del subsuelo. No requiere combustible aparte de la electricidad, que está ampliamente disponible. Su impacto ambiental es muy bajo, especialmente si la electricidad proviene de fuentes renovables. La capacidad de calefacción es muy alta y puede ser utilizada en grandes espacios. Es cómoda y fácil de usar, y su durabilidad y vida útil son muy altas con el mantenimiento adecuado. Produce poco ruido y es muy seguro de usar. Se puede integrar con otros sistemas de calefacción y energía renovable. La disponibilidad de profesionales capacitados es moderada, y las garantías y el soporte tras la venta dependen del fabricante. (23)

10. Calefacción por aerotermia: La calefacción por aerotermia tiene un costo inicial de instalación moderado a alto, y el costo de mantenimiento es moderado. Su eficiencia energética es muy alta, ya que extrae energía del aire exterior. No requiere combustible aparte de la electricidad, que está ampliamente disponible. Su impacto ambiental es bajo, especialmente si la electricidad proviene de fuentes renovables. La capacidad de calefacción es alta y puede ser utilizada en grandes espacios. Es cómoda y fácil de usar, y su durabilidad y vida útil son altas con el mantenimiento adecuado. Produce poco ruido y es muy seguro de usar. Se puede integrar con otros sistemas de calefacción y energía renovable. La

disponibilidad de profesionales capacitados es alta, y las garantías y el soporte tras la venta dependen del fabricante. (24)

6.3 ANÁLISIS Y ELECCIÓN DEL SISTEMA ÓPTIMO

Al evaluar los diferentes sistemas de calefacción utilizando la lista de evaluación, se observa que cada sistema tiene sus ventajas y desventajas. La elección del sistema óptimo dependerá de las necesidades y preferencias individuales, así como de los recursos disponibles.

Si se considera el costo inicial de instalación y el costo de mantenimiento, la calefacción eléctrica y la calefacción de gas natural son opciones atractivas, ya que tienen costos moderados y bajos respectivamente.

En términos de eficiencia energética y sostenibilidad, la calefacción solar térmica, la calefacción geotérmica y la calefacción de biomasa se destacan como opciones muy favorables, ya que utilizan fuentes de energía renovable y tienen un impacto ambiental reducido.

Para aquellos que buscan una mayor capacidad de calefacción y adaptabilidad a diferentes tamaños de espacios, la calefacción de gas natural, la calefacción de gas propano y la calefacción de bomba de calor son opciones que considerar.

En términos de comodidad y facilidad de uso, la calefacción por suelo radiante y la calefacción de bomba de calor ofrecen niveles altos.

Considerando la durabilidad y vida útil, la calefacción de gas natural, la calefacción de gas propano y la calefacción geotérmica suelen ser opciones confiables.

En cuanto a la seguridad, todos los sistemas evaluados tienen niveles altos de seguridad.

La posibilidad de integración con otros sistemas de calefacción y energía renovable está presente en la mayoría de las opciones evaluadas, lo que brinda flexibilidad a los usuarios.

La disponibilidad de profesionales capacitados para la instalación y mantenimiento es importante, y en general, la mayoría de los sistemas cuentan con profesionales capacitados.

La calefacción solar térmica sería una excelente opción para aprovechar la radiación solar y proporcionar calor a las viviendas. Se instalarían paneles solares térmicos en la azotea o en un área soleada del edificio para capturar la energía solar y calentar agua que se utilizará para la calefacción. Este sistema es sostenible, ya que utiliza una fuente de energía renovable y no emite CO₂ durante su funcionamiento. Aunque el coste inicial de instalación puede ser moderado a alto, a largo plazo, el ahorro en costes energéticos compensará este gasto inicial. Además, al tratarse de un edificio con múltiples viviendas, se puede aprovechar mejor la instalación solar térmica y compartir los costes entre los propietarios de las viviendas.

Una opción altamente recomendada para maximizar los beneficios de la energía solar térmica es combinarla con otro sistema de calefacción. En particular, las combinaciones más adecuadas serían con una bomba de calor, una calefacción geotérmica o una calefacción aerotérmica. A continuación, se detallan las características y ventajas de cada una de estas combinaciones:

1. Combinación con bomba de calor:

Esta combinación aprovecha la energía solar térmica para calentar el agua y, posteriormente, utiliza una bomba de calor para aumentar aún más su temperatura y distribuirla de manera eficiente en el sistema de calefacción. La bomba de calor extrae el calor del ambiente circundante y, al combinarlo con la energía térmica proporcionada por los paneles solares, se logra un sistema altamente eficiente y de bajo consumo energético. Esta combinación permite obtener un alto rendimiento durante todo el año,

ya que la energía solar y la bomba de calor se complementan entre sí, adaptándose a las variaciones estacionales. (25)

2. Combinación con calefacción geotérmica:

La combinación de energía solar térmica con una calefacción geotérmica ofrece una solución de calefacción sostenible y eficiente. Los paneles solares térmicos capturan la energía del sol y la utilizan para calentar el agua, que luego se almacena en un depósito. La calefacción geotérmica, por su parte, utiliza el calor almacenado en el subsuelo para mantener una temperatura constante en el edificio. Al combinar ambos sistemas, se logra un equilibrio energético, donde la energía solar aporta calor adicional al sistema geotérmico cuando es necesario, optimizando el rendimiento y reduciendo el consumo de energía convencional. (25)

3. Combinación con calefacción aerotérmica:

La combinación de energía solar térmica con calefacción aerotérmica se presenta como una opción especialmente atractiva. Los paneles solares térmicos capturan la energía del sol para calentar el agua, y la calefacción aerotérmica utiliza una bomba de calor para extraer el calor del aire exterior y distribuirlo en el sistema de calefacción. Al combinar ambas tecnologías, se logra un sistema altamente eficiente y versátil. Durante los períodos de mayor radiación solar, la energía solar térmica puede satisfacer la mayor parte de la demanda de calefacción, reduciendo la carga de la bomba de calor aerotérmica y aumentando su eficiencia. Además, la calefacción aerotérmica puede funcionar como respaldo en períodos de menor radiación solar, asegurando un suministro constante de calor. Esta combinación ofrece una solución completa y equilibrada, aprovechando la energía solar y el calor ambiental para maximizar la eficiencia energética y reducir los costos operativos. (26)

La elección de la calefacción solar térmica y la aerotermia para un edificio de viviendas pequeñas en Castilla-La Mancha se justifica por varios motivos:

- . Condiciones climáticas: Castilla-La Mancha es una región con un clima continental, caracterizado por veranos calurosos e inviernos fríos. La radiación solar es bastante alta durante todo el año, lo que hace que la calefacción solar térmica sea una excelente opción para proporcionar agua caliente y apoyo a la calefacción en los meses más cálidos. La aerotermia, por otro lado, es un sistema que extrae energía del aire exterior, y a pesar de que su rendimiento puede disminuir en condiciones de frío extremo, sigue siendo una opción efectiva en esta región, especialmente si se combina con la calefacción solar térmica.
2. Eficiencia energética y sostenibilidad: Ambos sistemas son altamente eficientes y sostenibles. La calefacción solar térmica utiliza la energía del sol, una fuente renovable e inagotable. La aerotermia, aunque requiere electricidad para funcionar, extrae la mayor parte de su energía del ambiente exterior, lo que reduce el consumo de electricidad. Si esta electricidad proviene de fuentes renovables, el impacto ambiental es muy bajo. (27)
3. Costos de funcionamiento y mantenimiento: Aunque la instalación de ambos sistemas puede tener un costo inicial alto, los costos de funcionamiento y mantenimiento son bajos. La energía solar es gratuita, y la aerotermia tiene bajos costos de operación debido a su alta eficiencia. El mantenimiento de ambos sistemas es relativamente sencillo y no requiere intervenciones frecuentes, lo que reduce los costos a largo plazo.
4. Compatibilidad con sistemas solares térmicos: La calefacción aerotérmica puede integrarse fácilmente con sistemas solares térmicos existentes. La energía solar térmica proporciona un aporte significativo de calor, especialmente durante períodos de alta radiación solar, reduciendo la carga de trabajo de la bomba de calor aerotérmica. Esto no solo optimiza la eficiencia energética del sistema, sino que también prolonga la vida útil de la bomba de calor, ya que su uso se reduce en condiciones de alta radiación solar. (26)
5. Espacio y comodidad: Los sistemas de aerotermia y calefacción solar térmica son compactos y pueden integrarse fácilmente en el edificio sin requerir grandes espacios para su instalación. Además, proporcionan un calor uniforme y confortable, lo que mejora la calidad de vida de los habitantes.

6. Independencia energética: Utilizar la calefacción solar térmica y la aerotermia aumenta la independencia energética del edificio, ya que reduce la dependencia de los combustibles fósiles y de la red eléctrica.

7. Incentivos y subvenciones: En muchas regiones, existen incentivos y subvenciones para la instalación de sistemas de energía renovable, lo que puede ayudar a amortizar la inversión inicial. (28)

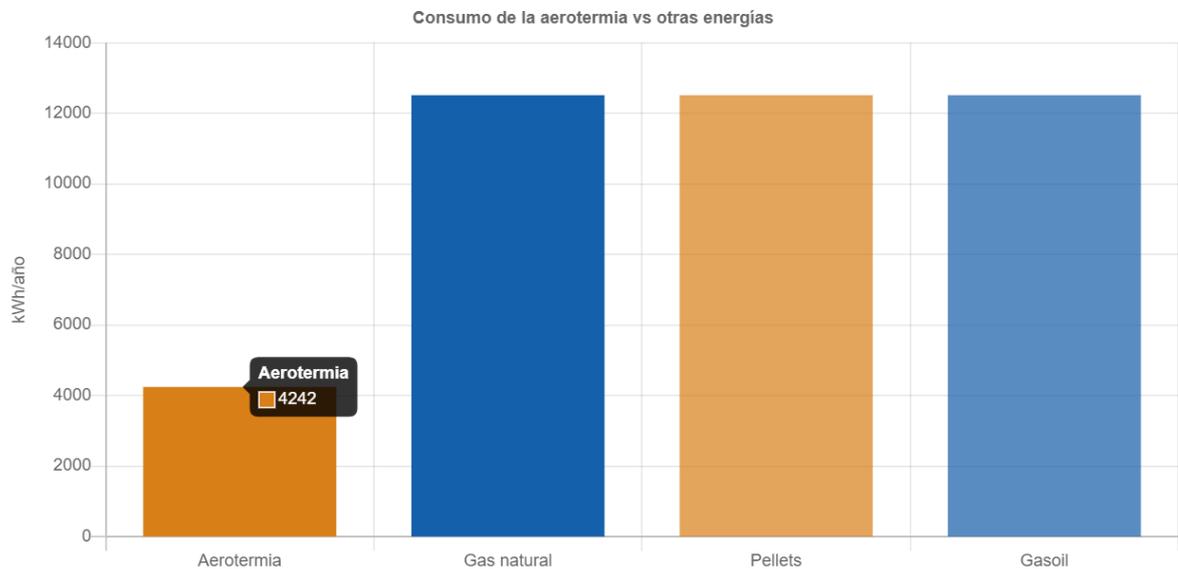


Ilustración 12. Consumo de la aerotermia vs otras energías. Fuente: Preciogas

En resumen, la combinación de energía solar térmica con calefacción aerotérmica destaca como la mejor opción debido a su eficiencia energética, adaptabilidad, menor coste inicial, facilidad de integración con sistemas solares térmicos y su menor impacto ambiental. Proporciona un sistema de calefacción sostenible y eficiente, garantizando un suministro constante de calor, reduciendo los costes operativos y contribuyendo a la protección del medio ambiente. Esta combinación ofrece una solución eficiente, sostenible y económica para la calefacción de un edificio de viviendas pequeñas en Castilla-La Mancha.

Capítulo 7. PANELES SOLARES

7.1 PVSYST

A la hora de instalar paneles solares necesitamos realizar un estudio previo para determinar las distintas piezas del sistema, su orientación, su ubicación, su precio y su rendimiento. Para ello usaremos el programa Pvsyst, programa que permite “jugar” con los distintos factores que influyen en la instalación de unos paneles solares para otorgarnos valores y parámetros necesarios para la posterior evaluación del sistema.

Para empezar, hay que establecer una ubicación exacta para la obtención de los datos meteorológicos de la zona:

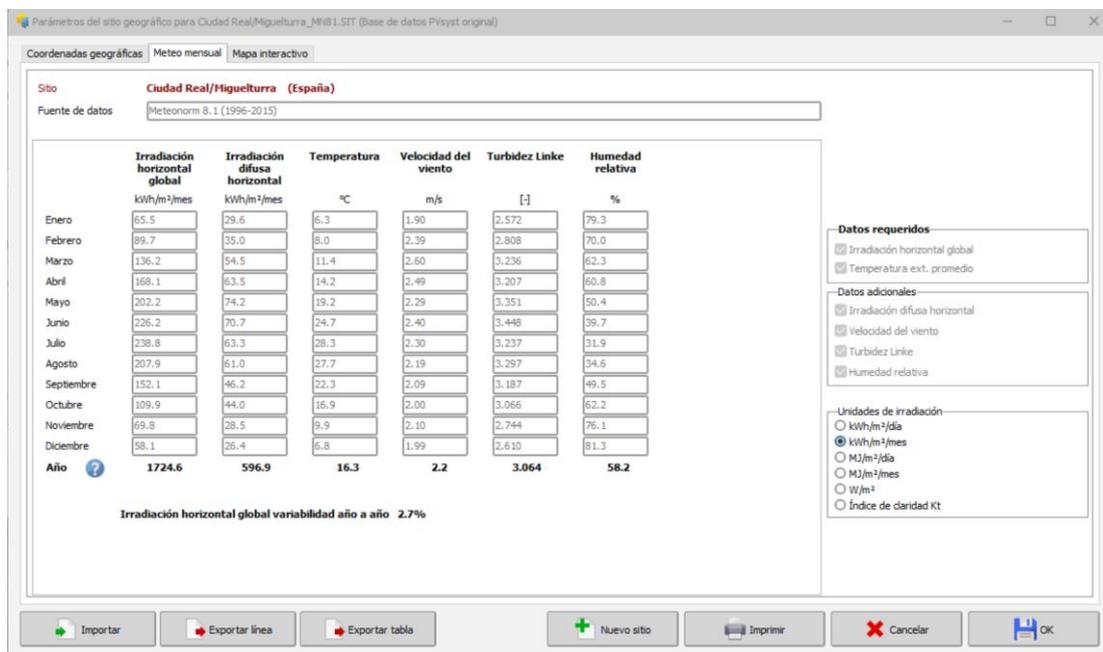


Ilustración 13. Condiciones climáticas en Ciudad Real. Fuente: Pvsyst

Pvsyst proporciona todos los datos necesarios sobre el clima y el entorno en su base de datos, que podemos descargar una vez elegido que carpeta debemos tomar.

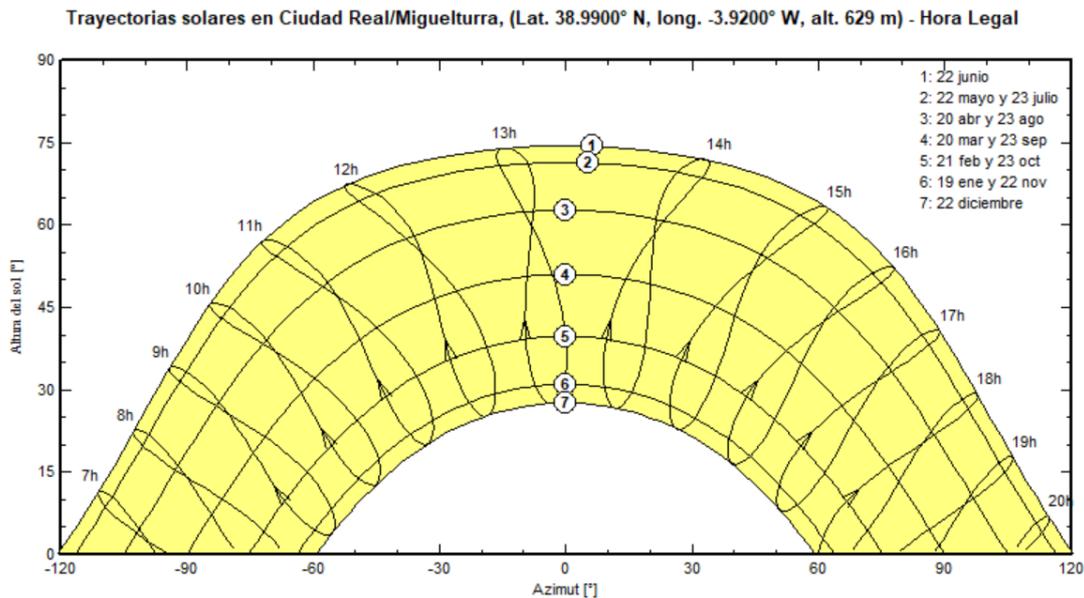


Ilustración 14. Trayectorias solares en Ciudad Real. Fuente: PVsyst

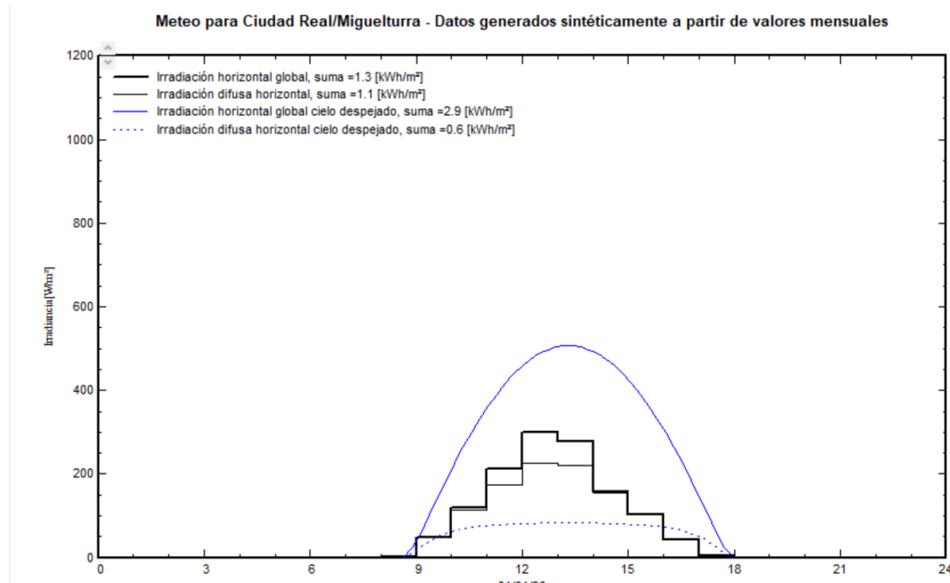


Ilustración 15. Meteo para Ciudad Real. Fuente: PVsyst

Una vez elegido el archivo meteorológico, se introducen los parámetros principales de orientación. Para ello primero hay que calcularlos en el edificio y ver donde se pueden instalar los paneles:



Ilustración 16. Zonas de posible instalación de paneles solares. Fuente: Elaboración propia

En la figura 16 observamos que hay dos claras zonas donde es posible instalar paneles solares. En la zona 1 la orientación es de 0° (azimut) aproximadamente, mientras que en la zona dos es de unos 63° (calculado con trigonometría) (29). La inclinación del tejado es la misma para ambos y es de 34° con el plano horizontal (29) (con el suelo).

