



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Estudio de ahorro energético y climatización de una casa en el entorno rural del Parque Nacional De Cabañeros

Javier Oraa Fernández de Mesa

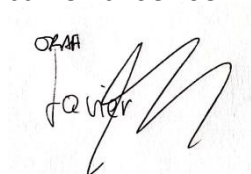
Director: Iñigo Sanz Fernández

Madrid

Julio 2024

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Estudio de ahorro energético y climatización de una casa en el entorno rural del Parque
Nacional de Cabañeros
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2023/24 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.: Francisco Javier Oraa Fernández de Mesa Fecha: 29/ 08/ 2024



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Iñigo Sanz Fernández Fecha://

ESTUDIO DE AHORRO ENERGÉTICO Y CLIMATIZACIÓN DE UNA CASA EN EL ENTORNO RURAL DEL PARQUE NACIONAL DE CABAÑEROS

Autor: Oraa Fernández de Mesa, Francisco Javier.

Director: Sanz Fernández, Iñigo.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El proyecto se centra en analizar y dimensionar las tecnologías más eficientes para la climatización y el suministro energético de una vivienda ubicada en un entorno rural sin conexión a la red eléctrica. Se evaluaron tres tecnologías principales de climatización: la geotermia, la aerotermia y la caldera de pellets, considerando su capacidad de mantener la temperatura interior en diferentes épocas del año y su eficiencia energética. El estudio incluyó también el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica para asegurar la autosuficiencia eléctrica de la vivienda. Los resultados demostraron que la tecnología aerotérmica, combinada con una adecuada instalación fotovoltaica, ofrece el menor costo nivelado de calor (LCOH) y la mejor eficiencia energética, haciéndola la opción más viable y sostenible para el proyecto.

Palabras clave: Climatización, autosuficiencia energética, aerotermia, geotermia, bomba de calor, caldera de pellets, eficiencia energética, energía renovable, fotovoltaica, LCOH.

1. Introducción

La eficiencia energética es un aspecto fundamental en el diseño y operación de viviendas modernas, especialmente en entornos rurales donde la conexión a la red eléctrica puede ser inexistente o costosa. En este contexto, la autosuficiencia energética no solo se convierte en una necesidad, sino también en una oportunidad para implementar tecnologías renovables que reduzcan el impacto ambiental.

La climatización, como uno de los principales consumidores de energía en una vivienda, juega un papel crucial en el confort y la habitabilidad de los espacios, particularmente en climas extremos. Este proyecto se desarrolla en el entorno rural del Parque Nacional de Cabañeros, un área donde la naturaleza predomina y donde las soluciones tradicionales de suministro energético son inviables debido a la ausencia de conexión a la red eléctrica. Esto motiva la búsqueda de soluciones innovadoras y autosuficientes para garantizar el confort térmico y la sostenibilidad de la vivienda.

2. Definición del proyecto

El fin del proyecto consiste en identificar y dimensionar las tecnologías más eficientes para la generación eléctrica y la climatización de una vivienda ubicada en un entorno rural aislado, la cual era necesaria estudiar, ya que sus dimensiones, así como los diferentes consumos eléctricos y cargas térmicas definen el proyecto.

Se plantearon varios objetivos específicos: en primer lugar, seleccionar la tecnología de climatización que consuma menos energía mientras mantiene la comodidad interior de la vivienda. Estas tecnologías son la climatización a través de bombas de calor geotérmica, aerotérmica y la opción de energía renovable de caldera de pellets. Cada tecnología con sus ventajas técnicas, eficiencias y condiciones óptimas de uso.

En segundo lugar, asegurar la autosuficiencia energética mediante la instalación de paneles solares que aprovechen la alta radiación solar disponible en la región. Está muy relacionado con el primero, ya que define el consumo energético y por lo tanto la generación, que en este proyecto se decidió como optima la solar-fotovoltaica.

Finalmente, realizar un análisis económico para determinar la viabilidad y sostenibilidad financiera del proyecto, evaluando las diferentes opciones de climatización y generación eléctrica en términos de costos de instalación y operación. Donde se estudió el LCOH, que permite la comparación de las diferentes las instalaciones, que relaciona la inversión y otros costes con el consumo térmico.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

En el cálculo de las cargas térmicas se usa el Programa Clima, proporcionado por ATECYR (“Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración”) y la Universidad Politécnica de Valencia. Esta herramienta permite dimensionar la vivienda y las envolventes térmicas de la vivienda como muros exteriores, interiores, cerramientos, suelos y ventanas, junto con la generación de cargas internas como pueden ser las luces y las que son resultado de las actividades de los habitantes de la vivienda.

El programa devuelve las cargas térmicas mensuales, así como las cargas térmicas del día más crítico en calefacción (21 de enero), como en refrigeración (21 de julio), que permitirá dimensionar las bombas de calor y caldera para el momento de máxima demanda térmica.

Para el resto de los cálculos como la viabilidad económica, se usa la herramienta Microsoft Excel, que permite cálculos rápidos con la generación de graficas y tablas que permitan demostrar mejor los resultados.

4. Resultados

El estudio comenzó con un análisis detallado de los consumos eléctricos de la vivienda, de 308 kWh mensuales constantes a lo largo del año por la ausencia de la climatización, seguido por el cálculo de las cargas térmicas necesarias para mantener la temperatura deseada en diferentes estaciones del año, 19835.0 kWh. Como carga térmica puntual máxima, se obtiene -13.63 kWt en calefacción y 12.01 en refrigeración.

Esto permite se dimensionar la climatización de las viviendas, que como mínimo deberán de superar los 13.63 kWt de cargas térmicas en invierno. En la tecnología geotérmica, se escoge la bomba de calor Vaillant flexoTHERM exclusive 15, con capacidad de generar una potencia calorífica de 15.3 kWt, con un COP de 4.8 y un EER de 3.9, lo que la hace muy eficiente.

En la tecnología aerotérmica, se elige la EAS ETH16VA, de 16 kWt de capacidad térmica, aunque con un COP y EER más bajos, pero con una inversión menor. Para la caldera de pellets, que solo permite calefacción, se escoge la Maxlor Boiler 16, con una eficiencia de hasta el 91.5%. Cada una fue evaluada en términos de su eficiencia, consumo eléctrico, y su capacidad para integrarse con un sistema fotovoltaico diseñado para garantizar la autosuficiencia energética de la vivienda.

Comparación de resultados	Consumo anual (kWh o kg)	Nº Paneles	Inversión	LCOH
Vaillant flexoTHERM	4430.1	30	49,833.67 €	0.161
EAS ETH16VA	4853.2	32	32,286.44 €	1.103
Maxlor Boiler 16	3122.7	10	55,155.44 €	0.229

Los resultados mostraron que, aunque todas las tecnologías tienen sus méritos, la aerotermia EAS ETH16VA se destacó como la opción más eficiente y con el menor costo nivelado de calor (LCOH), especialmente cuando se combinó con una instalación fotovoltaica adecuadamente dimensionada.

5. Conclusiones

El proyecto ha demostrado que es posible alcanzar la autosuficiencia energética en una vivienda rural utilizando tecnologías de climatización y generación eléctrica eficientes y sostenibles. La tecnología aerotérmica, con el respaldo de un sistema fotovoltaico bien diseñado, se confirmó como la solución más viable para el entorno de "El Larial".

Esta combinación no solo garantiza un suministro energético constante y eficiente, sino que también minimiza el impacto ambiental y reduce los costos operativos a largo plazo. Con este enfoque, la vivienda no solo cumple con los estándares de confort y habitabilidad, sino que también contribuye significativamente a la sostenibilidad y a la mitigación del cambio climático, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

STUDY OF ENERGY SAVINGS AND AIR CONDITIONING OF A COUNTRY HOUSE IN THE RURAL ENVIRONMENT OF CABAÑEROS NATIONAL PARK

Author: Oraa Fernández de Mesa, Francisco Javier.

Supervisor: Sanz Fernández, Iñigo.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

The project focuses on the analysis and sizing of the most efficient technologies for the air conditioning and energy supply of a house located in a rural environment without connection to the electricity grid. Three main air conditioning technologies were evaluated: geothermal, aerothermal and pellet boiler, considering their ability to maintain the indoor temperature at different times of the year and their energy efficiency. The study also included the sizing of a photovoltaic system to ensure the electrical self-sufficiency of the house. The results showed that the aerothermal technology, combined with an adequate photovoltaic installation, offered the lowest levelized cost of heat (LCOH) and the best energy efficiency, making it the most viable and sustainable option for the project.

Keywords: Air conditioning, energy self-sufficiency, aerothermal, geothermal, heat pump, pellet boiler, energy efficiency, renewable energy, photovoltaic, LCOH.

1. Introduction

Energy efficiency is a fundamental aspect in the design and operation of modern housing, especially in rural environments where grid connection may be non-existent or costly. In this context, energy self-sufficiency becomes not only a necessity, but also an opportunity to implement renewable technologies that reduce environmental impact.

Air conditioning, as one of the main energy consumers in a house, plays a crucial role in the comfort and livability of spaces, particularly in extreme climates. This project is developed in the rural environment of the Cabañeros National Park, an area where nature predominates and where traditional energy supply solutions are unfeasible due to the lack of connection to the electricity grid. This motivates the search for innovative and self-sufficient solutions to guarantee the thermal comfort and sustainability of the house.

2. Project definition

The purpose of the project is to identify and size the most efficient technologies for power generation and air conditioning of a house located in an isolated rural environment, which needed to be studied, since its dimensions, as well as the different electrical consumptions and thermal loads define the project.

Several specific objectives were set: first, to select the HVAC technology that consumes the least energy while maintaining the indoor comfort of the house. These technologies are air conditioning through geothermal heat pumps, aerothermal and the renewable energy option of pellet boiler. Each technology with its technical advantages, efficiencies and optimal conditions of use.

Secondly, ensuring energy self-sufficiency by installing solar panels that take advantage of the high solar radiation available in the region. It is closely related to the first one, since it defines the energy consumption and therefore the generation, which in this project was decided as optimal solar-photovoltaic.

Finally, an economic analysis was carried out to determine the feasibility and financial sustainability of the project, evaluating the different options for air conditioning and electricity generation in terms of installation and operating costs. The LCOH was studied, which allows the comparison of the different installations, relating the investment and other costs with the thermal consumption.

3. Model/ system / tool's description

The Clima Program, provided by ATECYR (“Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración”) and the Universidad Politécnica de Valencia, was used to calculate the thermal loads. This tool allows sizing the house and the thermal envelopes of the house such as exterior walls, interior walls, enclosures, floors and windows, along with the generation of internal loads such as lights and those resulting from the activities of the inhabitants of the house.

The program returns the monthly thermal loads, as well as the thermal loads of the most critical day for heating (January 21) and cooling (July 21), which will allow sizing the heat pumps and boiler for the moment of maximum thermal demand.

For the rest of the calculations, such as the economic feasibility, the Microsoft Excel tool is used, which allows quick calculations with the generation of graphs and tables to better demonstrate the results.

4. Results

The study began with a detailed analysis of the electrical consumption of the house, 308 kWh per month constant throughout the year due to the absence of air conditioning, followed by the calculation of the thermal loads necessary to maintain the desired temperature in different seasons of the year, 19835.0 kWh. The maximum point thermal load is -13.63 kWh for heating and 12.01 kWh for cooling.

This allows sizing the air conditioning of the houses, which must at least exceed the 13.63 kWh of thermal loads in winter. In geothermal technology, the Vaillant flexoTHERM exclusive 15 heat pump was chosen, with the capacity to generate a heating capacity of 15.3 kWh, with a COP of 4.8 and an EER of 3.9, which makes it very efficient.

In the aerothermal technology, the EAS ETH16VA is chosen, with 16 kWh of thermal capacity, although with a lower COP and EER, but with a lower investment. For the pellet boiler, which only allows heating, the Maxlor Boiler 16 is chosen, with an efficiency of up to 91.5%. Each was evaluated in terms of its efficiency, electricity consumption, and its ability to be integrated with a photovoltaic system designed to ensure the energy self-sufficiency of the house.

Comparisson of results	Annual consumption (kWh or kg)	Nº Panels	Investment	LCOH
Vaillant flexoTHERM	4430.1	30	49,833.67 €	0.161
EAS ETH16VA	4853.2	32	32,286.44 €	1.103
Maxlor Boiler 16	3122.7	10	55,155.44 €	0.229

The results showed that, although all technologies have their merits, the EAS ETH16VA aerothermal heatpump stood out as the most efficient option with the lowest levelized cost of heat (LCOH), especially when combined with a properly sized photovoltaic installation.

5. Conclusions

The project has demonstrated that it is possible to achieve energy self-sufficiency in a rural dwelling using efficient and sustainable HVAC and power generation technologies. Aerothermal technology, supported by a well-designed photovoltaic system, was confirmed as the most viable solution for the “El Larial” environment.

This combination not only ensures a constant and efficient energy supply, but also minimizes environmental impact and reduces long-term operating costs. With this approach, the house not only meets comfort and livability standards, but also contributes significantly to sustainability and climate change mitigation, aligning with the Sustainable Development Goals.

Tabla de contenido

Capítulo 1. Aproximación al problema	19
1.1 Antecedentes Generales	19
1.2 Motivación	21
1.3 Objetivos	22
Capítulo 2. Condiciones de contorno y perspectiva energética	25
2.1 Normativa aplicable	25
2.1.1 Antecedentes del proyecto	25
2.1.2 Legislación eléctrica	26
2.1.3 Legislación medioambiental	27
2.1.4 Legislación urbanística	27
2.2 Localización	27
2.2.1 Vivienda	28
2.2.2 Aprovechamiento de energía solar	32
2.2.3 Aprovechamiento de energía geotérmica	36
2.2.4 Aprovechamiento de la energía para bombas de calor	38
Capítulo 3. Estado del arte	40
3.1 Tecnología de bombas de calor	40
3.1.1 Tipos de bomba de calor	40
3.1.2 Funcionamiento de las bombas de calor	41
3.1.3 Aplicaciones en calefacción y refrigeración	42
3.1.4 Tecnología de bombas de calor escogida	43
3.2 Tecnología de climatización geotérmica	45
3.2.1 Tipos de instalaciones geotérmicas	46
3.2.2 Aplicaciones de las instalaciones geotérmicas	48
3.2.3 Tecnología geotérmica escogida	49
3.2.4 Elementos que componen una climatización geotérmica	50
Capítulo 4. Dimensionamiento energético	54
4.1 Cálculo de consumos	54
Capítulo 5. Dimensionamiento térmico	57
5.1 Condiciones de la vivienda	57
5.1.1 Condiciones exteriores	57
5.1.2 Condiciones interiores	58

5.2 Envolverte térmica	59
5.2.1 Elementos opacos.....	60
5.2.2 Elementos traslucidos	61
5.2.3 Cargas internas.....	61
5.3 Resultados de cargas térmicas	62
5.3.1 Refrigeración	62
5.3.2 Calefacción	65
5.3 Resumen anual y mensual	68
Capítulo 6. Dimensionamiento geotérmico	71
6.1 Elección de la bomba de calor geotérmica.....	71
6.2 Consumo eléctrico máximo	73
6.3 Consumo eléctrico mensual	73
Capítulo 7. Dimensionamiento aerotérmico.....	75
7.1 Elección de la bomba de calor aerotérmica	75
7.2 Consumo eléctrico máximo	76
7.3 Consumo eléctrico mensual.....	77
Capítulo 8. Dimensionamiento de caldera de pellets	79
8.1 Elección de la caldera	79
8.2 Consumo de pellets máximo	80
8.3 Consumo de pellets mensual	80
Capítulo 9. Dimensionamiento de generación solar.....	82
9.1 Elección de placas solares	82
9.2 Generación solar con geotermia	83
9.2.1 Calculo de demanda eléctrica con geotermia	83
9.2.2 Dimensionamiento de placas solares con geotermia	84
9.2.3 Instalación total solar con geotermia	85
9.3 Generación solar con aerotermia.....	86
9.3.1 Calculo de demanda eléctrica con aerotermia	86
9.3.2 Dimensionamiento de placas solares con aerotermia	87
9.3.3 Instalación total solar con aerotermia	88
9.4 Generación solar con caldera de pellets.....	88
9.4.1 Calculo de demanda eléctrica con caldera de pellets	88
9.4.2 Dimensionamiento de placas solares con caldera de pellets	90

9.3.3 Instalación total solar con caldera de pellets	90
Capítulo 10. Estudio económico	91
10.1 Viabilidad económica de la climatización geotérmica	92
10.2 Viabilidad económica de la climatización aerotérmica	93
10.3 Viabilidad económica de la caldera de pellets	94
Capítulo 11. Conclusiones	96
Capítulo 12. Bibliografía	98
ANEXO	101

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Referencia Catastral Parcela 7703. 13049A005077030000HR (Fuente: Sede Electrónica del Catastro) [22].....	25
Ilustración 2: Referencia Catastral Parcela 7704. 13049A005077040000HD (Fuente: Sede Electrónica del Catastro) [22].....	26
Ilustración 3: Referencia Catastral Parcela 7707. 13049A005077070000HJ (Fuente: Sede Electrónica del Catastro) [22].....	26
Ilustración 4: Localización de la futura vivienda (Fuente: Google Maps) [21]	28
Ilustración 5: Finca "El Larial" (Fuente: Sede Electrónica del Catastro) [22].....	29
Ilustración 6: mapa de radiación solar (Fuente: Sergio de Soto) [23].....	33
Ilustración 7: Radiación solar a lo largo del año en Retuerta del Bullaque (Fuente: Weather Spark) [1]	34
Ilustración 8: Horas de luz en Retuerta del Bullaque a lo largo del año (Fuente: Weather Spark) [1]	34
Ilustración 9: Probabilidad de nubosidad en Retuerta del Bullaque a lo largo del año (Fuente: Weather Spark) [1]	35
Ilustración 10: Mapa de potencia térmica superficial en Castilla la Mancha (Fuente: IDAE) [2] ..	37
Ilustración 11: temperatura máxima y mínima en Retuerta del Bullaque (Fuente: Weather Spark) [1]	38
Ilustración 12: Ejemplo de climatización con bomba de calor (fuente: OCU Inmobiliario) [5]...	41
Ilustración 13: Ejemplo de reversibilidad de la bomba de calor (Fuente: Ecosistemas del Sureste) [24]	43
Ilustración 14: Calefacción por aerotermia (Fuente: Ogrados) [8]	44
Ilustración 15: Suelo radiante en vivienda (Fuente: Consolidaciones y contratas) [9]	45
Ilustración 16: Vivienda con geotérmica de baja temperatura (Fuente: Geotermia vertical) [25]	46
Ilustración 17: Geotérmica de baja temperatura (Fuente: Groen Energy) [26]	47
Ilustración 18: Geotermia de alta temperatura (Fuente: CanalTic) [28].....	48
Ilustración 19: Intercambiador Vertical (Fuente: Técnicas Reunidas) [28]	50
Ilustración 20: Intercambiador Vertical (Fuente: Técnicas Reunidas) [28]	51
Ilustración 21: Gráfica de consumo térmico en refrigeración a 21 de julio (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13].....	64
Ilustración 22: Gráfica de consumo térmico en calefacción a 21 de enero (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13].....	67
Ilustración 23: Demanda térmica mensual del edificio (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13] ..	69
Ilustración 24: Geotermia flexoTHERM Exclusive VWF 157/4 [17]	72
Ilustración 25: Gráfica de consumo eléctrico de instalación geotérmica (Fuente: Elaboración propia)	73
Ilustración 26: Aerotermia EAS M-THERMAL 2 ETH16VA [18].....	76
Ilustración 27: Gráfica de consumo eléctrico de instalación aerotermia (Fuente: Elaboración propia)	77
Ilustración 28: Caldera de pellets Maxlor Boiler (Fuente: Grupo RP) [19].....	79

Ilustración 29: Gráfica de consumo de pellets de instalación con caldera (Fuente: Elaboración propia)	81
Ilustración 30: JASolar 550W (Fuente: AutoSolar) [20].....	82
Ilustración 31: Demanda eléctrica total con geotermia (Fuente: Elaboración propia).....	84
Ilustración 32: Demanda eléctrica total con aerotermia (Fuente: Elaboración propia)	87
Ilustración 33: Demanda eléctrica total con caldera de pellets (Fuente: Elaboración propia)...	89

Índice de Tablas

Tabla 1: Referencias catastrales de las parcelas (Fuente: Elaboración propia)	25
Tabla 2: Distribución de la vivienda de El Larial (Fuente: Elaboración propia)	31
Tabla 3: Capacidad de extracción de calor de las rocas (Fuente: IDAE) [2]	37
Tabla 4: Datos históricos del tiempo en Horcajo de los Montes (Fuente: Climate Data) [3].....	39
Tabla 5: Consumos eléctricos de la vivienda de El Larial (Fuente: Elaboración propia)	54
Tabla 6: Climatología de la estación de Ciudad Real (Fuente: IDAE) [11]	58
Tabla 7: Condiciones interiores de diseño (Fuente: RITE) [12]	58
Tabla 8: Composición de los cerramientos (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13]	60
Tabla 9: Valor límite de la transmitancia en muros (Fuente: Documento Básico HE) [14].....	61
Tabla 10: Cargas internas térmica de la vivienda (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13].....	62
Tabla 11: Potencias térmicas de la vivienda en refrigeración (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13]	63
Tabla 12: Resumen de cargas en refrigeración (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13]	65
Tabla 13: Potencias térmicas de la vivienda en calefacción (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13]	66
Tabla 14: Resumen de cargas en calefacción (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13].....	68
Tabla 15: Resumen de cargas térmicas mensuales del edificio (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13].....	70
Tabla 16: Valores máximos de carga térmica (Fuente: Elaboración propia)	70
Tabla 17: Valores de ficha técnica de FlexoTHERM VWF 157/4 (Fuente: Elaboración propia) .	72
Tabla 18: Resumen de consumo eléctrico mensual con geotermia (Fuente: Elaboración propia)	74
Tabla 19: Valores de ficha técnica de EAS ETH16VA (Fuente: Elaboración propia).....	75
Tabla 20: Resumen de consumo eléctrico mensual con aerotermia (Fuente: Elaboración propia)	77
Tabla 21: Valores de ficha técnica de Maxlor Boiler Mod16 (Fuente: Elaboración propia)	79
Tabla 22: Resumen de consumo eléctrico mensual con caldera (Fuente: Elaboración propia)	81
Tabla 23: Valores de ficha técnica de JAM72S30 525-550/MR (Fuente: Elaboración propia) ...	82
Tabla 24: Consumo eléctrico total con geotermia (Fuente: Elaboración propia)	83
Tabla 25: Consumo eléctrico total con aerotermia (Fuente: Elaboración propia).....	86
Tabla 26: Consumo eléctrico total con caldera de pellets (Fuente: Elaboración propia)	89
Tabla 27: Presupuesto de la instalación geotérmica	92
Tabla 28: Presupuesto de la instalación aerotérmica	93
Tabla 29: Presupuesto de la instalación con caldera de pellets	95

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: COP en calefacción.....	71
Ecuación 2: EER en refrigeración.....	71
Ecuación 3: Aproximamiento de potencia eléctrica consumida.....	71
Ecuación 4: Consumo eléctrico máximo con geotermia en invierno.....	73
Ecuación 5: Consumo eléctrico máximo con geotermia en verano.....	73
Ecuación 6: Consumo eléctrico máximo con aerotermia en invierno	76
Ecuación 7: Consumo eléctrico máximo con aerotermia en verano	76
Ecuación 8: Consumo de pellets máximo.....	80
Ecuación 9: Potencia generada por panel.....	85
Ecuación 10 Potencia generada por panel en enero	85
Ecuación 11: Número de paneles en enero	85
Ecuación 12: Potencia generada por panel en julio	85
Ecuación 13: Número de paneles en julio.....	85
Ecuación 14: Potencia generada por panel en enero	87
Ecuación 15: Número de paneles en enero	87
Ecuación 16: Potencia generada por panel en julio	88
Ecuación 17: Número de paneles en julio.....	88
Ecuación 18: Potencia generada por panel en enero	90
Ecuación 19: Número de paneles en enero	90
Ecuación 20: LCOH, Coste Nivelado del Calor	91

Capítulo 1. Aproximación al problema

1.1 Antecedentes Generales

La generación eléctrica y su utilización han sido uno de los grandes descubrimientos de la humanidad, permitiendo realizar grandes avances en la investigación, crecimiento de la economía mundial, reducción de la pobreza, y elevando los niveles de vida y comodidad en todo el mundo. Por esto, se considera básica para la subsistencia de la sociedad y un mínimo necesario para la promoción de una persona o familia.

A nivel de vivienda, la electricidad es fundamental para una variedad de actividades esenciales. Desde la cocina, que va desde calentar comida con el microondas hasta el uso de hornos para preparar alimentos, la iluminación, que permite estar activo más allá de las horas de luz solar. La conexión a la red de telecomunicaciones, como televisión, radio, y smartphones, también depende de la electricidad. Sin embargo, la climatización es la que verdaderamente marca la diferencia en la habitabilidad, ya que permite a las personas mantenerse cómodas en climas desfavorables y puedan continuar con sus actividades diarias. La climatización adecuada asegura que una vivienda sea habitable y funcional durante todo el año.

Históricamente, la generación de electricidad ha dependido en gran medida de fuentes de energía tradicionales como el carbón, el petróleo y el gas natural. Sin embargo, estas fuentes tienen un impacto ambiental significativo y son finitas. En contraste, las fuentes de energía renovable, como la solar, eólica, hidráulica y geotérmica, ofrecen una alternativa más sostenible. La transición hacia estas fuentes renovables es crucial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y combatir el cambio climático.

La red eléctrica nacional permite que gran parte del territorio y población esté conectado permanentemente a una fuente de electricidad, pero no es total. Es por eso por lo que, en algunas zonas, ya sea por la orografía para llevar líneas eléctricas o por el elevado coste que le conlleva a un particular a traerlas, es necesario encontrar una solución de autoabastecimiento y autoconsumo.

El concepto de autoconsumo aislado se refiere a la capacidad de una vivienda para generar y consumir su propia energía de manera independiente de la red eléctrica. Esto es especialmente relevante en áreas rurales o remotas donde la conexión a la red puede ser poco fiable o inexistente. El autoconsumo aislado no solo proporciona una solución práctica para estas situaciones, sino que también

promueve la autosuficiencia y la sostenibilidad, al reducir la dependencia de fuentes de energía externas.