7.2 ZONA I

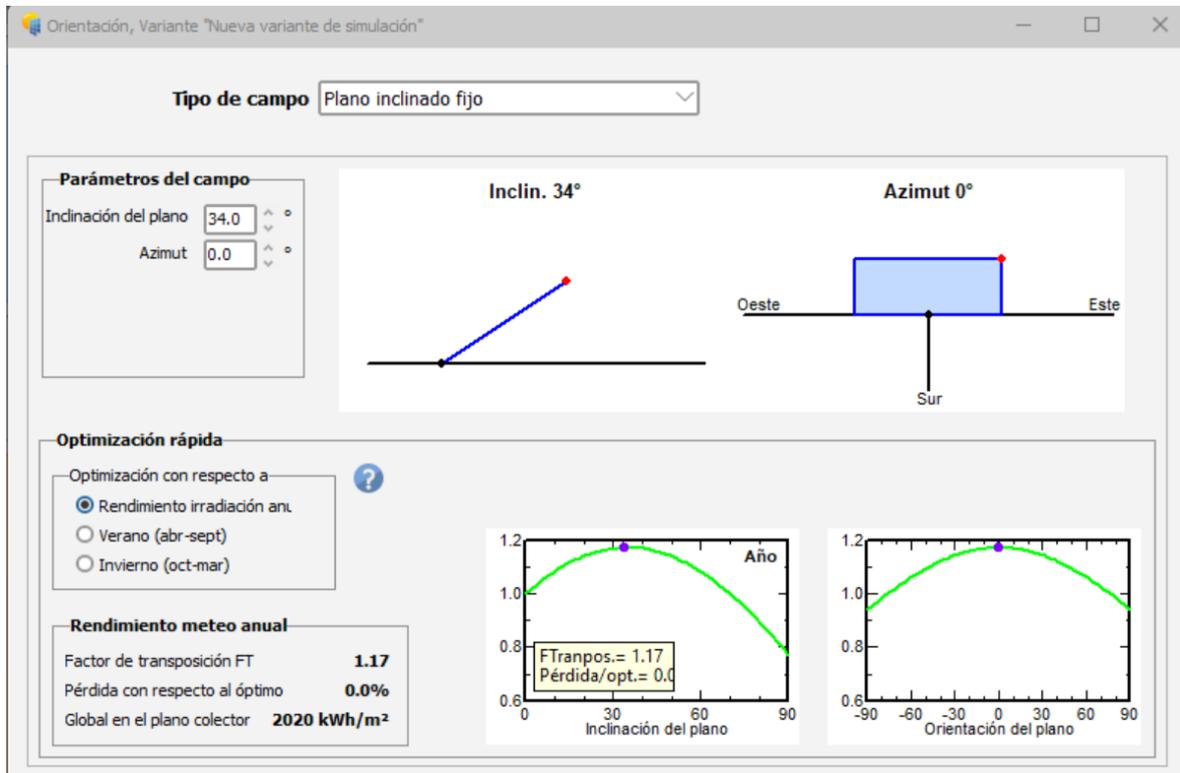


Ilustración 17. Orientación e inclinación del plano fijo zona I. Fuente: PVsyst

Una vez establecidos estos parámetros nos disponemos a definir el sistema de la red, como área disponible, el módulo FV, el inversor y el número de módulos en serie y en paralelo, así como el número de entradas MPPT.

Para empezar, calculamos la superficie que tenemos disponible:



Ilustración 18. Superficie disponible de la zona I. Fuente: Elaboración propia

Es importante tener en cuenta que a pesar de contar con 138 m², estos dependen de la geometría de la superficie y no se puede tratar cada geometría igual. En esta geometría en específico (figura 18) hay que saber que su anchura es de 5,2 metros, por lo que nos restringe poner más de dos módulos en paralelo (ya que cada uno es de aproximadamente 2 metros de ancho y 1 metro de largo).

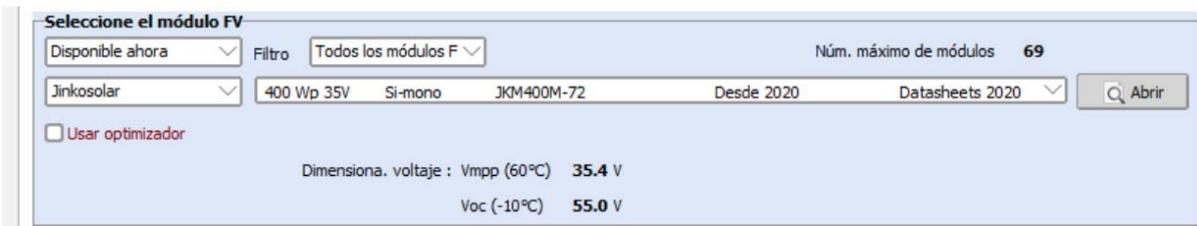


Ilustración 19. Módulo fotovoltaico zona I. Fuente: PVsyst

En cuanto a la elección del módulo fotovoltaico nos decantamos por un módulo de Jinkosolar, una de las mayores proveedoras de módulos fotovoltaicos, en especial se ha elegido uno de alta potencia para poder cubrir las necesidades energéticas del edificio y que tenga una durabilidad y calidad para asegurar una vida útil larga y un rendimiento consistente

a lo largo del tiempo. Como podemos ver en la figura 45, el módulo es de 400 Wp y 35 V (JKM-400M-72).



Ilustración 20. Inversor zona I. Fuente: PVsyst

Teniendo en cuenta la potencia nominal de los módulos y buscando un sobredimensionamiento para ahorrar gastos en el inversor, podemos optar por un inversor de 8 a 10 kW, optamos finalmente por uno de 8 kW de Huawei Technologies, uno de los mejores en inversores (SUN2000-8KTL-M2-380V). Tan solo podemos poner dos entradas MPPT ya que una de nuestras restricciones era que solo podía haber dos módulos en paralelo por nuestra geometría del espacio disponible.



Ilustración 21. Número de módulos y cadenas zona I. Fuente: PVsyst

Para terminar de poner los parámetros principales del sistema, hay que definir el número de módulos en cadena y en serie, como hemos comentado anteriormente, en cadena solo podemos poner 2 módulos (además el programa no deja otra opción aparte de 2), en serie decidimos poner 13 módulos, ya que no hay prácticamente pérdida por sobrecarga y la proporción nominal es buena (1,30). Para asegurarnos que podemos simular nos fijamos en el área y en el número de módulos, el área es menor que la disponible y el número de módulos es correcto para que la potencia nominal del módulo fotovoltaico no supere la potencia nominal del inversor. Una vez completada la fase de los parámetros principales del sistema, procedemos a simular la instalación:

Parámetros de simulación			Generador FV			Resultados principales			
Proyecto	Nuevo Proyecto					Producción del sistema	17545 kWh/año	Prod. normalizada	4.62 kWh/kWp/día
Sito	Ciudad Real/Miguelturra		Módulos FV	JKM400M-72		Prod. específica	1687 kWh/kWp/año	Pérdidas del conjunto	0.68 kWh/kWp/día
Tipo sistema	Conectado a la red		Potencia nominal	10.4 kWp		Proporción de rendimiento	0.855	Pérdidas del sistema	0.11 kWh/kWp/día
Simulación	01/01/80 al 12/31/59		Invorsor	SUN2000-8KTL-M2-380V					
			Voltaje MPP	41.0 V					
			Corriente MPP	9.8 A					
			Inv. unidad de potencia	8.0 kW					
			Núm. de entradas MPPT	2					

Ilustración 22. Parámetros de simulación y resultados principales zona I. Fuente: PVsyst

Los resultados son positivos y la instalación es posible. Nos fijamos en la producción total del sistema: 17545 kWh/año, que supone un 50 % del consumo eléctrico del edificio en un año. Este sistema de paneles solares ofrece un gran rendimiento y otorga mucha parte de la energía que consume el edificio.

El programa también nos da un amplio número de tablas y gráficas que nos ayudan a la hora de estudiar y analizar el sistema:

Balances y resultados principales

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	proporción
Enero	65.5	29.56	6.34	105.3	103.7	1029	1004	0.917
Febrero	89.7	35.03	8.04	131.8	130.0	1269	1241	0.905
Marzo	136.2	54.51	11.40	170.8	167.4	1601	1567	0.882
Abril	168.1	63.49	14.22	180.0	175.9	1658	1622	0.867
Mayo	202.2	74.19	19.21	195.4	190.5	1757	1717	0.845
Junio	226.2	70.74	24.75	208.0	202.7	1829	1788	0.826
Julio	238.8	63.30	28.33	224.6	219.0	1933	1889	0.809
Agosto	207.9	60.98	27.69	216.4	211.6	1869	1827	0.812
Septiembre	152.1	46.19	22.29	180.6	176.8	1591	1555	0.828
Octubre	109.9	44.00	16.86	151.7	149.2	1399	1367	0.867
Noviembre	69.8	28.53	9.95	110.6	109.0	1060	1033	0.898
Diciembre	58.1	26.35	6.83	97.7	96.4	957	934	0.919
Año	1724.6	596.87	16.38	1972.9	1932.2	17951	17545	0.855

Tabla 2. Balances y resultados principales zona I. Fuente: PVsyst

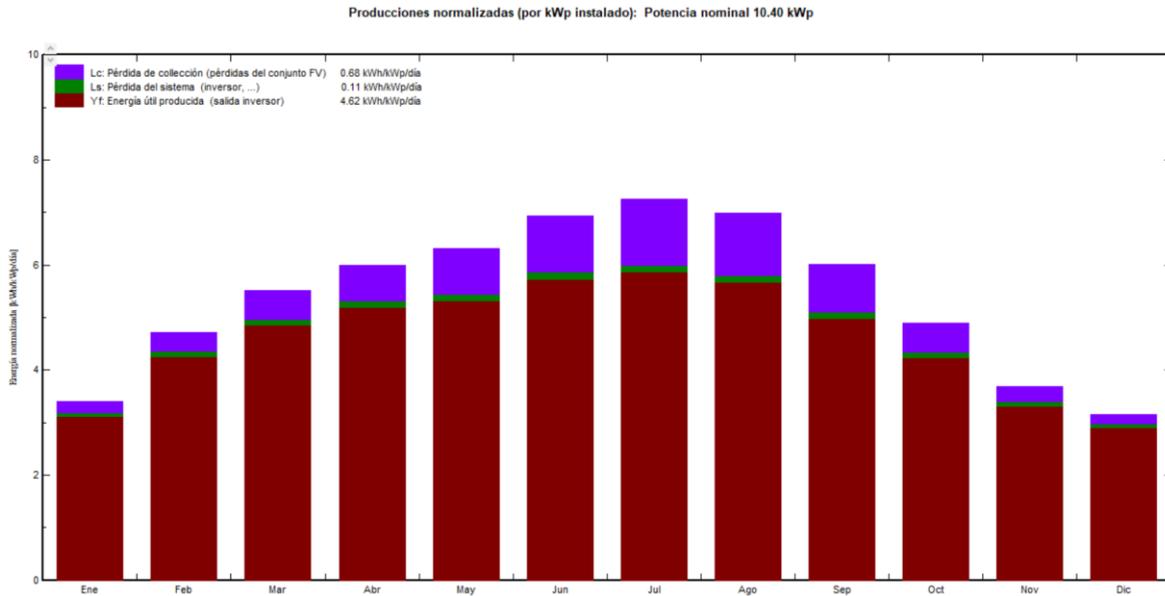


Ilustración 23. Producciones normalizadas zona I. Fuente: PVsyst

En el gráfico de producciones normalizadas podemos observar una simetría tanto en las producciones del sistema como en sus pérdidas. La simetría tiene una geometría muy parecida a la de una campana, experimentando su pico en julio (tanto de producción como de pérdidas), lo cual tiene sentido ya que en julio en castilla la mancha experimenta más horas de luz que cualquier otro mes del año, y cuanto más producción más pérdidas tiene el sistema.

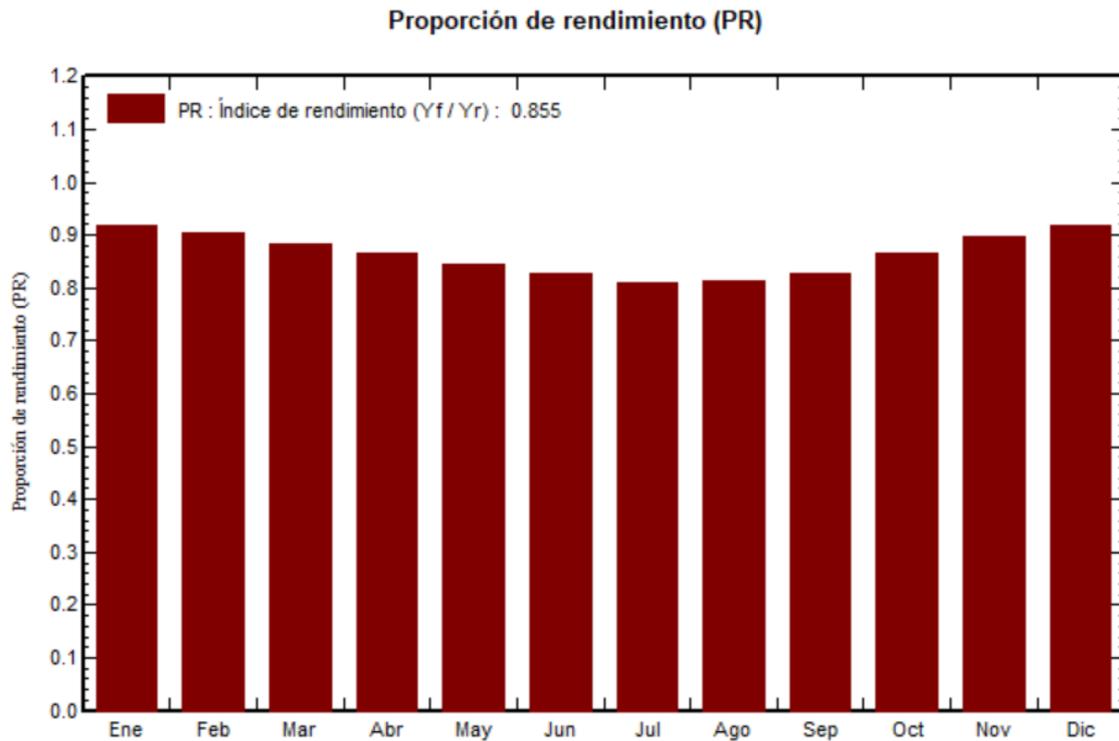


Ilustración 24. Proporción de rendimiento zona I. Fuente: PVsyst

Otro gráfico interesante es el de la proporción de rendimiento, la cual también se observa una simetría, pero esta vez con geometría de cuenco o bol, experimentando el bajo en julio también. Esto tiene sentido ya que como hemos explicado anteriormente, los meses con mayor luz natural son los meses que más producen, pero también los que más pérdidas experimentan; las pérdidas hacen que baje la PR del sistema, lo que significa que los meses con menos pérdidas (que son a su vez los que menos producen) son los que mejor rendimiento tienen. Esto es bueno para el edificio ya que los meses que no hay tantos kW conectados a la red se van a aprovechar mejor.

7.3 ZONA II

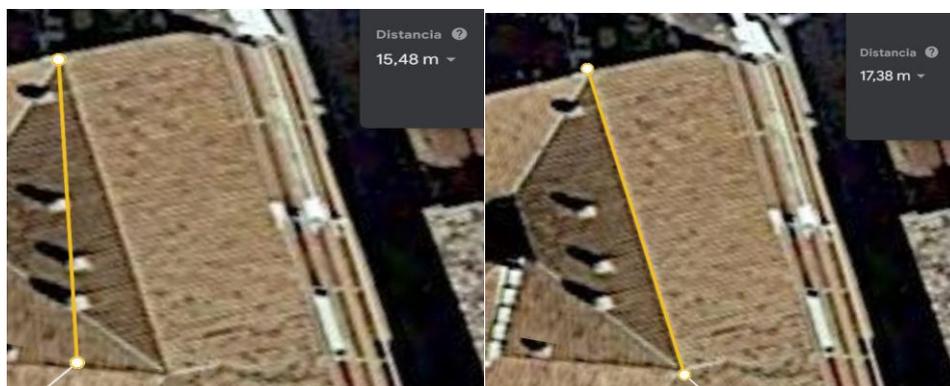
En la Zona II el área total es de 104 m², pero nos vuelve a pasar lo mismo que en la primera zona, la geometría nos restringe poner más de dos módulos en cadena, ya que se saldrían del espacio disponible y se caerían.



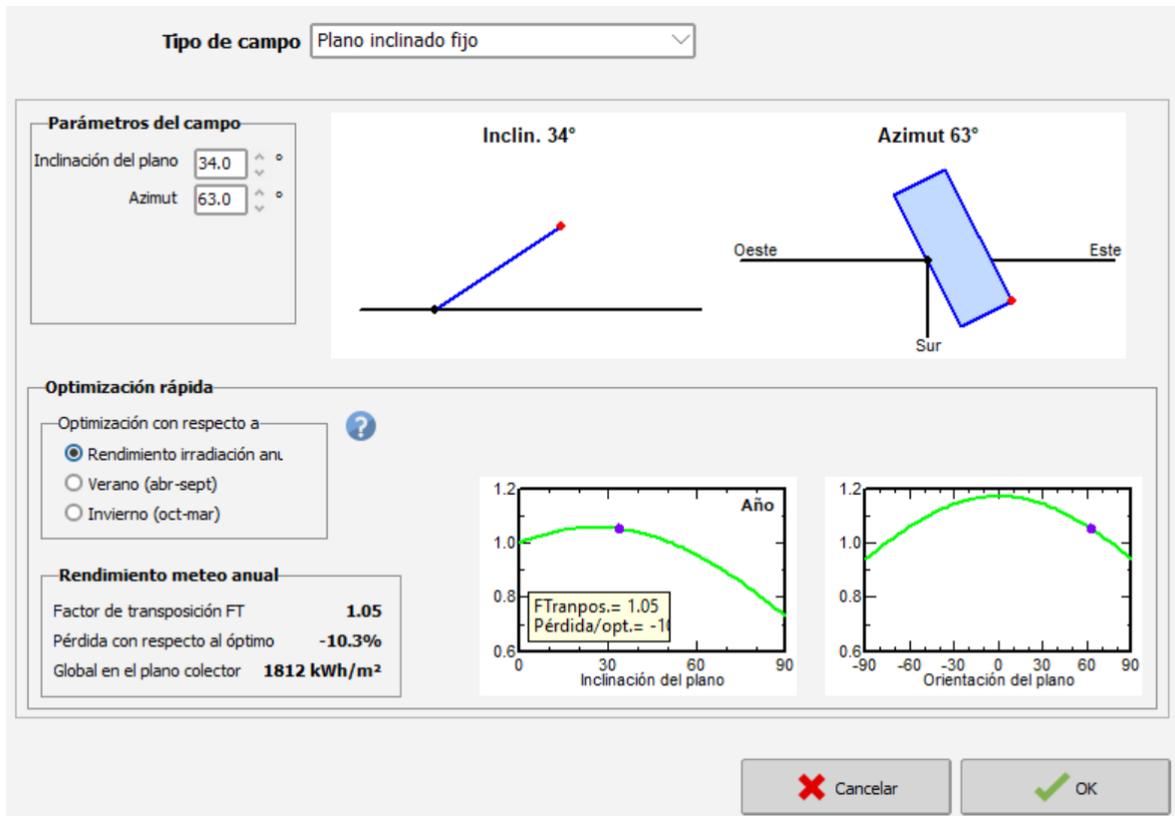
Ilustración 25. Superficie disponible de la zona II. Fuente: PVsyst

Para calcular el Azimut hay que hacer cálculos de trigonometría muy simples:

Ilustración 26. Distancia para el cálculo Azimut zona II. Fuente: Google Earth



$$\text{sen } \alpha = \frac{15,48}{17,38} \rightarrow \alpha = 62,96^\circ = 63^\circ$$



Tipo de campo Plano inclinado fijo

Parámetros del campo

Inclinación del plano 34.0 °
Azimut 63.0 °

Optimización rápida

Optimización con respecto a:
 Rendimiento irradiación añ.
 Verano (abr-sept)
 Invierno (oct-mar)

Rendimiento meteo anual

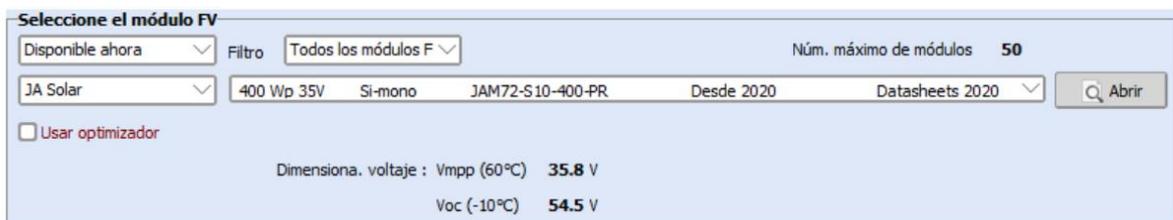
Factor de transposición FT **1.05**
 Pérdida con respecto al óptimo **-10.3%**
 Global en el plano colector **1812 kWh/m²**

Gráficos de rendimiento vs. inclinación y orientación del plano.

Botones: Cancelar, OK

Ilustración 27. Orientación e inclinación del plano fijo zona II. Fuente: PVsyst

Definimos el Azimut a 63° y la inclinación sigue siendo la misma, es decir, 34°.



Seleccione el módulo FV

Disponibles ahora: Filtro: Todos los módulos F Núm. máximo de módulos: 50

JA Solar 400 Wp 35V Si-mono JAM72-S10-400-PR Desde 2020 Datasheets 2020

Usar optimizador

Dimensiona. voltaje : Vmpp (60°C) **35.8 V**
 Voc (-10°C) **54.5 V**

Ilustración 28. Módulo fotovoltaico zona II. Fuente: PVsyst

Esta vez, para el módulo FV hemos elegido como proveedor a JA Solar, otra de las mejores y más grandes compañías de módulos fotovoltaicos. Hemos optado por una potencia alta una vez más, en específico un módulo de 400 Wp y 35 V (JAM72-S10-400-PR).

Para el inversor, esta vez cogemos uno de menos potencia ya que en esta instalación vamos a tener menos módulos y no necesitaremos un inversor de tanta potencia, además, nos ahorramos dinero en uno más pequeño ya que no necesitamos uno tan grande.



Seleccione el inversor

Disponibles ahora: Voltaje de salida 230 V Mono 50Hz

Huawei Technologies: 4.6 kW 80 - 600 V TL 50/60 Hz SUN2000-4.6KTL-L1 Desde 2020

Núm. de entradas MPPT: 2

Utilizar multi-MPPT

Voltaje de funcionamiento: 80-600 V Potencia del inversor utilizada: 4.6 kWca

Voltaje máximo de entrada: 600 V **inversor con 2 MPPT**

No hay reparto de potencia entre MPPTs

Ilustración 29. Inversor zona II. Fuente: PVsyst

Finalmente, el inversor es uno de Huawei Technologies una vez más (muy seguro y con alta durabilidad), en especial uno de 4,6 kW de potencia nominal (SUN2000-4.6KTL-L1). El número de entradas MPPT es 2 como hemos explicado antes, ya que la geometría nos restringe poner más de 2 en cadena porque no hay espacio disponible.



Diseño el conjunto

Núm. de módulos y cadenas

Mód. en serie: 7 (entre 3 y 11)

Núm. cadenas: 2 (única posibilidad 2)

Perdida sobrecarga: 0.0 %

Proporción Pnom: 1.22

Núm. de módulos: 14 Área: 28 m²

Condiciones de operación

V_{mpp} (60°C): 250 V

V_{mpp} (20°C): 293 V

V_{oc} (-10°C): 381 V

Irradia. plano: 1000 W/m²

I_{mpp} (STC): 19.4 A

I_{sc} (STC): 20.5 A

I_{sc} (en STC): 20.5 A

Potencia de funcionamiento máx.: 5.4 kW (en 1064 W/m² y 50°C)

Potencia nom. conjunto (STC): 5.6 kWp

Resumen sistema global

Núm. de módulos: 14

Área del módulo: 28 m²

Núm. de inversores: 1

Potencia FV nominal: 5.6 kWp

Potencia de CA nominal: 4.6 kWCA

Proporción Pnom: 1.217

Ilustración 30. Número de módulos y cadenas zona II. Fuente: PVsyst

Definimos el número de módulos en cadena y en serie, como acabamos de explicar, solo podemos tener 2 módulos en cadena (PVsyst solo nos da esa opción) y decidimos poner 7 módulos en serie ya que no hay pérdida de sobrecarga y el sistema tiene una proporción de potencia nominal suficientemente alta (1,22). Observamos que el área ocupada está dentro de los límites y que la potencia nominal del módulo fotovoltaico es menor que la del inversor. Con esto procedemos a simular el sistema.

Parámetros de simulación			Resultados principales			
Proyecto	Nuevo Proyecto	Generador FV	Producción del sistema	8069 kWh/año	Prod. normalizada	3.95 kWh/kWp/día
Sitio	Ciudad Real/Miguelturra	Módulos FV	Prod. específica	1441 kWh/kWp/año	Pérdidas del conjunto	0.62 kWh/kWp/día
Tipo sistema	Conectado a la red	Potencia nominal	Proporción de rendimiento	0.841	Pérdidas del sistema	0.13 kWh/kWp/día
Simulación	01/01 al 12/31 (Datos meteo genéricos)	Inversor				
		JAM72-S10-400-PR				
		5.60 kWp				
		41.1 V				
		9.7 A				
		SUN2000-4.6KTL-L1				
		Inv. unidad de potencia				
		4.6 kW				
		Núm. de entradas MPPT				
		2				

Ilustración 31. Parámetros de simulación y resultados principales zona II. Fuente: PVsyst

Los resultados son positivos y la producción total anual del sistema es de 8069 kWh/año, lo que supone un 23% del consumo total inicial del edificio. Se adjuntan las gráficas y tablas relevantes al estudio del sistema FV:

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	proporción
Enero	65.5	29.56	6.34	79.7	76.8	411.6	398.1	0.892
Febrero	89.7	35.03	8.04	104.8	101.6	536.0	519.3	0.885
Marzo	136.2	54.51	11.40	145.2	141.2	730.8	708.0	0.870
Abril	168.1	63.49	14.22	154.4	150.2	765.2	741.0	0.857
Mayo	202.2	74.19	19.21	181.5	176.9	878.7	850.9	0.837
Junio	226.2	70.74	24.75	195.3	190.5	925.0	895.8	0.819
Julio	238.8	63.30	28.33	213.5	208.4	989.6	958.3	0.801
Agosto	207.9	60.98	27.69	195.5	190.7	908.4	879.7	0.804
Septiembre	152.1	46.19	22.29	160.0	156.2	761.4	736.9	0.822
Octubre	109.9	44.00	16.86	123.4	119.9	607.6	588.2	0.851
Noviembre	69.8	28.53	9.95	87.7	84.8	445.9	430.9	0.877
Diciembre	58.1	26.35	6.83	72.9	70.0	374.8	362.2	0.887
Año	1724.6	596.87	16.38	1713.9	1667.3	8335.0	8069.1	0.841

Tabla 3. Balances y resultados principales zona II. Fuente: PVsyst

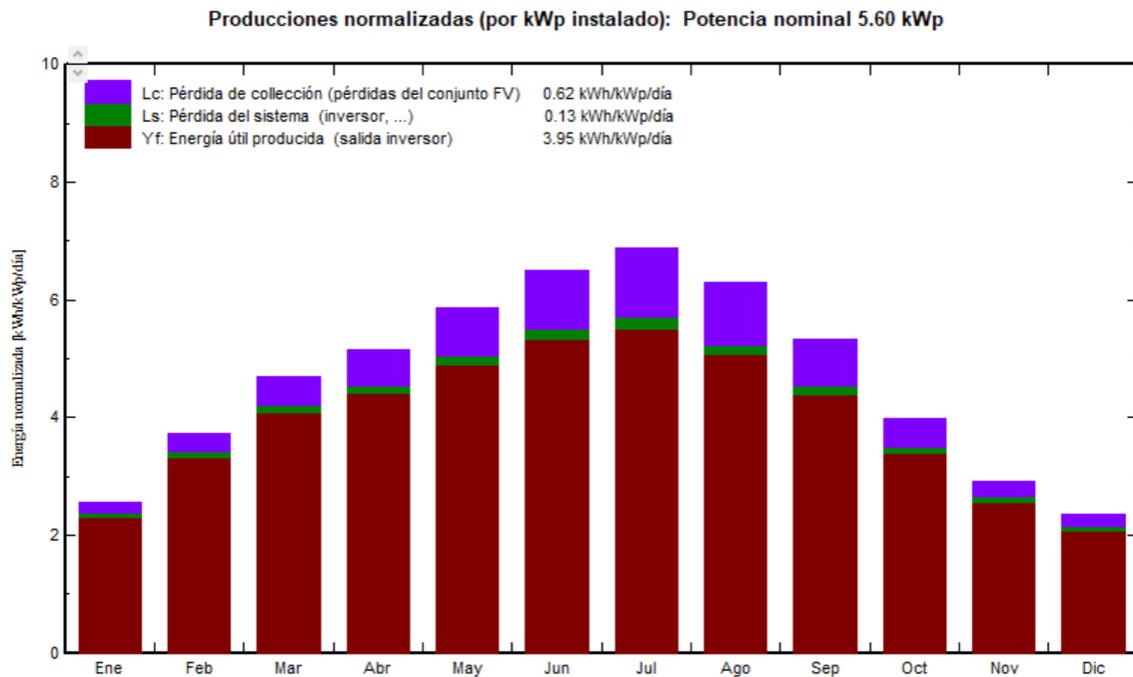


Ilustración 32. Producciones normalizadas zona II. Fuente: PVsyst

Podemos ver que las producciones normalizadas del sistema siguen la misma distribución que el sistema fotovoltaico de la zona I pero con más desviación típica en los extremos, esto se debe al grado del azimut, que experimenta una pérdida con respecto al óptimo, en específico un -10,3%. La simetría vuelve a experimentar su pico en julio, lo cual tiene sentido porque es cuando más horas de luz natural hay en Castilla la Mancha.

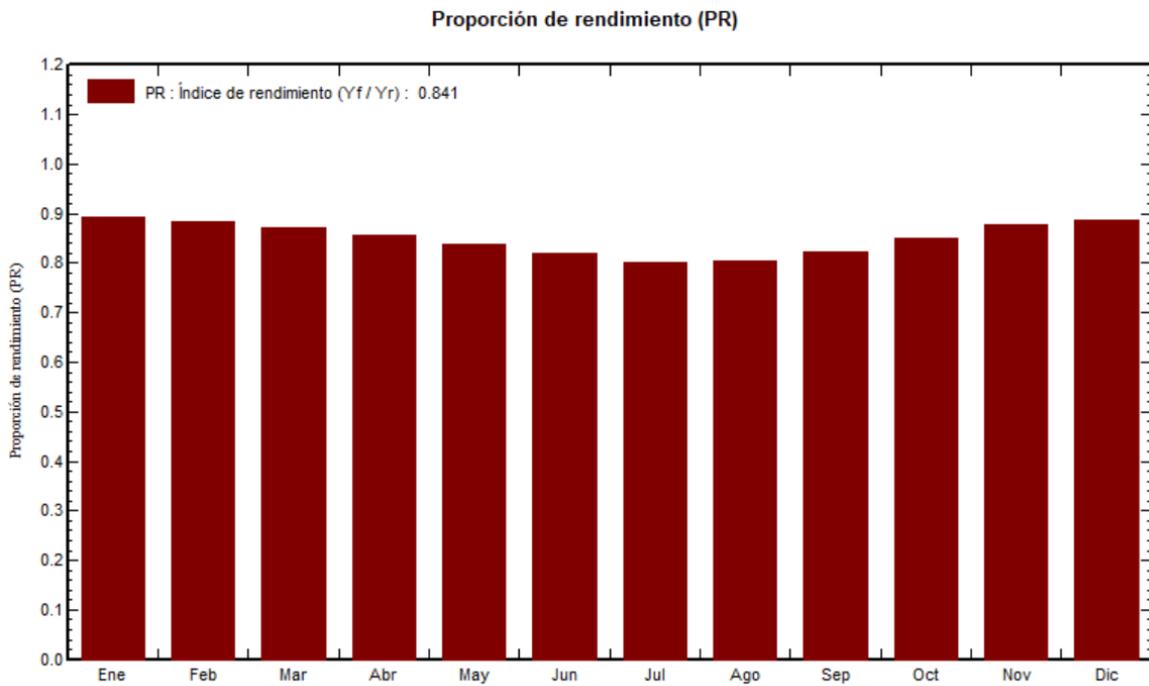


Ilustración 33. Proporción de rendimiento zona II. Fuente: PVsyst

El índice de proporción de rendimiento es básicamente el mismo que el del primer sistema, lo que tiene sentido ya que las producciones normalizadas siguen la misma distribución normal que el primer sistema.

7.4 CONCLUSION DE LA TOTALIDAD DEL SISTEMA DE PANELES FV

Resumen de resultados		Resumen de resultados	
Tipo de sistema	Sin escena 3D definida, sin sombras	Tipo de sistema	Sin escena 3D definida, sin sombras
Producción del sistema	17545 kWh/año	Producción del sistema	8069 kWh/año
Producción específica	1687 kWh/kWp/año	Producción específica	1441 kWh/kWp/año
Proporción de rendimiento	0.855	Proporción de rendimiento	0.841
Producción normalizada	4.62 kWh/kWp/día	Producción normalizada	3.95 kWh/kWp/día
Pérdidas del conjunto	0.68 kWh/kWp/día	Pérdidas del conjunto	0.62 kWh/kWp/día
Pérdidas del sistema.	0.11 kWh/kWp/día	Pérdidas del sistema.	0.13 kWh/kWp/día

Ilustración 34. Resultados principales de ambas zonas. Fuente: PVsyst

En su totalidad los dos sistemas otorgan a la red en el periodo de un año:

$$17545 + 8069 = 25614 \text{ kW}$$

Ecuación 8. Producción total de los paneles solares (kW)

Siendo esto un 73 % del consumo anual de todo el edificio.

Capítulo 8. SISTEMA DE AEROTERMIA

8.1 POTENCIA NECESARIA POR VIVIENDA

Para calcular la potencia que necesita cada vivienda hay que tener en cuenta 4 variables distintas: la orientación de la vivienda, el nivel de aislamiento, la superficie del ambiente (m²) y la región climática.