El entorno natural ofrece diversas oportunidades para la generación de energía. La utilización de recursos locales, como la energía solar o geotérmica, permite aprovechar al máximo las condiciones ambientales específicas de una región. Esto no solo reduce los costos energéticos a largo plazo, sino que también minimiza el impacto ambiental y fomenta una relación más armoniosa con el entorno natural.

En sitios aislados de la red eléctrica, es crucial implementar soluciones de generación autónoma. La energía solar, captada mediante paneles fotovoltaicos, o energía eólica, generada por aerogeneradores, son opciones viables y sostenibles. Para garantizar un suministro continuo de electricidad, especialmente durante periodos sin generación solar o eólica, es esencial el uso de baterías. Estas baterías almacenan el exceso de energía producido durante los periodos de alta generación y lo liberan cuando la producción es baja, asegurando así la autosuficiencia energética de la vivienda.

La climatización ha sido una preocupación esencial a lo largo de la historia, desde los métodos rudimentarios de calefacción en las antiguas civilizaciones hasta los avanzados sistemas de control climático actuales. Los sistemas de climatización han evolucionado significativamente, pasando de simples estufas y ventiladores a complejos sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) que regulan la temperatura y la calidad del aire en los edificios. Esta evolución ha mejorado enormemente la comodidad y la salud de las personas, permitiendo que las viviendas sean habitables en una amplia variedad de condiciones climáticas.

Los sistemas de climatización modernos incluyen una variedad de tecnologías, desde bombas de calor y sistemas geotérmicos hasta soluciones más tradicionales como calderas y sistemas de calefacción eléctrica. La eficiencia y efectividad de estos sistemas han mejorado con el tiempo, impulsadas por avances tecnológicos y una mayor conciencia sobre la importancia de la eficiencia energética. La adopción de tecnologías de climatización sostenibles no solo mejora el confort de los hogares, sino que también contribuye a la reducción del consumo energético y de las emisiones de carbono.

El futuro de la energía está marcado por un esfuerzo global para reducir la huella de carbono y combatir el cambio climático. Los países están adoptando diversas estrategias para alcanzar estos objetivos, incluyendo la implementación de normativas estrictas y la introducción de impuestos sobre las emisiones de carbono. Estas políticas buscan desalentar el uso de combustibles fósiles y

promover prácticas más sostenibles. Además, se están estableciendo incentivos económicos y subvenciones para fomentar la inversión en tecnologías de energía renovable, como la solar, eólica, y geotérmica. Programas de financiamiento están disponibles para empresas y particulares que opten por instalar sistemas de generación limpia. Estas medidas no solo buscan reducir las emisiones de CO₂, sino también asegurar un suministro energético sostenible y resiliente, impulsando un cambio hacia un futuro energético más limpio y eficiente.

Las energías renovables, aunque presentan numerosas ventajas, también pueden traer complicaciones cuando se utilizan en viviendas aisladas eléctricamente. Una de las principales dificultades es la intermitencia y variabilidad en la generación de energía. Por ejemplo, los paneles solares dependen de la luz solar, lo que significa que su eficiencia disminuye en días nublados o durante la noche, mientras que los aerogeneradores requieren viento constante para operar eficientemente. Esta dependencia de las condiciones climáticas puede llevar a periodos de escasa generación de energía, lo cual es problemático si no se cuenta con un sistema de almacenamiento adecuado, como baterías de alta capacidad.

Además, la instalación y mantenimiento de estos sistemas pueden ser costosos y requieren conocimientos técnicos especializados. La infraestructura necesaria para integrar diferentes fuentes de energía y asegurar un suministro constante también puede ser compleja y costosa. Por lo tanto, aunque las energías renovables son una opción sostenible y viable, es esencial planificar cuidadosamente y considerar estos desafíos para asegurar un funcionamiento eficiente y continuo en viviendas aisladas de la red eléctrica.

En resumen, la generación y uso eficiente de la electricidad, especialmente en el contexto de la climatización, es fundamental para el bienestar y la sostenibilidad de las viviendas modernas. Aprovechar el entorno natural y adoptar tecnologías renovables son pasos esenciales hacia la autosuficiencia energética y la protección del medio ambiente.

1.2 Motivación

La motivación para llevar a cabo este proyecto surge de la oportunidad de aplicar los conocimientos teóricos adquiridos durante la formación académica a un problema real y tangible. Este proyecto no solo permite abordar un desafío concreto, sino que también proporciona un contexto práctico donde se pueden poner a prueba y perfeccionar habilidades técnicas y constructivas.

Uno de los principales impulsos para la realización de este estudio es el reto que representa realizar estudios constructivos específicos, la selección y dimensionamiento de sistemas de climatización eficientes, que incluyen el análisis de diferentes tecnologías renovables. Este enfoque práctico exige un entendimiento de los conceptos técnicos y la capacidad de adaptarlos a situaciones reales, superando así los límites de lo aprendido en el aula.

La búsqueda de la autosuficiencia energética es otro factor clave en la motivación del proyecto. La posibilidad de diseñar un sistema que permita que la vivienda sea autoabastecida e independiente de la red eléctrica convencional, utilizando fuentes de energía renovable, no solo representa un avance hacia la sostenibilidad, sino también un importante paso en la reducción de la huella de carbono. La integración de energías renovables, como la solar, y climatización aerotérmica sin generación de CO₂, en un sistema autosuficiente es un desafío técnico que promete beneficios ambientales y económicos a largo plazo.

Además de estos aspectos técnicos y ambientales, existe un componente personal significativo en el proyecto. La implementación de este sistema en una futura casa de campo familiar añade una dimensión emocional y práctica. La idea de crear un espacio que no solo sea habitable y eficiente, sino que también aproveche los recursos naturales de manera sostenible, fortalece el vínculo con la propiedad y realza la importancia del proyecto a nivel personal. Este enfoque personaliza el proyecto, otorgándole un valor añadido que trasciende el ámbito puramente técnico.

1.3 Objetivos

El proyecto busca contestar a diferentes problemas y solucionar diferentes objetivos sobre la generación eléctrica, climatización y autoabastecimiento.

El primer objetivo es la búsqueda de la tecnología más eficiente para climatización, cuyo consumo eléctrico sea el mínimo para mantener la comodidad de la vivienda y reduzca el gasto en energía y en inversión. Se realizará un estudio geotérmico para evaluar el potencial del terreno como fuente de climatización y continuación, se analizará diferentes tipos de bombas de calor, con enfoque en la aerotermia para determinar su efectividad y eficiencia, consumo eléctrico y capacidad de mantener la temperatura en diferentes épocas del año. Además, se considera el uso de una caldera de pellets

como complemento o alternativa, evaluando su impacto y compatibilidad con las soluciones renovables.

Tras el cálculo de consumos eléctricos, ya que la climatización cubrirá la mayor parte, se tendrá como segundo objetivo obtener la generación eléctrica necesaria para la vivienda. Se aprovechará el recurso de la radiación solar, muy presente en España y en la ubicación de la vivienda, además de ser renovable. Con ella se obtendrá la producción de energía solar necesaria para cubrir necesidades de climatización y otros usos domésticos. También se dimensionará adecuadamente el sistema de paneles solares para asegurar una producción óptima. Y para garantizar la autosuficiencia eléctrica en días sin generación solar, se evaluará la capacidad de almacenamiento necesaria mediante el uso de baterías.

Finalmente se propondrá la mejor tecnología tras un estudio económico de las diferentes soluciones, a través de un análisis de costes de instalación y mantenimiento de las tecnologías de climatización y generación eléctrica. Se considerará factores como el ahorro energético y subvenciones disponibles para energías renovables. Determinar la viabilidad económica del proyecto y su sostenibilidad financiera para un particular.

El proyecto busca alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) al centrarse en la implementación de tecnologías eficientes y renovables para la climatización y generación eléctrica de una vivienda. A través de la búsqueda de la tecnología más eficiente y el uso de fuentes de energía como la solar y geotérmica, se promueve el acceso a una Energía Asequible y No Contaminante (ODS 7). Además, al evaluar el consumo y la producción de energía, y dimensionar adecuadamente los sistemas de generación y almacenamiento, el proyecto fomenta prácticas de Producción y Consumo Responsables (ODS 12).



La reducción de emisiones de CO₂ mediante el uso de energías renovables contribuye a la Acción por el Clima (ODS 13), mientras que el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y la minimización del impacto ambiental apoyan la gestión sostenible de la Vida de los Ecosistemas Terrestres (ODS 15).



En conjunto, este proyecto no solo busca mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad financiera de una vivienda, sino también contribuir significativamente a la mitigación del cambio climático y la protección del medio ambiente.

Capítulo 2. Condiciones de contorno y perspectiva energética

2.1 Normativa aplicable

2.1.1 Antecedentes del proyecto

Proyecto de ejecución vivienda unifamiliar situada en la Finca “El Larial”, dentro del término municipal de Horcajo de los Montes, provincia de Ciudad Real.

Las obras proyectadas son de promoción privada.

La finalidad del presente trabajo es la obtención de la licencia municipal de obra para la construcción y electrificación de una nueva vivienda unifamiliar situada en la finca “El Larial” dentro del municipio de Horcajo de la Sierra, en Ciudad Real.

La ubicación catastral de las parcelas tomadas como referencia para el desarrollo del presente proyecto básico, queda registrada en la Dirección General del Catastro con la siguiente referencia:

Tabla 1: Referencias catastrales de las parcelas (Fuente: Elaboración propia)

Parcela	Referencia Catastral	Superficie (m ²)
7703	13049A005077030000HR	12.959,45
7704	13049A005077040000HD	13.026,45
7707	13049A005077070000HJ	20.104,91

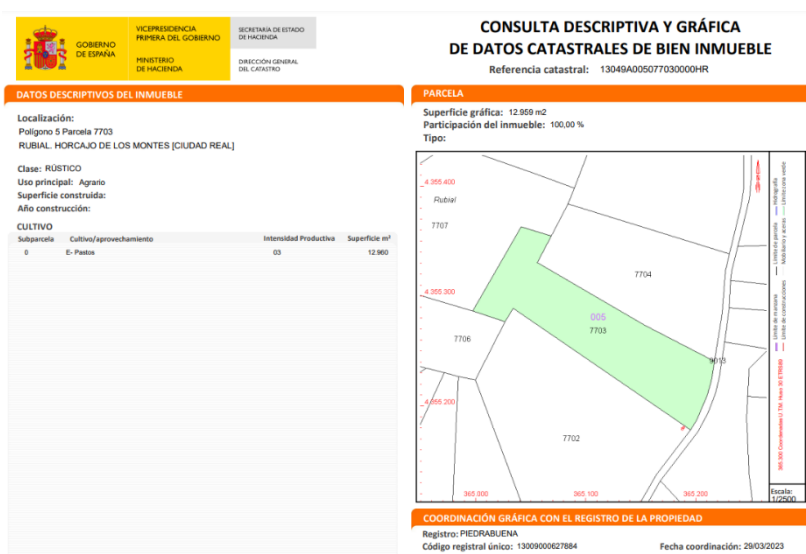


Ilustración 1: Referencia Catastral Parcela 7703. 13049A005077030000HR (Fuente: Sede Electrónica del Catastro) [22]

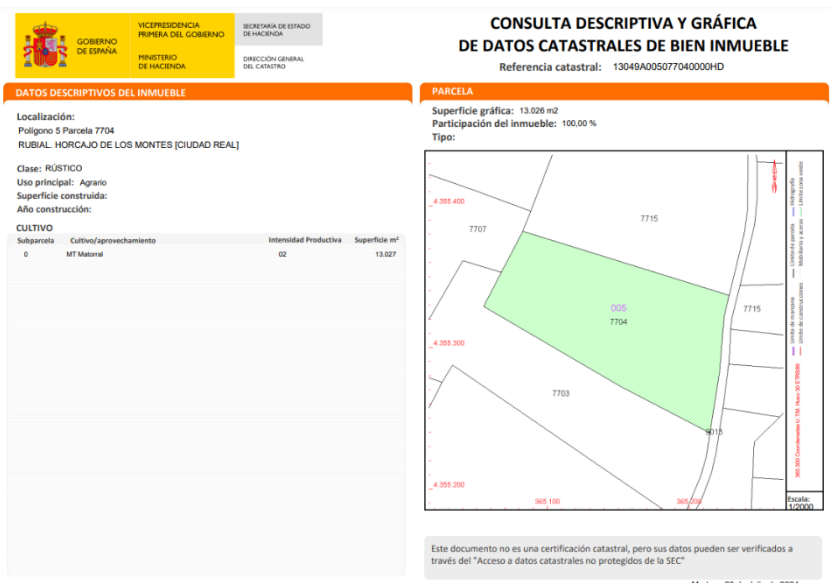


Ilustración 2: Referencia Catastral Parcela 7704. 13049A005077040000HD (Fuente: Sede Electrónica del Catastro) [22]

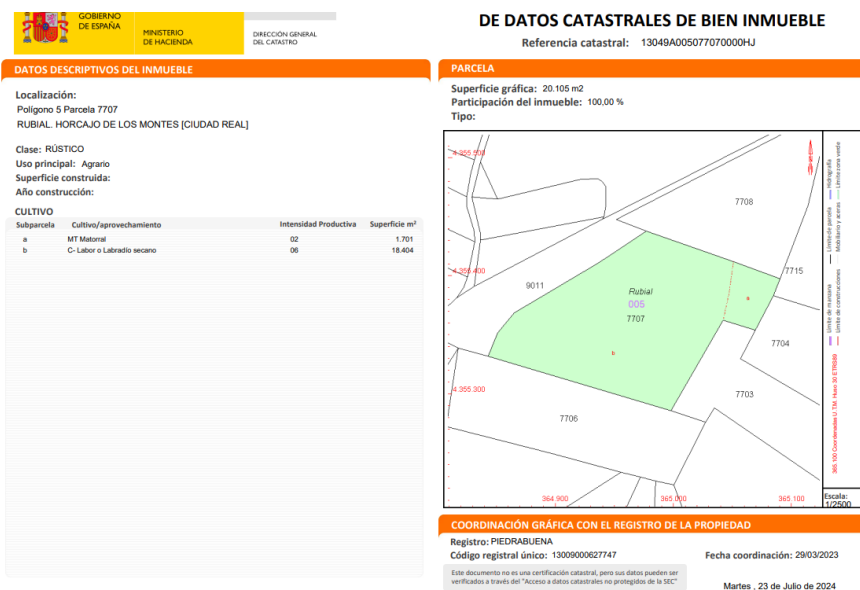


Ilustración 3: Referencia Catastral Parcela 7707. 13049A005077070000HJ (Fuente: Sede Electrónica del Catastro) [22]

2.1.2 Legislación eléctrica

Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.

Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (SFCR) y Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.

El suministro eléctrico se obtendrá mediante instalación de paneles fotovoltaicos en cubierta del edificio en cumplimiento del Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Además, se prevé la instalación de un grupo electrógeno de apoyo, ubicado en el cuarto de instalaciones.

2.1.3 Legislación medioambiental

Ley 33/1995, de 20 de noviembre de 1995, de declaración del Parque Nacional de Cabañeros.

Ley 7/2007, de 9 de julio de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.

Decreto 356/2010, de 3 de agosto, por el que se regula la autorización ambiental unificada, se establece el régimen de organización y funcionamiento del registro de autorizaciones de actuaciones sometidas a los instrumentos de prevención y control ambiental.

2.1.4 Legislación urbanística

Decreto Legislativo 1/2023, de 28 de febrero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Ordenación del Territorio y de la Actividad Urbanística.

Normas urbanísticas del municipio de Horcajo de los Montes.

Orden 4/2020, de 8 de enero, de la Consejería de Fomento, por la que se aprueba la instrucción técnica de planeamiento sobre determinados requisitos sustantivos que deberán cumplir las obras, construcciones e instalaciones en suelo rústico.

2.2 Localización

En esta sección se describirán las características geográficas y meteorológicas de la futura vivienda y su entorno. Este análisis permitirá identificar y aprovechar las distintas oportunidades que ofrece el entorno para la generación de energía

renovable y la climatización. Se explorarán fuentes de energía como la solar, aprovechando la radiación, así como las variaciones de temperatura diarias y estacionales. Además, se evaluará el potencial geotérmico del suelo para optimizar su uso en la climatización.

2.2.1 Vivienda

La finca “El Larial” está ubicada en el término municipal de Horcajo de los Montes, en la provincia de Ciudad Real, y se encuentra en las proximidades del Parque Nacional de Cabañeros, aunque no dentro de sus límites, además, linda con el arroyo Rubial a su alrededor y la Cañada Real Segoviana. Esta región se caracteriza por su entorno natural y agrícola, con un uso del terreno principalmente destinado al cultivo y la ganadería. La vegetación predominante incluye especies típicas de la zona mediterránea, lo que proporciona un entorno ideal para actividades agropecuarias y turísticas.

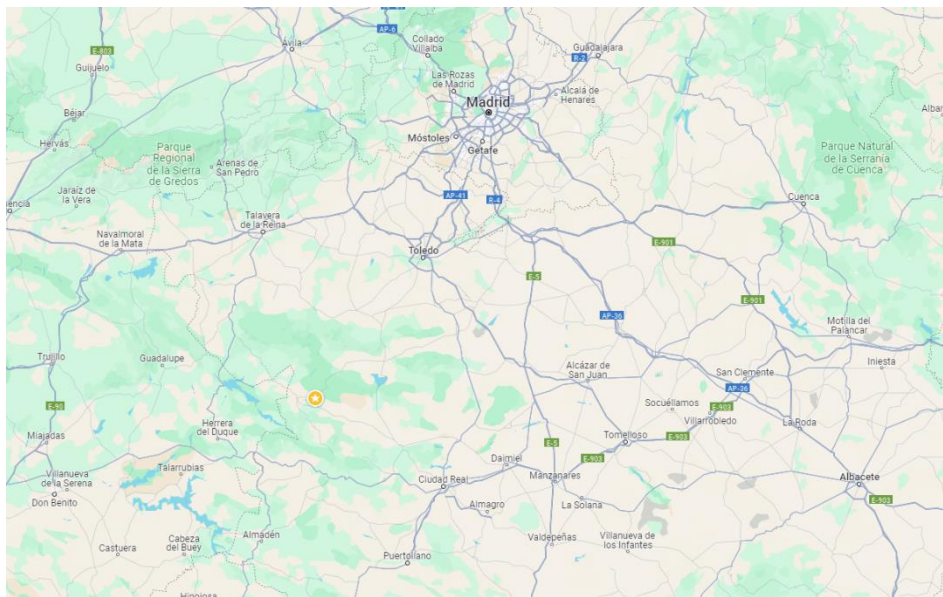


Ilustración 4: Localización de la futura vivienda (Fuente: Google Maps) [21]

Horcajo de los Montes está situada en la comarca de los Montes de Toledo y es un lugar de interés tanto por su patrimonio natural como cultural. El parque nacional cercano ofrece oportunidades para el ecoturismo, con rutas de senderismo y observación de fauna, incluido del lince ibérico. Las ciudades más cercanas, como Ciudad Real y Toledo, se encuentran a una distancia de aproximadamente 80-95 kilómetros, y Madrid a poco más de dos horas. El turismo en la zona también se ve impulsado por la fabricación artesanal de guarnicionería o talabartería en la trata del cuero.

La ubicación de la vivienda se ha escogido cuidadosamente teniendo en cuenta diversos factores esenciales para garantizar tanto la comodidad como la y la integración con el entorno natural. Uno de los factores más importantes es la luz solar. Además, se ha considerado la calidad y las características del suelo para asegurar la estabilidad y durabilidad de la construcción.

Las vistas al valle y la ubicación en un lugar elevado también han sido criterios determinantes. La fácil accesibilidad a través de carreteras y caminos existentes es otro factor crucial, ya que facilita el transporte de materiales de construcción y el acceso a servicios durante y después de la construcción. Además, se ha verificado que las parcelas seleccionadas cumplen con las normativas locales de construcción, asegurando que el proyecto se realice de manera legal.

En la Ilustración 5 quedan marcadas en las tres parcelas diferentes en las que se edificara la futura casa, además de la totalidad de las parcelas catastrales que componen la finca "El Larial". Las coordenadas exactas son, X: 39.337057, e Y: -4.565504.



Ilustración 5: Finca "El Larial" (Fuente: Sede Electrónica del Catastro) [22]

La casa estará situada en lo alto de una colina a una altitud de 707 metros sobre el nivel del mar. Esta posición elevada y despejada garantiza una exposición completa al sol durante todo el día, sin la interferencia de montañas u otras estructuras que puedan proyectar sombra sobre la vivienda.

Los planos de la casa ya están diseñados y con permiso del arquitecto Miguel Oriol e Icaza están adjuntos en el Anexo I. A continuación, se presenta una breve explicación de las dimensiones de la vivienda, junto con la distribución de esta:

La futura vivienda consistirá en una construcción tipo nave, de forma rectangular, orientada en dirección norte-sur. Esta elección de diseño permite un ahorro significativo de costos al utilizar una estructura prefabricada, que luego se completará con trabajos de albañilería para cerrar la vivienda adecuadamente.

La casa-nave tendrá un área total de 275 metros cuadrados. Sus dimensiones serán de 25 metros de longitud y 11 metros de ancho. La altura de las habitaciones será de 4.2 metros, mientras que la altura máxima del tejado alcanzará los 6.7 metros.

La vivienda contará con dos pisos. La planta baja ofrecerá una superficie útil de 245 metros cuadrados, que albergará las principales áreas de la casa, incluyendo la sala de estar, la cocina, el comedor, varios dormitorios y baños, así como espacios adicionales para almacenamiento y servicios. La planta alta tendrá una superficie útil de 50 metros cuadrados, destinada a un estudio y espacio de recreación, aprovechando la altura máxima.

Tabla 2. Distribución de la vivienda de El Larial (Fuente: Elaboración propia)

Espacio Planta Alta	Superficie Útil (m²)
Vestíbulo	11.52
Ropero	3.18
Armero	4.88
Salón	48.85
Nook	8.94
Cocina	19.85
Lavadero/Plancha	5.68
Bodega/Despensa	24.25
Pasillo	1.43
Dormitorio 1	13.77
Baño 1	2.54
Vestidor 1	4.38
Dormitorio 2	13.13
Baño 2	2.81
Vestidor 2	4.31
Dormitorio 3	12.32
Baño 3	2.9
Vestidor 3	4.92
Dormitorio 4	10.35
Baño 4	5.05
Vestidor Ppal.	8.89
Baño Ppal.	14.85
C. Instalaciones	3.3
Zaguán	4.31
Tendero	2.37
TOTAL	245.76

Espacio Planta Baja	Superficie Útil (m²)
Estudio	45.66
Escalera	4.9
Total	50.56

Espacio	Superficie Construida (Cerrada)	Superficie Construida (Abierta)	Superficie Útil (Cerrada)	Superficie Útil (Abierta)
Planta Baja	281.89 m²	5.31 m²	241.39 m²	4.37 m²
Planta Alta	58.90 m²	-	50.56 m²	-
Total	338.59 m²	5.31 m²	291.95 m²	4.37 m²

En cuanto al acceso a la electricidad, la línea eléctrica más cercana se encuentra a aproximadamente 7 kilómetros, en el pueblo de Horcajo de los Montes. El costo de extender una línea eléctrica desde esta ubicación hasta la finca sería elevado, no solo debido a la distancia, sino también por los problemas legales y de permisos necesarios para realizar dicha extensión. Estos problemas legales incluyen la necesidad de atravesar terrenos privados y posiblemente protegidos, lo cual complicaría aún más el proceso.

Son estos obstáculos y la falta de conexión a la red eléctrica, las principales razones para optar por un sistema de autosuficiencia energética, siendo esta la solución más viable y sostenible. Este sistema utilizará fuentes de energía renovable como paneles solares, complementados con sistemas de almacenamiento de energía, como baterías, para asegurar un suministro eléctrico constante y fiable. Esta estrategia no solo resuelve el problema de la falta de conexión a la red, sino que también se alinea con los principios de sostenibilidad y eficiencia energética, reduciendo la dependencia de fuentes de energía externas y minimizando el impacto ambiental.

2.2.2 Aprovechamiento de energía solar

La energía solar es fundamental para alcanzar la autosuficiencia energética, especialmente en contextos donde se pretende eliminar la dependencia de la red eléctrica convencional. En la finca "El Larial", la energía solar se proyecta como la principal, y en un principio, la única fuente de energía para la vivienda. Esto se debe a su capacidad de proporcionar una fuente de energía limpia, renovable y abundante, aprovechando las condiciones climáticas favorables de la región.

España se caracteriza por tener una alta radiación solar, lo que la convierte en uno de los países más adecuados para la generación de energía fotovoltaica. En la imagen adjunta, se puede observar que la Zona V representa áreas con una radiación solar anual media superior a 5 kWh/m², mientras que en la Zona IV tienen una radiación solar de entre 4,6 y 5 kWh/m².

La provincia de Ciudad Real, donde se encuentra la finca "El Larial", se sitúa muy cerca de las zonas más oscuras del mapa, indicando que recibe una radiación solar significativa. Sin embargo, la ubicación específica de la finca, marcada con un punto negro en la imagen, se encuentra en la zona naranja, lo que representa una radiación solar de entre 4,6 y 5 kWh/m². Aunque esta zona no alcanza los

niveles máximos de radiación solar, sí que se encuentra cerca y sigue ofreciendo un excelente potencial para la generación de energía fotovoltaica.

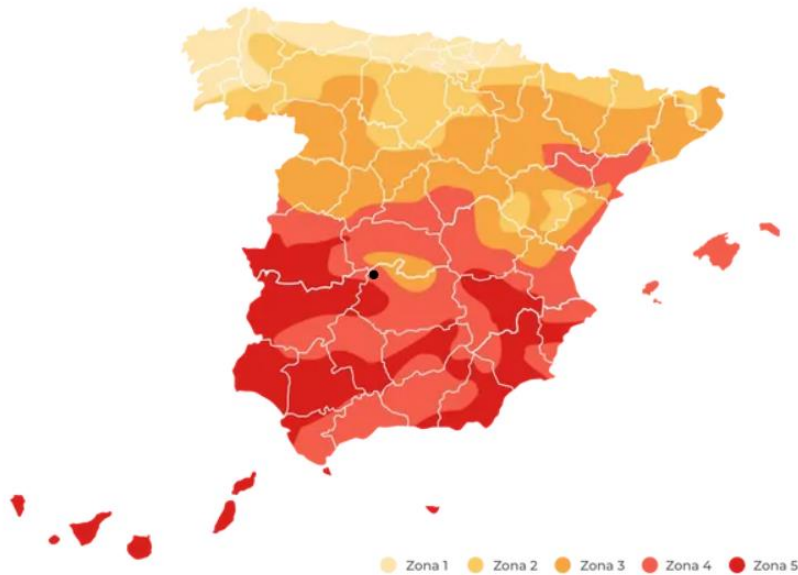


Ilustración 6: mapa de radiación solar (Fuente: Sergio de Soto) [23]

Los datos presentados en los gráficos a continuación han sido obtenidos de la localidad de Retuerta del Bullaque, la más cercana con información disponible (19 km desde la finca), debido a que no se encontraron datos exactos y completos de Horcajo de los Montes, que es el pueblo más próximo a "El Larial". Esta elección se debe a la similitud climática y geográfica entre ambas localidades, lo que permite utilizar estos datos como una referencia fiable para el análisis y dimensionamiento del sistema fotovoltaico en la finca.

El primer gráfico muestra la radiación solar media diaria en kWh/m² a lo largo del año en la localidad de Retuerta del Bullaque. Este gráfico es crucial para entender cómo varía la disponibilidad de energía solar durante diferentes meses. Se observa que en los meses de invierno (diciembre, enero, febrero), la radiación solar media diaria es baja, alcanzando un mínimo de aproximadamente 2 kWh/m² en diciembre. La radiación solar incrementa progresivamente en primavera (marzo, abril, mayo), alcanzando alrededor de 7 kWh/m² en mayo. Durante el verano (junio, julio, agosto), se alcanza el pico máximo de radiación solar, con valores que llegan hasta 8.3 kWh/m² en julio. En otoño (septiembre, octubre, noviembre), la radiación solar disminuye nuevamente, alcanzando valores cercanos a 3.3 kWh/m² en octubre.

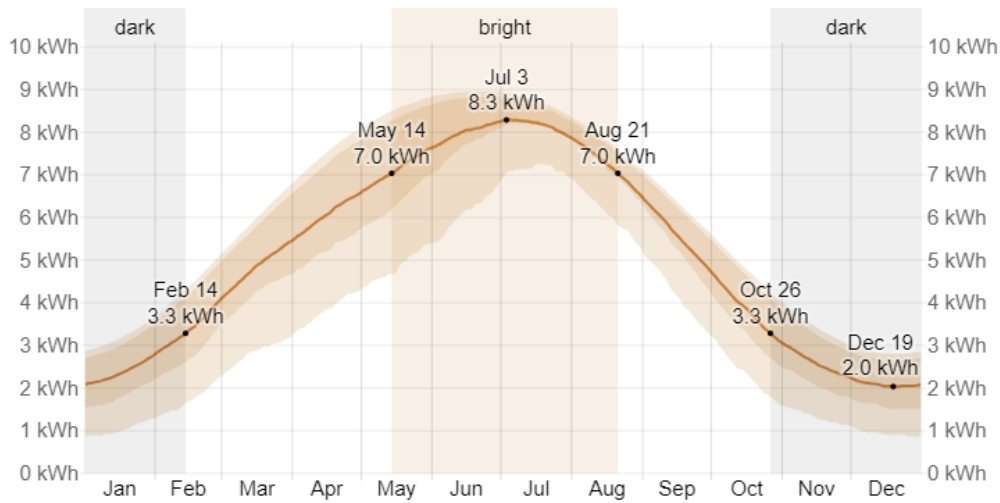


Ilustración 7: Radiación solar a lo largo del año en Retuerta del Bullaque (Fuente: Weather Spark) [1]

El segundo gráfico muestra la duración del día (horas de luz) a lo largo del año en la misma localidad. Se observa que en los meses de invierno (diciembre, enero), los días son más cortos, con una duración mínima de 9 horas y 23 minutos de luz en diciembre. La duración del día incrementa durante la primavera, alcanzando alrededor de 12 horas y 7 minutos en marzo. El solsticio de verano en junio presenta la mayor duración del día, con casi 15 horas de luz (14 horas y 58 minutos). Durante el otoño, la duración del día disminuye nuevamente, con aproximadamente 12 horas y 9 minutos en septiembre y regresando a las 9 horas y 23 minutos en diciembre.

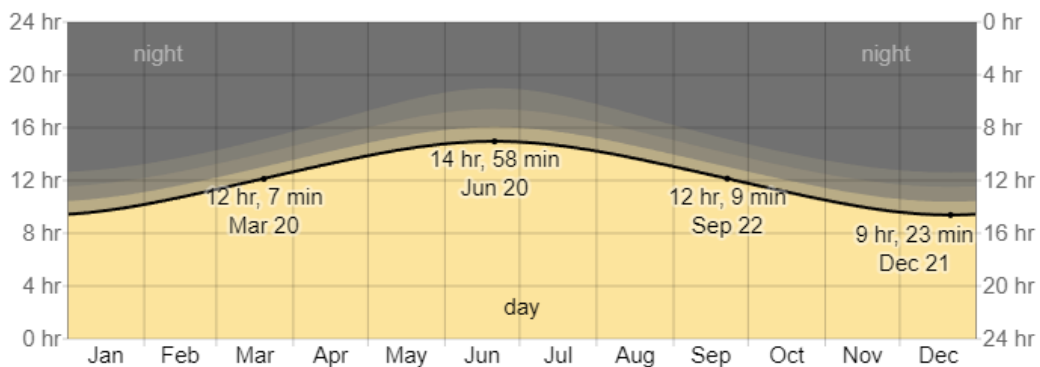


Ilustración 8: Horas de luz en Retuerta del Bullaque a lo largo del año (Fuente: Weather Spark) [1]

Estos gráficos permiten prever la cantidad de energía solar que se puede captar en diferentes épocas del año, así como las horas de luz diaria, aspectos esenciales para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico. Al calcular la producción energética esperada y planificar la capacidad de almacenamiento necesaria para los meses de baja radiación solar, se puede asegurar un suministro constante de energía. Cuantas más horas de luz haya, más energía

se puede producir. Este análisis también es crucial para planificar el almacenamiento de energía para los días más cortos.

Para hacer un dimensionamiento acorde a la localización, se realizará un estudio considerando la variabilidad del tiempo, la variación de las horas del día a lo largo del año e irradiancia en las diferentes épocas del año. De esta forma, se podrá conocer mejor la energía disponible en la zona y evitar sobreestimar métodos de almacenamiento innecesarios.

El siguiente gráfico muestra la variabilidad de la cobertura nubosa a lo largo del año en Retuerta del Bullaque. Los meses de verano, especialmente de finales de mayo a principios de septiembre, son los más despejados, con un pico de claridad del 89% en julio, optimizando la captación de energía solar. En contraste, los meses de invierno, especialmente noviembre a febrero, tienen más nubosidad, alcanzando un 44% de días nublados en diciembre, lo que puede afectar al rendimiento de la instalación fotovoltaica. Los periodos de transición en primavera y otoño presentan una cobertura nubosa moderada.

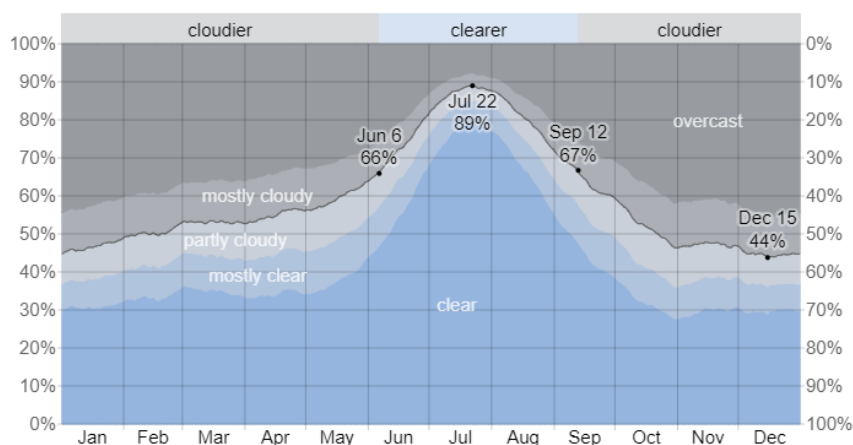


Ilustración 9: Probabilidad de nubosidad en Retuerta del Bullaque a lo largo del año (Fuente: Weather Spark) [1]

En cuanto a la localización de las placas solares, estas se ubicarán en el tejado de la vivienda, en dirección sur o también nombrado ángulo azimutal 0°, ya que la casa esta direccionada norte-sur, siendo la parte más larga direccionada este-oeste, maximizando así el área que recibirá más la radiación solar.

Solo encontraran dos obstáculos que crearan algo de sombra, que serán dos chimeneas, pero debido al sobredimensionamiento de las placas no tendrán un gran efecto negativo. Se puede ver como su disposición en los planos de planta.

Sobre las dimensiones, el área dispuesta para las placas tiene una longitud de 25m y al estar el tejado en ángulo de 24.45°, tiene una anchura inclinada de 6.04m. en total da una superficie de 151 m². superficie suficiente para alcanzar

los 75.5 kW si se colocan placas de 500 W con una capacidad de 250 W/m² daría una potencia aproximada de 37,75 kW totales. La altura o ángulo de las placas será el mismo que el del tejado, de 24.45°, a pesar que el óptimo es de 45°.

En resumen, la buena disponibilidad de energía solar de la región permite tener un excelente potencial para la generación de energía fotovoltaica. La radiación solar constante y abundante permitirá no solo cubrir las necesidades energéticas diarias de la vivienda, sino también generar un excedente que pueda ser almacenado para su uso durante los días con menor disponibilidad solar.

La ubicación de la finca en una zona de alta radiación solar respalda la viabilidad del proyecto de autosuficiencia energética basado en la energía solar. Este enfoque no solo garantiza un suministro energético sostenible y limpio, sino que también se adapta perfectamente a las condiciones específicas de la región, maximizando la eficiencia y el rendimiento del sistema fotovoltaico instalado.

2.2.3 Aprovechamiento de energía geotérmica

La capacidad geotérmica en España está limitada a ciertas zonas geográficas y, a menudo, requiere instalaciones a profundidades considerables para aprovechar de manera efectiva el calor almacenado en el subsuelo. El aprovechamiento de la energía geotérmica depende de varios factores, incluyendo la temperatura del suelo, la profundidad de la instalación y, crucialmente, el tipo de roca o material geológico en el que se realiza la extracción.

En el contexto de la finca "El Larial", ubicada en Castilla-La Mancha, el aprovechamiento geotérmico es viable gracias a las características geológicas de la región. Según el mapa de capacidad de extracción térmica de Castilla-La Mancha, la zona se encuentra en un área con una capacidad de extracción estimada entre 40 y 60 W/m. Este rango se ubica en un punto intermedio dentro de la clasificación geotérmica, lo que sugiere un potencial moderado para la extracción de calor.

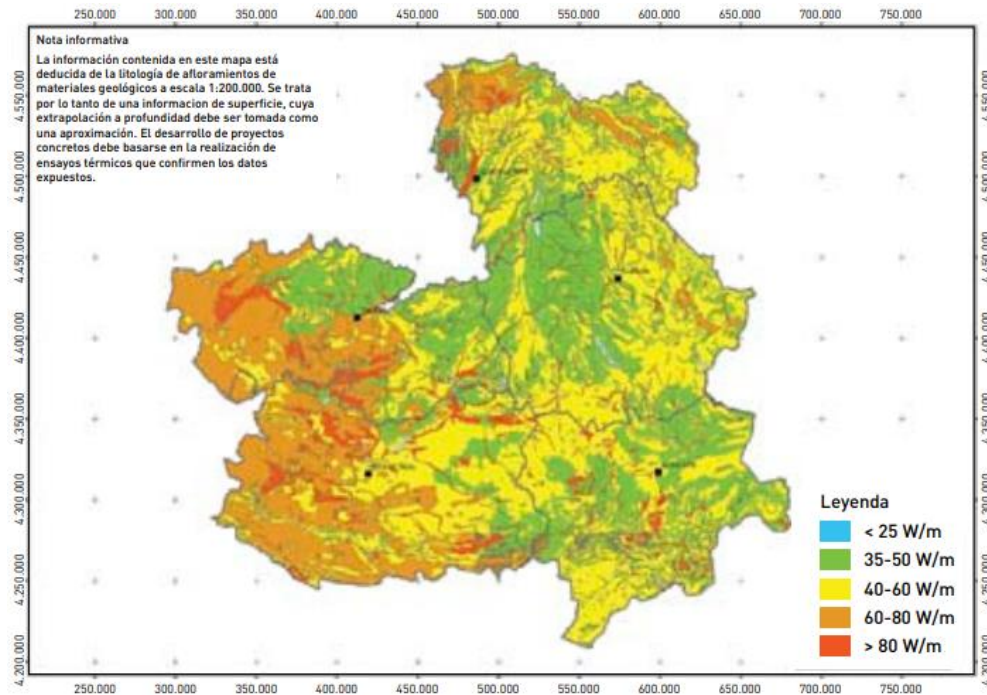


Ilustración 10: Mapa de potencia térmica superficial en Castilla la Mancha (Fuente: IDAE) [2]

La tabla que acompaña este análisis muestra que la capacidad de extracción térmica varía significativamente según el tipo de roca. Por ejemplo, las arcillas y margas húmedas presentan una capacidad de extracción entre 35 y 50 W/m, mientras que las gravas y arenas saturadas en agua pueden alcanzar hasta 80 W/m. En el caso de la ubicación, se asume que el tipo de roca predominante se sitúa en un punto medio entre las gravas y arenas secas y las gravas y arenas saturadas en agua, lo que apoya la estimación de la capacidad de extracción en la zona.

Tabla 3.: Capacidad de extracción de calor de las rocas (Fuente: IDAE) [2]

Tipo de roca (litologías)	Capacidad de extracción de calor (W/m)
Gravas y arenas secas	<25
Arcillas y margas húmedas	35-50
Calizas y dolomías masivas	55-70
Areniscas	65-80
Granitos	68-85
Basaltos	40-65
Rocas metamórficas	70-85
Gravas y arenas saturadas en agua	65-80
Gravas y arenas con gran circulación de agua	80-100

2.2.4 Aprovechamiento de la energía para bombas de calor

Para conocer y estudiar cómo será el funcionamiento de las bombas de calor para la climatización de la vivienda, es necesario entender las características del ambiente y el aire del entorno de la finca "El Larial". Es importante comprender los datos meteorológicos y climáticos para prever las necesidades de calefacción y refrigeración a lo largo del año. Los gráficos presentados a continuación han sido obtenidos de la localidad de Retuerta del Bullaque, la más cercana con información disponible.

El primer gráfico muestra las temperaturas medias diarias en grados Celsius a lo largo del año en Retuerta del Bullaque. Se observa que durante los meses de invierno (diciembre, enero, febrero), las temperaturas mínimas pueden bajar hasta los 0°C, mientras que en verano (junio, julio, agosto), las temperaturas máximas pueden alcanzar hasta 32°C. Estos datos son esenciales para dimensionar el sistema de calefacción y refrigeración, ya que permiten calcular la demanda térmica en las diferentes estaciones.

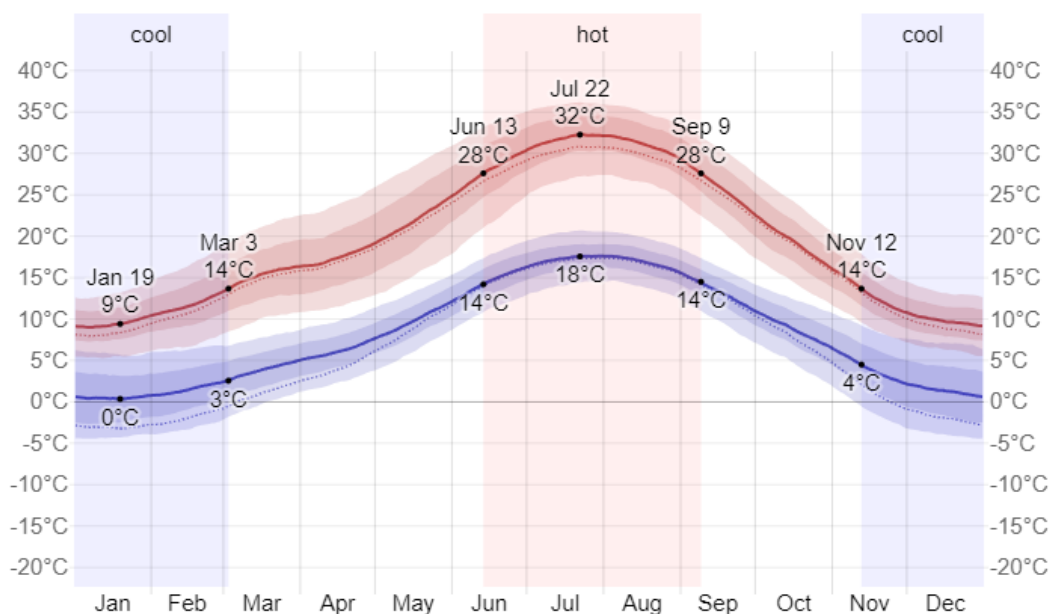


Ilustración 11: temperatura máxima y mínima en Retuerta del Bullaque (Fuente: Weather Spark) [1]

También proporciona una visión de la variabilidad de las temperaturas diarias, destacando las diferencias entre las temperaturas máximas y mínimas. Esta información es crucial para planificar el uso eficiente de las bombas de calor, optimizando su funcionamiento durante los picos de demanda y minimizando el consumo energético durante los periodos de menor necesidad térmica.

En la siguiente tabla se representan los valores más importantes:

Tabla 4: Datos históricos del tiempo en Horcajo de los Montes (Fuente: Climate Data) [3]

Promedio	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Máxima	9°C	12°C	15°C	17°C	22°C	28°C	32°C	31°C	26°C	19°C	13°C	10°C
Media	5°C	6°C	10°C	12°C	16°C	22°C	25°C	24°C	20°C	14°C	8°C	5°C
Mínima	0°C	1°C	4°C	6°C	10°C	14°C	17°C	17°C	13°C	9°C	4°C	1°C

Las bombas de calor aerotérmicas, que serán utilizadas están diseñadas para operar eficientemente dentro de un rango amplio de temperaturas exteriores, desde -25°C hasta 55°C. Esto asegura que, independientemente de las condiciones climáticas extremas, las bombas de calor podrán funcionar de manera eficiente y proporcionar la climatización necesaria para la vivienda. La capacidad de operar en estos rangos de temperatura garantiza un rendimiento óptimo tanto en verano como en invierno.

Capítulo 3. Estado del arte

3.1 Tecnología de bombas de calor

Las bombas de calor son dispositivos avanzados de climatización que transfieren calor de un lugar a otro, proporcionando tanto calefacción como refrigeración según las necesidades. A diferencia de los sistemas tradicionales que generan calor mediante la combustión, las bombas de calor utilizan una pequeña cantidad de energía para trasladar el calor desde el exterior hacia el interior de un edificio o viceversa. Esta tecnología es conocida por su alta eficiencia energética y su capacidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las especificaciones de las bombas de calor varían según el tipo y el diseño del sistema, pero algunos parámetros clave incluyen el coeficiente de rendimiento (COP), la capacidad de calefacción y refrigeración, y la eficiencia estacional.

3.1.1 Tipos de bomba de calor

A continuación, se describen los principales tipos de bombas de calor utilizadas en aplicaciones residenciales y comerciales [4]:

- Las bombas de calor aire-aire capturan el calor del aire exterior y lo transfieren al aire interior del edificio. Este tipo de bombas es ideal para proporcionar calefacción y refrigeración en climas moderados. Su instalación es sencilla y su costo relativamente bajo, lo que las convierte en una opción económica y accesible para muchos hogares y oficinas.
- Las bombas de calor aire-agua funcionan transfiriendo el calor del aire exterior a un sistema de agua, que luego distribuye el calor a través de radiadores, suelo radiante o unidades de fan-coil. Estas bombas son adecuadas para sistemas de calefacción central y la producción de agua caliente sanitaria. Su principal ventaja es la versatilidad, ya que pueden integrarse fácilmente con sistemas de calefacción y refrigeración existentes.
- Las bombas de calor agua-agua utilizan una fuente de agua, como un lago, río o acuífero subterráneo, para extraer y transferir calor. Este tipo de bombas es ideal para instalaciones cerca de cuerpos de agua o con acceso a aguas subterráneas, debido a la alta eficiencia que ofrecen gracias a la temperatura constante del agua. Esta eficiencia se traduce en un rendimiento superior y un menor consumo energético.

- Las bombas de calor geotérmicas (tierra-agua o tierra-aire) extraen calor del suelo mediante un sistema de tuberías enterradas, transfiriéndolo a un sistema de agua o aire para calefacción y refrigeración. Son especialmente eficientes en climas extremos.

Todas se caracterizan por tener una unidad exterior y otra interior, que es donde se realiza el intercambio de calor con el entorno y van modificando su temperatura.

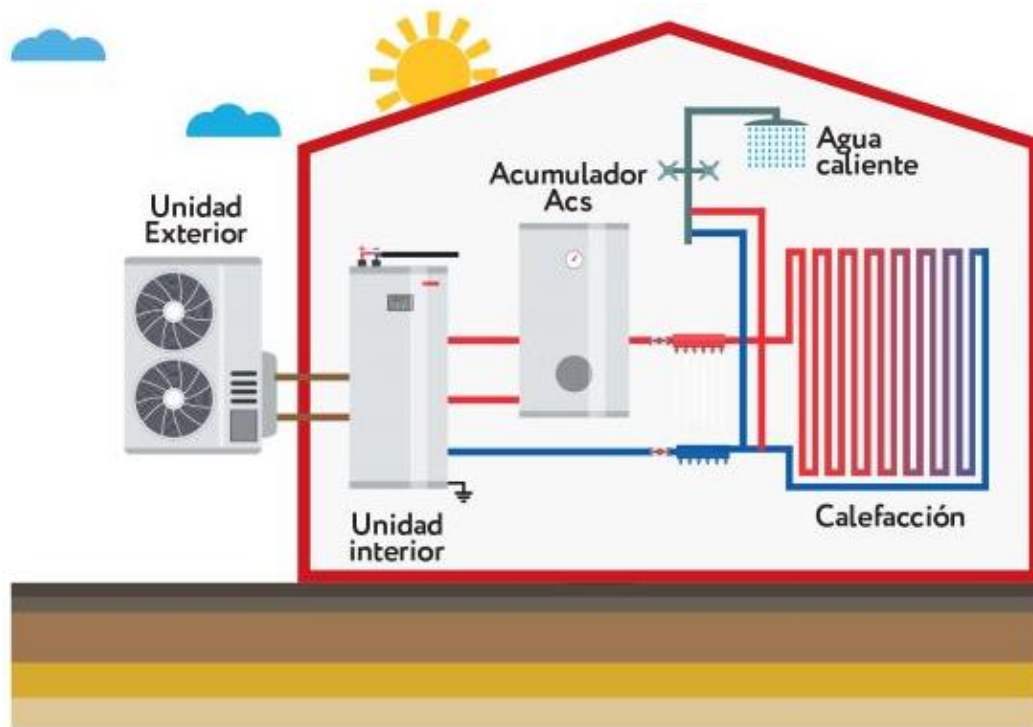


Ilustración 12: Ejemplo de climatización con bomba de calor (fuente: OCU Inmobiliario) [5]

3.1.2 Funcionamiento de las bombas de calor

El principio de funcionamiento de una bomba de calor se basa en el ciclo de refrigeración, que utiliza un refrigerante para absorber y liberar calor. Este ciclo incluye varias etapas fundamentales que permiten la transferencia eficiente de energía térmica entre el interior y el exterior de un edificio.

- **Evaporación:** En la primera etapa del ciclo, el refrigerante líquido absorbe calor del entorno exterior. A medida que el refrigerante absorbe este calor, su temperatura aumenta y comienza a evaporarse, transformándose en gas. Esta evaporación ocurre en el evaporador, que es un componente esencial del sistema donde se realiza la transferencia inicial de calor. Este

proceso de absorción de calor es crucial porque permite que el refrigerante adquiera la energía térmica necesaria para ser transferida al interior del edificio. Calienta el fluido, y enfría el exterior. [6]

- **Compresión:** Una vez que el refrigerante se ha convertido en gas, entra en la etapa de compresión. En esta etapa, un compresor aumenta la presión del refrigerante gaseoso, lo que a su vez incrementa su temperatura a un nivel superior al del ambiente interior del edificio. Este proceso consume energía eléctrica.
- **Condensación:** Después de la compresión, el refrigerante caliente y a alta presión fluye hacia el condensador. En el condensador, el refrigerante cede su calor al aire o al agua del sistema de distribución del edificio, calentando así el interior del espacio. Al liberar este calor, el refrigerante se condensa y vuelve a su estado líquido. Este proceso de condensación es esencial para el ciclo, ya que facilita la liberación del calor absorbido en la etapa de evaporación, proporcionando calefacción al edificio durante los meses fríos.
- **Expansión:** Finalmente, el refrigerante líquido pasa por una válvula de expansión. Esta válvula reduce la presión del refrigerante, lo que a su vez disminuye su temperatura. Este enfriamiento es necesario para preparar el refrigerante para el siguiente ciclo de evaporación. La válvula de expansión regula el flujo del refrigerante y garantiza que llegue al evaporador en las condiciones adecuadas para reiniciar el ciclo.

3.1.3 Aplicaciones en calefacción y refrigeración

En cuanto a la calefacción, durante el invierno, las bombas de calor extraen calor del exterior, incluso en climas fríos, y lo transfieren al interior del edificio. Este proceso comienza con el evaporador, donde el refrigerante líquido absorbe calor del entorno exterior y se evapora, transformándose en gas. Tras pasar por el compresor, el refrigerante gaseoso caliente fluye hacia el condensador, donde cede su calor al aire o al agua del sistema de distribución del edificio, proporcionando calefacción.

En verano, el ciclo de la bomba de calor se invierte para proporcionar refrigeración. El proceso comienza nuevamente en el evaporador, pero esta vez, el calor se extrae del interior del edificio. El refrigerante líquido en el evaporador absorbe el calor interno y se evapora, convirtiéndose en gas. Luego, el refrigerante gaseoso caliente se mueve al condensador, que ahora está situado

en el exterior del edificio. En el condensador, el refrigerante cede el calor al aire exterior y se condensa, volviendo a su estado líquido. [7]

Este funcionamiento inversor es similar al de un aire acondicionado, pero con la ventaja adicional de que la misma unidad puede utilizarse para calefacción en invierno, haciendo de la bomba de calor un sistema de climatización versátil y eficiente para todo el año.