Para calcular la potencia se usa la siguiente ecuación: (30)

$$\text{superficie} \times \text{orientación} \times \text{región} \times \text{aislamiento} \times 85$$

Ecuación 9. Potencia calorífica necesaria por vivienda (GasFrío&Calor)

La orientación de la vivienda es al sur:

- Norte = 1,12
- **Sur = 0,92**
- Este = 1
- Oeste = 1

El nivel de aislamiento es un factor fundamental para determinar la eficiencia energética de una vivienda. Un buen nivel de aislamiento implica una reducción en las pérdidas de calefacción y energía. Por otro lado, si el nivel de aislamiento es bajo, se producirán mayores pérdidas de calor y se requerirá un mayor consumo de calefacción para mantener una temperatura confortable en el interior. En resumen, a mayor nivel de aislamiento, menor será el consumo de calefacción, mientras que a menor nivel de aislamiento, mayor será el consumo de calefacción. (31)

- Buen aislamiento: Ventanal doble y tabique doble (0,93)

- Aislamiento sencillo: Ventanal sencillo y tabique doble o ventanal doble y tabique sencillo (1)
- Sin aislamiento: Ventanal sencillo y tabique sencillo (1,10)

En la situación inicial del edificio la eficiencia energética es mala, teniendo ventanales sin aislamiento y tabiques sencillos.

En cuanto a la región climática se evalúa por provincias:



Ilustración 35. Región climática por provincias. Fuente: GasFrío&Calor

- Zona A = 0,88
- Zona B = 0,95
- Zona C = 1,04
- Zona D = 1,12

- Zona E = 1,19

Si para la superficie cogemos la media del área de los apartamentos calculada anteriormente (141,5 m²):

$$141,5 \times 0,92 \times 1,10 \times 1,12 \times 85 = 13632 \text{ W}$$

Ecuación 10. Potencia calorífica necesaria por vivienda (GasFrío&Calor)

Para cada vivienda necesitamos una bomba de calor que proporcione al menos 13600 W de potencia calorífica.

8.2 EMISOR DE LA AEROTERMIA

La bomba de calor de aerotermia es un sistema que proporciona tanto frío como calor y se conecta a un emisor o una serie de emisores para distribuir la temperatura. Los emisores pueden ser radiadores de agua, radiadores de baja temperatura o suelo radiante, entre otros.

Los radiadores convencionales requieren que el agua esté a una temperatura mínima de 60°C para proporcionar calor, mientras que el suelo radiante y los radiadores de baja temperatura trabajan con agua a 35°C, lo que resulta en un menor consumo energético (32). Sin embargo, los radiadores convencionales tienen una eficiencia más baja y un precio más bajo en comparación con los otros tipos de emisores.

Los radiadores de baja temperatura ofrecen una mayor eficiencia energética en comparación con los convencionales, lo que puede resultar en un menor consumo de energía y un mayor ahorro a largo plazo. Sin embargo, su precio suele ser más alto debido a su tecnología más avanzada. (33)

El suelo radiante es considerado uno de los sistemas más eficientes en términos de distribución de calor. Debido a su superficie amplia, puede operar a temperaturas aún más bajas, lo que resulta en un consumo energético más reducido. Sin embargo, el suelo radiante

tiene un precio más alto debido a la complejidad de la instalación y los materiales necesarios (34).

En resumen, los radiadores convencionales son menos eficientes, pero más económicos, los radiadores de baja temperatura son más eficientes, pero más costosos, y el suelo radiante es altamente eficiente pero también tiene un precio más elevado.

Teniendo todo esto en cuenta, procederemos a instalar como emisor de la aerotermia al sistema de suelo radiante o de radiadores de baja temperatura, ya que, a pesar de su alto coste de instalación, ambos proporcionan una mejor eficiencia que los radiadores, teniendo una rentabilidad mayor a largo plazo.

8.3 CONSUMO ELÉCTRICO NECESARIO

Para calcular el consumo eléctrico del sistema por aerotermia, podemos multiplicar el número de viviendas por la potencia total necesaria por cada una de ellas:

$$13600 \frac{kWh}{vivienda} \times 16 \text{ viviendas} = 217600 kWh$$

Ecuación 11. Potencia térmica anual necesaria del edificio

Esta es la potencia total anual requerida para satisfacer la demanda de calefacción y refrigeración de todas las viviendas en el edificio durante un año.

En términos de la potencia eléctrica requerida para el sistema de aerotermia, normalmente se considera que la eficiencia de las bombas de calor aerotérmicas es de alrededor del 300-400% (35), lo que significa que, por cada unidad de energía eléctrica consumida, se generan 3-4 unidades de energía térmica.

Si asumimos una eficiencia promedio del 350%, podemos calcular la potencia eléctrica requerida dividiendo la potencia total requerida por la eficiencia:

Potencia eléctrica requerida = Potencia total requerida / Eficiencia

$$\frac{217600 \text{ kWh}}{3,5} = 62171 \text{ kWh/año}$$

Ecuación 12. Consumo eléctrico anual del edificio para alimentar la aerotermia

8.4 DISTRIBUCIÓN DE BOMBAS

Para satisfacer la necesidad de todos los vecinos del edificio hay que definir el número de bombas que se van a instalar y que bomba actúa en que casa. Para ello vamos a estudiar la rentabilidad de tres opciones distintas:

Opción 1: una bomba para todo el edificio

Opción 2: una bomba por piso

Opción 3: una bomba por vivienda

Opción 1: Una bomba para todo el edificio

BENEFICIOS: Las bombas de mayor tamaño suelen ser más eficientes energéticamente, lo que puede resultar en menores costos operativos. Asimismo, el mantenimiento y limpieza se simplifica al tener que cuidar solo un equipo. El ahorro de espacio es un factor a tener en cuenta en la instalación de un sistema de aerotermia, al tener pocas bombas, no se necesita un espaciado tan elevado como en las demás opciones.

DESVENTAJAS: A pesar de que solo se necesita un equipo, o bien, un número bajo de bombas aerotérmicas en cadena para satisfacer la demanda del edificio, los costes de bombas de potencias tan altas pueden suponer costes muy altos de instalación. Si la bomba falla, todas las viviendas se quedarían sin calefacción o refrigeración. Además, cada vivienda no tendría control individual sobre la temperatura, lo que podría ser un inconveniente para los residentes que prefieran diferentes niveles de temperatura.

Opción 2: Una bomba por piso

BENEFICIOS: Esta opción proporciona un equilibrio entre la eficiencia de costos y la autonomía individual. Si una bomba falla, solo afectaría a las viviendas de un piso, no al edificio entero. Además, los residentes de cada piso podrían llegar a un acuerdo sobre la temperatura deseada.

DESVENTAJAS: El costo inicial sería mayor que en la opción 3, aunque menor que en la opción 1. El mantenimiento también sería más complicado al tener que cuidar varios equipos. Al igual que la opción 1, los residentes no tendrían control total sobre la temperatura individual.

Opción 3: Una bomba por vivienda

BENEFICIOS: Esta opción proporciona el máximo control a cada residente sobre la temperatura de su vivienda. Si una bomba falla, solo afectará a esa vivienda. Además, los costes de instalación pueden ser menores al no necesitar bombas de tanta potencia nominal.

DESVENTAJAS: Esta opción supone los costos de mantenimiento más altos debido a la multiplicidad de equipos. Además, las bombas individuales pueden ser menos eficientes que una bomba de mayor tamaño.

Elección óptima

La elección óptima dependerá de las prioridades y el presupuesto del proyecto. Si el objetivo es minimizar los costos iniciales, la Opción 3 podría ser la mejor. En cuanto a gastos fijos anuales, la opción 1 sería la mejor además de ofrecer la mayor eficiencia para el edificio. Si se prioriza la autonomía individual y el control sobre la temperatura, la Opción 3 sería la más adecuada. La Opción 2 proporciona un equilibrio entre las dos.

Sostenibilidad

Las tres opciones utilizan la misma tecnología de aerotermia, que es una forma de calefacción y refrigeración muy eficiente y sostenible. Sin embargo, si se opta por una bomba

de mayor tamaño (Opción 1), se podría obtener una eficiencia energética ligeramente mayor, lo que resultaría en menos consumo de energía y, por lo tanto, en una menor huella de carbono.

Comodidad

La Opción 3 proporcionaría la mayor comodidad a los residentes, ya que cada uno tendría control total sobre la temperatura en su vivienda. En las Opciones 1 y 2, los residentes tendrían menos control individual, lo que podría llevar a desacuerdos sobre la temperatura ideal.

Para concluir, cada opción tiene sus propios beneficios y desventajas. La Opción 1 ofrece la mayor eficiencia de costos a largo plazo y posiblemente la mayor sostenibilidad, pero con menos control individual. La Opción 3 proporciona el mayor control a los residentes, pero a un costo de mantenimiento y limpieza más alto. La Opción 2 es un equilibrio entre las otras dos.

Capítulo 9. MEJORA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA

9.1 PORQUE MEJORAR Y COMO

La envolvente térmica de un edificio, que comprende sus muros exteriores, ventanas, techo y suelo, desempeña un papel crucial en la determinación de cuánta energía se requiere para mantener una temperatura interior confortable (36). A continuación, se enumeran algunas estrategias para mejorar la envolvente térmica de un edificio antiguo de ladrillo en Castilla-La Mancha:

1. Instalación de un Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE): Este método implica la aplicación de una capa de material aislante a la fachada exterior del edificio, mejorando significativamente la eficiencia energética. El SATE es particularmente efectivo para edificios antiguos de ladrillo, ya que el ladrillo tiene un valor de resistencia térmica relativamente bajo.
2. Actualización de las ventanas: Las ventanas de doble acristalamiento o incluso de triple acristalamiento pueden reducir significativamente la pérdida de calor en invierno y la ganancia de calor en verano, en comparación con las ventanas de un solo acristalamiento que se utilizaban comúnmente en la época en que se construyó el edificio.
3. Aislamiento del techo: Mucha de la pérdida de calor de un edificio se produce a través del techo. La adición de aislamiento en el ático o debajo del techo puede ser una forma cost-effective de mejorar la eficiencia energética.
4. Sellado de filtraciones de aire: Las filtraciones de aire pueden producirse a través de pequeñas aberturas y grietas en la envolvente del edificio. Estas pueden sellarse con materiales como la espuma de poliuretano o la masilla para evitar la entrada de aire no deseado.

La mejora de la envolvente térmica es esencial por varias razones:

Eficiencia energética: Una envolvente térmica ineficiente permite la pérdida de calor en invierno y la ganancia de calor en verano. Al mejorar la envolvente, se reduce la demanda de energía para la calefacción y la refrigeración, lo que se traduce en menores facturas de energía. (37)

Confort: Una envolvente térmica mejorada ayuda a mantener una temperatura interior más constante, lo que mejora el confort de los habitantes.

Sostenibilidad: Al reducir la demanda de energía para la calefacción y la refrigeración, también se reduce la emisión de gases de efecto invernadero. Esto es fundamental para contribuir a los esfuerzos para combatir el cambio climático. (37)

Valor del edificio: Un edificio con una buena envolvente térmica y una alta eficiencia energética es probable que sea más atractivo para los compradores o inquilinos potenciales, lo que puede aumentar su valor en el mercado.

9.2 SATE

El edificio en cuestión, construido en 1979, ha superado ya varias décadas de vida. El tipo de construcción y los materiales empleados en ese tiempo, aunque resistentes, no cumplen con los estándares de eficiencia energética actuales. Dado que el ladrillo tiene una baja capacidad de aislamiento, la pérdida de calor en invierno y la absorción de calor en verano son muy probables. Esto resulta en un uso ineficiente de la energía y en costos de calefacción y refrigeración más altos.

Instalación de SATE

La instalación del SATE implica una serie de pasos. Comienza con una inspección y preparación del edificio, incluyendo reparaciones a la fachada si son necesarias. Luego, se instalan perfiles y anclajes en la fachada para sostener el sistema de aislamiento. El material aislante (generalmente poliestireno expandido o lana mineral) se coloca en la fachada y se asegura con adhesivo y fijaciones mecánicas. Finalmente, se aplica un revestimiento de

mortero armado con una malla de fibra de vidrio y una capa de acabado resistente a la intemperie. (38)



Ilustración 36. Ejemplo incorporación SATE en fachadas. Fuente: Hume Ingeniería

Costos de Instalación y Mantenimiento

El costo de la instalación del SATE puede variar dependiendo de varios factores, incluyendo el tamaño y la complejidad del edificio, el material de aislamiento elegido y la tarifa del contratista. A nivel general, el costo de instalación del SATE en España puede variar entre 40 y 100 euros por metro cuadrado. En este caso, para un edificio de 502 m², el costo total podría variar entre 20080 y 50200 euros. (39)

En cuanto al mantenimiento, los costos son relativamente bajos. Una inspección visual regular puede ayudar a identificar cualquier daño en la capa de acabado que pueda necesitar reparación. Aparte de eso, el SATE es un sistema de bajo mantenimiento.

Ahorros

El SATE puede reducir la demanda de calefacción y refrigeración de un edificio hasta en un 30%. Esto se traduce en un ahorro significativo en las facturas de energía. En términos generales, el ahorro anual en costos de energía puede oscilar entre el 15% y el 25%. (40) En

el caso de un edificio de 16 viviendas, el ahorro anual total podría variar entre 2400 y 4000 euros (asumiendo un costo promedio de energía de 1,000 euros por vivienda al año). Esto significa que la inversión en el SATE podría recuperarse en unos 20-40 años, aunque esto podría ser más rápido si se tienen en cuenta los incentivos gubernamentales o las subvenciones para la mejora de la eficiencia energética.

Debido a estos ahorros y a las ventajas en términos de confort y protección del edificio, el SATE es una opción atractiva para mejorar la eficiencia energética de las viviendas.

Ventajas del SATE y Mejora de la Envolvente Térmica

La instalación de un SATE aporta varias ventajas. En primer lugar, proporciona un aislamiento continuo, lo que reduce los puentes térmicos y mejora la eficiencia energética del edificio. A su vez, esto puede llevar a un ahorro significativo en las facturas de energía a lo largo del tiempo. Además, el SATE protege la estructura del edificio de las fluctuaciones de temperatura, reduciendo el riesgo de grietas y daños en la fachada. Además, como el aislamiento se coloca en el exterior, los trabajos de instalación no interrumpen la vida de los residentes.

Al mejorar la envolvente térmica del edificio, el SATE disminuye la demanda energética tanto en invierno como en verano. El aislamiento adicional impide la pérdida de calor durante el invierno y bloquea el calor excesivo en verano, ayudando a mantener una temperatura interior más uniforme y cómoda durante todo el año.

Teniendo en cuenta los beneficios de eficiencia energética, ahorro económico y confort que el SATE puede ofrecer, la instalación de este sistema de aislamiento en el edificio residencial en cuestión es una opción viable y recomendable. Sin embargo, es crucial evaluar también la viabilidad económica del proyecto. Para ello, se realizará una revisión detallada de los costos de instalación y mantenimiento del SATE y se compararán con los ahorros energéticos previstos. Este análisis permitirá determinar si la instalación del SATE es una inversión rentable a largo plazo.

Capítulo 10. ALTERNATIVAS PARA MEJORAR EL EDIFICIO

La casa en cuestión, construida en 1979, es una estructura de ladrillo con ventanales y tabiques sencillos. Se han realizado actualizaciones recientes, incluyendo la instalación de paneles solares y un sistema de aerotermia para reemplazar un sistema de caldera de gasoil más antigua y menos eficiente. A pesar de estos cambios positivos, hay varias áreas adicionales que podrían beneficiarse de mejoras para aumentar aún más la eficiencia energética del hogar.

10.1 ACTUALIZACIÓN DE VENTANAS

Reemplazar ventanas antiguas y de un solo vidrio por modelos más eficientes puede tener un impacto significativo en la eficiencia energética de tu hogar. Las ventanas de doble o triple acristalamiento con gas argón o kriptón entre las capas de vidrio proporcionan un aislamiento muy superior. Además, puedes considerar el uso de vidrio con baja emisividad para ayudar a controlar la transferencia de calor.

El funcionamiento de estas ventanas se basa en el principio de reducir la transferencia de calor y sonido entre el interior y el exterior de un edificio. Los paneles de vidrio múltiples y la capa de aire o gas crean una barrera adicional que limita la transmisión de calor y el paso del ruido. Esta construcción proporciona una mayor resistencia térmica, evitando que el calor se escape durante el invierno y que entre durante el verano.

El ahorro energético que suponen las ventanas de doble o triple aislamiento radica en su capacidad para mantener una temperatura más estable dentro del edificio. Al reducir la pérdida de calor en invierno y el ingreso de calor en verano, se reduce la necesidad de utilizar sistemas de calefacción y refrigeración, lo que se traduce en un menor consumo de energía.

Además, al limitar la transferencia de ruido, también contribuyen a un ambiente más tranquilo y confortable.