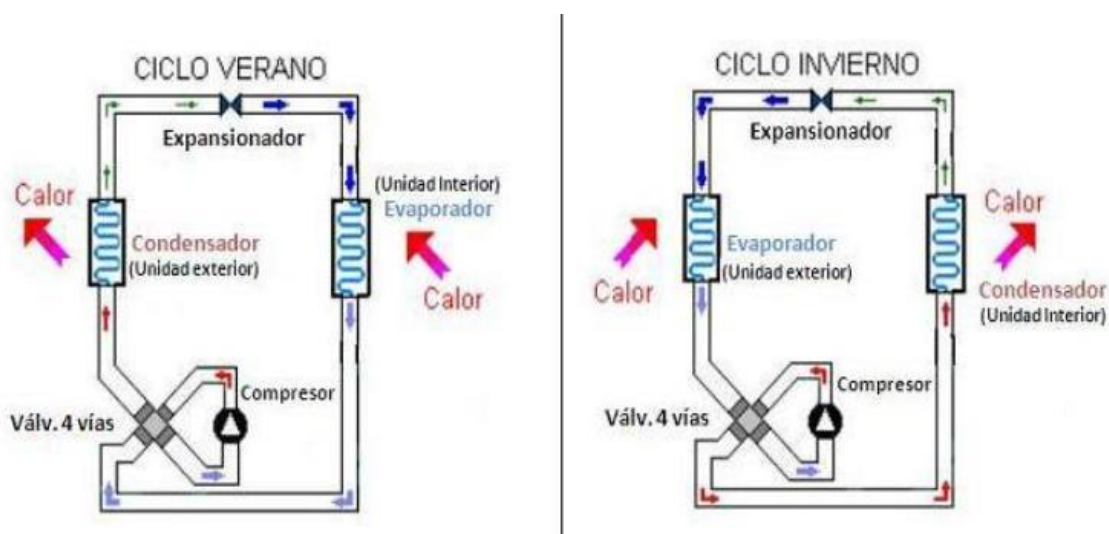


Ilustración 13: Ejemplo de reversibilidad de la bomba de calor (Fuente: Ecosistemas del Sureste) [24]

3.1.4 Tecnología de bombas de calor escogida

Para la climatización de la vivienda en la finca "El Larial", se ha escogido la tecnología de bombas de calor aerotérmicas de muy baja temperatura, específicamente el tipo aire-agua. Esta tecnología es altamente eficiente y se adapta perfectamente a las necesidades de autoconsumo sin conexión a la red eléctrica, proporcionando calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria (ACS).

La aerotermia es particularmente adecuada para la vivienda en "El Larial" por varias razones. La ubicación de la finca, con una buena exposición solar y sin sombras, maximiza la eficiencia del sistema de autoconsumo. Además, la tecnología de muy baja temperatura es ideal para las necesidades de climatización de la vivienda, que no requiere generación de electricidad adicional.

La aerotermia utiliza la energía contenida en el aire exterior para climatizar el interior del edificio. El sistema aire-agua extrae el calor del aire exterior y lo transfiere a un circuito de agua que luego distribuye el calor a través de radiadores, suelo radiante o unidades de fan-coil. Y también se estudiará las bombas de calor geotérmicas, que son de tipo tierra-agua.

Las ventajas de la aerotermia en un sistema de autoconsumo sin conexión a la red son numerosas. Primero, su eficiencia energética es notable, ya que puede generar hasta cuatro veces más energía térmica de la que consume en electricidad. Esto la hace ideal para un entorno de autoconsumo, donde la energía generada por fuentes renovables como los paneles solares puede ser maximizada. Además, la aerotermia es una tecnología limpia que reduce las emisiones de CO₂, contribuyendo a un entorno más sostenible.

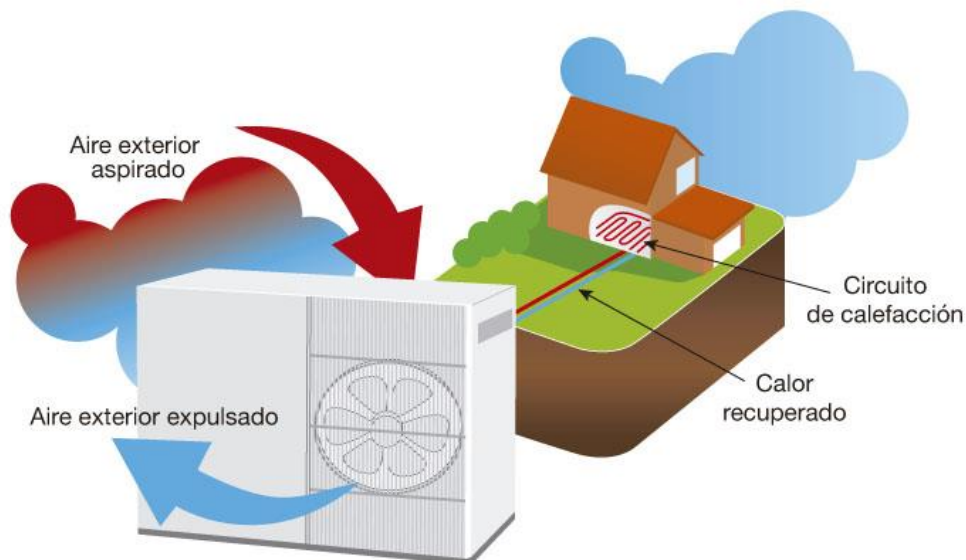


Ilustración 14: Calefacción por aerotermia (Fuente: Ogrados) [8]

El sistema de calefacción y refrigeración de la vivienda en "El Larial" se realizará mediante suelo radiante. Este método es altamente eficiente y proporciona un confort térmico superior, ya que distribuye el calor de manera uniforme desde el suelo. En invierno, el agua calentada por la bomba de calor aire-agua circula por las tuberías del suelo radiante, liberando calor que se irradia desde el suelo hacia arriba, manteniendo una temperatura confortable en toda la vivienda. La temperatura del fluido en invierno suele ser de aproximadamente 35-45°C, lo que es suficiente para mantener un ambiente cálido y acogedor. [9]



Ilustración 15: Suelo radiante en vivienda (Fuente: Consolidaciones y contratas) [9]

En verano, el sistema de suelo radiante se utiliza para refrigerar la vivienda. El agua enfriada circula por las mismas tuberías, absorbiendo el calor del interior y transfiriéndolo al exterior a través de la bomba de calor. La temperatura del fluido en verano suele ser de aproximadamente 15-18°C [9], lo que ayuda a mantener una temperatura fresca y confortable en el interior del edificio.

3.2 Tecnología de climatización geotérmica

La tecnología de climatización geotérmica ha evolucionado significativamente, ofreciendo soluciones eficientes y sostenibles para la calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria (ACS) en viviendas, edificios residenciales y oficinas. Esta tecnología aprovecha el calor almacenado en el subsuelo, proporcionando

una alternativa renovable y menos contaminante a los sistemas tradicionales de climatización.

3.2.1 Tipos de instalaciones geotérmicas

Existen diferentes tipos de instalaciones geotérmicas, que se clasifican en función de la temperatura de los yacimientos y la profundidad a la que se encuentran. A continuación, se detallan las principales categorías. [10]

La primera son las instalaciones de muy baja temperatura son las más comunes en aplicaciones residenciales y de oficinas. Estos sistemas se caracterizan por aprovechar yacimientos con temperaturas menores de 30°C. Una de las principales ventajas de este tipo de instalación es que, a profundidades superiores a 15 metros, la temperatura del suelo se mantiene constante durante todo el año. Esta constancia térmica hace que estos sistemas sean ideales para la climatización eficiente de edificios, proporcionando tanto calefacción en invierno como refrigeración en verano.



*Ilustración 16: Vivienda con geotérmica de baja temperatura
(Fuente: Geotermia vertical) [25]*

Los sistemas de muy baja temperatura suelen utilizar bombas de calor geotérmicas aire-agua o agua-agua, dependiendo del diseño del sistema y las condiciones del sitio. Estos sistemas pueden ser instalados en configuraciones horizontales o verticales. Las configuraciones horizontales requieren más superficie terrestre, ya que las tuberías se colocan en trincheras excavadas a una profundidad relativamente baja. En cambio, las configuraciones verticales son más adecuadas para áreas con espacio limitado, ya que las perforaciones se realizan a mayores profundidades.

La siguiente tecnología son las de baja temperatura se utilizan en aplicaciones que requieren temperaturas ligeramente superiores, generalmente entre 30°C y 90°C. Estos sistemas son adecuados para edificios más grandes, como complejos residenciales, comerciales o para instalaciones industriales que necesiten un mayor aporte térmico. Las aplicaciones típicas incluyen calefacción de distritos, invernaderos, y procesos industriales que requieren calor a una temperatura moderada.

Las bombas de calor utilizadas en instalaciones de baja temperatura son más robustas y están diseñadas para manejar un rango más amplio de condiciones térmicas. Estos sistemas también pueden incluir intercambiadores de calor más eficientes y sistemas de almacenamiento térmico que ayudan a equilibrar la demanda energética a lo largo del día y las estaciones.

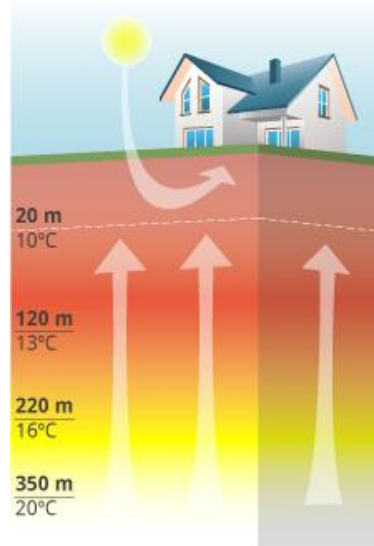


Ilustración 17: Geotérmica de baja temperatura (Fuente: Groen Energy) [26]

Las bombas de calor utilizadas en instalaciones de baja temperatura son más robustas y están diseñadas para manejar un rango más amplio de condiciones térmicas. Estos sistemas también pueden incluir intercambiadores de calor más eficientes y sistemas de almacenamiento térmico que ayudan a equilibrar la demanda energética a lo largo del día y las estaciones.

Por último, están las instalaciones de media y alta temperatura, aunque menos comunes en aplicaciones residenciales, juegan un papel crucial en la generación de electricidad y en procesos industriales que requieren temperaturas superiores a 90°C. Estos sistemas aprovechan yacimientos geotérmicos profundos donde las temperaturas son lo suficientemente altas como para generar vapor que puede impulsar turbinas y generar electricidad.

Los sistemas de media temperatura (90°C - 150°C) son adecuados para aplicaciones como la generación de electricidad mediante ciclos binarios junto con procesos industriales que requieren calor a alta temperatura. Las instalaciones de alta temperatura (superior a 150°C) se utilizan principalmente en plantas de energía geotérmica, donde el vapor del yacimiento se utiliza directamente para mover las turbinas.

Estas instalaciones requieren un mayor nivel de inversión y tecnología avanzada para la perforación y mantenimiento, pero ofrecen una alta eficiencia y una fuente de energía prácticamente constante e inagotable. En regiones con actividad geotérmica significativa, estos sistemas pueden proporcionar una gran cantidad de energía renovable, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles.

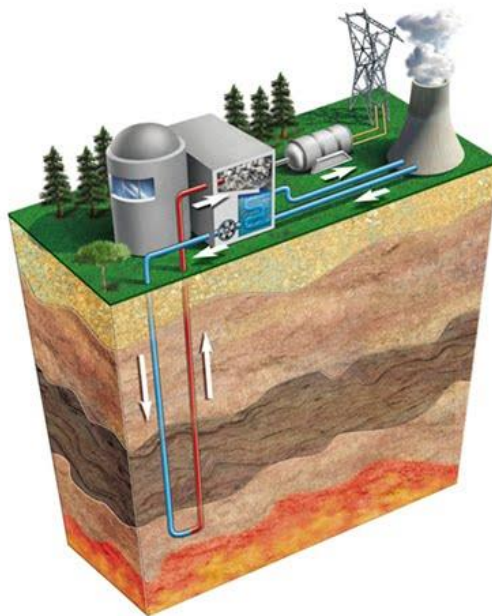


Ilustración 18: Geotermia de alta temperatura (Fuente: CanalTic) [28]

3.2.2 Aplicaciones de las instalaciones geotérmicas

En cuanto a las aplicaciones de la energía geotérmica en el ámbito de la climatización son diversas y abarcan:

- **Calefacción:** Los sistemas geotérmicos pueden proporcionar calefacción eficiente a viviendas y edificios durante los meses fríos. Utilizan el calor constante del subsuelo para calentar el fluido que circula por el sistema de calefacción del edificio.

- Refrigeración: Durante los meses cálidos, estos sistemas pueden invertirse para extraer el calor del interior del edificio y disiparlo en el subsuelo, proporcionando una refrigeración efectiva y constante.
- Agua Caliente Sanitaria (ACS): Además de calefacción y refrigeración, los sistemas geotérmicos pueden proporcionar ACS de manera eficiente y sostenible, utilizando el calor del subsuelo para calentar el agua doméstica.

Las instalaciones geotérmicas ofrecen múltiples ventajas, entre las que destacan la eficiencia energética ya que estos sistemas pueden ser significativamente más eficientes que los sistemas de climatización tradicionales, reduciendo el consumo de energía y, por ende, las facturas de electricidad. También sostenibilidad por que utilizan una fuente de energía renovable, las instalaciones geotérmicas contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, ayudando a mitigar el cambio climático. Y finalmente tiene altos niveles de confiabilidad y bajo mantenimiento, porque la temperatura del subsuelo es constante durante todo el año, lo que permite un funcionamiento fiable y predecible de los sistemas geotérmicos.

3.2.3 Tecnología geotérmica escogida

Para el proyecto de climatización de la vivienda en la finca "El Larial", se ha decidido utilizar los yacimientos de muy baja temperatura. Esta elección se debe a que se utilizará exclusivamente para la climatización de la vivienda, sin necesidad de generar electricidad. Además, el consumo energético previsto no será muy grande, por lo que no es necesario instalar una gran bomba de calor.

Las aplicaciones residenciales, como es el caso actual, son ideales para la tecnología de baja temperatura debido a su accesibilidad y constancia térmica. Los yacimientos de muy baja temperatura se encuentran a profundidades relativamente bajas, generalmente entre 1 y 15 metros, donde la temperatura del suelo es menor de 30°C. A profundidades superiores a 15 metros, la temperatura del suelo tiende a mantenerse constante durante todo el año, lo que proporciona una fuente de calor o frío estable y fiable para los sistemas geotérmicos, asegurando una climatización eficiente y sostenible para la vivienda.

Durante el invierno, el calor del subsuelo se transfiere al edificio, proporcionando calefacción. En verano, el proceso se invierte y el calor del edificio se disipa en el subsuelo, proporcionando refrigeración.

3.2.4 Elementos que componen una climatización geotérmica

A continuación, se va a hacer una descripción de las diferentes partes que componen una instalación geotérmica de muy baja temperatura para climatización. [2]

3.2.4.1 Intercambiadores de calor subterráneos

Los intercambiadores de calor subterráneos son componentes cruciales en los sistemas de climatización geotérmica, ya que permiten la transferencia de calor entre el suelo y el sistema de climatización de la vivienda o edificio. Existen dos tipos principales de intercambiadores:

- **Sondas geotérmicas verticales:** Las sondas geotérmicas verticales consisten en tubos de material resistente, como polietileno, que se insertan en perforaciones verticales profundas en el suelo. Estos tubos contienen un fluido que circula a través del sistema, recogiendo o disipando calor en el subsuelo. La profundidad de estas perforaciones puede variar, pero generalmente oscilan entre 50 y 150 metros. La instalación de sondas verticales es adecuada para áreas con espacio limitado, ya que requieren menos superficie terrestre. Además, las sondas verticales aprovechan la constancia térmica del subsuelo a mayores profundidades, lo que mejora la eficiencia del sistema geotérmico.

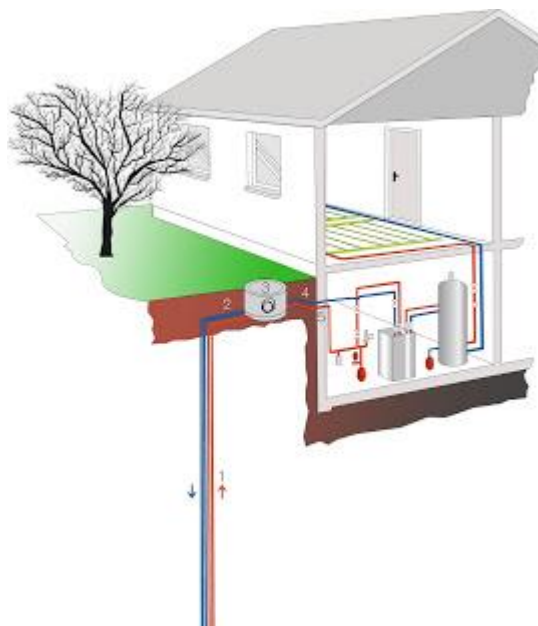


Ilustración 19: Intercambiador Vertical (Fuente: Técnicas Reunidas) [28]

- **Colectores horizontales:** Los colectores horizontales, en cambio, son tuberías instaladas horizontalmente a una profundidad relativamente baja, generalmente entre 1 y 2 metros. Este tipo de instalación requiere más superficie terrestre en comparación con las sondas verticales, pero es menos costosa en términos de perforación y excavación. Los colectores horizontales se colocan en trincheras excavadas y funcionan de manera similar a las sondas verticales, permitiendo la transferencia de calor entre el suelo y el fluido que circula por las tuberías.

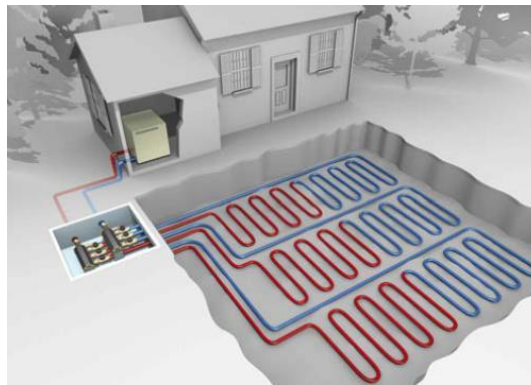


Ilustración 20: Intercambiador Vertical (Fuente: Técnicas Reunidas) [28]

3.2.4.2 Sistema de distribución de calor

El sistema de distribución de calor es responsable de transportar el calor o frío generado por la bomba de calor a través de la vivienda o edificio. Los principales componentes de este sistema incluyen:

- **Red de tuberías internas:** La red de tuberías internas distribuye el calor o frío generado por la bomba de calor a las distintas áreas de la vivienda o edificio. Estas tuberías están diseñadas para minimizar las pérdidas de calor y garantizar una distribución uniforme de la energía térmica.
- **Sistemas de radiadores o suelo radiante:** Los sistemas de radiadores y suelo radiante son métodos eficientes para distribuir el calor en las habitaciones. Los radiadores, instalados en las paredes, emiten calor al ambiente, mientras que el suelo radiante utiliza tuberías instaladas debajo del piso para calentar uniformemente las superficies. El suelo radiante es especialmente eficiente, ya que proporciona una distribución de calor más uniforme y cómoda.

- **Conductos y unidades de aire:** Para los sistemas de aire acondicionado, se utilizan conductos que distribuyen el aire enfriado por toda la vivienda. Las unidades de aire, conectadas a estos conductos, permiten la regulación y control de la temperatura en diferentes áreas del edificio. Este sistema es ideal para la refrigeración durante los meses cálidos, complementando la función de calefacción proporcionada por la bomba de calor en invierno.

3.2.4.3 Tanques de almacenamiento de calor

El tanque de almacenamiento de calor, también conocido como acumulador de calor, es un componente esencial en los sistemas de climatización geotérmica. Estos tanques almacenan el calor generado por la bomba de calor para su uso posterior, mejorando la eficiencia del sistema y proporcionando una fuente de calor continua. Los acumuladores de calor permiten equilibrar la demanda de energía térmica a lo largo del día, almacenando el exceso de calor generado durante los periodos de baja demanda y liberándolo cuando la demanda es alta. Esto no solo optimiza el rendimiento del sistema, sino que también reduce el consumo de energía y los costos operativos.

3.2.4.4 Bomba de calor geotérmica

La bomba de calor geotérmica utiliza el calor del suelo o de fuentes de agua subterránea. La temperatura del suelo es más estable que la del aire, proporcionando un rendimiento más consistente a lo largo del año, que hace que sea de tierra-agua o tierra-aire. En cuanto a la aerotermia, utiliza el aire exterior como fuente de calor. Esto significa que el rendimiento puede verse afectado por las fluctuaciones de la temperatura del aire.

Los elementos de ambas bombas de calor son los mismos, que incluyen el evaporador, compresor, condensador y válvula de expansión. Además, el ciclo es el mismo, con la característica de inversión para calefacción y refrigeración.

La geotermia Requiere perforaciones verticales profundas o extensas excavaciones horizontales para instalar los intercambiadores de calor en el suelo, lo que puede incrementar los costes iniciales y el tiempo de instalación. Mientras que la instalación de aerotermia es más sencilla y menos invasiva, ya que no requiere perforaciones profundas ni grandes extensiones de terreno.

Las bombas de calor geotérmicas destacan por su alta eficiencia y rendimiento consistente durante todo el año, debido a la estabilidad de la temperatura del suelo. Este factor asegura que el sistema opere de manera eficiente independientemente de las fluctuaciones estacionales. Además, estas bombas de calor tienen una mayor vida útil y presentan un menor costo de operación a largo plazo, lo que las convierte en una inversión duradera y económicamente viable. Otro beneficio significativo es que las bombas de calor geotérmicas son menos impactadas por las condiciones climáticas extremas, manteniendo un desempeño óptimo en cualquier circunstancia meteorológica.

Capítulo 4. Dimensionamiento energético

4.1 Cálculo de consumos

El dimensionamiento de los consumos eléctricos de la vivienda es un paso fundamental para garantizar que el sistema de autoconsumo sea capaz de cubrir todas las necesidades energéticas de manera eficiente. En este apartado, se analiza el consumo de los diferentes dispositivos y electrodomésticos presentes en la vivienda, incluyendo la estimación de la potencia necesaria, el uso diario y anual de cada uno, y su impacto en el consumo total. Este análisis es esencial para dimensionar adecuadamente tanto la capacidad de generación de energía (como los paneles solares) como el sistema de almacenamiento (baterías), asegurando que la vivienda pueda funcionar de manera autónoma y sostenible, especialmente en un entorno sin conexión a la red eléctrica.

Tabla 5: Consumos eléctricos de la vivienda de El Larial (Fuente: Elaboración propia)

	Nevera	Congelador	Microondas	TV1	TV2	Plancha	Secador	Lavadora	Lavavajillas	Secadora	Iluminación	Ordenador	Total
Potencia instantánea (W)	250	200	1200	200	200	1500	1250	1500	2000	1500	300	39	10139
Horas uso/día	24	24	0.25	4	4	1	0.25	2	2	2	5	6	
Factor utilización	0.4	0.3	1	1	1	0.8	1	0.4	0.2	0.4	1	1	
KWh/día	2.40	1.44	0.30	0.80	0.80	1.20	0.31	1.20	0.80	1.20	1.50	0.23	12.19
Días uso/semana	7	7	4	7	7	4	4	4	5	4	7	7	
Consumo anual (kWh)	873.6	524.2	62.4	291.2	291.2	249.6	65.0	249.6	208.0	249.6	546.0	85.2	3695.5
% del TOTAL	24%	14%	2%	8%	8%	7%	2%	7%	6%	7%	15%	2%	100%

La tabla presentada ofrece un desglose detallado de los consumos eléctricos estimados para diferentes electrodomésticos y dispositivos en la vivienda. Este análisis permite entender mejor cómo se distribuye el consumo de energía y qué factores influyen en el gasto total.

Es importante destacar que la tabla no incluye los consumos asociados a la climatización de la vivienda. Dado que la climatización puede representar una parte significativa del consumo total en muchas viviendas, especialmente si se utiliza un sistema de bomba de calor, su exclusión indica que el consumo total anual presentado en la tabla subestima el consumo real esperado de la vivienda una vez se integre la climatización. Este análisis debe ser considerado preliminar y se deberá ajustar una vez se incorpore la climatización en el cálculo global.

Los consumos eléctricos en la vivienda se dividen entre diferentes electrodomésticos y dispositivos electrónicos. Los aparatos con el consumo más elevado en términos absolutos son la nevera y el congelador, que, debido a su funcionamiento continuo durante las 24 horas del día, suman una parte considerable del consumo total. En la tabla, la nevera consume 873.6 kWh al año, representando el 24% del consumo total, mientras que el congelador consume 524.16 kWh, equivalentes al 16% del total.

Por otro lado, otros dispositivos como la iluminación y los ordenadores también tienen un peso significativo en el consumo, aunque su uso es más intermitente. La iluminación, que puede ser optimizada con tecnologías de bajo consumo como LEDs, alcanza un 15% del total anual con 546 kWh.

Los electrodomésticos como la lavadora, lavavajillas y secadora tienen consumos relativamente elevados debido a su potencia instantánea alta, aunque su uso no es continuo. Por ejemplo, la secadora tiene una potencia de 2000 W, pero se utiliza solo unas pocas horas a la semana, lo que limita su impacto en el consumo total anual al 7% (249.6 kWh). El microondas tiene una potencia elevada de 1200 W, pero su uso es tan esporádico que su consumo anual es uno de los más bajos, representando apenas el 2% del total con 62.4 kWh.

El factor de utilización y las horas de uso por día son determinantes en el consumo final de cada dispositivo. Por ejemplo, aunque la plancha tiene una potencia de 200 W y un factor de utilización del 0.8, su uso es intermitente (1 hora al día), resultando en un consumo anual moderado de 249.6 kWh (7% del total).

El consumo total diario se calcula sumando los kWh diarios de todos los dispositivos, lo que da una visión del consumo energético promedio de la vivienda (12.19 kWh). Según la tabla, el consumo total anual es de 3695.54 kWh, con la iluminación y la nevera siendo los mayores contribuyentes. Este valor, sin embargo, está incompleto sin la inclusión del consumo de climatización, que es crítico para una vivienda como la de la finca "El Larial", especialmente en un escenario de autoconsumo.