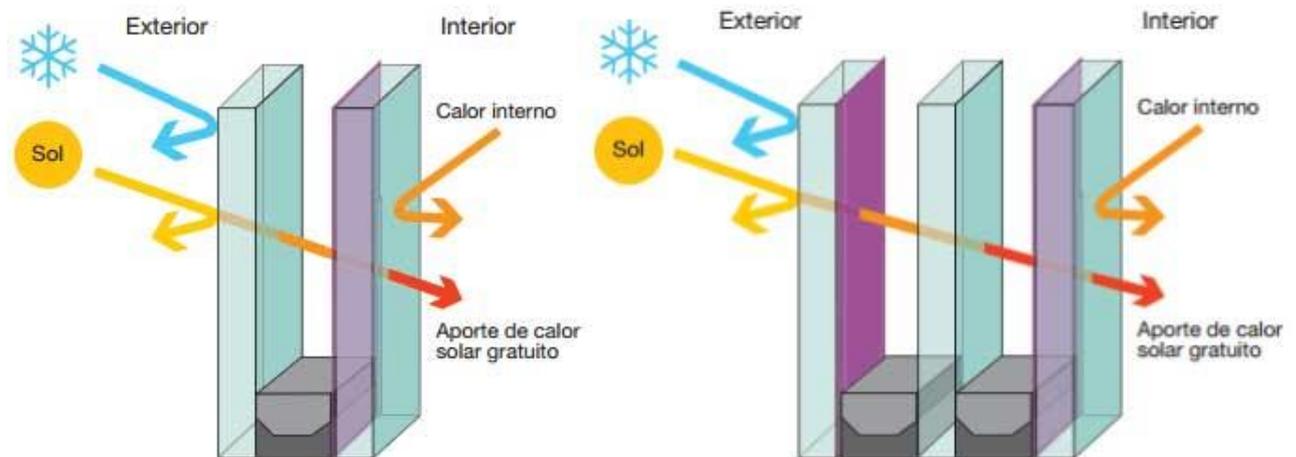


Ilustración 37. Funcionamiento ventanas doble acristalamiento. Fuente: Reformasintegrales10

Además de ofrecer un aislamiento térmico todo el año, ofreciendo un mayor confort y reduciendo gastos innecesarios en calefacción, también ofrecen aislamiento acústico, reduciendo los ruidos de la intemperie gracias a sus cierres de seguridad, estos (cierres de seguridad) y los perfiles reforzados también tienen como función principal la seguridad anti-intrusión, ofreciendo mayor seguridad a la vivienda. La durabilidad de estas ventanas es mayor que las ventanas sin aislamiento o ventanales sencillos. (41)

10.2 SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EFICIENTES

El uso de bombillas LED puede reducir el consumo de energía de iluminación hasta un 75% en comparación con las bombillas incandescentes tradicionales. (42) Además, puedes considerar la instalación de sensores de luz natural que regulen automáticamente el nivel de luz artificial en función de la luz del día presente. También es útil la instalación de sensores de movimiento en áreas como pasillos y baños, que sólo encienden las luces cuando se detecta movimiento.

CANTIDAD DE LUZ (lumenes)	INCANDESCENTES CONSUMO	LED CONSUMO
500-1000 lm	 75W	 6-10W
1000-1500 lm	 100W	 10-14W
1500-2000 lm	 150W	 14-18W
2000-2500 lm	 200W	 18-23W
2500-3000 lm	 350W	 23-30W

Ilustración 38. Consumo bombillas LED vs incandescentes. Fuente: Endesa

La instalación de las bombillas LED supone un ahorro muy significativo como podemos ver en la figura 38.

10.3 ELECTRODOMÉSTICOS EFICIENTES

Los electrodomésticos antiguos pueden ser grandes consumidores de energía. Al reemplazarlos con modelos de eficiencia energética certificados, puedes reducir significativamente el consumo de energía. Por ejemplo, un frigorífico nuevo con certificación energética A+++ puede consumir un 60% menos de energía que un modelo de hace 15 años (43). Algo similar sucede con los electrodomésticos de lavado y secado, donde los modelos de alta eficiencia pueden ahorrar cientos de kWh al año.

En resumen, mejorando el aislamiento, actualizando las ventanas, optimizando la iluminación y actualizando los electrodomésticos, puedes aumentar significativamente la eficiencia energética de una vivienda antigua. Estas mejoras no solo ahorran dinero en facturas de energía, sino que también hacen que la vivienda sea más cómoda y sostenible.

Capítulo 11. VIABILIDAD ECONÓMICA

11.1 PANELES SOLARES

Para evaluar la rentabilidad de los paneles solares hay que calcular en primera estancia los gastos de instalación, además de los gastos fijos.

11.1.1 ZONA I

En la zona I se instalan 26 módulos fotovoltaicos de paneles solares de Jinko Solar de 400Wp (JKM-400M-72), el coste unitario del panel solar es 151,59 € (44). El transporte y seguro por cada módulo fotovoltaico es de un 5% de su coste unitario con IVA incluido (45). A parte se requieren soportes para los paneles, se necesitan 6 soportes de 4 módulos cada uno y un soporte para 2 módulos. El coste unitario de cada soporte de 4 módulos es de 136,27 € más 7,5€ por transporte y seguro por cada una; el soporte de 2 módulos cuesta 82,35€ con envío gratuito (46).

En cuanto al inversor de Huawei Technologies (SUN2000-8KTL-M2-380V) tiene un coste de 1699,00 € con transporte incluido (47). El sistema de monitorización tiene un coste de 300€, el cableado cuesta aproximadamente 1300€ y la mano de obra otros 1200€. (48)

Gastos de instalación	Coste unitario (€)	Nº	Coste total (€)
Paneles Solares	151.59	26	3941.34
Transporte Paneles	7.5795	26	197.067
Soportes (4)	136.27	6	817.62
Transporte soportes	7.5	6	45
Soportes (2)	82.35	1	82.35
Inversor	1699	1	1699
Cableado			1300
Mano de obra			1300
Sist. Monitorización			300
Total			9682.377

Tabla 4. Gastos de instalación paneles solares zona I. Fuente: Elaboración propia

El gasto de instalación total es de 9682,38 €.

A estos gastos hay que sumarle el mínimo gasto de limpieza y de mantenimiento anual, siendo estos aproximadamente un 2% del coste total del sistema. (49)

$$9682,38 \times 0,02 = 193,65 \text{ €}$$

Ecuación 13. Costes anuales de mantenimiento y limpieza zona I

Para calcular el ahorro anual que supone para el edificio este sistema podemos hacer el producto de los kWh anuales que otorga a la red el sistema FV (17545 kWh/año) y el coste unitario de un kW. Calculado anteriormente, el coste de cada kW es de 0,2318 €/kWh:

$$17545 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times 0,2318 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 4066,93 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Ecuación 14. Ahorro anual debido a los paneles FV zona I

Procedemos a calcular el ahorro total del edificio al paso de los años:

	Coste	Ahorro	Balance
Año 1	9876.027	4066.93	-5809.097
Año 2	193.65	4066.93	-1935.817
Año 3	193.65	4066.93	1937.463
Año 4	193.65	4066.93	5810.743
Año 5	193.65	4066.93	9684.023
Año 6	193.65	4066.93	13557.303
Año 7	193.65	4066.93	17430.583
Año 8	193.65	4066.93	21303.863
Año 9	193.65	4066.93	25177.143
Año 10	193.65	4066.93	29050.423

Tabla 5. Balance económico a lo largo de los años zona I. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar de la tabla 5, el ahorro acumulado a lo largo de 10 años es de algo más de 29.000 €. Podemos decir con seguridad que el sistema de paneles solares supone un gran ahorro económico para la comunidad de vecinos y que su instalación está más que justificada, ya que se recupera la inversión inicial en algo menos de 3 años.

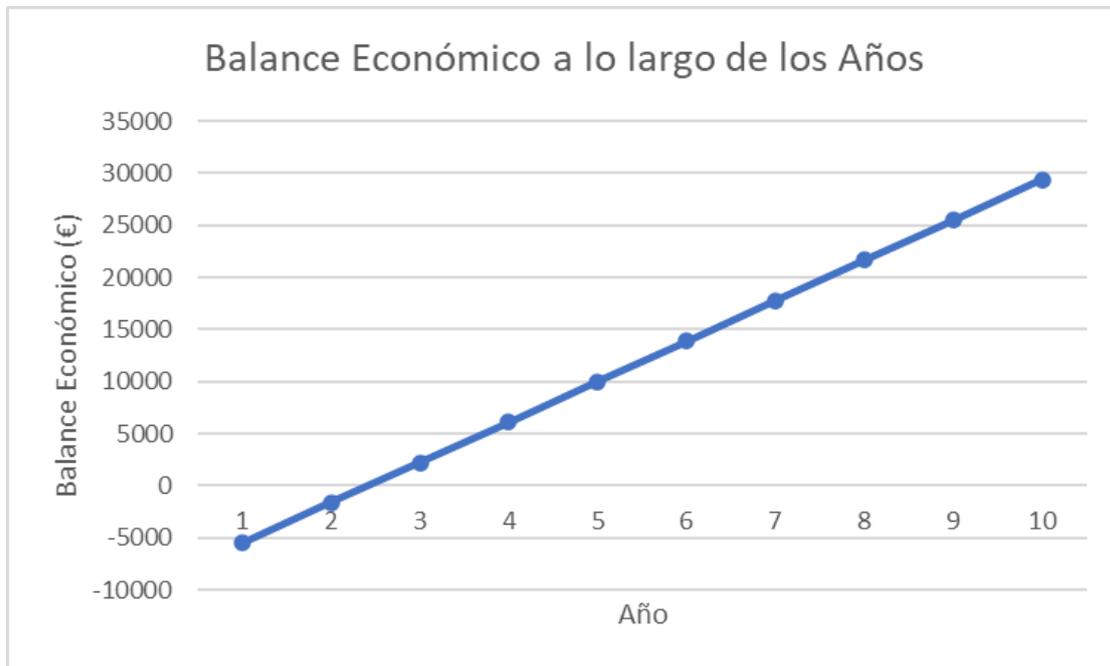


Ilustración 39. Balance económico a lo largo de los años zona I. Fuente: Elaboración propia

11.1.2 ZONA II

El módulo fotovoltaico para instalar en la zona II es de JA Solar, en específico son módulos de 400 Wp y 35 V (AM72S10-400-PR), el coste unitario de cada módulo es 185,00 € con 7,00 € de transporte y seguro y se requieren 14 módulos (50). Para los soportes se van a utilizar 3 soportes para 4 módulos cada uno y 1 soporte para 2 módulos, los costes son 136,27 € y 7,5 € de transporte y 82,35 € con envío gratuito respectivamente. (51)

El inversor de Huawei Technologies de 4,6 kW de potencia nominal (SUN2000-4.6KTL-L1) tiene un coste total de 992,00 € con garantía de 10 años y envío gratuito (52). El sistema de monitorización tiene un coste de 300€, el cableado cuesta aproximadamente 1100€ y la mano de obra otros 1000€.

Gastos de instalación	Coste unitario (€)	Nº	Coste total (€)
Paneles Solares	185	14	2590
Transporte Paneles	7	14	98
Soportes (4)	136.27	3	408.81
Transporte soportes	7.5	3	22.5
Soportes (2)	82.35	1	82.35
Inversor	992	1	992
Cableado			1100
Mano de obra			1000
Sist. Monitorización			300
Total			6593.66

Tabla 6. Gastos de instalación paneles solares zona II. Fuente: Elaboración propia

El gasto de instalación total es de 6593,66 €.

A estos gastos hay que sumarle el mínimo gasto de limpieza y de mantenimiento anual, siendo estos aproximadamente un 2% del coste total del sistema.

$$6593,66 \times 0,02 = 131,87 \text{ €}$$

Ecuación 15. Costes anuales mantenimiento y limpieza zona II

Para calcular el ahorro anual que supone para el edificio este sistema podemos hacer el producto de los kWh anuales que otorga a la red el sistema FV (17545 kWh/año) y el coste unitario de un kW. Calculado anteriormente, el coste de cada kW es de 0,2318 €/kWh:

$$8069 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times 0,2318 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 1870,4 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Ecuación 16. Ahorro anual debido a los paneles FV zona II

Procedemos a calcular el ahorro total del edificio al paso de los años:

	Coste	Ahorro	Balance
Año 1	6725.5332	1870.4	-4855.1332
Año 2	131.87	1870.4	-3116.6032
Año 3	131.87	1870.4	-1378.0732
Año 4	131.87	1870.4	360.4568
Año 5	131.87	1870.4	2098.9868
Año 6	131.87	1870.4	3837.5168
Año 7	131.87	1870.4	5576.0468
Año 8	131.87	1870.4	7314.5768
Año 9	131.87	1870.4	9053.1068
Año 10	131.87	1870.4	10791.6368

Tabla 7. Balance económico a lo largo de los años zona II. Fuente: Elaboración propia

Como pasa con el balance de la zona I, la zona II también tiene un periodo de amortización relativamente corto, siendo este de 3 años. Se amortiza más lento que los paneles de la primera zona, esto tiene sentido ya que la zona II genera menos energía y por lo tanto da menos kW a la red, lo que provoca que su ahorro anual sea menor y por tanto más lenta su amortización.

A pesar de esto, sigue saliendo rentable su instalación y observando la tabla 7 podemos ver que el edificio se ahorra más de 10 mil euros a los 10 años de la inversión inicial.

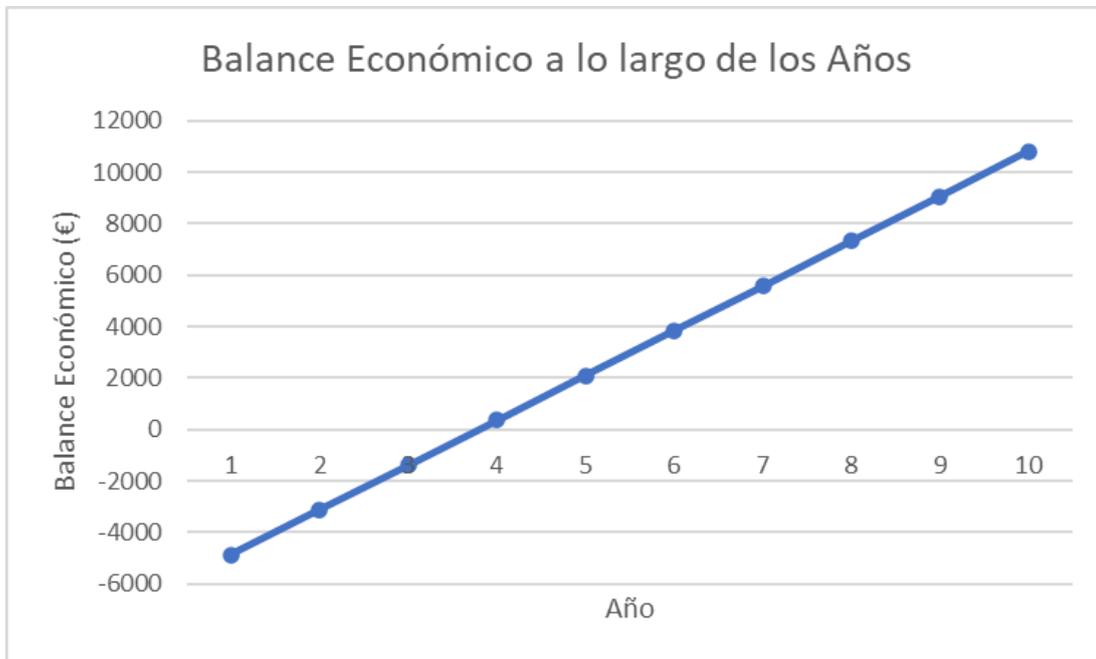


Ilustración 40. Balance económico a lo largo de los años zona II. Fuente: Elaboración propia

11.1.3 TOTAL

	Coste	Ahorro	Balance
Año 1	16601.5602	5937.33	-10664.2302
Año 2	325.52	5937.33	-5052.4202
Año 3	325.52	5937.33	559.3898
Año 4	325.52	5937.33	6171.1998
Año 5	325.52	5937.33	11783.0098
Año 6	325.52	5937.33	17394.8198
Año 7	325.52	5937.33	23006.6298
Año 8	325.52	5937.33	28618.4398
Año 9	325.52	5937.33	34230.2498
Año 10	325.52	5937.33	39842.0598

Tabla 8. Balance económico a lo largo de los años ambas zonas. Fuente: Elaboración propia

La instalación de ambos sistemas de paneles fotovoltaicos se amortiza en tan solo 2 años y ahorra al edificio un poco menos de 40 mil euros a los 10 años de la inversión inicial. Esto significa que la instalación de los paneles solares está justificada, ambas zonas aportan gran parte del consumo eléctrico del edificio y supone ahorros importantes y de gran escala.

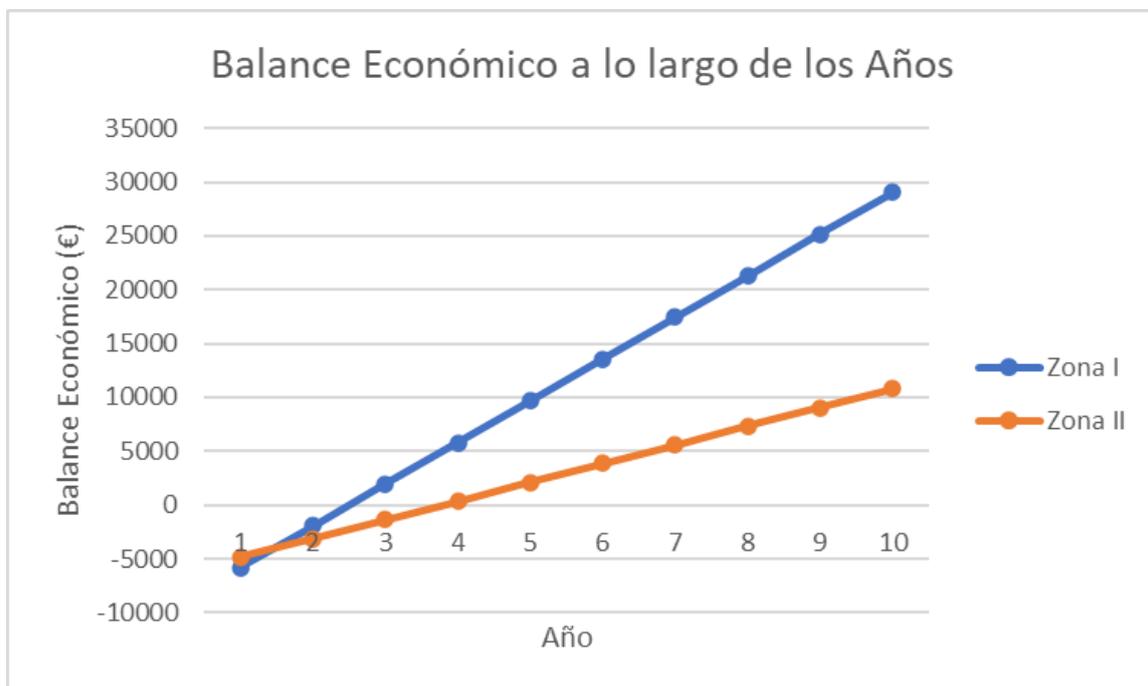


Ilustración 41. Balance económico a lo largo de los años ambas zonas. Fuente: Elaboración propia

11.2 SISTEMA DE AEROTERMIA

Para analizar qué sistema es el óptimo para nuestro edificio, primero es necesario hacer un cálculo aproximado del ahorro anual que supone el sistema por el ahorro en consumos eléctricos:

Consumo eléctrico anual (kWh)		Coste (€)
Gasoil		28800
Aeroterminia	62171	14411.24
Ahorro total		14388.76

Tabla 9. Ahorro del consumo eléctrico anual debido a la aeroterminia. Fuente: Elaboración propia

11.2.1 DISTRIBUCIÓN DE BOMBAS

Para satisfacer la necesidad de todos los vecinos del edificio hay que definir el número de bombas que se van a instalar y que bomba actúa en que casa. Para ello vamos a estudiar la rentabilidad de tres opciones distintas:

Opción 1: una bomba para todo el edificio

Opción 2: una bomba por piso

Opción 3: una bomba por vivienda

Opción 1:

Para la primera opción, como no existen bombas de potencia tan grande para satisfacer a todo el edificio, se ponen 2 bombas en cascada para llegar a la potencia requerida por el edificio.