Para el cálculo de generación eléctrica solar se usará el valor de consumo eléctrico mensual de 308 kWh, que es el resultado de la división del valor anual de 3695.54 kWh anuales entre los doce meses del año

Capítulo 5. Dimensionamiento térmico

Para comenzar con el dimensionamiento de las diferentes técnicas de climatización es necesario calcular las cargas térmicas que se encontraran en la vivienda. Es por eso por lo que es necesario obtener las condiciones exteriores e interiores más desfavorables de la vivienda, así como las cargas térmicas sensibles y latentes para poder obtener la capacidad de la climatización.

5.1 Condiciones de la vivienda

Como se acaba de mencionar, se cogerán los datos de temperatura de los días más extremos para verano e invierno para un óptimo cálculo de las cargas.

5.1.1 Condiciones exteriores

Para un cálculo lo más cercano a lo estadístico, se usa como referencia las temperaturas y humedades obtenidas en la estación del IDAE más cercana, la que se encuentra en el centro de Ciudad Real. Su uso sirve para el estudio de condiciones climáticas exteriores de proyecto.

Para en invierno se cogerá la temperatura seca en el percentil de 99.6, es decir, -2.6°C y humedad relativa del 89%. Mientras que en verano se usará la temperatura seca del 0.4%, unos 37.6°C y humedad relativa del 30%.

En la tabla a continuación, se encuentran los datos completos de la estación meteorológica de Ciudad Real.

Tabla 6: Climatología de la estación de Ciudad Real (Fuente: IDAE) [11]

Provincia			Estación		Indicativo	
Ciudad Real			Ciudad Real (Escuela de Magisterio)		4121	
Ubicación: Centro Ciudad			Nº de Observaciones y Periodo			
a.s.n.						
m.	Lat.:	Long.:	T seca:	Hum. relativa:	T Terreno:	Rad.:
(m):						
627	38º59' 22"	03º55'1 1"W	87,600 (1998-2007)	(2) 18.980 (1998-2007)	14.600 (1998-2007)	58.400 (1998-2007)
Condiciones Proyecto Calefacción (Temperatura Seca Exterior Mínima)						
TSMI N (ºC)	TS_99, 6 (ºC)	TS_99 (ºC)	OMDC (ºC)	HUMcoin (ºC)	OMA (ºC)	
-9,0	-2,6	-1,3	13,1	89	40,2	
Condiciones Proyecto Refrigeración (Temperatura Seca Exterior Máxima)						
TSM AX (ºC)	TS_0,4 (ºC)	THC_0,4 (ºC)	TS_1 (ºC)	THC_1 (ºC)	OMDR (ºC)	
41,7	37,6	22,1	36,2	21,8	17,8	
Condiciones Proyecto Refrigeración (Temperatura Húmeda Exterior Máxima)						
TH_0, 4 (ºC)	TSC_0, 4 (ºC)	TH_1 (ºC)	TSC_1 (ºC)			
22,6	36,3	22,0	35,6			

5.1.2 Condiciones interiores

Para las condiciones interiores se coge la información del Reglamento e Instalaciones Térmicas en edificios, que recomiendan una temperatura y humedad relativa estándar para las diferentes épocas del año en España, indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 7: Condiciones interiores de diseño (Fuente: RITE) [12]

	T operativa (°C)	H relativa (%)
Tabla 1.4.1.1		
Invierno	21-23	40-50
Verano	23-25	45-60

Usando como referencia esta información, se escoge para verano 25°C de temperatura y 50% de humedad, y para invierno 21°C de temperatura y el 40% de humedad.

5.2 Envoltente térmica

La envoltente térmica de un edificio es clave para el cálculo de las cargas térmicas, ya que actúa como una barrera que minimiza las pérdidas de calor en invierno y las ganancias en verano. Un buen aislamiento térmico en paredes, techos, suelos y ventanas es esencial para reducir la demanda energética, manteniendo el confort interior y disminuyendo el consumo de calefacción y refrigeración. Sin un adecuado aislamiento, el edificio perdería calor rápidamente en invierno y ganaría calor en verano, aumentando los costos energéticos y reduciendo la eficiencia general del sistema.

Es por esta razón que la futura vivienda será construida con los mejores y más modernos materiales de aislamiento.

Existen dos diferentes tipos de cargas, las sensibles y las latentes. Las cargas sensibles están relacionadas con la variación de la temperatura del aire, como el calentamiento o enfriamiento directo del espacio. Las cargas latentes, en cambio, se refieren a los cambios en la humedad del aire, como la deshumidificación o humidificación, y están vinculadas al manejo del contenido de vapor de agua en el aire.

Sobre las cargas transferidas en el interior, así como las creadas por los habitantes o electrodomésticos/maquinas no se tendrán en cuenta, ya que la casa estará deshabitada la mayoría del tiempo.

El cálculo de cargas se ha realizado a través de la herramienta de la Universidad Politécnica de Valencia junto con ATECYR (Asociación Técnica Española de Climatización y refrigeración), el programa "Clima". En él se deben introducir los diferentes valores y propiedades de la vivienda, como por ejemplo el área de los muros, la orientación de estos, volumen de la casa, cantidad de ventanas y los coeficientes térmicos de todos estos.

La herramienta devolverá, dependiendo si se trata de refrigeración o calefacción, las cargas térmicas ganadas o pérdidas totales de la vivienda según las horas del día y mes, devolviendo un resumen de los materiales de construcción usados, el consumo energético térmico en calefacción y refrigeración, su división en habitaciones, cargas sensibles y latentes.

5.2.1 Elementos opacos

Los elementos opacos los componen el techo, el suelo y los muros, cada uno puede ser externo o interno. Dependiendo de la orientación de estos, la variación de carga será mayor o menor, hay que recordar que la vivienda esta direccionada perfectamente dirección norte-sur.

En cuanto a los coeficientes de transmisión térmicos, se han utilizado los valores de referencia dados por el programa, son los siguientes:

Tabla 8: Composición de los cerramientos (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13]

Nombre	Capas	Transmitancia [W/m ² K]	Peso [kg/m ²]	He [W/m ² K]	Hi [W/m ² K]
Muro Exterior	ref Mortero de cemento (1.5cm) ref Ladrillo perforado (11.5cm) ref Aislante (3.9cm) ref Ladrillo hueco (4.0cm) ref Enlucido de yeso (1.5cm)	0.66	186.470	25.00	7.69
Muro Interior	ref Enlucido de yeso (1.5cm) ref Tabicon de ladrillo hueco doble (7.0cm) ref Aislante (1.5cm) ref Tabicon de ladrillo hueco doble (7.0cm) ref Enlucido de yeso (1.5cm)	0.99	163.650	7.69	7.69
Techo Exterior	ref Plaqueta o baldosa ceramica (1.5cm) ref Mortero de cemento (1.5cm) ref Aislante (8.9cm) ref Hormigon con aridos ligeros (7.0cm) ref Forjado ceramico (25.0cm)	0.38	588.170	25.00	10.00
Techo Interior	ref Enlucido de yeso (1.5cm) ref Tabicon de ladrillo hueco doble (7.0cm) EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] (4.0cm) ref Tabicon de ladrillo hueco doble (7.0cm) ref Enlucido de yeso (1.5cm)	0.58	164.400	7.69	7.69
Suelo Exterior	ref Plaqueta o baldosa ceramica (1.5cm) ref Mortero de cemento (1.5cm) ref Aislante (7.1cm) ref Solera de hormigon armado (20.0cm)	0.48	560.630	5.88	25.00
Suelo Interior	ref Plaqueta o baldosa ceramica (1.5cm) ref Mortero de cemento (2.0cm) EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]] (4.0cm) ref Forjado cerámico (25.0cm)	0.57	484.200	10.00	10.00

Si se compara con el Código Técnico de Edificación (CTE), específicamente el Documento Básico de Ahorro de Energía (DBHE), que conociendo que la zona climática en invierno es la D3 ayuda a obtener los valores, como es el caso de la Tabla 3.1.1.b – HE1.

Tabla 9: Valor límite de la transmitancia en muros (Fuente: Documento Básico HE) [14]

Valor límite Klim [W/m^2K] residencial privado	Compacidad V/A [m^3/m^2]	Zona Climática en Invierno					
		α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones (W/m^2K)	$V/A \leq 1$	0,67	0,60	0,58	0,53	0,48	0,43
	$V/A \geq 4$	0,86	0,80	0,77	0,72	0,67	0,62
Cambios de uso (W/m^2K)	$V/A \leq 1$	1,00	0,87	0,80	0,73	0,63	0,54
	$V/A \geq 4$	1,07	0,94	0,90	0,81	0,70	0,62

En esta tabla, en zona climática D, en edificios nuevos y ampliaciones, y una compacidad mayor que 4, (en el caso actual es 5.5) el valor límite del muro exterior debe ser menor a $0.67 \frac{W}{m^2K}$, es decir, casi exacto al usado en el programa.

5.2.2 Elementos traslucidos

Para elementos traslucidos, como son las ventanas, se utiliza otro coeficiente. Se ha escogido el valor de $92 \frac{W}{m^2K}$ para todas las ventanas, y se obtiene de la empresa española de venta de ventanas Román Clavero, que se instalarán en la vivienda. [15]

Aun no se conoce el producto final, pero de media tiene el conjunto de marco y ventana ese valor como coeficiente, también muy bajo.

5.2.3 Cargas internas

Por último, falta por añadir las cargas internas, tanto latente como sensible producidas por las actividades interiores. Una de ellas es la ventilación, donde se usará el valor de $18 \frac{m^3}{h, pers}$ y servirá para calcular las cargas producidas por las personas.

La actividad seleccionada es residencial, con trabajo ligero sentado, donde se ha usado una ratio de $25 \text{ m}^2/\text{pers}$, por lo que depende del área de la habitación. En cuanto a las luces, son de tipo incandescente y tienen una potencia sensible de $5 \text{ W}/\text{m}^2$.

El resumen se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 10: Cargas internas térmica de la vivienda (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13]

Nombre	Ratio	Distribución	Actividad	Pot. sen. [W/pers]	Pot. lat. [W/pers]
Residencial	25.00	Residencial personas	Sentado trabajo ligero	82.00	62.00
Residencial	7.00	Residencial luces	Incandescente	5.00	0.00

5.3 Resultados de cargas térmicas

Como se ha comentado anteriormente, el programa devuelve el valor de las cargas térmicas a lo largo del año, pero se usará para el dimensionamiento eléctrico de la climatización el día y hora de más condiciones extremas, primero para refrigeración y después para climatización, y se usará el de mayor consumo térmico.

5.3.1 Refrigeración

Para el cálculo de la refrigeración se ha utilizado el séptimo mes del año (julio, el más caluroso), y el día 21 de ese mes, usando sus condiciones externas como la temperatura, humedad relativa, radiancia solar, etc. Hay que recordar que las condiciones del interior son de 25°C y 50% de humedad relativa.

En total, para esa fecha y hora el edificio genera una potencia térmica total de 12.01 kW, con 11.19 kW de sensible. Es un valor alto, pero también coherente al ser una zona de extremo calor en la península ibérica, con altas temperaturas y humedad relativa.

A continuación, se presenta la tabla que divide las cargas térmicas según las habitaciones, aunque con la fecha del estudio diferente. Esto es debido a que la posición de las habitaciones, su orientación y habitaciones colindantes hacen que no todas tengan las condiciones más extremas el mismo día:

Tabla 11: Potencias térmicas de la vivienda en refrigeración (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13]

Elemento	Fecha máxima	Potencia total [kW]	Potencia sensible [kW]	Ratio total [W/m²]	Ventilación [m³/hora]
Edificio	Hora: 21; Mes: Julio	12.01	11.19	41	208.68
Vestíbulo	Hora: 20; Mes: Agosto	0.48	0.43	24	14.40
Cocina	Hora: 21; Mes: Julio	1.03	0.97	52	14.40
Lavadero	Hora: 21; Mes: Agosto	0.62	0.54	21	21.60
Pasillo	Hora: 9; Mes: Julio	0.03	0.03	17	1.08
Dormitorio1	Hora: 21; Mes: Julio	0.79	0.75	57	9.91
Baño1	Hora: 20; Mes: Agosto	0.16	0.15	26	4.51
Dormitorio2	Hora: 21; Mes: Julio	0.83	0.80	64	9.36
Baño2	Hora: 20; Mes: Agosto	0.18	0.16	25	5.04
Dormitorio3	Hora: 21; Mes: Julio	0.99	0.95	80	8.86
Baño3	Hora: 21; Mes: Julio	0.18	0.16	23	5.54
Dormitorio4	Hora: 21; Mes: Julio	0.69	0.67	67	7.42
Baño4	Hora: 21; Mes: Julio	0.17	0.15	24	5.04
Dormitorio Ppal	Hora: 21; Mes: Julio	1.55	1.49	77	14.40
Baño Ppal	Hora: 20; Mes: Julio	0.50	0.46	38	9.36
Ático	Hora: 21; Mes: Julio	1.55	1.40	31	36.00

Salón	Hora: 20; Mes: Agosto	2.36	2.18	41	41.76
-------	--------------------------	------	------	----	-------

El siguiente grafico muestra cómo varían las cargas térmicas a lo largo del día en la vivienda. A diferencia de lo que se podría esperar, el pico de carga térmica no se produce al mediodía, sino más tarde en la tarde. Este comportamiento puede explicarse por varios factores.

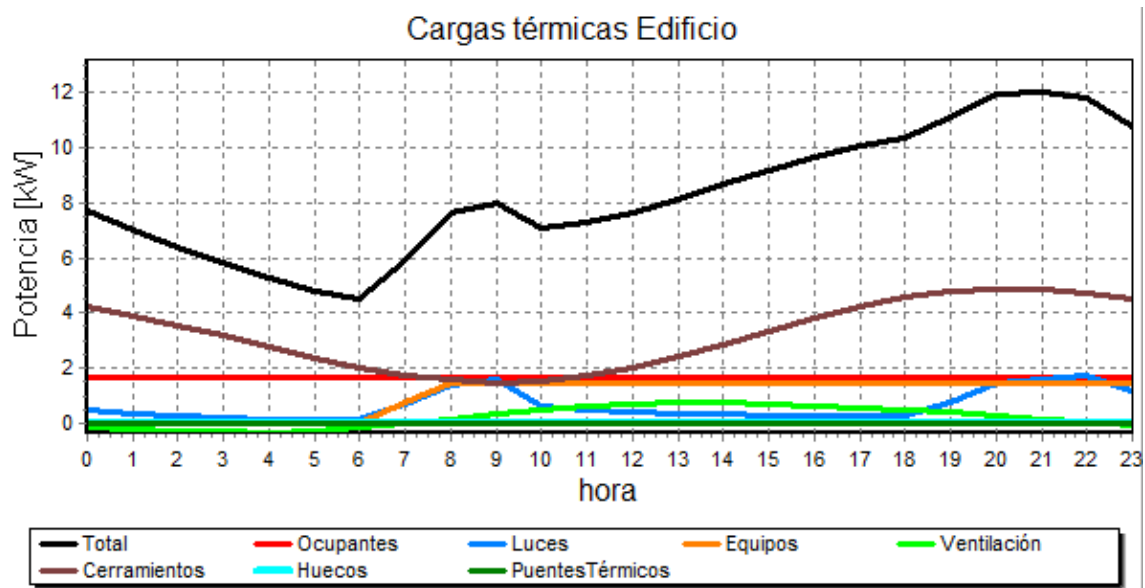


Ilustración 21: Grafica de consumo térmico en refrigeración a 21 de julio (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13]

El primero es inercia térmica, donde los materiales del edificio acumulan calor durante el día y lo liberan más tarde, lo que provoca que el pico de carga térmica se desplace hacia la tarde o la noche en lugar de coincidir con el mediodía.

El siguiente son las actividades dentro de la vivienda descritas anteriormente, como el uso de luces, equipos, y la presencia de ocupantes, que tienden a aumentar a lo largo del día, especialmente en la tarde, contribuyendo a un aumento de las cargas térmicas.

Y finalmente la ventilación y puentes térmicos, donde el funcionamiento del sistema de ventilación y la transferencia de calor a través de puentes térmicos también pueden incrementar las cargas térmicas en la tarde.

En cuanto a valores, el punto mínimo se registra alrededor de las 6 de la mañana, cuando la potencia total es de aproximadamente 4 kW. Este mínimo coincide con las horas más frías del día, cuando la demanda de refrigeración es baja, y las contribuciones internas (como el calor generado por ocupantes, luces y equipos) son mínimas.

En el punto máximo ocurre alrededor de las 21 horas, como se ha estudiado, con una potencia total que alcanza aproximadamente 12 kW. Este pico se debe a la acumulación de calor durante el día, liberada más tarde debido a la inercia térmica del edificio, y a un aumento de la actividad interna dentro de la vivienda (uso de luces, equipos, etc.), que incrementa las cargas térmicas.

Si se mira únicamente las 21 horas, las cargas sensible y latente llegan hasta los 12.01 kW. En la siguiente tabla se muestra el desglose de ambas cargas según la envolvente.

Tabla 12: Resumen de cargas en refrigeración (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13]

Refrigeración	Total	Sensible
Total Cargas [kW]	12.01	11.19
Ratio [W/m ²]	41.44	38.61
Ocupantes[kW]	1.66	0.95
Luces[kW]	1.60	1.60
Equipos[kW]	1.45	1.45
Ventilación[kW]	0.15	0.20
Cerramientos[kW]	4.84	4.84
Mayoración[kW]	2.30	2.15

Finalmente queda una ratio de 21 kWh/m^2 en refrigeración.

5.3.2 Calefacción

En el siguiente caso, se calcula las cargas térmicas de la calefacción en el primer mes del año (enero y el más frío) también para el día 21, a las 8 de la mañana, momento más crítico del día. Ahora, las condiciones internas son de 21 °C y 50% de humedad relativa.

En total, la vivienda de la finca “El Larial” consume un máximo de 13.63 kW de potencia total térmica, con 12.85 kW de carga sensible. Este valor es superior al calculado en la refrigeración, por lo que se usara a la hora de encontrar el equipo de geotermia o aerotermia adecuado para las cargas y la vivienda.

En las siguiente gráficas y tablas se observa que la carga térmica es negativa, ya que es la demanda energética que deberá aportar el sistema climatización a la vivienda, para así poder calentarla.

Tabla 13: Potencias térmicas de la vivienda en calefacción (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13]

Elemento	Fecha máxima	Potencia total [kW]	Potencia sensible [kW]	Ratio total [W/m²]	Ventilación [m³/hora]
Edificio	Hora: 8; Mes: Febrero	-13.63	-12.85	-47	208.68
Vestibulo	Hora: 7; Mes: Febrero	-0.33	-0.29	-17	14.40
Cocina	Hora: 9; Mes: Febrero	-1.32	-1.26	-66	14.40
Lavadero	Hora: 6; Mes: Febrero	-0.38	-0.30	-13	21.60
Pasillo	Hora: 5; Mes: Febrero	-0.02	-0.01	-12	1.08
Dormitorio1	Hora: 10; Mes: Febrero	-1.08	-1.05	-79	9.91
Baño1	Hora: 7; Mes: Febrero	-0.12	-0.11	-20	4.51
Dormitorio2	Hora: 10; Mes: Febrero	-1.17	-1.13	-90	9.36
Baño2	Hora: 7; Mes: Febrero	-0.13	-0.11	-19	5.04
Dormitorio3	Hora: 11; Mes: Febrero	-1.47	-1.43	-119	8.86
Baño3	Hora: 7; Mes: Febrero	-0.14	-0.12	-18	5.54
Dormitorio4	Hora: 10; Mes: Febrero	-1.03	-1.00	-100	7.42
Baño4	Hora: 7; Mes: Febrero	-0.13	-0.11	-19	5.04
Dormitorio Ppal	Hora: 10; Mes: Febrero	-2.12	-2.06	-106	14.40
Baño Ppal	Hora: 8; Mes: Febrero	-0.45	-0.42	-35	9.36
Ático	Hora: 6; Mes: Febrero	-1.25	-1.11	-25	36.00

Salón	Hora: 8; Mes: Febrero	-2.60	-2.43	-45	41.76
-------	--------------------------	-------	-------	-----	-------

En el gráfico proporcionado se muestran las cargas térmicas del edificio en un escenario de calefacción, y presenta un comportamiento muy distinto al de refrigeración.

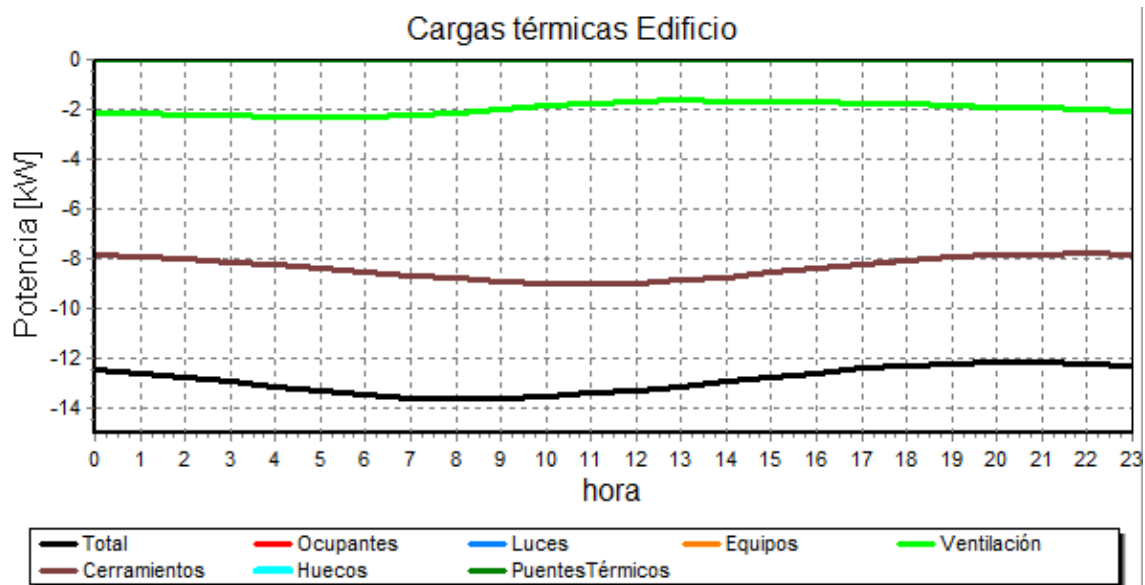


Ilustración 22: Gráfica de consumo térmico en calefacción a 21 de enero (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13]

La forma de la curva es mucho más plana y sin grandes variaciones. Esto se debe a la combinación de pérdidas térmicas más estables, menor variabilidad en las temperaturas exteriores, y la inercia térmica del edificio, que modera las fluctuaciones en la demanda de calefacción.

En cuanto al nivel cuantitativo, el punto mínimo ocurre alrededor de las 8 de la mañana, que es donde se centra el estudio, con una potencia total que alcanza aproximadamente 14 kW. Este mínimo se produce en las primeras horas del día, cuando las temperaturas exteriores suelen ser las más bajas, lo que aumenta significativamente la demanda de calefacción.

En el punto máximo, se observa en las últimas horas del día, alrededor de las 20 horas, con una potencia total cercana a 12 kW. Aunque la carga térmica sigue siendo negativa, lo que indica una demanda continua de calefacción, el valor absoluto disminuye ligeramente a medida que el día avanza y el calor acumulado del día reduce la carga de calefacción.

En cuanto a las pérdidas de carga térmica, el mayor ocurre en los cerramientos, lo que indica la importancia a la hora de construir la vivienda y en el ahorro energético.

Tabla 14: Resumen de cargas en calefacción (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13]

Calefacción	Total	Sensible
Total Cargas [kW]	-13.63	-12.85
Ratio [W/m ²]	-47.04	-44.33
Ocupantes[kW]	0.00	0.00
Luces[kW]	0.00	0.00
Equipos[kW]	0.00	0.00
Ventilación[kW]	-2.15	-1.51
Cerramientos[kW]	-8.80	-8.80
Mayoración[kW]	-2.69	-2.54

En total, queda la calefacción distribuida en una ratio de 47 kWh/m^2 .

5.3 Resumen anual y mensual

Si se comparan los valores máximos de carga térmica entre refrigeración y calefacción, es el segundo cuyo valor es más grande, de -13.63 kW de carga térmica total. Se usará esta cifra para el dimensionamiento de la climatización.

También se han calculado la demanda mensual térmica, que se presenta en la siguiente gráfica.

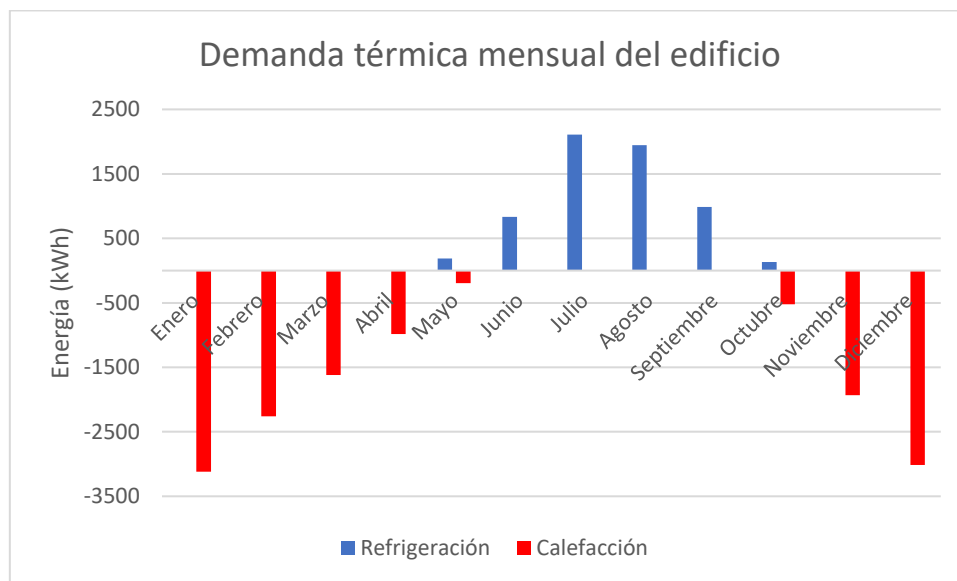


Ilustración 23: Demanda térmica mensual del edificio (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13]

El gráfico de demanda térmica mensual del edificio refleja claramente las fluctuaciones en las necesidades energéticas de la vivienda a lo largo del año, evidenciando la demanda tanto para calefacción como para refrigeración. Durante los meses de invierno, como enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre, la demanda de calefacción es especialmente alta, con los valores más negativos, alcanzando aproximadamente -3,000 kWh en los meses más fríos. Esto indica que la vivienda requiere una cantidad considerable de energía para mantener una temperatura interior confortable durante este período.

A medida que la temperatura exterior aumenta en los meses de primavera, la demanda de calefacción disminuye. En los meses de transición, como mayo y octubre, la demanda de climatización es prácticamente nula, lo que sugiere que las condiciones exteriores son lo suficientemente moderadas como para no requerir un uso intensivo de calefacción o refrigeración.

Por otro lado, en los meses de verano, específicamente en junio, julio, agosto y septiembre, la demanda de refrigeración toma protagonismo. Esto se observa en las barras azules que alcanzan su punto máximo en julio, con más de 1,500 kWh, reflejando la necesidad de enfriar la vivienda durante los días más cálidos del año.

En la siguiente tabla aparecen los valores por mes:

Tabla 15: Resumen de cargas térmicas mensuales del edificio (Fuente: Programa Clima ATECYR) [13]

Consumo (kWht)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Refrigeración	0	0	0	1	187	834	2108	1945	986	134	0	0
Calefacción	3118	2258	1621	982	193	0	0	0	0	521	1933	3014

Y los valores máximos que se usarán para dimensionar la bomba de calor:

Tabla 16: Valores máximos de carga térmica (Fuente: Elaboración propia)

Potencia (kW)	Calefacción	Refrigeración
Carga térmica	-13.63	12.01
Fecha	21-feb	21-jul

Capítulo 6. Dimensionamiento geotérmico

En este capítulo se calculará el dimensionamiento de la instalación geotérmica, que lleva a la elección de la bomba geotérmica de calor y del intercambiador de calor subterráneo.

Para ello se ha utilizado el documento proporcionado por el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) y realizado por ATECYR [16]. El fin de este documento es ofrecer una guía de los cálculos indispensables para una instalación geotérmica de muy baja temperatura y promover su instalación y uso.

En los siguientes puntos se calcularán los consumos eléctricos de las bombas de calor, así como la longitud, diámetro del intercambiador, así como las temperaturas a las que estará expuesto durante su funcionamiento.

6.1 Elección de la bomba de calor geotérmica

Para el dimensionamiento de la bomba de calor geotérmica se usa el valor mayor de potencia calorífica de la vivienda, 13.63 kW. Por lo general, las máquinas de geotermia tienen un COP (Coefficient of Performance) alrededor de 5, esto indica que, para calentar hasta 5 kW de potencia térmica, solo hay que aportar 1 kW de energía eléctrica.

Las ecuaciones del COP para calefacción y EER (Energy Efficiency Ratio) para refrigeración son las siguientes:

Ecuación 1: COP en calefacción

$$COP = \frac{Pot. Calorifica Generada}{Pot. Elect. Consumida}$$

Ecuación 2: EER en refrigeración

$$EER = \frac{Pot. Enfriamiento}{Pot. Elect. Consumida}$$

Para obtener una cifra aproximada de consumo eléctrico, se va a usar la cifra de COP de 5.

Ecuación 3: Aproximamiento de potencia eléctrica consumida

$$Pot. Elect. Consumida = \frac{Pot. Calorifica Generada}{COP} = \frac{13.63 \text{ kW}}{5} = 2.7 \text{ kW}$$

Esto indica que hay que encontrar una maquina con un COP cercano a 5, pero que sea capaz de generar más de 14 kW de energía térmica, cuyo consumo está cercano a los 2.7 kW eléctricos.

La máquina de geotermia se usará para calentar y enfriar al máximo el líquido refrigerante que circulará por el suelo radiante. La bomba escogida es la flexoTHERM Exclusive, modelo VWF 157/4 capacidad de calorífica de 15.30 kW, frigorífica de 15.80 kW y que utiliza como refrigerante el R410A.



Ilustración 24: Geotermia flexoTHERM Exclusive VWF 157/4 [17]

El COP de esta bomba es de 4.8, lo que indica que es muy alta, su EER también es alto, de 3.9. Además, la potencia calorífica de la bomba de calor es mayor que las cargas térmicas calculadas, lo que asegura que trabaje en un gran porcentaje por debajo de las cargas máximas.

Tabla 17: Valores de ficha técnica de FlexoTHERM VWF 157/4 (Fuente: Elaboración propia)

FlexoTHERM VWF 157/4	
Parámetro	Valor
Capacidad calorífica (kW)	15.30
Consumo eléctrico (kW)	3.30
COP	4.80
Capacidad frigorífica (kW)	15.80
Consumo eléctrico (kW)	4.40
EER	3.90

La ficha técnica al completo se encuentra en el Anexo.

6.2 Consumo eléctrico máximo

Sobre el consumo eléctrico, este dependerá de la época del año, ya que las temperaturas exteriores modificarán las cargas térmicas.

En invierno el consumo máximo eléctrico se calcula con la ecuación del COP mencionada antes, donde se obtiene un consumo menor de lo esperado.

Ecuación 4: Consumo eléctrico máximo con geotermia en invierno

$$Pot. Elect. Invierno = \frac{Pot. Calorífica Generada}{COP} = \frac{13.63 \text{ kW}}{4.8} = 2.84 \text{ kW}$$

En verano se usa la misma ecuación, pero se va a utilizar la carga térmica obtenida en el mes de julio para obtener un consumo más aproximado, además del correspondiente EER.

Ecuación 5: Consumo eléctrico máximo con geotermia en verano

$$Pot. Elect. Verano = \frac{Pot. Calorífica Generada}{EER} = \frac{12.01 \text{ kW}}{3.8} = 3.08 \text{ kW}$$

6.3 Consumo eléctrico mensual

Gracias a que se ha obtenido en el capítulo anterior la demanda térmica de la vivienda a lo largo del año, usando las ecuaciones anteriores se puede obtener un consumo estimado de electricidad mensual, como enseña el siguiente gráfico.

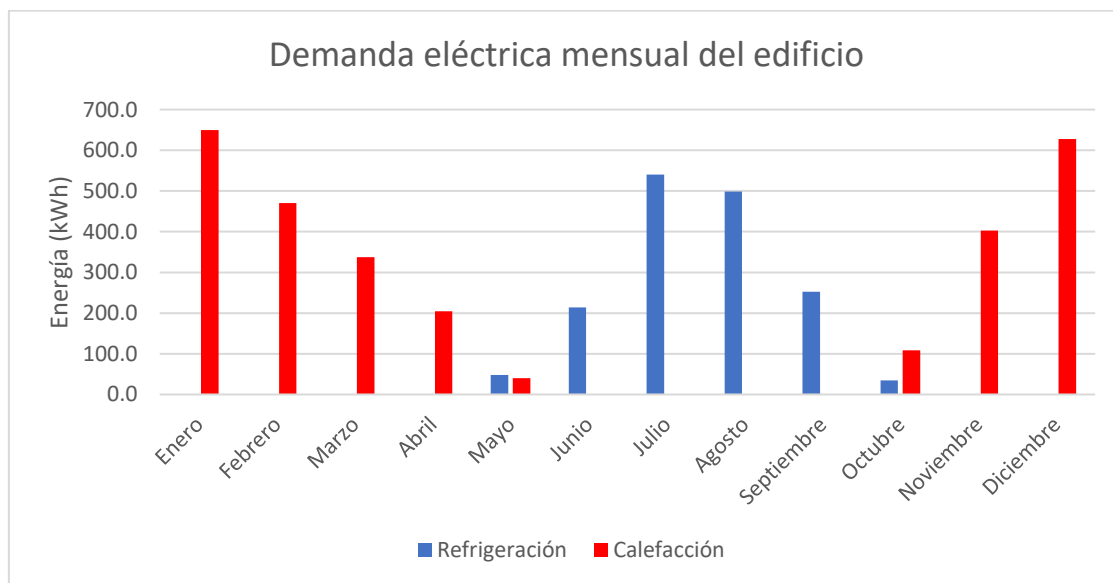


Ilustración 25: Gráfica de consumo eléctrico de instalación geotérmica (Fuente: Elaboración propia)

Y en la siguiente tabla los valores exactos por mes, además del total.

Tabla 18: Resumen de consumo eléctrico mensual con geotermia (Fuente: Elaboración propia)

Consumo (kWh)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Refrigeración	0.0	0.0	0.0	0.3	47.9	213.8	540.5	498.7	252.8	34.4	0.0	0.0
Calefacción	-649.6	-470.4	-337.7	-204.6	-40.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-108.5	-402.7	-627.9
Total	649.6	470.4	337.7	204.8	88.2	213.8	540.5	498.7	252.8	142.9	402.7	627.9

Durante los meses de invierno, como enero, febrero, noviembre y diciembre, la demanda de calefacción es significativamente alta. Esto se refleja en el consumo eléctrico negativo (en rojo) para la calefacción, alcanzando picos de hasta -649.6 kWh en enero y -627.9 kWh en diciembre. Estos valores indican que la bomba geotérmica ha estado trabajando intensamente para mantener una temperatura confortable en la vivienda durante los meses más fríos.

Por otro lado, durante los meses de verano, como julio y agosto, la demanda de refrigeración es la predominante. En estos meses, se observa un consumo eléctrico positivo (en azul) para la refrigeración, con valores que alcanzan los 540.5 kWh en julio y 498.7 kWh en agosto.

En los meses de transición, como mayo y octubre, los consumos son menores y muestran una combinación de demandas, aunque predominan las necesidades de calefacción en octubre y refrigeración en mayo, pero en menor magnitud. Octubre, por ejemplo, tiene un consumo de -142.9 kWh, lo que refleja un uso moderado de la calefacción, mientras que en mayo el consumo de refrigeración es mínimo, de apenas 88.2 kWh.

Capítulo 7. Dimensionamiento aerotérmico

En este capítulo se calculará la potencia necesaria del equipo de climatización aerotérmico a partir de los valores calculados de cargas térmicas. Es un proceso muy parecido a la bomba de calor geotérmica, cambiando las especificaciones de la máquina.

7.1 Elección de la bomba de calor aerotérmica

Como antes, se buscará una bomba de calor, en este caso aerotérmica, la cual su potencia calorífica supere la carga térmica de la vivienda de 13.63 kW. Por lo que deberá ser de una potencia nominal superior a 14 kW como mínimo.

Esto indica que hay que encontrar una maquina con un COP cercano a 5, pero que sea capaz de generar más de 14 kW de energía térmica, cuyo consumo está cercano a los 2.7 kW eléctricos.

La bomba seleccionada para climatizar la casa de la “Finca El Larial” es la EAS Electric modelo M-THERMAL 2 ETH16VA, con una potencia calorífica de 16 kW, suficiente para la máxima de calefacción de 13.63 kW. Tiene un COP de 4.5 para una impulsión de 35 °C (ambiente de 7 °C), junto con una potencia frigorífica de 14.9 kW (impulsión de 18 °C con ambiente de 18 °C) con un EER de 3.4. Se observa que, en comparación con la bomba geotérmica, los valores del COP y EER bastante inferiores, lo que hará que la demanda eléctrica sea mayor. Su refrigerante es el R32.

Tabla 19: Valores de ficha técnica de EAS ETH16VA (Fuente: Elaboración propia)

EAS ETH16VA	
Parámetro	Valor
Capacidad calorífica (kW)	16.00
Consumo eléctrico (kW)	3.56
COP	4.50
Capacidad frigorífica (kW)	14.90
Consumo eléctrico (kW)	4.38
EER	3.40

La ficha técnica al completo se encuentra en el Anexo.



Ilustración 26: Aerotermia EAS M-THERMAL 2 ETH16VA [18]

7.2 Consumo eléctrico máximo

Para el consumo eléctrico máximo, se volverá a usar los valores máximos de cargas de refrigeración y calefacción, usando las mismas ecuaciones anteriores.

En invierno el consumo máximo eléctrico se calcula con la ecuación del COP mencionada antes, donde se obtiene un consumo menor de lo esperado.

Ecuación 6: Consumo eléctrico máximo con aerotermia en invierno

$$Pot. Elect. Invierno = \frac{Pot. Calorífica Generada}{COP} = \frac{13.63 \text{ kW}}{4.5} = 3.03 \text{ kW}$$

Ecuación 7: Consumo eléctrico máximo con aerotermia en verano

$$Pot. Elect. Verano = \frac{Pot. Calorífica Generada}{EER} = \frac{12.01 \text{ kW}}{3.53} = 3.53 \text{ kW}$$

Dado que los valores de COP y EER más pequeños que la bomba de calor geotérmica, los consumos eléctricos son más grandes. Esto indica a que la bomba es menos eficiente que la anterior.

7.3 Consumo eléctrico mensual

Usando los datos de demanda térmica obtenidos del programa Clima de ATECYR y con las mismas ecuaciones, se obtiene la siguiente grafica que resume mes a mes la demanda eléctrica de la bomba de calor.

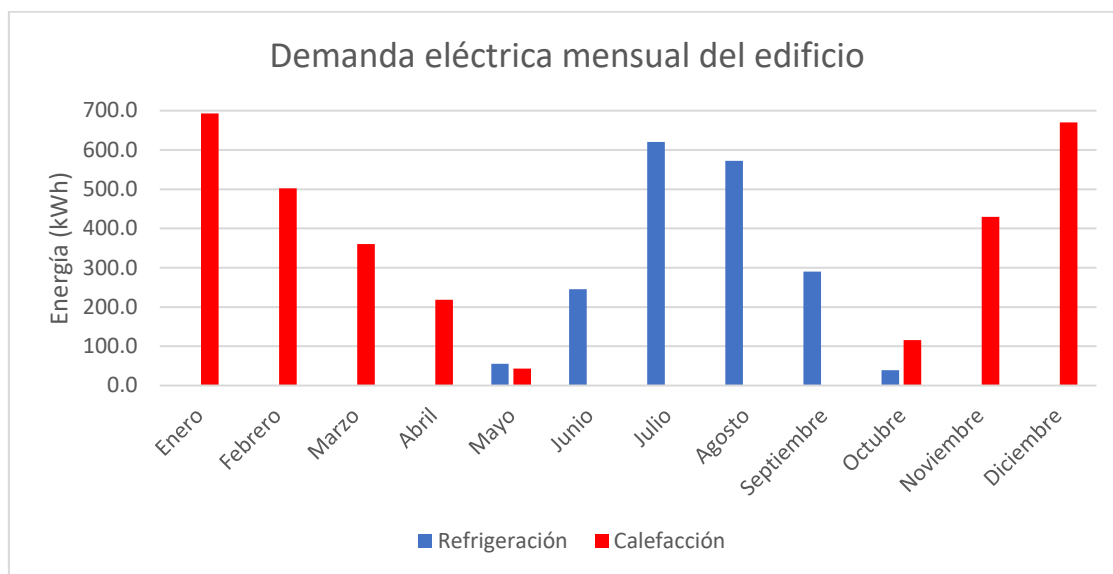


Ilustración 27: Gráfica de consumo eléctrico de instalación aerotermia (Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente tabla vienen resumidos meses a mes los consumos eléctricos:

Tabla 20: Resumen de consumo eléctrico mensual con aerotermia (Fuente: Elaboración propia)

Consumo (kWhe)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Refrigeración	0.0	0.0	0.0	0.3	55.0	245.3	620.0	572.1	290.0	39.4	0.0	0.0
Calefacción	-692.9	-501.8	-360.2	-218.2	-42.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-115.8	-429.6	-669.8
Total	692.9	501.8	360.2	218.5	97.9	245.3	620.0	572.1	290.0	155.2	429.6	669.8

La tabla de consumos eléctricos de la bomba de calor aerotérmica refleja las variaciones de demanda energética a lo largo del año en la vivienda. Durante los meses de invierno, la demanda de calefacción es predominante, con un consumo elevado en diciembre (669.8 kWh), enero (692.9 kWh), y febrero (501.8 kWh). En contraste, durante los meses de verano, la refrigeración es la que predomina, alcanzando un máximo en julio (620.0 kWh) y agosto (572.1 kWh).

Comparando estos datos con los obtenidos de la bomba de calor geotérmica, se observa que la aerotermia tiene un mayor consumo eléctrico en los meses de verano debido a que la eficiencia del sistema aerotérmico es más sensible a las altas temperaturas exteriores. En cambio, en los meses de invierno, la geotermia suele ser más eficiente, lo que se traduce en un menor consumo eléctrico en comparación con la aerotermia, que tiene un consumo ligeramente superior en los meses más fríos.

Capítulo 8. Dimensionamiento de caldera de pellets

Este último dimensionamiento se estudiará el impacto que podría tener una caldera de pellets a la vivienda, que, a pesar de ser una combustión, se consideran renovables al estar hechos de biomasa.

8.1 Elección de la caldera

Como se ha hecho en las opciones anteriores, hay que escoger una caldera de pellets que sea capaz de proporcionar hasta 16 kW de potencia calorífica para suplir la carga térmica de 14 kW en invierno de la vivienda.

La caldera escogida es la Maxlor Boiler, de modelo 16. Tiene una potencia global máxima de 15.9 kW y mínima de 4.4 kW. Un dato muy importante es la eficiencia de la caldera, que ronda entre el 90% y el 91.1%, muy alta.

Tabla 21: Valores de ficha técnica de Maxlor Boiler Mod16 (Fuente: Elaboración propia)

Maxlor Boiler Mod16	
Parámetro	Valor
Capacidad calorífica (kW)	15.90
Eficiencia	0.91
Consumo Max (kg)	3.27
Consumo Min (kg)	0.91
Autonomía Max (min)	50.00
Capacidad Max (kg)	46.00
Poder calorífico pellets (kWh/kg)	4.80



Ilustración 28: Caldera de pellets Maxlor Boiler (Fuente: Grupo RP) [19]

8.2 Consumo de pellets máximo

Para el consumo eléctrico máximo, se volverá a usar el valor máximo de carga de calefacción, usando las mismas ecuaciones anteriores. En este caso, el “COP” es la eficiencia de la caldera para pasar de kWh a kilos de pellets (se toma el 91% como punto medio para el cálculo). PCI es el poder calorífico de los pellets, con valor de 4.8 kWh/kg . Se usa el dato de 13.63 kW de carga térmica máxima, en una hora, para poder así obtener el consumo máximo en kilos de pellets.

Ecuación 8: Consumo de pellets máximo

$$\text{Consumo Pellets} = \frac{\text{Pot. Calorífica Generada}}{\text{PCI} * \text{Eficiencia}} = \frac{13.63 \text{ kW} * 1 \text{ h}}{4.8 \text{ kWh/kg} * 0.91} = 3.12 \text{ kg}$$

El consumo para la hora de mayor carga térmica es de 3.15 kg de pellets, menor que el consumo máximo posible permitido por la caldera. Para el resto de las horas del año el consumo será menor y se irá reduciendo según vaya avanzando el año hacia los meses de verano.

8.3 Consumo de pellets mensual

Elegir esta opción como climatización solo ofrecería calefacción, para la refrigeración habría que encontrar otros métodos como aires acondicionados Split.

Como en los casos anteriores, se utiliza la tabla de cargas térmicas, ahora solo en calefacción, para obtener el consumo de la caldera. Al ser la fuente de energía únicamente los pellets, se calcula el consumo de estos en kilogramos.

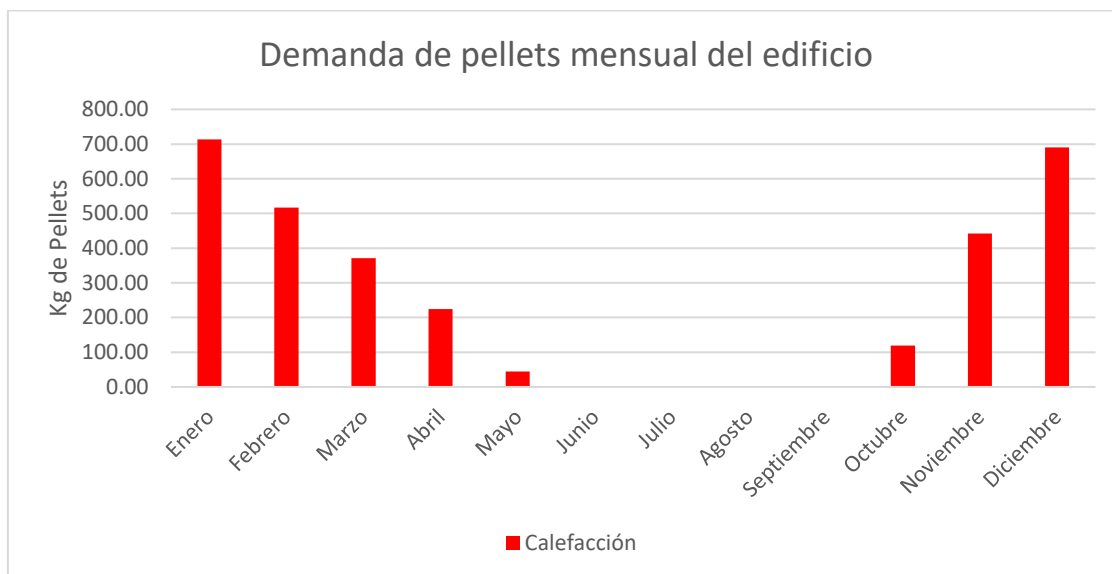


Ilustración 29: Gráfica de consumo de pellets de instalación con caldera (Fuente: Elaboración propia)

La grafica tiene las mismas proporciones que en la calefacción de la geotermia y aerotermia, aunque la demanda se mide ahora en kilogramos de pellets.

Tabla 22: Resumen de consumo eléctrico mensual con caldera (Fuente: Elaboración propia)

Consumo (kg)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Calefacción	713.83	516.94	371.11	224.82	44.18	0.00	0.00	0.00	0.00	119.28	442.54	690.02

La demanda más alta de pellets se observa durante los meses de invierno, especialmente en enero (713.83 kg) y diciembre (690.02 kg). Estos meses requieren una mayor cantidad de combustible debido a las bajas temperaturas exteriores, lo que aumenta la demanda de calefacción. En los meses de transición como octubre y noviembre, la demanda disminuye, pero sigue siendo significativa, con un consumo notable en noviembre (442.54 kg).

En contraste, durante los meses de verano (junio, julio y agosto), el consumo de pellets es nulo, ya que no se requiere calefacción. Esto refleja un patrón típico en climas templados, donde la necesidad de calefacción se concentra en los meses más fríos del año.

A pesar de quemar combustible (pellets), las calderas de pellets mantienen un rendimiento constante independientemente de la temperatura exterior, lo que puede ser una ventaja significativa en climas muy fríos donde las bombas de calor pierden eficiencia.

Capítulo 9. Dimensionamiento de generación solar

En este capítulo se obtendrá la instalación de generación solar necesaria para soportar la demanda eléctrica total de la vivienda de El Larial, que incluye los gastos comunes de electrodomésticos, leds, etc. Añadiendo si es el caso de la climatización geotermia o aerotermia sus consumos.

9.1 Elección de placas solares

Se elige placa solar para todas las instalaciones la JA Solar “JAM72S30 525-550/MR” que consiste en un panel solar monocristalino, que tiene la ventaja de entregar una potencia máxima a 550 W, si las condiciones lo permiten. A continuación, se presentan los datos más relevantes, la ficha técnica se encuentra en el anexo:

Tabla 23: Valores de ficha técnica de JAM72S30 525-550/MR (Fuente: Elaboración propia)

JAM72S30 525-550/MR	
Parámetro	Valor
Potencia (W)	550
Eficiencia	21%
Tensión Máxima Pot.	41.95
Corriente de CC	13.98

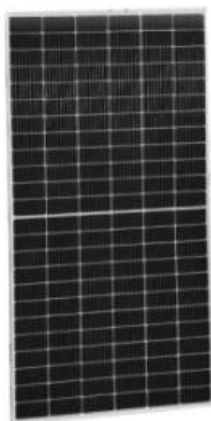


Ilustración 30: JASolar 550W (Fuente: AutoSolar) [20]

9.2 Generación solar con geotermia

Para este apartado se debe juntar los valores mensuales de consumo eléctrico de la vivienda, que menciono en el Capítulo 4 de consumos, es constante para todos ellos. Esto es debido a que el consumo no variará a lo largo del año, la vivienda tendrá una utilización constante y las condiciones exteriores no afectarán. El dicho valor mensual es de 308 kWh, que en diario es 10.3 kWh.

9.2.1 Calculo de demanda eléctrica con geotermia

Como se observó en el Capítulo 6, la bomba de calor geotérmica es la que menor consumo tiene debido a su mejor COP y estabilidad de la temperatura del subsuelo a lo largo del año.

Se presentan todos los consumos en la siguiente tabla:

Tabla 24: Consumo eléctrico total con geotermia (Fuente: Elaboración propia)

Consumo (kWhe)	Vivienda	Geotermia	Total
Enero	308	649.6	957.6
Febrero	308	470.4	778.4
Marzo	308	337.7	645.7
Abril	308	204.8	512.8
Mayo	308	88.2	396.2
Junio	308	213.8	521.8
Julio	308	540.5	848.5
Agosto	308	498.7	806.7
Septiembre	308	252.8	560.8
Octubre	308	142.9	450.9
Noviembre	308	402.7	710.7
Diciembre	308	627.9	935.9
Total	3696	4430.1	8126.1
Porcentaje	45.5%	54.5%	1.0

El consumo total anual es de 8126.1 kWh de electricidad, siendo el 54.5% la bomba de calor geotérmica. El mes que más consume es en enero, con 957.6 kWh, llegando casi a los 1000 kWh.