La bomba que se va a usar es: Bomba de calor de ACS Aquatermic HT 100. Cada bomba tiene un coste de 54.106,22 €, con características: Bomba de calor de ACS Aquatermic HT 100, 100 kW de potencia calorífica, 86000 frigorías, 62 dB, refrigerante R744, COP 4 (53).

Los costes de envío son de 169,40 € (54) por cada bomba, y la mano de obra está incluida en el precio de la bomba.



Ilustración 42. Bomba de calor de ACS Aquatermic HT 100. Fuente: GasFrio&Calor

Opción 2:

Para la opción 2, es necesaria una bomba aerotérmica de 54 kW de potencia calorífica nominal (ya que cada vivienda necesita 13600 W y hay 4 viviendas por piso), para ello se ha elegido la bomba: Aerotermia Wolf MHA 55C, cuya descripción es la siguiente: Aerotermia Wolf MHA 55C, aerotermia de gran potencia, 55 kW de potencia, 47300 frigorías, para calefacción y refrigeración, gas refrigerante R410, COP 5.2, EER 4.6, clase energética A+ (31). El COP de esta bomba es muy alto, por lo que habría mayor ahorro en el consumo eléctrico del edificio suponiendo ahorros económicos adicionales.

El precio de esta bomba es de 18.513,98 €, los costes de instalación son un 20% del coste de la bomba y el transporte cuesta 240 € por bomba (54).



Ilustración 43. Bomba Aerotermia Wolf MHA 55C. Fuente: GasFrío&Calor

Opción 3:

Para la última opción, necesitamos una bomba de 13.5 kW de potencia calorífica por vivienda, por lo que se ha elegido el modelo: BOMBA DE CALOR AEROTERMIA MONOBLOC AU082FYCRA(HW) ATW-MONO 13,5KW HAIER.

La bomba tiene un coste de 4.059,38€, con costes de transporte gratis y costes de instalación de un 30 % del coste de la bomba (55).



Ilustración 44. BOMBA DE CALOR AEROTERMIA MONOBLOC AU082FYCRA(HW) ATW-MONO 13,5KW HAIER. Fuente: GasFrío&Calor

El coste de mantenimiento de cada bomba es aproximadamente 100 € anuales (56).

	Coste Bomba (€)	Transporte (€)	Coste instalación (€)	Nº bombas	Coste Total (€)	Costes anuales (€)
Opción 1	54106.22	169.40	0	2	108551.24	200
Opción 2	18513.98	240	3702.80	4	89827.10	400
Opción 3	4059.38	0	1217.814	16	84435.10	1600

Tabla 10. Costes de instalación bombas aerotermia y costes anuales. Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la tabla 10, la opción 1 es la más cara en términos de instalación y la opción 3 es la más barata, aunque el coste inicial de esta última es muy parecido a la opción 2. Para decantarnos por una opción, hay que tener en cuenta también los costes anuales de mantenimiento y limpieza, los gastos en la tercera opción son significativamente más altos que en las otras dos opciones.

En conclusión, la opción 1 proporciona una eficiencia energética muy alta y una buena rentabilidad a largo plazo, pero otorga muy poca libertad a la comunidad a la hora de elegir una temperatura confortable, lo que puede llevar a desacuerdos y tensiones entre vecinos,

asimismo, si se estropea una de las dos bombas, todo el edificio se quedaría sin calefacción, por lo que se ha descartado la opción 2. Teniendo en cuenta la mejor eficiencia energética de la opción 2 a la 3, los costes similares de instalación y los menores costes de mantenimiento y limpieza, se ha elegido la opción 2 como la más favorable y rentable, ya que propone los beneficios de las opciones 1 y 3, y ofrece un equilibrio entre las dos opciones. Además, las bombas de la opción 2 tienen un COP más alto que las demás, lo que supone un mayor ahorro de consumo eléctrico y un mayor ahorro económico.

11.2.2 EMISOR DE LA AEROTERMIA

a) Suelo Radiante:

El desglose de los precios del suelo radiante es:

- Quitar el suelo existente hasta el forjado: 16-18 euros/m².
- Suelo radiante (lámina PE, panel aislante, aislamiento perimetral, tubería y colectores): 16-20 euros/m².
- Colocación suelo radiante: 22-26 euros/m².
- Mortero: 18 euros/m².
- Loseta cerámica imitación madera: 26-30 euros/m².
- Instalación loseta incluido rodapié: 28-32 euros/m².
- Total: 123-144 euros/m².

Si cogemos un precio medio de 130 euros/m² (34)

$$\text{inversión inicial SR} = 130 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} \times 16 \text{ viviendas} \times 141,5 \frac{\text{m}^2}{\text{vivienda}} = 268800 \text{ €}$$

Ecuación 17. Inversión inicial suelo radiante del edificio

El precio por mantenimiento y limpieza del SR es de 150 €/año. (34)

b) Radiadores de baja temperatura

Al haber radiadores convencionales en las viviendas, los radiadores de baja temperatura se pueden cambiar por ellos fácilmente sin tener que sufrir obras adicionales y reducir el coste total inicial.

Modelo	Tipo	Potencia	Precio
Jaga Línea Plus	Estático	206 W	168 €
Jaga Strada	Estático	239 W	193 €
Ferrolí Varese 500	Estático	195 W	209 €
Ferrolí Varese 600	Estático	244 W	219 €
FERROLI Varese LP 500 HE	Dinámico	369 W	255 €
FERROLI Varese 500 HE	Dinámico	447 W	265 €
FERROLI Varese 500 HE	Dinámico	447 W	265 €
Thermor Pareo Integrado 200	Dinámico	714 W	321 €

Precios con impuestos incluidos

Tabla 11. Precio y potencia de los modelos de radiadores de baja temperatura. Fuente: PrecioGas

En cada vivienda hay 7 radiadores, por lo que el precio de instalación de los radiadores será:

$$7 \text{ radiadores} \times \left(260 \frac{\text{€}}{\text{radiador}} + 240 \frac{\text{€}}{\text{instalación}} \right) = 3500\text{€}$$

Ecuación 18. Coste instalación radiadores baja T°

Cada vivienda paga 3500 € como inversión inicial, por lo que el edificio paga:

$$3500 \text{ €} \times 16 \text{ viviendas} = 56000 \text{ €}$$

Ecuación 19. Coste instalación del edificio radiadores baja T°

El precio anual de mantenimiento y limpieza de los radiadores de baja temperatura es de 40 € al año por cada radiador. (57)

c) Comparación

Característica	Radiador baja temperatura	Suelo radiante
Instalación	Sencilla	Compleja
Inercia térmica	Poca	Mucha
Cantidad de agua	Poca	Mucha
Andar descalzo	No	Sí
Ahorro de espacio	No	Sí

Tabla 12. Suelo radiante vs radiadores de baja temperatura. Fuente: PrecioGas

Podemos observar en la tabla 12 que el sistema de suelo radiante tiene una instalación más compleja que la de los radiadores de baja temperatura pero ofrece ventajas y ahorros, como el ahorro de espacio, la libertad de andar descalzo y su alta inercia térmica (lo que hace que se siga disfrutando del calor o del frío una vez apagado el sistema), todas estas ventajas hay que tenerlas en cuenta a la hora de elegir que emisor acompañe a la aerotermia, además hacen que el suelo radiante sea más atractivo aunque sea una inversión inicial mayor y sea complicada su instalación.

Para comparar la rentabilidad económica de ambos, calculamos el balance económico a lo largo de los años:

Suelo radiante:

	Coste	Ahorro	Balance
Año 1	268800	14411.23	-254388.77
Año 2	150	14411.23	-240127.54
Año 3	150	14411.23	-225866.31
Año 4	150	14411.23	-211605.08
Año 5	150	14411.23	-197343.85
Año 6	150	14411.23	-183082.62
Año 7	150	14411.23	-168821.39
Año 8	150	14411.23	-154560.16
Año 9	150	14411.23	-140298.93
Año 10	150	14411.23	-126037.7

Tabla 13. Balance económico a lo largo de los años suelo radiante. Fuente: Elaboración propia

Radiadores de baja temperatura:

	Coste	Ahorro	Balance
Año 1	56000	14411.23	-41588.77
Año 2	2240	14411.23	-29417.54
Año 3	2240	14411.23	-17246.31
Año 4	2240	14411.23	-5075.08
Año 5	2240	14411.23	7096.15
Año 6	2240	14411.23	19267.38
Año 7	2240	14411.23	31438.61
Año 8	2240	14411.23	43609.84
Año 9	2240	14411.23	55781.07
Año 10	2240	14411.23	67952.3

Tabla 14. Balance económico a lo largo de los años radiadores de baja temperatura. Fuente: Elaboración propia

Observando las tablas 13 y 14 podemos observar que los radiadores de baja temperatura resultan mucho más rentables que el suelo radiante. Esto se debe a que quitar el suelo y

reemplazarlo por uno nuevo es demasiado caro y su periodo de amortización es demasiado alto, aplicar un sistema por suelo radiante es mejor cuando se va a realizar un reemplazo del suelo o en una vivienda nueva.



Ilustración 45. Balance económico a lo largo de los años suelo radiante vs radiadores baja temperatura.

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la figura 45 que la pendiente del balance del suelo radiante es mayor que la pendiente de los radiadores de baja temperatura, esto se debe a los bajos costes de mantenimiento y limpieza del suelo radiante, pero vemos que le cuesta mucho más amortizar su inversión inicial debido a su muy alto coste.

Por lo tanto, nos decantamos por los radiadores de baja temperatura, ya que son más rentables que el suelo radiante, se amortizan en tan solo 4 años, tienen una eficiencia

energética muy alta y ahorra al edificio más de 47 mil euros a los 10 primeros años de la inversión.

11.2.3 TOTAL

Para calcular los ahorros totales del sistema de aerotermia en su totalidad (aerotermia más radiadores de baja temperatura), evaluamos su rentabilidad a lo largo de los años. Pero antes es necesario calcular el ahorro actualizado del consumo eléctrico, ya que disponemos de los datos de la bomba a instalar: COP 5,2.

$$\frac{\text{Consumo necesario total}}{\text{Eficiencia bomba}} = \frac{217600 \text{ kWh}}{5,2} = 41.846,15 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Ecuación 20. Consumo eléctrico actualizado para aerotermia

$$\text{Coste total anual} = 41.846,15 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times 0,2318 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 9.699,94 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Ecuación 21. Coste anual del edificio del consumo eléctrico para aerotermia

En la situación inicial, la comunidad de vecinos paga por su calefacción un total de 28800 €. Lo que supone un ahorro total anual de 19.100,06 €.

	Coste	Ahorro	Balance
Año 1	145827.10	19100.06	-126727.04
Año 2	2640	19100.06	-110266.98
Año 3	2640	19100.06	-93806.92
Año 4	2640	19100.06	-77346.86
Año 5	2640	19100.06	-60886.80
Año 6	2640	19100.06	-44426.74
Año 7	2640	19100.06	-27966.68
Año 8	2640	19100.06	-11506.62
Año 9	2640	19100.06	4953.44
Año 10	2640	19100.06	21413.50

Tabla 15. Balance económico actualizado a lo largo de los años aerotermia + emisor. Fuente: Elaboración propia

A pesar de un muy alto coste de instalación, observamos en la tabla 15 que el sistema ofrece un ahorro de más de 20 mil € a los 10 años, el periodo de amortización es medio alto en consecuencia del coste de instalación. Se recupera la inversión gracias al muy alto rendimiento del sistema y ahorros en consumos eléctricos y térmicos.

Para aclarar y justificar nuestra inversión, exponemos una gráfica del balance a lo largo de los años, hasta los 20 primeros años:



Ilustración 46. Balance económico a lo largo de los años aerotermia + emisor. Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que a los 20 años el ahorro total es algo menos de los 200.000 €, lo que supone una gran cantidad de dinero, lo que justifica la rentabilidad de la instalación del sistema.

11.3 SATE

Tipo de placa aislante	Precio	Conductividad térmica
Poliestireno expandido EPS blanco	16,50 €/m ²	0,037 W/(m·K)
Poliestireno expandido EPS grafito	18 €/m ²	0,032 W/(m·K)
Poliestireno extruido XPS	26 €/m ²	0,034 W/(m·K)
Lana de roca	31 €/m ²	0,035 W/(m·K)
Corcho natural	67 €/m ²	0,040 W/(m·K)
Espuma fenólica PF	87 €/m ²	0,020 W/(m·K)

Tabla 16. Precio y conductividad térmica materiales para SATE. Fuente: PrecioGas

Utilizaremos como aislante el poliestireno expandido EPS blanco, ya que es el material con mejor calidad-precio y con buenas cualidades térmicas.

El coste de la mano de obra para el SATE es de aproximadamente 27 €/m², representa entre el 40 y 50% del total presupuestado (58). El alquiler, transporte y transporte de un andamio, cuesta a partir de 2.000 € (58).

Los costes de instalación del sistema SATE se evalúan en la siguiente tabla:

	m2	€/m2	coste
Material	502	16.5	8283
Mano de obr	502	27	13554
Transporte			2000
IVA (21%)			5005.77
Total			28842.77

Tabla 17. Costes instalación SATE. Fuente: Elaboración propia

Una vez sabemos cuál es la inversión inicial, podemos calcular el balance económico de la inversión a lo largo de los años para evaluar su rentabilidad. Sabemos que los costes de mantenimiento y limpieza suponen un 10 % del coste total de instalación (59):

$$\text{Coste mantenimiento anual} = 0.010 \times 28842.77 = 288.43 \text{ €}$$

Ecuación 22. Coste mantenimiento y limpieza anual SATE

También sabemos que los kWh ahorrados en un año gracias al sistema es aproximadamente 13000 kWh/año, para calcular el ahorro simplemente se hace el producto entre los kWh recuperados y el precio por kW:

$$\text{Ahorro anual (SATE)} = 13000 \times 0,2318 = 3013,4 \text{ €}$$

Ecuación 23. Ahorro anual del edificio debido al SATE

Debido a que el periodo de instalación es de 3 meses, el primer año solo se ahorra $\frac{3}{4}$ del ahorro total anual (ya que solo funciona durante 9 de 12 meses). El balance económico se evalúa en la siguiente tabla:

	Coste	Ahorro	Balance
Año 1	28842.77	2260.05	-26582.72
Año 2	288.43	3013.4	-23857.75
Año 3	288.43	3013.4	-21132.78
Año 4	288.43	3013.4	-18407.81
Año 5	288.43	3013.4	-15682.84
Año 6	288.43	3013.4	-12957.87
Año 7	288.43	3013.4	-10232.9
Año 8	288.43	3013.4	-7507.93
Año 9	288.43	3013.4	-4782.96
Año 10	288.43	3013.4	-2057.99

Tabla 18. Balance económico a lo largo de los años SATE. Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la tabla 18, el gran tamaño de la inversión hace que sea difícil recuperarla, no recuperamos la inversión en 10 años, lo que hace que no parezca muy rentable la instalación del SATE. En comparación con nuestras otras propuestas, el SATE tiene la menor rentabilidad de todas ellas, ya que su periodo de amortización es demasiado alto.

A pesar de ahorrarse grandes cantidades de dinero anuales y mejorar la eficiencia energética del edificio, no es recomendable la instalación del SATE.

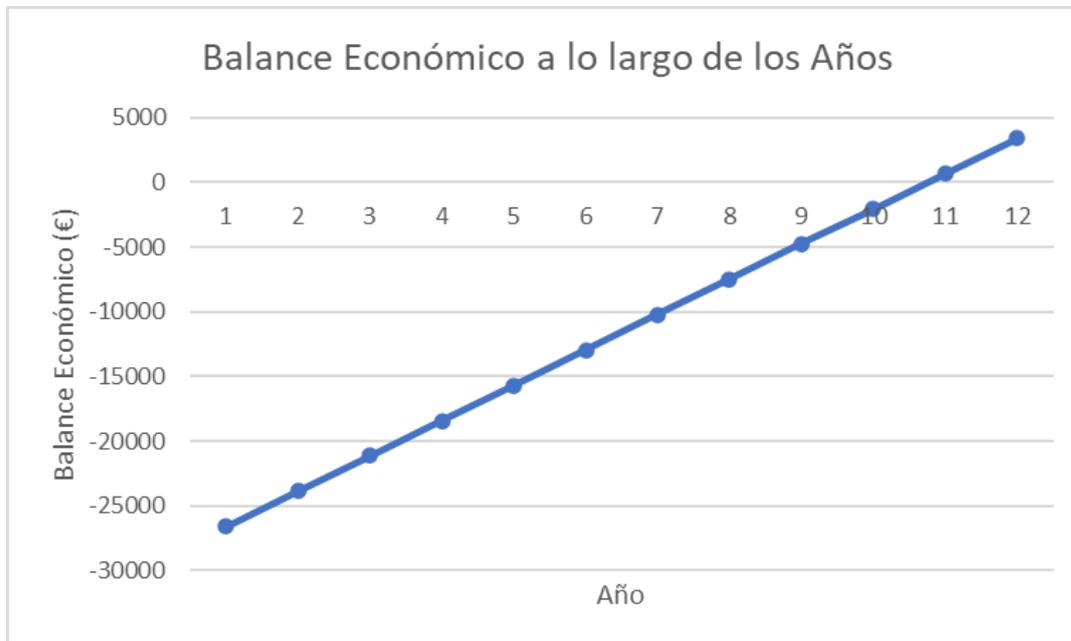


Ilustración 47. Balance económico a lo largo de los años SATE. Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la gráfica 47, la inversión se recupera en el año 11 y la inversión se recupera muy lentamente, ya que la pendiente en la gráfica 32 es relativamente pequeña en comparación con nuestras demás inversiones.