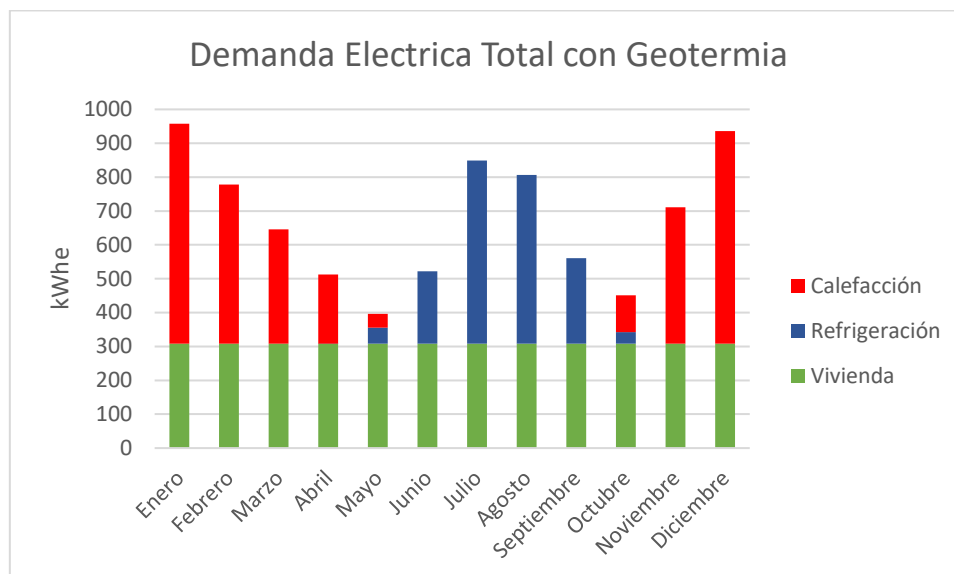


Ilustración 31: Demanda eléctrica total con geotermia (Fuente: Elaboración propia)

En cuanto al consumo máximo puntual, será cuando este la bomba de calor a máxima potencia, que se calculó en el mes de julio el día 21 a las 21 horas, en modo refrigeración. El valor de demanda eléctrica es de 3.08 kW. Mientras que el valor máximo de demanda por parte de la vivienda es de 4 kW.

En total son 7 kW que se pueden mayorar a 10 kW por momentos de arranque de los compresores de la nevera, congelador o la bomba de calor geotérmica.

9.2.2 Dimensionamiento de placas solares con geotermia

Para dimensionar la instalación fotovoltaica en enero y julio, se va a realizar los cálculos considerando los consumos y la radiación solar disponible para esos meses.

9.2.2.1 Enero

Para el mes de enero, que es el mes con mayor consumo eléctrico (un total de 957.6 kWh, que son 30.89 kWh/día), también es el mes con menos radiación solar, de 2.4 kWh/m²/día.

Primero, para calcular la energía generada por un panel solar en enero se debe usar la siguiente ecuación para calcular la energía generada por panel en enero:

Ecuación 9: Potencia generada por panel

$$\text{Potencia Generada por Panel} = \text{Rad. Solar} * \text{Eficiencia} * \text{Area}$$

Ecuación 10 Potencia generada por panel en enero

$$\text{Pot. Gen. Enero} = 2.4 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 0.21 * 2.58 \text{ m}^2 = 1.30 \text{ kWh}$$

Para calcular el número de paneles se usa la cifra diaria de consumo de electricidad en la siguiente ecuación:

Ecuación 11: Número de paneles en enero

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{\text{Consumo dia}}{\frac{\text{Energía}}{\text{panel}} / \text{dia}} = \frac{30.89 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}}}{1.30 \frac{\text{kWh}}{\text{panel}} / \text{dia}} = 23.76 \approx 24 \text{ paneles}$$

9.2.2.1 Julio

Para el mes de julio en pleno verano, tiene un consumo mensual de 848.5 kWh, (que son 27.37 kWh/día). Tiene una radiación solar diaria media de 8.0 kWh/m²/día.

Se sigue el mismo procedimiento que el del cálculo de enero, primero el cálculo de potencia generada por panel y después el número de paneles necesarios para suplir la demanda diaria:

Ecuación 12: Potencia generada por panel en julio

$$\text{Pot. Gen. Julio} = 8.0 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 0.21 * 2.58 \text{ m}^2 = 4.33 \text{ kWh}$$

Ecuación 13: Número de paneles en julio

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{27.37 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}}}{4.33 \frac{\text{kWh}}{\text{panel}} / \text{dia}} = 6.32 \approx 7 \text{ paneles}$$

9.2.3 Instalación total solar con geotermia

Tras el cálculo de los dos meses críticos, el número de paneles de julio es muy inferior al del calculado en enero, debido a que el consumo de la refrigeración es menor a la de la calefacción y sobre todo porque la radiación solar es mucho mayor, la cifra de 24 paneles del cálculo de invierno será más adecuado para la generación solar. En total sería una instalación de 13.2 kW con las placas de JASolar.

Como puede que, en invierno, por la baja radiación solar no pueda la instalación aportar los 10 kW de potencia de pico, se sobredimensiona un 25%, hasta los 30 paneles solares.

9.3 Generación solar con aerotermia

Los cálculos en este apartado son los mismos al anterior, variando las cifras de consumo eléctrico de la vivienda y climatización, ya que tienen potencias y COP diferentes entre las bombas de calor aerotérmicas y geotérmicas.

9.3.1 Cálculo de demanda eléctrica con aerotermia

Solo varían las cifras de la calefacción y refrigeración, ya que el consumo de la vivienda no es afectado por las condiciones exteriores.

Tabla 25: Consumo eléctrico total con aerotermia (Fuente: Elaboración propia)

Consumo (kWh)	Vivienda	Aerotermia	Total
Enero	308	692.9	1000.9
Febrero	308	501.8	809.8
Marzo	308	360.2	668.2
Abril	308	218.5	526.5
Mayo	308	97.9	405.9
Junio	308	245.3	553.3
Julio	308	620.0	928.0
Agosto	308	572.1	880.1
Septiembre	308	290.0	598.0
Octubre	308	155.2	463.2
Noviembre	308	429.6	737.6
Diciembre	308	669.8	977.8
Total	3696	4853.3	8549.3
Porcentaje	43.2%	56.8%	1.0

El consumo total anual es de 8549.2 kWh de electricidad, mayor que la geotérmica e incrementa su porcentaje de consumo de la vivienda al 56.8%. Es en enero donde más se consume en invierno, 1000.9 kWh y en verano Julio, con 928.0 kWh.

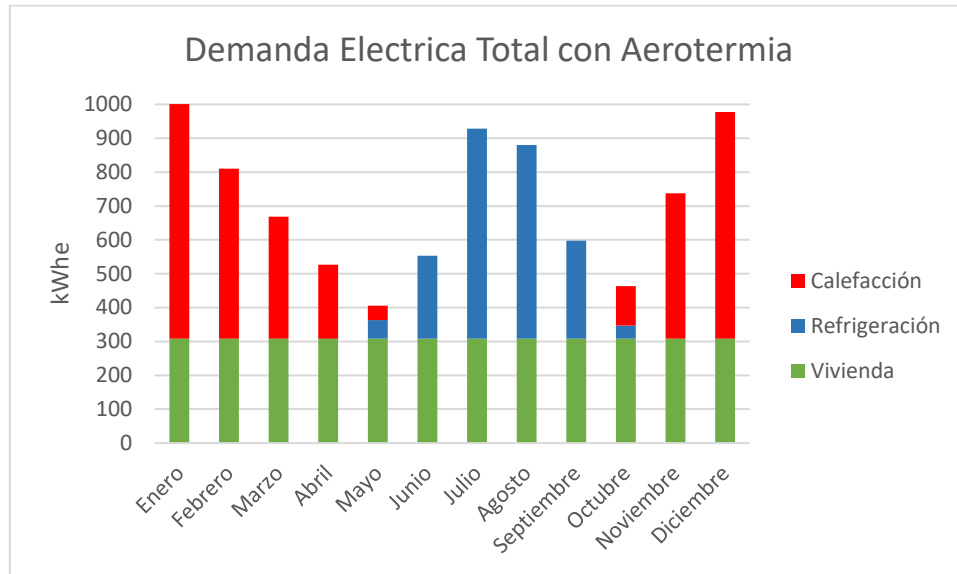


Ilustración 32: Demanda eléctrica total con aerotermia (Fuente: Elaboración propia)

Se supone el mismo pico de consumo puntual, de 10 kW para el estudio de la viabilidad de la instalación en momentos críticos.

9.3.2 Dimensionamiento de placas solares con aerotermia

Se vuelve a dividir el cálculo de numero de paneles en enero y julio.

9.3.2.1 enero

Para este mes, se recuerda que el consumo es de 1000.9 kWh, que son 32.2 kWh/día, con radiación solar de 2.4 kWh/m²/día.

Ecuación 14: Potencia generada por panel en enero

$$Pot. Gen. Enero = 2.4 \frac{kWh}{m^2} * 0.21 * 2.58 m^2 = 1.30 kWh$$

Ecuación 15: Número de paneles en enero

$$N^o \text{ paneles} = \frac{32.3 \frac{kWh}{día}}{1.30 \frac{kWh}{panel} / día} = 24.85 \approx 25 \text{ paneles}$$

9.3.2.1 Julio

En julio se consume un total de 928.0 kWh, (en el día son 29.94 kWh), con una radiación solar diaria media de 8.0 kWh/m²/día.

Ecuación 16: Potencia generada por panel en julio

$$Pot. Gen. Julio = 8.0 \frac{kWh}{m^2} * 0.21 * 2.58 m^2 = 4.33 kWh$$

Ecuación 17: Número de paneles en julio

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{29.94 \frac{kWh}{dia}}{4.33 \frac{kWh}{panel} / dia} = 6.9 \approx 7 \text{ paneles}$$

9.3.3 Instalación total solar con aerotermia

El resultado es muy parecido al calculado con la instalación solar geotérmica anterior, incrementando solo en un panel la generación en enero. Si se vuelve a dimensionar un 25% para soportar el pico de 10 kW, quedaría una instalación con 32 paneles solares.

9.4 Generación solar con caldera de pellets

Esta instalación será mucho más pequeña, ya que la caldera no necesita ningún aporte de electricidad grande que pueda afectar al consumo diario. Se espera un menor número de placas solares, donde solo afectará la radiación solar a lo largo del año, por lo que el mes más crítico será enero.

9.4.1 Calculo de demanda eléctrica con caldera de pellets

Como se observa en la tabla y gráfica, la caldera no tiene influencia alguna en el consumo.

Tabla 26: Consumo eléctrico total con caldera de pellets (Fuente: Elaboración propia)

Consumo (kWhe)	Vivienda	Pellets	Total
Enero	308	0.0	308.0
Febrero	308	0.0	308.0
Marzo	308	0.0	308.0
Abril	308	0.0	308.0
Mayo	308	0.0	308.0
Junio	308	0.0	308.0
Julio	308	0.0	308.0
Agosto	308	0.0	308.0
Septiembre	308	0.0	308.0
Octubre	308	0.0	308.0
Noviembre	308	0.0	308.0
Diciembre	308	0.0	308.0
Total	3696	0.0	3696.0

El consumo total anual es de 3696.0 kWh de electricidad, muy inferior a las otras dos instalaciones de climatización, que a nivel diario es 9.94 kWh/día.

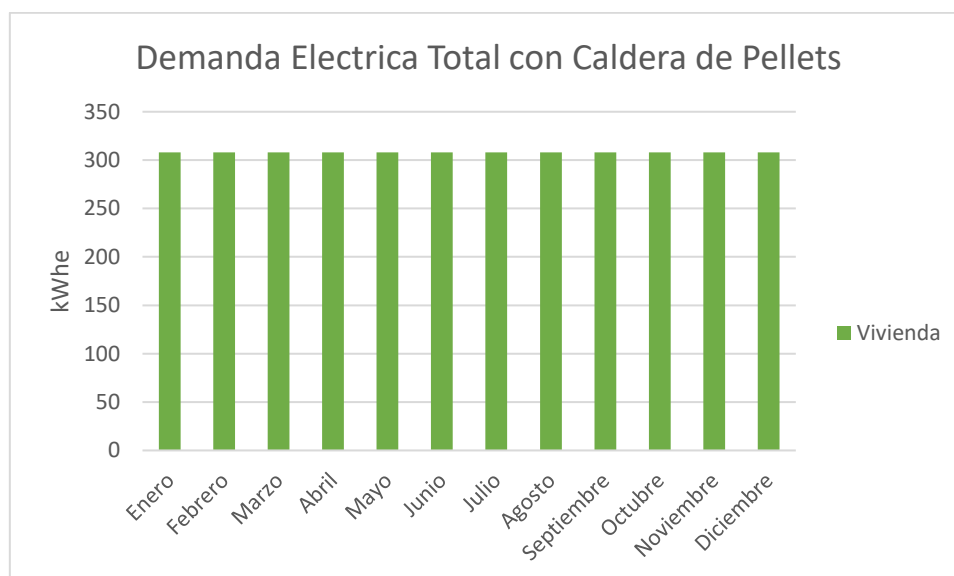


Ilustración 33: Demanda eléctrica total con caldera de pellets (Fuente: Elaboración propia)

9.4.2 Dimensionamiento de placas solares con caldera de pellets

Usando las mismas ecuaciones y dimensionando para el mes de enero, que es cuando menor radiación solar hay sale el siguiente resultado:

Ecuación 18: Potencia generada por panel en enero

$$Pot. Gen. Enero = 2.4 \frac{kWh}{m^2} * 0.21 * 2.58 m^2 = 1.30 kWh$$

Ecuación 19: Número de paneles en enero

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{9.94 \frac{kWh}{dia}}{1.30 \frac{kWh}{panel} / dia} = 7.65 \approx 8 \text{ paneles}$$

9.3.3 Instalación total solar con caldera de pellets

Se vuelve a mayorar el resultado de paneles para prevenir que la generación sea insuficiente en caso de pico de demanda puntual, un 25%. En total queda en 10 paneles de instalación solar fotovoltaica.

Capítulo 10. Estudio económico

En este capítulo se estudiará la viabilidad económica de las tres opciones de climatización estudiadas y dimensionadas.

Para ello se ha realizado un presupuesto intentando parecerse lo máximo a la realidad, ya que faltan muchos elementos a presupuestar como pequeñas tuberías, bombas, etc.

El estudio económico se ha estudiado con el LCOH (“Levelized Cost of Heat”, o en español “Coste Nivelado de Calor”), el cual es una métrica utilizada para determinar el coste promedio por unidad de calor producido por un sistema de generación térmica a lo largo de su vida útil. El LCOH se emplea para comparar el costo de diferentes tecnologías o fuentes de energía para la producción de calor, considerando todos los costos involucrados, como la inversión inicial, los costos de operación y mantenimiento, y el costo del combustible.

Es, para este caso de tecnología geotermia, aerotermia y caldera de pellets, el mejor método para la comparación de la viabilidad económica.

La fórmula es la siguiente, con la siguiente información:

- I_t : Inversión inicial en el año t .
- O_t : Costes operativos y de mantenimiento en el año t . Donde todas las instalaciones tienen un coste fijo anual de 200 €.
- F_t : Costes de combustible en el año t .
- Q_t : Cantidad de calor generado en el año t .
- r : Tasa de descuento. Se ha escogido el 3%.
- n : Vida útil. Se les ha otorgado a las instalaciones climáticas una vida útil total de 20 años.

Ecuación 20: LCOH, Coste Nivelado del Calor

$$LCOH = \frac{\sum_{t=1}^n \left(\frac{I_t + O_t + F_t}{(1+r)^t} \right)}{\sum_{t=1}^n \left(\frac{Q_t}{(1+r)^t} \right)}$$

10.1 Viabilidad económica de la climatización geotérmica

Primero se va a estudiar la instalación de climatización geotérmica, donde la Q_t tiene el valor de las cargas térmicas totales anuales calculadas por el Programa Clima de ATECYR, (que suma calefacción y refrigeración) y tiene el valor de 19835 kWh. Para O_t , el coste de mantenimiento anual tendrá un valor de 200 €. Para el resto, la vida útil son 20 años y el descuento un 3%.

El coste de inversión I_t es, sin duda el más alto del resto, ya que es bastante grande y no existe un gasto constante de combustible F_t . En la tabla del presupuesto se incluye la bomba de calor dimensionada, un depósito acumulador de agua de 190 L junto con la instalación de energía fotovoltaica calculada en el Capítulo 9, en este caso 30 paneles que suman 16.5 kW, por lo que será necesario un inversor de 20 kW. Se incluye materiales de fontanería suelo radiante y estructura para el sistema de climatización, sumando el material eléctrico, cableado, protecciones y soportes para la instalación fotovoltaica. Además, elementos específicos de la instalación geotérmica como son las perforaciones verticales o los tubos que se introducen en estos.

Tabla 27: Presupuesto de la instalación geotérmica

Presupuesto con geotermia				
Descripción	Proveedor	UD	Euros/Ud	Precio Total
Presupuesto				45,833.67 €
Vaillant flexoTHERM exclusive 15 400V	ValliantPro	1	12,711.05 €	12,711.05 €
Acumulador Aerothermo EAS Electric E302 WHF	Confrio	1	1,699.00 €	1,699.00 €
Perforación pozo vertical	x	150	40.00 €	6,000.00 €
Suelo radiante	x	200	50.00 €	10,000.00 €
Módulos JA Solar JAM72-S30-Mr540W- MonoPRC	JA Solar	30	146.41 €	4,392.30 €
Inversor Huawei Sun2000-2ktl-M5	Huawei	1	1,631.32 €	1,631.32 €
Protecciones Eléctricas	x	1	200.00 €	200.00 €
Material eléctrico	x	1	200.00 €	200.00 €
Material de fontanería	x	1	2,000.00 €	2,000.00 €
Soporte paneles solares coplanos	x	30	50.00 €	1,500.00 €
Cableado	x	1	1,000.00 €	1,000.00 €
Mano de obra	x	1	3,500.00 €	3,500.00 €
Estructura	x	1	1,000.00 €	1,000.00 €
Total Uso				49,833.67 €
Mantenimiento años (20 años)	x	20	200.00 €	4,000.00 €

Finalmente se obtiene un LCOH de 0.161 €/kWh, que indica que, por cada kilovatio térmico, ha costado 16,1 cts. de euro.

10.2 Viabilidad económica de la climatización aerotérmica

Para el caso de la aerotermia, se repiten los valores de Q_t , 19835 kWh de cargas térmicas calculadas, (que suman calefacción y refrigeración). También el coste de operación y mantenimiento O_t , de 200 €. Y por supuesto, la vida útil de 20 años y el descuento un 3%, mientras el gasto en combustible F_t es nulo.

En cuanto al coste de inversión inicial I_t varía principalmente en el precio de la bomba de calor aerotérmica, que es considerablemente más barata que la geotérmica. Se aumenta en dos los paneles solares, hasta 32 como se calculó anteriormente y se mantiene el inversor de 20 kW. También se reduce drásticamente el presupuesto al eliminar el gasto de perforación del pozo vertical y los elementos específicos de la geotérmica. Los precios de mano de obra y suelo radiante no varían mucho.

Tabla 28: Presupuesto de la instalación aerotérmica

Presupuesto con aerotermia				
Descripción	Proveedor	UD	Euros/Ud	Precio Total
Presupuesto				28,286.44 €
Aerotermia Biblock EAS Electric ETH16VA	Confrio	1	3,271.00 €	3,271.00 €
Acumulador Aerotermo EAS Electric E302 WHF	Confrio	1	1,699.00 €	1,699.00 €
Suelo radiante	x	200	50.00 €	10,000.00 €
Módulos JA Solar JAM72-S30-Mr540W- MonoPRC	JA Solar	32	146.41 €	4,685.12 €
Inversor Huawei Sun2000-2ktl-M5	Huawei	1	1,631.32 €	1,631.32 €
Protecciones Eléctricas	x	1	200.00 €	200.00 €
Material eléctrico	x	1	200.00 €	200.00 €
Material de fontanería	x	1	1,000.00 €	1,000.00 €
Soporte paneles solares coplanos	x	32	50.00 €	1,600.00 €
Cableado	x	1	1,000.00 €	1,000.00 €
Mano de obra	x	1	2,000.00 €	2,000.00 €
Estructura	x	1	1,000.00 €	1,000.00 €
Total Uso				32,286.44 €
Mantenimiento años (20 años)	x	20	200.00 €	4,000.00 €

Finalmente se obtiene un LCOH de 0.103 €/kWht, inferior al de la instalación geotérmica y por lo tanto más barato en cuanto a la relación coste y producción de calor.

10.3 Viabilidad económica de la caldera de pellets

Finalmente, para el caso de la caldera de pellets, la gran diferencia viene de la reducción de las cargas térmicas anuales Q_t , ya que, al ser únicamente caldera, solo ofrece calefacción, mientras que la refrigeración es nula, por lo que será menor a las anteriores. Su valor es 13640 kWht.

Otra diferencia es el uso de combustible F_t , para esta caldera son pellets, que se calculó su consumo mensual y anual en kilogramos en el Capítulo 8 del dimensionamiento de la caldera. Si se usa un total de 3123 kg de pellets, y el kilogramo puede rondar los 0.44 €, supondría un gasto total de 1374 € anuales en combustible. Por lo demás, r sigue siendo el 3% y la vida útil 20 años, con un mantenimiento de 200 € anuales.

Para el presupuesto de la caldera, es muy parecido al de la aerotermia. Esto es causado por que los elementos usados en ambas instalaciones son muy parecidos, además de ser la caldera y la bomba de un precio muy similar. En cambio, se dispara el precio si se le añade el gasto en combustible en los 20 años de vida útil.

Tabla 29: Presupuesto de la instalación con caldera de pellets

Presupuesto con caldera de pellets				
Descripción	Proveedor	UD	Euros/Ud	Precio Total
Presupuesto				23,675.59 €
Caldera de Pellets Maxlor 16	Grupo RP	1	3,240.00 €	3,240.00 €
Acumulador Aerothermo EAS Electric E302 WHF	Confrio	1	1,699.00 €	1,699.00 €
Suelo radiante	x	200	50.00 €	10,000.00 €
Módulos JA Solar JAM72-S30-Mr540W- MonoPRC	JA Solar	10	146.41 €	1,464.10 €
Inversor Huawei Sun2000-6kTL-M1	Huawei	1	1,372.49 €	1,372.49 €
Protecciones Eléctricas	x	1	200.00 €	200.00 €
Material eléctrico	x	1	200.00 €	200.00 €
Material de fontanería	x	1	1,000.00 €	1,000.00 €
Soporte paneles solares coplanos	x	10	50.00 €	500.00 €
Cableado	x	1	1,000.00 €	1,000.00 €
Mano de obra	x	1	2,000.00 €	2,000.00 €
Estructura	x	1	1,000.00 €	1,000.00 €
Total Uso				55,155.44 €
	x	20	1,373.99 €	27,479.85 €
Mantenimiento años (20 años)	x	20	200.00 €	4,000.00 €

Con todo esto se obtiene un LCOH de 0.229 €/kWh, bastante más alto que el resto de las climatizaciones. A pesar de que la instalación fotovoltaica es muy inferior al resto, su gasto anual en combustible la hace la menos viable entre las tres instalaciones.

Capítulo 11. Conclusiones

Al concluir este trabajo, se puede afirmar que se ha llevado a cabo el estudio de ahorro energético y climatización de la vivienda de “El Larial” del entorno rural del Parque Nacional de Cabañeros. Ya que se ha cumplido satisfactoriamente todos los objetivos planteados y encontrado la solución más eficiente en cuanto al ahorro energético de la climatización.

El primer objetivo, que era identificar la tecnología más eficiente para la climatización de la vivienda, se abordó con un análisis de las opciones disponibles, incluyendo estudios geotérmicos y la evaluación de diferentes tipos de bombas de calor, con un enfoque especial en la aerotermia y la caldera de pellets. Este análisis permitió determinar que la aerotermia es la solución más eficiente y económica para mantener la comodidad de la vivienda durante todo el año, cumpliendo con el objetivo de minimizar el consumo eléctrico y los costos asociados.

El segundo objetivo, relacionado con la generación eléctrica necesaria para la vivienda, se logró mediante el aprovechamiento de la radiación solar. Se llevó a cabo un dimensionamiento del sistema de paneles solares, garantizando una producción óptima de energía para cubrir no solo las necesidades de climatización, sino también otros usos domésticos.

El tercer objetivo se centró en la realización de un estudio económico para comparar las diferentes tecnologías, considerando tanto los costos de instalación como de mantenimiento. A través de un análisis detallado, se determinó que la climatización basada en energía aerotérmica ofrece el LCOH más bajo, lo que la convierte en la opción más eficiente y sostenible desde un punto de vista financiero. Este análisis no solo garantizó la viabilidad económica del proyecto, sino que también alineó las decisiones con las mejores prácticas de eficiencia energética y sostenibilidad financiera.

Finalmente, el proyecto se alineó con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), promoviendo el uso de tecnologías eficientes y renovables, como la aerotermia y la energía solar.

Se ha cumplido también la metodología impuesta, donde en primer lugar, se llevó a cabo un análisis de los consumos. El paso inicial en este proceso fue realizar un análisis detallado de los consumos energéticos de la vivienda de “El Larial”. Este análisis fue fundamental para comprender la demanda energética a lo largo del año, siendo constantes al no participar la climatización, todavía. Con estos

datos, se pudo establecer un perfil de consumo que sirvió de base para las etapas siguientes del proyecto.

A continuación, se llevó a cabo un estudio de las cargas térmicas de la vivienda, evaluando tanto las necesidades de calefacción en los meses más fríos como las de refrigeración durante los meses más cálidos, aprovechando la herramienta Clima, proporcionada por ATECYR. Este análisis permitió encontrar y dimensionar correctamente las soluciones de las tecnologías para asegurar un confort térmico adecuado en todo momento, optimizando al mismo tiempo el uso de recursos energéticos.

Durante el desarrollo del proyecto, se evaluaron tres tecnologías clave: geotermia, aerotermia y caldera de pellets. Cada una de estas opciones fue analizada en términos de eficiencia energética, costo de instalación y operación.

La geotermia se presentó como una opción muy estable y la más eficiente, especialmente en climas extremos, debido a la constante temperatura del subsuelo. Sin embargo, los costos iniciales elevados y la complejidad de la instalación presentan un gran desafío. Por otro lado, la caldera de pellets, aunque ofrece una solución sostenible mediante el uso de biomasa, implica una dependencia constante del suministro de pellets y un mantenimiento regular que puede ser una desventaja en comparación con sistemas más automatizados.