11.4 ALTERNATIVAS

11.4.1 VENTANAS DE DOBLE ACRISTALAMIENTO

En cada vivienda contamos con 8 ventanas, el precio medio de cada ventana con doble acristalamiento es de 460 €, pero si ya se tienen instaladas ventanas simples, el cambio a ventanas de doble acristalamiento es de 100 €. (60)

Por lo que cada vivienda tendría que pagar aproximadamente un total de 800 € para cambiar todas sus ventanas. El ahorro que supone este sistema de ventanas es aproximadamente de un 35% de gastos de calefacción, tanto en invierno como en verano. (61)

Teniendo en cuenta los consumos de calefacción iniciales (28800 € de todo el edificio):

$$\text{Ahorro total por viveinda} = \frac{28800 \text{ €}}{16 \text{ viendas}} \times 35\% = 630 \text{ €}$$

Ecuación 24. Ahorro anual por vivienda debido a las ventanas de doble acristalamiento

El ahorro es de 630 € por vivienda solo por las ventanas de doble acristalamiento, siendo la inversión inicial tan solo 800 €, supone una gran oportunidad para ahorrar dinero de la comunidad, mejorar la eficiencia energética del edificio y mejorar la comodidad y confort de los vecinos.

11.4.2 BOMBILLAS LED

A la hora de calcular la rentabilidad de las bombillas LED en comparación con las bombillas convencionales (incandescentes) no es necesario ponernos en una situación concreta, ya que se puede estudiar por separado, teniendo en cuenta los consumos de las bombillas, costes de las bombillas y su vida útil.

- Las bombillas incandescentes utilizan un promedio de 60 vatios y utiliza 175,2 kWh / año. (62)
- Las bombillas LED utilizan un promedio de 6-8 watts y el consumo es 14,6 Kwh / año. (62)
- Las bombillas incandescentes tienen una vida útil de 1.000 h hasta 1.500 h. (63)
- Las bombillas LED tienen una vida útil de aproximadamente 50.000 h. (63)
- Cada bombilla incandescente cuesta 1€ mientras que una bombilla LED 5€.

Como podemos observar, la diferencia en el consumo eléctrico anual entre las bombillas LED e incandescentes es muy alto (favorable para las LED), la duración de una bombilla LED es 50 veces mayor que una normal y su precio solo 5 veces mayor.

En resumen, la instalación de bombillas LED frente a las convencionales se justifica siempre, ya que, aunque sean más caras, solo con su vida útil se vuelven rentables económicamente, pero no solo eso, sino que suponen grandes ahorros eléctricos, los cuales causan ahorros en facturas de luz y electricidad.

11.5 BONIFICACIONES Y SUBVENCIONES

El gobierno español ofrece varias subvenciones e incentivos para fomentar la instalación de sistemas de energía renovable, como los paneles solares y la aerotermia.

1. Programa PREE (Programa de Rehabilitación Energética de Edificios): Este programa, lanzado en 2020, ofrece subvenciones para la rehabilitación energética de edificios existentes. Las subvenciones pueden cubrir hasta el 35% del coste de las mejoras, que pueden incluir la instalación de sistemas de energía renovable, como los paneles solares y la aerotermia. (64)

2. Incentivos fiscales: En algunas regiones de España, se pueden obtener beneficios fiscales por la instalación de sistemas de energía renovable. Por ejemplo, se puede obtener una reducción en el Impuesto sobre Bienes Inmuebles (IBI) o en el Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras (ICIO). (65)

3. Programas autonómicos y locales: Muchas comunidades autónomas y municipios en España tienen sus propios programas de incentivos para la energía renovable. Estos pueden incluir subvenciones directas, préstamos a bajo interés, y otros incentivos.

Además, la normativa española favorece la generación de energía solar fotovoltaica para autoconsumo. En 2019, se eliminó el llamado "impuesto al sol", lo que permite a los propietarios de paneles solares usar la energía que generan sin costes adicionales (66). También es posible vender el exceso de energía a la red, lo que puede generar ingresos adicionales.

En resumen, hay una serie de incentivos disponibles en España para fomentar la instalación de sistemas de energía renovable que ofrecen ayudas económicas a la comunidad de vecinos, ahorrando así más dinero tanto a largo plazo en impuestos como en las inversiones iniciales de los sistemas propuestos a instalar.

11.6 AHORRO TOTAL

	Inversión Inicial (€)	Ahorro (10 años) (€)	¿Rentable?	¿Seleccionada?
Paneles FV	16601.56	39842.06	SI	SI
Aeroterminia	145827.1	21413.50	SI	SI
SATE	28842.77	-2057.99	NO	NO
Ventanas Doble Acr.	12800	89600	SI	SI
Bombillas LED			SI	SI

Tabla 19. Ahorro y rentabilidad propuestas de mejora. Fuente: Elaboración propia

De todas las propuestas, la única inversión que no sale rentable es la de la instalación de un sistema SATE, ya que el ahorro anual que supone este sistema no es lo suficientemente alto para la inversión inicial que supone su instalación.

En cuanto a las demás propuestas, suponen una gran rentabilidad a largo plazo, sobre todo el sistema de calefacción por aeroterminia. Este es el que más ahorros supone anualmente, aunque a los 10 años no es tan grande como las demás, su pendiente de recuperación y ahorro es la más grande de todas. Los paneles solares son una gran inversión que se recupera rápidamente y tiene un coste mucho más asequible que la de la aeroterminia.

Para contrarrestar la inversión tan grande de la aeroterminia, se propone fraccionar el pago de esta por meses, con un máximo de 24 meses para finalizar el pago, lo que facilita el pago para la comunidad de vecinos.

Al cabo de 10 años, si se instalan las propuestas seleccionadas, se tendría un ahorro total de más de 150.000 €, sin tener en cuenta los ahorros por bombillas LED, el cual produce ahorros en las facturas de la luz, disminuyendo esta en hasta un 75%. Además de ahorrar dinero, el edificio evoluciona a uno mucho más moderno, eficiente, confortable y sostenible

Capítulo 12. ALINEACIÓN CON LOS ODS Y

ACCIONES FUTURAS

12.1 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

El proyecto incluyó la instalación de paneles solares, el reemplazo del sistema térmico de caldera de gasoil por un sistema de aerotermia con radiadores de baja temperatura, el cambio de ventanas simples por doble acristalamiento y la sustitución de bombillas convencionales por bombillas LED. Se analizará cómo este proyecto se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), cómo ha mejorado la eficiencia energética del edificio y cómo ha generado ahorros económicos para la comunidad.



Ilustración 48. Objetivos de desarrollo sostenible. Fuente: Naciones Unidas

1. ODS 7: Energía asequible y no contaminante:

El proyecto contribuye a este objetivo al promover la generación de energía asequible y sostenible, así como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (67).

- La instalación de paneles solares proporciona una fuente de energía renovable, reduciendo la dependencia de fuentes de energía convencionales y disminuyendo los costos de electricidad para las viviendas.
- El sistema de aerotermia reemplaza la antigua caldera de gasoil y utiliza una fuente de energía limpia y renovable, mejorando la eficiencia energética del edificio y reduciendo las emisiones contaminantes asociadas.

2. ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles:

El proyecto contribuye a la creación de comunidades más sostenibles y resilientes, mejorando la calidad de vida de los residentes y reduciendo el impacto ambiental del edificio (68).

- El reemplazo de ventanas simples por doble acristalamiento mejora el aislamiento térmico y acústico, lo que aumenta el confort de los residentes y reduce la pérdida de calor en invierno y la entrada de calor en verano.
- Las bombillas LED reemplazan las bombillas convencionales, reduciendo drásticamente el consumo de energía eléctrica y aumentando la vida útil de las bombillas, lo que conlleva ahorros económicos y una reducción en los residuos generados.

3. ODS 13: Acción por el clima:

El proyecto contribuye a mitigar el cambio climático y a adaptarse a sus impactos, al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la eficiencia energética (69).

- La generación de energía a partir de paneles solares, una fuente de energía renovable, reduce la huella de carbono del edificio y disminuye la dependencia de la red eléctrica convencional.
- El uso de un sistema de aerotermia y radiadores de baja temperatura reduce el consumo de combustibles fósiles y, por lo tanto, las emisiones asociadas, al tiempo que optimiza la eficiencia energética en la calefacción del edificio.

El proyecto de mejora energética llevado a cabo en el edificio de Castilla-La Mancha en Ciudad Real se alinea con los ODS y tiene un impacto positivo en múltiples áreas:

- Contribuye a la transición hacia una energía más asequible y sostenible (ODS 7).
- Promueve la creación de comunidades sostenibles y resilientes (ODS 11).
- Contribuye a la mitigación del cambio climático y a la adaptación a sus impactos (ODS 13).

Además, el proyecto ha mejorado significativamente la eficiencia energética del edificio, reduciendo los costos asociados a la electricidad, la calefacción y la iluminación. Estas medidas han generado ahorros económicos y mejorado la calidad de vida de los residentes al proporcionar un ambiente más confortable y eficiente.

12.2 ACCIONES FUTURAS

1. Implementación de sistemas de gestión energética: Se recomienda la adopción de sistemas de gestión energética para monitorear y controlar el consumo de energía en el edificio. Estos sistemas permiten identificar oportunidades de ahorro energético y optimizar el rendimiento de los equipos, lo que resulta en una mayor eficiencia y reducción de costos a largo plazo. La implementación de un sistema de gestión energética proporciona información detallada sobre los patrones de consumo de energía en el edificio. Esto permite identificar áreas de

mejora, detectar posibles fugas de energía y realizar ajustes en tiempo real para optimizar el rendimiento energético.

2. Fomento de la participación y conciencia de los residentes: Se debe promover la participación activa de los residentes en la gestión energética del edificio, mediante la creación de programas de concienciación y educación sobre el uso eficiente de la energía. Esto puede incluir la organización de talleres, charlas y campañas de sensibilización para fomentar prácticas sostenibles entre los residentes. La participación de los residentes es fundamental para lograr una mejora energética sostenible y duradera. Al educar a los residentes sobre la importancia del consumo responsable de energía y proporcionarles herramientas para reducir su huella energética, se puede lograr un mayor compromiso y colaboración en la implementación de medidas de eficiencia energética.

3. Integración de soluciones inteligentes: Se deben explorar soluciones inteligentes para la gestión energética, como el uso de sensores y sistemas de automatización. Estas tecnologías permiten ajustar y controlar de manera eficiente el consumo de energía en tiempo real, optimizando el rendimiento de los sistemas y reduciendo el desperdicio energético. Las soluciones inteligentes ofrecen un enfoque más proactivo y eficiente para el control del consumo de energía. Mediante el uso de sensores y sistemas automatizados, es posible ajustar la iluminación, la climatización y otros dispositivos de manera inteligente, adaptándolos a las necesidades reales y evitando el consumo innecesario de energía.

4. Exploración de energías renovables adicionales: Se puede considerar la instalación de otras fuentes de energía renovable, como sistemas de energía solar térmica o eólica, en función de las características y posibilidades del edificio y su entorno. Estas fuentes complementarias de energía renovable pueden ayudar a reducir aún más la dependencia de fuentes convencionales y aumentar la sostenibilidad del edificio. La diversificación de las fuentes de energía renovable aumenta la resiliencia del edificio y su capacidad para generar energía limpia.

Visión a largo plazo: La visión a largo plazo es convertir el edificio en un ejemplo de referencia en términos de sostenibilidad y eficiencia energética. Esto implica alcanzar

niveles más altos de autogeneración de energía a partir de fuentes renovables, implementar soluciones tecnológicas avanzadas y fomentar una cultura de sostenibilidad entre los residentes. El edificio se convierte en un entorno inteligente y sostenible, con una huella energética reducida y una mayor calidad de vida para sus residentes. Esto no solo proporciona beneficios ambientales y económicos, sino que también crea un entorno más saludable y confortable para los residentes. Además, el edificio se convierte en un ejemplo inspirador y replicable para otras comunidades y proyectos de construcción sostenible.

En resumen, se recomienda implementar sistemas de gestión energética, promover la participación y conciencia de los residentes, integrar soluciones inteligentes, explorar otras fuentes de energía renovable y establecer una visión a largo plazo de convertir el edificio en un ejemplo de referencia en sostenibilidad y eficiencia energética. Estas acciones futuras buscan optimizar el consumo de energía, reducir costos, mejorar el confort de los residentes y contribuir a la mitigación del cambio climático, convirtiendo el edificio en un entorno inteligente, sostenible y resiliente.

Capítulo 13. CONCLUSIÓN

El proyecto de mejora energética llevado a cabo en el edificio de Castilla-La Mancha en Ciudad Real se ha basado en la firme convicción de que es posible crear entornos más sostenibles, eficientes y respetuosos con el medio ambiente. Ha sido impulsado por la necesidad de reducir la dependencia de fuentes de energía convencionales y minimizar el impacto ambiental asociado a la generación y consumo de energía.

La motivación detrás de este proyecto ha sido generar un cambio significativo en la forma en que se utiliza la energía en el edificio, mejorando tanto la calidad de vida de los residentes como la sostenibilidad a largo plazo. Se ha buscado inspirar a los residentes y a la comunidad en general a adoptar prácticas más responsables y conscientes en relación con el consumo de energía. Además, se ha tomado en consideración la importancia de alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas. Los ODS brindan un marco global para abordar desafíos clave, como la energía asequible y no contaminante, las ciudades y comunidades sostenibles, y la acción por el clima. El proyecto de mejora energética se ha alineado con estos objetivos, buscando contribuir activamente a su consecución y promover un futuro más sostenible.

La motivación también se ha basado en los beneficios económicos a largo plazo que pueden derivarse de la eficiencia energética y el uso de fuentes de energía renovable. La reducción en los costos de electricidad, calefacción e iluminación, junto con los ahorros en mantenimiento y sustitución de equipos, ha sido una fuente de incentivo para la comunidad, permitiéndoles ahorrar dinero y utilizar esos recursos en otras áreas.

La instalación de paneles solares ha permitido generar energía limpia y renovable, reduciendo la dependencia de la red eléctrica convencional y disminuyendo los gastos en electricidad. Además, el uso de sistemas de aerotermia ha optimizado la eficiencia en la climatización, reduciendo los costos de calefacción y refrigeración.

La sustitución de bombillas convencionales por LED ha generado ahorros considerables en el consumo de energía eléctrica, debido a la eficiencia y larga vida útil de las bombillas LED. Asimismo, las ventanas de doble acristalamiento han mejorado el aislamiento térmico y acústico del edificio, reduciendo la pérdida de calor y aumentando el confort interior.

Si bien la instalación de SATE (Sistema de Aislamiento Térmico Exterior) no se ha llevado a cabo debido a restricciones económicas, las acciones implementadas hasta ahora han demostrado ser altamente efectivas en términos de ahorro energético y económico. Sin embargo, se recomienda seguir evaluando la viabilidad de la instalación de SATE en el futuro, ya que podría brindar beneficios adicionales en términos de aislamiento térmico y eficiencia energética.

En conclusión, el proyecto de mejora energética en el edificio de Castilla-La Mancha ha sido un éxito notable al implementar medidas como paneles solares, aerotermia, bombillas LED, ventanas de doble acristalamiento y mejoras en electrodomésticos. Estas acciones han generado un ahorro económico significativo de más de 150.000 € en 10 años, mejorando la eficiencia energética y el confort de los residentes. A pesar de la no instalación de SATE, el proyecto sienta las bases para un futuro más sostenible y demuestra los beneficios tangibles de la eficiencia energética en el edificio.

Capítulo 14. BIBLIOGRAFÍA

1. **Wikipedia.** https://es.wikipedia.org/wiki/Clima_de_Espa%C3%B1a. [En línea] [Citado el: 27 de Marzo de 2023.]
2. **Spark, Weather.** <https://es.weatherspark.com/h/s/147750/2020/3/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-del-invierno-2020-en-el-Aeropuerto-Central-Ciudad-Real-Espa%C3%B1a>. [En línea] [Citado el: 27 de Marzo de 2023.]
3. **CEDEX.** https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/publicaciones/Memoria_encomienda_CEDEX_tcm30-178474.pdf. [En línea] [Citado el: 27 de Marzo de 2023.]
4. **iad, blog.** <https://blog.iadespana.es/noticias/actualidad-inmobiliaria/provincias-con-mas-horas-de-sol-espana/>. [En línea] 21 de Enero de 2023. [Citado el: 27 de Marzo de 2023.]
5. **MeteoCiudadReal.** <https://www.meteociudadreal.com/index.php/graficos-2/graficos-actviento.html>. [En línea] 2023. [Citado el: 27 de Marzo de 2023.]
6. **INE.** Proporción de personas mayores de cierta edad por comunidad autónoma(1451) (ine.es). [En línea]
7. **Wikipedia.** Campo de Criptana - Wikipedia, la enciclopedia libre. [En línea]
8. **E-ficiencia.** <https://e-ficiencia.com/orientacion-de-edificios-cual-es-orientacion-ideal/>. [En línea] 2021.
9. **AGTecno3.** <https://www.ladrillostecno3.com/aislamiento-termico-y-eficiencia-energetica-2/>. [En línea]
10. **Wikipedia.** https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1mpara_incandescente. [En línea]

11. **Reiteman.** <https://www.reiteman.com/calefaccion-electrica-tipos-ventajas-e-inconvenientes>. [En línea]
12. **Fotocasa.** <https://www.fotocasa.es/fotocasa-life/hogar/energia/principales-tipos-de-calefaccion>. [En línea]
13. **ABC.** https://www.abc.es/economia/abci-ventajas-y-inconvenientes-cada-sistema-calefaccion-201610190231_noticia.html . [En línea] [Citado el: 27 de Marzo de 2023.]
14. **Reiteman.** <https://www.reiteman.com/calefaccion-electrica-tipos-ventajas-e-inconvenientes>. [En línea] [Citado el: 27 de Marzo de 2023.]
15. **MejorconSalud.** <https://mejorconsalud.as.com/sistemas-calefaccion-tipos-ventajas-desventajas>. [En línea] [Citado el: 27 de Marzo de 2023.]
16. **Generalinmobiliaria.** <https://www.generalinmobiliaria.com/blog/ventajas-y-desventajas-de-los-principales-tipos-de-calefaccion/>. [En línea] [Citado el: 27 de Marzo de 2023.]
17. **TransicionVerde.** <https://transicionverde.com/geotermia-vs-aerotermia-ventajas-desventajas/>. [En línea]
18. **Hogarense.** <https://www.hogarsense.es/calefaccion/comparativa-calefaccion> . [En línea] [Citado el: 27 de Marzo de 2023.]
19. **Enerpop.** <https://enerpop.com/comparativa-sistemas-calefaccion/>. [En línea]
20. **PrimaGas.** <https://www.primagas.es/blog/calefaccion-propano>. [En línea]
21. **PrecioGas.** <https://preciogas.com/instalaciones/equipamiento/calderas/gasoil>. [En línea]
22. **Ecológica, Actitud.** <https://actitudecologica.com/calefaccion-mas-economica/>. [En línea]
23. **PrecioGas.** <https://preciogas.com/instalaciones/geotermia>. [En línea]

24. **Evoconfort.** <https://www.evoconfort.com/energias-renovables/aerotermita/>. [En línea]
25. **Hogarsense.** <https://www.hogarsense.es/energia-solar/combinacion-energia-solar-y-otros-sistemas-de-calefaccion>. [En línea]
26. **Energanova.** <https://energanova.es/aerotermita-fotovoltaica-la-combinacion-perfecta/>. [En línea]
27. **PrecioGas.** <https://preciogas.com/instalaciones/aerotermita/factura-luz#consumo>. [En línea]
28. **IDAE.** *Tramitación del Autoconsumo (guía)*. Madrid : s.n., 2023.
29. **Earth, Google.** <https://www.google.com/intl/es/earth/>. [En línea]
30. **GasFrío&Calor.** <https://www.gasfriocalor.com/blog/instalacion/como-calculat-la-potencia-de-una-instalacion-de-aerotermita-2/>. [En línea]
31. —. https://www.gasfriocalor.com/aerotermita-wolf-mha-55c?utm_campaign=ads&utm_source=cpc&utm_medium=shopping&utm_content=16506471259&gclid=CjwKCAjw-7O1BhB8EiwAnoOEkwru5_rsHjH6SeeQkv_v_oQqY4qwUN450UpWci20ZTmtxhKvvUrW3hoCFckQAvD_BwE. [En línea]
32. —. <https://www.gasfriocalor.com/blog/aerotermita/cuanto-cuesta-instalar-un-sistema-de-aerotermita/>. [En línea]
33. **PrecioGas.** <https://preciogas.com/instalaciones/equipamiento/radiadores/baja-temperatura>. [En línea]
34. **Businessinsider.** <https://www.businessinsider.es/precio-metro-cuadrado-suelo-radiante-1058749>. [En línea]
35. **Didascalía.** <https://didascalía.es/bombas-calor-aerotermita/>. [En línea]

36. **Weber.** <https://www.es.weber/blog/envolvente-termica>. [En línea]
37. **Repsol.** <https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/cambio-climatico/eficiencia-energetica/que-es-la-eficiencia-energetica/index.cshtml#:~:text=La%20eficiencia%20energ%C3%A9tica%20es%20impre-scindible,efecto%20invernadero%20a%20la%20atm%C3%B3sfera>. [En línea]
38. **Caloryfrío.** <https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/aislamiento-y-humedad/sate-sistema-de-aislamiento-termico-por-el-exterior.html>. [En línea]
39. **Arefachadas.** <https://arefachadas.es/presupuesto-de-aislamiento-de-fachadas/#:~:text=Aislamiento%20SATE%3A,%E2%80%93%20%E2%82%AC%2F80%20metro%20cuadrado>. [En línea]
40. **Anfapa.** <https://anfapa.com/articulos-tecnicos-sate/1130/ahorro-energetico-y-economico-con-los-sistemas-sate>. [En línea]
41. **karpimart.** https://www.karpimart.es/ventanas-de-madera/?gad=1&gclid=CjwKCAjw-70IBhB8EiwAnoOEK81YTBCtER_19-a8rXEOEZvF6Jr5vkaTouGKH23RM0x6eWZx0moxNxoCP3UQAvD_BwE. [En línea]
42. **MrWatt.** <https://www.mrwatt.eu/es/content/comparacion-entre-bombillas>. [En línea]
43. **Inglés, El Corte.** <https://www.elcorteingles.es/ideas-y-consejos/tecnologia/estos-son-los-8-electrodomesticos-mas-eficientes-que-haran-mas-pequena-la-factura-de-la-luz/>. [En línea]
44. **TiendaSolar.** <https://tienda-solar.es/es/placas-fotovoltaicas/895-modulo-solar-jinko-mono-72-celulas-partidas-H>. [En línea]
45. **magazine, PV.** <https://www.pv-magazine.es/2022/11/24/los-costes-de-transporte-se-acercan-al-4-de-los-costes-de-los-modulos-solares-cerca-de-los-niveles-prepandemicos/>. [En línea]

46. **fotovoltaico, Almacén.** https://elalmacenfotovoltaico.com/estructura-cubierta-metalica/107-1136-kit-2-soporte-inclinado-a-30-o-15-para-cubierta-plana-sunfer-11h2.html#/206-inclinacion-15?gclid=Cj0KCQjwnrmlBhDHARIsADJ5b_k-UDVnwamgHFGzE-YFoQrYPmmAcNBYXfeYdIDRVvI3MtVghwIAhsMaAtRWEA. [En línea]
47. **Suministrosdelsol.** <https://suministrosdelsol.com/es/inversor-conexion-a-red/759-16061-inversor-huawei-sun2000-8ktl-m1-trifasico-8kw.html>. [En línea]
48. **Autosolar.** <https://autosolar.es/cables>. [En línea]
49. **Sitges, Candela.** *TFG Candela Sitges*. Madrid : s.n., 2023.
50. **Suministrosdelsol.** <https://suministrosdelsol.com/es/paneles-de-405-hasta-500w/1026-JA-solar-410W-Mono-PERC-Half-Cell-JAM72S10-410-PR.html>. [En línea]
51. **Autosolar.** https://autosolar.es/estructuras-suelo/estructura-2-paneles-60c-30o-inclinada-falcat?gclsrc=aw.ds&gclid=CjwKCAjwqZSIbBwEiwAfoZUICOWBtZ6YjqeryGwqEv8FpZalx2U7d_qm6lizMSgbIZMo5-ePvCRjBoC4-MQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds. [En línea]
52. **MonSolar.** <https://www.monsolar.com/inversor-solar-huawei-sun2000-4-6kw.html>. [En línea]
53. **GasFrío&Calor.** Bomba de calor de ACS Aquatermic HT 100, 100 kW de potencia calorífica, 86000 frigorías, 62 dB, refrigerante R744, COP 4. [En línea]
54. **Boyacá.** Gas, Frío & Calor. https://gasfriocalor.com/bomba-de-calor-de-acs-aquatermic-ht-100?utm_campaign=ads&utm_source=cpc&utm_medium=shopping&utm_content=16506471259&gclid=CjwKCAjw-70lBhB8EiwAnoOEK6H7yVBnhCUmmPIU3BsCodkSUtCMDJTzyjiCx5w2ILNGFG85lz9IkRoCuBEQAvD_BwE. [En línea]

55. **Climatización, Material Eléctrico y.**
https://materialelectricoyclimatizacion.com/aeroterminia/53555795-26165-bomba-de-calor-aeroterminia-monobloc-au082fycrahw-atw-mono-5713516kw-haier.html?gclid=CjwKCAjw-70IBhB8EiwAnoOEk6PLpI3Fquih3bfHNG_rlm9enD14e0JrgiEluXsaOCBGYeUQ_Prcch oC6IoQAvD_BwE#/potencia. [En línea]
56. **habitissimo.** <https://www.habitissimo.es/presupuestos/mantenimiento-calefaccion>. [En línea]
57. **PrecioGas.** <https://preciogas.com/instalaciones/equipamiento/radiadores/baja-temperatura>. [En línea]
58. <https://reformasintegrales10.com/aislamiento/fachadas-sate-precios/>. [En línea]
59. **Reformasintegrales10.** <https://reformasintegrales10.com/aislamiento/fachadas-sate-precios/>. [En línea]
60. **habitissimo.** <https://www.habitissimo.es/presupuestos/ventanas-doble-cristal>. [En línea]
61. **Merlin, Leroy.** <https://www.leroymerlin.es/ideas-y-consejos/estancias/inspiracion-para-toda-casa/cambio-de-ventanas-para-ahorrar-y-reducir-el-consumo-de-energia.html#:~:text=Con%20las%20nuevas%20ventanas%20se%20consigue%20un%20ahorro%20del%2035,%2C%20tipo%20de%20apertura>. [En línea]
62. **MrWatt.** <https://www.mrwatt.eu/es/content/comparacion-entre-bombillas>. [En línea]
63. **Endesa.** <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/como-funciona-cuanto-duran-led#:~:text=Las%20tradicionales%20bombillas%20incandescentes%20forman,llegar%20a%20las%203.000%20horas>. [En línea]

64. ecológica, Ministerio transición. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-refuerza-los-programas-de-ayuda-para-el-autoconsumo-el-almacenamiento-y-las-instalaciones-termicas-con-renovables/tcm:30-540440>. [En línea] 2023.
65. ecológica, Ministerio de transición. <https://www.idae.es/noticias/beneficios-fiscales-en-el-irpf-para-la-implantacion-de-energias-renovables-termicas>. [En línea] 2022.
66. Selectra. <https://selectra.es/autoconsumo/info/normativa/impuesto-sol>. [En línea] 2020.
67. Unidas, Naciones. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>. [En línea]
68. —. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>. [En línea]
69. —. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>. [En línea]
70. (ine.es), Proporción de personas mayores de cierta edad por comunidad autónoma(1451).
71. habitissimo. <https://www.habitissimo.es/presupuestos/mantenimiento-calefaccion>. [En línea]

ANEXO A

Ficha Técnica BOMBA DE CALOR AEROTERMIA MONOBLOC AU082FYCRA(HW) ATW-MONO 5/7/13,5/16KW HAIER

AU052FYCRA(HW)			AU052FYCRA(HW)	AU082FYCRA(HW)	AU112FYCRA(HW)	AU162FYCRA(HW)
TARIFA (PVR SIN IVA)			2.990 €	3.150 €	4.700 €	5.300 €
Enfriamiento*	Capacidad	kW	5.00	5.50	11.5	14.5
	Potencia absorbida	kW	1.00	2.34	3.83	4.92
Enfriamiento**	Capacidad	kW	5.00	7.00	13.5	16.0
	Potencia absorbida	kW	1.56	2.06	2.94	3.64
Calefacción***	Capacidad	kW	5.00	7.50	10.5	15.0
	Potencia absorbida	kW	0.99	2.34	3.37	4.62
Calefacción****	Capacidad	kW	5.00	7.80	11.0	16.0
	Potencia absorbida	kW	1.64	1.77	2.61	3.86
EER*			5.00	2.35	3.00	2.95
EER**			3.20	3.40	4.60	4.40
COP***			5.05	3.20	3.12	3.25
COP****			3.05	4.40	4.22	4.15
Alimentación		Fase-V-Hz	1-220/240-50/60	1-220/240-50/60	1-220/240-50/60	1-220/240-50/60
Caudal de aire unidad exterior		m ³ /h	3200	4200	7200	7200
Potencia sonora unidad exterior		dB(A)	59.0	60.9	62.7	67.4
Caudal de agua		m ³ /h	0.85	1.38	1.89	2.75
Dimensiones netas (An.xAl.xFo.)		mm	950x965x395	950x965x395	950x1490x380	950x1490x380
Dimensiones brutas (An.xAl.xFo.)		mm	1045x890x488	1010x990x458	1010x1520x458	1010x1520x458
Peso neto/bruto		kg	69/80	87/90	139/142	139/142
Refrigerante	Tipo		R32	R32	R32	R32
	Carga de fábrica	kg	1.05	1.15	2.40	2.60
Diámetro tubería agua		Entrada/salida	pulg. 3/4"	1-1/4"	1-1/4"	1-1/4"
Rango de temperatura ambiente			Enfriamiento: 10-46; Calefacción: -20-35 (Se debe añadir anticongelante por debajo de 5)			
Rango de temperatura de salida de agua			Enfriamiento: 5-20; Calefacción: 20-55			

ANEXO B

Ficha Técnica Aerotermia Wolf MHA 55C

Ficha técnica

Modelo	MHA	45C	50C	55C	65C	80C
Clasificación energética baja temperatura		A+	A+	A+	A+	A+
Clasificación energética baja temperatura ¹		A++	A++	A+	A++	A++
Potencia de calefacción - (A7/W35) AC-EC ¹	kW	41 - 46	46 - 48	55	61 - 64	80 - 84
COP UNE-EN 14511 - (A7/W35) AC-EC ¹		4,8 - 4,9	4,6 - 5,1	5,2	4,8 - 5,2	4,7 - 5,1
Potencia de calefacción - (A7/W55) AC-EC ¹	kW	36 - 39	40 - 41	47	52 - 55	69 - 71
COP UNE-EN 14511 - (A7/W55) AC-EC ¹		2,7 - 2,8	2,7 - 3	3,1	2,7 - 3	2,7 - 2,8
Potencia de refrigeración (A35/W18) AC-EC ¹	kW	43 - 46	49 - 51	58	67 - 69	85 - 88
EER (A35/W18) - AC-EC ¹		3,9 - 4,5	3,9 - 4,5	4,6	4,5 - 5,1	3,9 - 4,4
Potencia de refrigeración (A35/W07) AC-EC ¹	kW	32 - 34	37 - 38	44	50 - 51	64 - 66
EER (A35/W07) - AC-EC1		2,9 - 3,4	3 - 3,5	3,6	3,3 - 3,8	2,9 - 3,3
Presión sonora ³ (motor ventilador serie ⁵ y aislamiento CST & AX)	dB(A)	60 - 54	55 - 49	50	56 - 53	60 - 57
Presión sonora ³ (motor EC1 y aislamiento CAP ² & AX)	dB(A)	56 - 46	51 - 40	42	51 - 44	56 - 49
Calefacción: Límites funcionamiento (T ³ exterior / T ³ impulsión) ⁴	°C	-10 a 30 / 30 a 55		-10 a 35 / 30 a 55		
Refrigeración: Límites funcionamiento (T ³ exterior / T ³ impulsión) ⁴	°C	-5 a 48 °C / 23 a -10 (< 5 con acc. y MEG)				
Refrigerante de serie / Refrigerante de Retrofit directo ⁶		R410A / -		R-410A / R-452B		

ANEXO C

Ficha Técnica Bomba de calor de ACS Aquatermic HT 100:

Ficha Técnica

Bombas de Calor - Potencia Kw	100
Bombas de Calor - Potencia Frigorias	86000
Bombas de Calor - Tipo	Monobloc
Bombas de Calor - Clase energética	A
Bombas de Calor - Alto unidad interior mm	2400
Bombas de Calor - Peso unidad interior Kg	1350
Bombas de Calor - Nivel sonoro unidad interior db	62
Bombas de Calor - Referencia ud interior	3IEE0003
Bombas de Calor - COP	4.00
Bombas de Calor - ACS	Si

Modelos			HT 18	HT 24	HT 48	HT 100
Códigos			3IEE0001	3IEE0000	3IEE0002	3IEE0003
Dimensiones	Ancho	mm	1100	1410	2220	2810
	Profundo	mm	800	960	960	1250
	Alto	mm	1880	1860	1860	2400
Espacio necesario para mantenimiento	A	m	1	1	1	1
	B	m	1	1	1	1
	C	m	1,5	1,5	1,5	1,5
	E	m	1,5	1,5	1,5	1,5
Presión Sonora*	A 5 (m)	dB	50	55	59	61
	A 10 (m)	dB	44	49	53	55
Kit Hidráulico (gas cooler)**	Modelo Bomba [†]		Wilo-Stratos-Z 25/1-8	Wilo-Stratos-Z 25/1-12	Wilo-Stratos-Z 25/1-12	Wilo-Stratos-Z 40/1-12
	Diámetro entrada	diámetro	1	1-1/4 HEMBRA	1-1/2 HEMBRA	2
	Diámetro salida	diámetro	1	1-1/4 HEMBRA	1-1/2 HEMBRA	2
	P.nominal	bar	6	6	6	6
	P.bomba	mH ₂ O	8,1	11,6	11,7	16
	Δp.bomba	mH ₂ O	3,6	4,8	4,4	9
	P.disponible Bomba	mH ₂ O	4,5	6,8	7,3	7
Caudal Agua	l/h	490	770	1450	3285	
Kit Hidráulico (Recuperador De Frío)***	Modelo Bomba [†]		no disponible	no disponible	Wilo-STG 40-15	Wilo-IPE40-130/2,2-2
	Diámetro entrada	diámetro	no disponible	no disponible	2	4
	Diámetro salida	diámetro	no disponible	no disponible	2	4
	P.nominal Circuito	bar	no disponible	no disponible	6	6
	P.bomba	mH ₂ O	no disponible	no disponible	13,2	21
	Δp.bomba	mH ₂ O	no disponible	no disponible	6,2	12
	P.disponible Bomba	mH ₂ O	no disponible	no disponible	7	9
Caudal Agua	l/h	no disponible	no disponible	8565	19090	