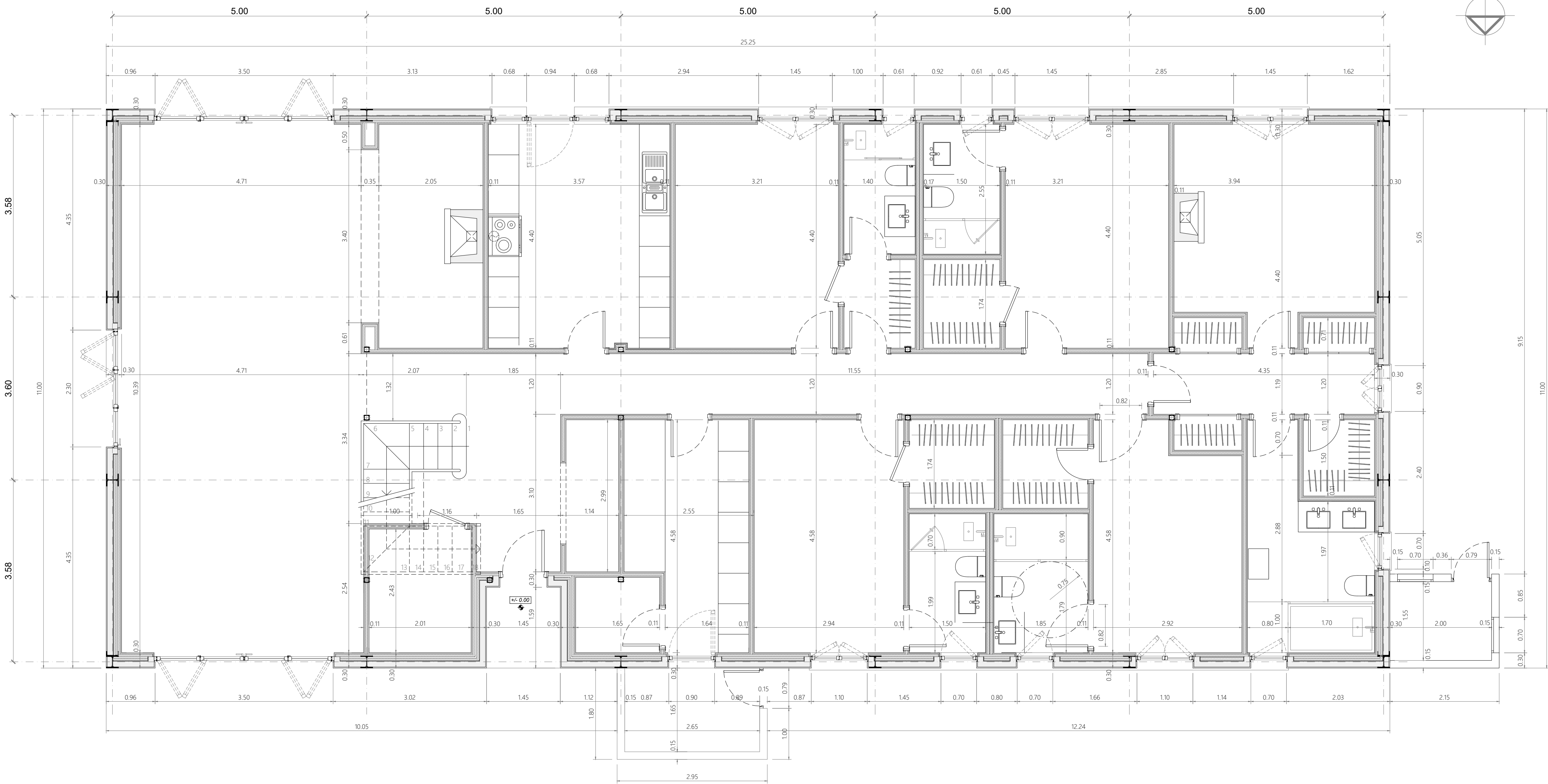
Finalmente, la tecnología aerotérmica destacó sobre las demás, no solo por su flexibilidad y facilidad de instalación, sino también por su rendimiento en términos de eficiencia energética y costos operativos. El análisis económico, reflejado en el cálculo del Coste Nivelado de Calor (LCOH), mostró que la aerotermia tiene el LCOH más bajo entre las tecnologías evaluadas, lo que la convierte en la opción más económica y sostenible a largo plazo para la generación de calor en la vivienda. Además, su capacidad para aprovechar la energía del aire exterior, incluso en condiciones climáticas desfavorables, y su integración con sistemas de calefacción y refrigeración ya existentes, refuerzan su idoneidad para el proyecto.

Capítulo 12. Bibliografía

- [1] «Weather Spark,» [En línea]. Available: <https://weatherspark.com/y/35364/Average-Weather-in-Retuerta-de-Bullaque-Spain-Year-Round>. [Último acceso: Julio 2024].
- [2] S. G. José, S. L. Laura y O. R. (. Luis, «Evaluacion del potencial de energía geotermica,» Madrid, 2011.
- [3] «Climate Data,» [En línea]. Available: <https://es.climate-data.org/europe/espana/castilla-la-mancha/horcajo-de-los-montes-360831/>.
- [4] M. Iturbe, «CALORYFRIO,» 21 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/bomba-de-calor/bombas-de-calor-tipos-aplicaciones.html>. [Último acceso: Mayo 2024].
- [5] «OCU Inmobiliario,» Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://www.ocu.org/fincas-y-casas/gestion/urbanismo-y-construccion/analisis/2022/03/cuanto-cuesta-la-bomba-de-calor-para-calefaccion>. [Último acceso: Mayo 2024].
- [6] «Junkers-Bosch,» [En línea]. Available: <https://www.junkers-bosch.es/conocimiento/aeroterminia/como-functiona-una-bomba-de-calor/#:~:text=Dentro%20de%20la%20bomba%20de,para%20generar%20energ%C3%ADa%20de%20calefacci%C3%B3n..> [Último acceso: Junio 2024].
- [7] «Keyter,» [En línea]. Available: <https://www.keyter.com/es/la-bomba-de-calor-reversible/>. [Último acceso: Junio 2024].
- [8] «0 Grados Celsius,» Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://0grados.com/calefaccion-por-aeroterminia/>.
- [9] «Consolidaciones y Contratas,» [En línea]. Available: <https://www.consolidacionesycontratas.com/blog/quiere-mejorar-la-eficiencia-energetica-de-su-vivienda-con-la-instalacion-de-suelo-radiante-refrescante/>.
- [10] «Pansogal,» [En línea]. Available: <https://pansogal.com/tipos-de-energia-geotermica/>. [Último acceso: 2024 Mayo].
- [11] IDAE, «Condiciones climáticas exteriores de proyecto,» 2010.
- [12] M. d. I. Presidencia y RITE, «Boletín Oficial del Estado,» 2007. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-15820>.
- [13] ATECYR, «Programa Clima».
- [14] m. y. a. u. Ministerio de transportes y DBHE, «Boletin Oficial del estado,» Junio 2022. [En línea]. Available: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DcmHE.pdf>. [Último acceso: Junio 2024].
- [15] «Roman Clavero,» [En línea]. Available: <https://www.romanclavero.es/es/perfiles-de-ventanas/datos-tecnicos/climatrend-iv68ha-termoescludo/>. [Último acceso: Junio 2024].
- [16] IDAE, «Diseño de sistemas de intercambio geotermico de circuito cerrado,» Madrid, 2012.
- [17] «MY Valliant Pro,» [En línea]. Available: <https://www.myvaillantpro.es/downloads/nuevos/flexotherm-flexocompact-catalogo-comercial-2018-1260991.pdf>. [Último acceso: Julio 2024].
- [18] «ConFrio,» [En línea]. Available: <https://confrio.es/producto/aeroterminia-biblock-eas-electric-eth16va/>. [Último acceso: Julio 2024].

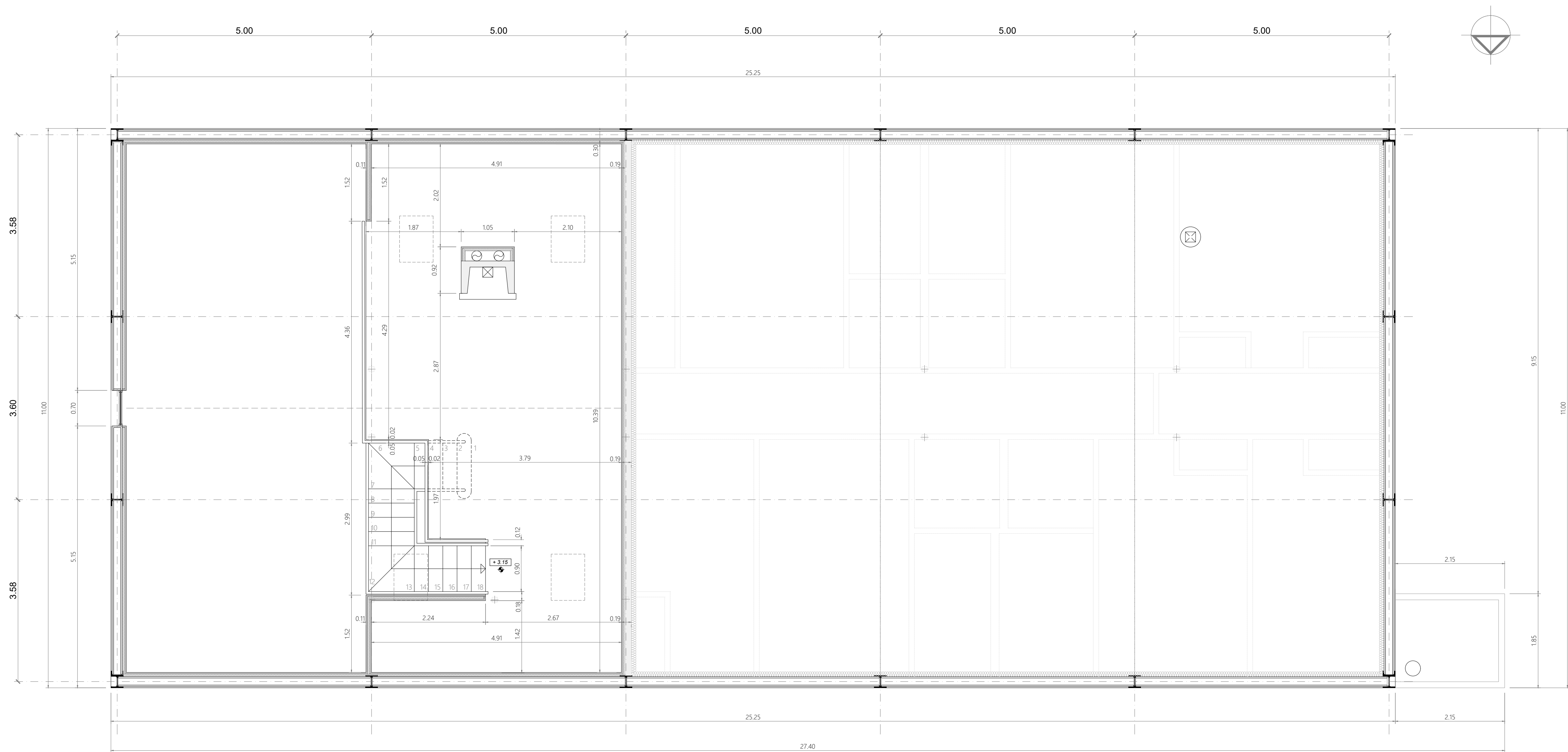
- [19] «Grupo RP,» [En línea]. Available: <https://gruporp.es/2084-caldera-pellets-brasero-autolimpieza-16-kw-amg-boiler.html>. [Último acceso: Julio 2024].
- [20] «Auto Solar,» [En línea]. Available: <https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-solar-550w-ja-solar-mono-perc>.
- [21] «Google Maps,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.google.com/maps/>.
- [22] «Sede Electrónica del Catastro,» 2024. [En línea]. Available: www1.sedecatastro.gob.e. [Último acceso: 2024 Mayo].
- [23] S. d. Soto, «Energía Roams,» 21 junio 2022. [En línea]. Available: <https://energia.roams.es/>. [Último acceso: junio 2024].
- [24] «Ecosistemas del Sureste,» [En línea]. Available: <https://www.ecosistemasdelsureste.com/news/dd/>. [Último acceso: Junio 2024].
- [25] «Geotermia Vertical,» [En línea]. Available: <https://www.geotermiavertical.es/energia-geotermica-baja-entalpia/>. [Último acceso: 2024 Junio].
- [26] «Groen Energy,» [En línea]. Available: <https://www.groen.es/que-es-la-geotermia.html>. [Último acceso: 2024 Mayo].
- [27] «Técnicas Reunidas,» Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://www.t-reunidas.es/geotermia-captacion-horizontal-captacion-vertical/>. [Último acceso: 2024 Junio].
- [28] «CanalTic,» [En línea]. Available: https://canaltic.com/blog/html/exe/energias/energa_geotrmica.html.

ANEXO



PLANTA BAJA. COTAS.
ESCALA : 1/50

REVISIÓN		CONCEPTO		FECHA
E.A.3 Técnicas Asociados s.l.p. C/Carretera 3 Bajo 28013 - Madrid Tfno. 915207400 eac3@eac3.es SITUACIÓN: Finca "El Lariál" HORCAJO DE LOS MONTES. CIUDAD REAL ESCALA: 1:50 FORMATO: Din-A1 FECHA: MAYO-2023 PLANO: PLANTA BAJA. COTAS PROPIEDAD: D. JAVIER ORAA GORTAZA NÚMERO: A-03 CÓDIGO: 19.05.2023 ARQUITECTO: MIGUEL DE ORIOL E ICAZA				



PLANTA ALTA. COTAS.
ESCALA : 1/50

REVISIÓN		CONCEPTO	FECHA

E.A.3
Técnicas Asociados s.l.p.

C/Carretera nº 3
28013 - Madrid
Tfno. 910207000
eas3@eas3.es

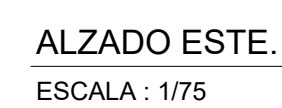
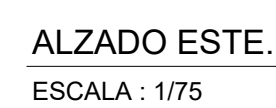
**PROYECTO BÁSICO
VIVIENDA UNIFAMILIAR**

SITUACIÓN: Finca "El Lariál" HORCAJO DE LOS MONTES. CIUDAD REAL

ESCALA: 1:50	PLANO: PLANTA ALTA. COTAS	NÚMERO: A-04
FORMATO: Din-A1		CÓDIGO: 19.05.2023
FECHA: MAYO-2023		

PROPIEDAD:
D. JAVIER ORAA GORTAZA

ARQUITECTO:
MIGUEL DE ORIOI E ICAZA



P.B. Horcajo de los Montes (19-05-2023).dwg 19/05/2023



Especificaciones técnicas

1. Generalidades

Dimensiones	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Dimensiones del producto, altura, sin patas	1.183 mm	1.183 mm	1.183 mm	1.183 mm	1.183 mm
Dimensiones del producto, ancho	595 mm	595 mm	595 mm	595 mm	595 mm
Dimensiones del producto, fondo	600 mm	600 mm	600 mm	600 mm	600 mm
Peso, con embalaje	155 kg	170 kg	178 kg	185 kg	197 kg
Peso, sin embalaje	145 kg	160 kg	168 kg	176 kg	187 kg
Peso, operativo	151 kg	167 kg	175 kg	187 kg	200 kg

Sistema eléctrico	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Tensión asignada compresor/circuito de calefacción	3~/N/PE 400 V 50 Hz	3~/N/PE 400 V 50 Hz	3~/N/PE 400 V 50 Hz	3~/N/PE 400 V 50 Hz	3~/N/PE 400 V 50 Hz
Tensión asignada circuito de control	1~/N/PE 230 V 50 Hz	1~/N/PE 230 V 50 Hz	1~/N/PE 230 V 50 Hz	1~/N/PE 230 V 50 Hz	1~/N/PE 230 V 50 Hz
Tensión asignada apoyo externo	3~/N/PE 400 V 50 Hz	3~/N/PE 400 V 50 Hz	3~/N/PE 400 V 50 Hz	3~/N/PE 400 V 50 Hz	3~/N/PE 400 V 50 Hz
Factor de potencia	cos φ = 0,75 ... 0,9	cos φ = 0,75 ... 0,9	cos φ = 0,75 ... 0,9	cos φ = 0,75 ... 0,9	cos φ = 0,75 ... 0,9
Impedancia de red necesaria Z _{máx} con limitador de corriente de arranque	≤ 0,472 Ω	≤ 0,472 Ω	≤ 0,472 Ω	≤ 0,472 Ω	≤ 0,472 Ω
Tipo de fusible, característica C, de retardo, conmutación tripolar (interrupción de los tres cables de conexión de red mediante una única conmutación)	dimensionar según el esquema de conexiones seleccionado	dimensionar según el esquema de conexiones seleccionado	dimensionar según el esquema de conexiones seleccionado	dimensionar según el esquema de conexiones seleccionado	dimensionar según el esquema de conexiones seleccionado
Interrupción diferencial opcional a cargo del propietario	RCCB tipo A (interrupción diferencial sensible a corriente de pulsos de tipo A) o RCCB tipo B (interrupción diferencial sensible a todo tipo de corrientes de tipo B)	RCCB tipo A (interrupción diferencial sensible a corriente de pulsos de tipo A) o RCCB tipo B (interrupción diferencial sensible a todo tipo de corrientes de tipo B)	RCCB tipo A (interrupción diferencial sensible a corriente de pulsos de tipo A) o RCCB tipo B (interrupción diferencial sensible a todo tipo de corrientes de tipo B)	RCCB tipo A (interrupción diferencial sensible a corriente de pulsos de tipo A) o RCCB tipo B (interrupción diferencial sensible a todo tipo de corrientes de tipo B)	RCCB tipo A (interrupción diferencial sensible a corriente de pulsos de tipo A) o RCCB tipo B (interrupción diferencial sensible a todo tipo de corrientes de tipo B)
Corriente de arranque con limitador de corriente de arranque	≤ 15 A	≤ 19 A	≤ 22 A	≤ 26 A	≤ 30 A
Corriente asignada, máx.	19,8 A	21,2 A	23,4 A	25,2 A	30,4 A
Consumo eléctrico mínimo	1,40 kW	2,00 kW	2,50 kW	3,30 kW	4,70 kW
Consumo eléctrico máx.	11,5 kW	12,8 kW	14,1 kW	15,6 kW	17,8 kW
Máx. consumo eléctrico del apoyo externo	9 kW	9 kW	9 kW	9 kW	9 kW
Tipo de protección EN 60529	IP 10B	IP 10B	IP 10B	IP 10B	IP 10B

Sistema hidráulico	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Conexión ida/retorno de la calefacción	G 1 1/2"	G 1 1/2"	G 1 1/2"	G 1 1/2"	G 1 1/2"
Conexión ida/retorno de la fuente de calor	G 1 1/2"	G 1 1/2"	G 1 1/2"	G 1 1/2"	G 1 1/2"
Conexión calefacción-vaso de expansión	G 3/4"	G 3/4"	G 3/4"	G 3/4"	G 3/4"

Circuito de fuentes de calor/circuito de solución salina	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Contenido de solución salina del circuito de solución salina en la bomba de calor	2,5 l	3,1 l	3,6 l	4,5 l	5,3 l
Materiales del circuito de solución salina	- Cu - Aleación CuZn - Acero inoxidable - EPDM - Latón - Fe	- Cu - Aleación CuZn - Acero inoxidable - EPDM - Latón - Fe	- Cu - Aleación CuZn - Acero inoxidable - EPDM - Latón - Fe	- Cu - Aleación CuZn - Acero inoxidable - EPDM - Latón - Fe	- Cu - Aleación CuZn - Acero inoxidable - EPDM - Latón - Fe
Mín. presión de servicio solución salina	≥ 0,07 MPa (≥ 0,70 bar)	≥ 0,07 MPa (≥ 0,70 bar)	≥ 0,07 MPa (≥ 0,70 bar)	≥ 0,07 MPa (≥ 0,70 bar)	≥ 0,07 MPa (≥ 0,70 bar)
Máx. presión de servicio solución salina	≤ 0,3 MPa (≤ 3,0 bar)	≤ 0,3 MPa (≤ 3,0 bar)	≤ 0,3 MPa (≤ 3,0 bar)	≤ 0,3 MPa (≤ 3,0 bar)	≤ 0,3 MPa (≤ 3,0 bar)
Máx. consumo de energía eléctrica bomba del circuito de solución salina	76 W	76 W	130 W	310 W	310 W
Tipo de bomba de solución salina	Bomba de alta eficiencia	Bomba de alta eficiencia	Bomba de alta eficiencia	Bomba de alta eficiencia	Bomba de alta eficiencia

Circuito del edificio/circuito de calefacción	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Contenido de agua del circuito de calefacción en la bomba de agua	3,2 l	3,9 l	4,4 l	5,8 l	6,5 l
Materiales del circuito de calefacción	- Cu - Aleación CuZn - Acero inoxidable - EPDM - Latón - Fe	- Cu - Aleación CuZn - Acero inoxidable - EPDM - Latón - Fe	- Cu - Aleación CuZn - Acero inoxidable - EPDM - Latón - Fe	- Cu - Aleación CuZn - Acero inoxidable - EPDM - Latón - Fe	- Cu - Aleación CuZn - Acero inoxidable - EPDM - Latón - Fe
Calidad admisible del agua de calefacción	¡No se debe enriquecer el agua de calefacción con productos anticongelantes o anticorrosión! ¡Descalcifique el agua de calefacción a partir de una dureza del agua de 3,0 mmol/l (16,8° dH) conforme a la directiva VDI2035 hoja 1!	¡No se debe enriquecer el agua de calefacción con productos anticongelantes o anticorrosión! ¡Descalcifique el agua de calefacción a partir de una dureza del agua de 3,0 mmol/l (16,8° dH) conforme a la directiva VDI2035 hoja 1!	¡No se debe enriquecer el agua de calefacción con productos anticongelantes o anticorrosión! ¡Descalcifique el agua de calefacción a partir de una dureza del agua de 3,0 mmol/l (16,8° dH) conforme a la directiva VDI2035 hoja 1!	¡No se debe enriquecer el agua de calefacción con productos anticongelantes o anticorrosión! ¡Descalcifique el agua de calefacción a partir de una dureza del agua de 3,0 mmol/l (16,8° dH) conforme a la directiva VDI2035 hoja 1!	¡No se debe enriquecer el agua de calefacción con productos anticongelantes o anticorrosión! ¡Descalcifique el agua de calefacción a partir de una dureza del agua de 3,0 mmol/l (16,8° dH) conforme a la directiva VDI2035 hoja 1!
Mín. presión de servicio circuito de calefacción	≥ 0,07 MPa (≥ 0,70 bar)	≥ 0,07 MPa (≥ 0,70 bar)	≥ 0,07 MPa (≥ 0,70 bar)	≥ 0,07 MPa (≥ 0,70 bar)	≥ 0,07 MPa (≥ 0,70 bar)
Máx. presión de servicio circuito de calefacción	≤ 0,3 MPa (≤ 3,0 bar)	≤ 0,3 MPa (≤ 3,0 bar)	≤ 0,3 MPa (≤ 3,0 bar)	≤ 0,3 MPa (≤ 3,0 bar)	≤ 0,3 MPa (≤ 3,0 bar)
Temperatura ida mín. modo calefacción	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C
Máx. temperatura de ida nominal modo calefacción con calefacción adicional externa	75 °C	75 °C	75 °C	75 °C	75 °C
Máx. temperatura de ida nominal modo calefacción sin calefacción adicional	65 °C	65 °C	65 °C	65 °C	65 °C
Temperatura ida mín. modo refrigeración	5 °C	5 °C	5 °C	5 °C	5 °C
Máx. consumo de energía eléctrica bomba de calefacción	63 W	63 W	63 W	140 W	140 W
Tipo de bomba de calefacción	Bomba de alta eficiencia	Bomba de alta eficiencia	Bomba de alta eficiencia	Bomba de alta eficiencia	Bomba de alta eficiencia



Bombas de calor geotérmicas

flexoTHERM exclusive

Circuito de refrigeración					
	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Tipo de refrigerante	R 410 A	R 410 A	R 410 A	R 410 A	R 410 A
Contenido de refrigerante del circuito de refrigeración en la bomba de calor	1,50 kg	2,40 kg	2,50 kg	3,05 kg	3,95 kg
Índice GWP (GWP) según la Ordenanza (UE) n.º 517/2014	2088	2088	2088	2088	2088
Equivalente de CO ₂	3132	5011	5220	6368	8248
Índice GWP 100 (GWP ₁₀₀) según Ordenanza (CE) n.º 842/2006	1975	1975	1975	1975	1975
Modelo válvula de expansión	electrónico	electrónico	electrónico	electrónico	electrónico
Presión de servicio admisible (relativa)	5 4,6 MPa (5 46,0 bar)	5 4,6 MPa (5 46,0 bar)	5 4,6 MPa (5 46,0 bar)	5 4,6 MPa (5 46,0 bar)	5 4,6 MPa (5 46,0 bar)
Tipo de compresor	Scroll	Scroll	Scroll	Scroll	Scroll
Tipo de aceite	Éster (EMKARATE RL32-3MA F)	Éster (EMKARATE RL32-3MA F)	Éster (EMKARATE RL32-3MA F)	Éster (EMKARATE RL32-3MA F)	Éster (EMKARATE RL32-3MA F)
Capacidad del gasoil	0,75 l	1,25 l	1,25 l	1,24 l	1,89 l

Lugar de instalación					
	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Lugar de instalación	interior / seco	interior / seco	interior / seco	interior / seco	interior / seco
Volumen del local de instalación EN 378	3,41 m ³	5,45 m ³	5,68 m ³	6,93 m ³	8,98 m ³
Temperatura ambiental admisible en el lugar de instalación	7 ... 25 °C	7 ... 25 °C	7 ... 25 °C	7 ... 25 °C	7 ... 25 °C
Humedad relativa admisible	40 ... 75 %	40 ... 75 %	40 ... 75 %	40 ... 75 %	40 ... 75 %

2. Fuente de calor solución salina

Circuito de fuentes de calor/circuito de solución salina					
	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Mín. temperatura de entrada de fuente (solución salina caliente) en el modo calefacción	-10 °C	-10 °C	-10 °C	-10 °C	-10 °C
Máx. temperatura de entrada de fuente (solución salina caliente) en el modo calefacción	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C
Mín. temperatura de entrada de fuente (solución salina caliente) en el modo refrigeración	0 °C	0 °C	0 °C	0 °C	0 °C
Máx. temperatura de entrada de fuente (solución salina caliente) en el modo refrigeración	30 °C	30 °C	30 °C	30 °C	30 °C
Caudal volumétrico nominal a ΔT 3 K en B0/W35	1.290 l/h	2.320 l/h	3.000 l/h	3.590 l/h	4.780 l/h
Mín. flujo volumétrico con funcionamiento continuo en los límites de aplicación	1.110 l/h	2.140 l/h	2.460 l/h	3.380 l/h	3.840 l/h
Máx. flujo volumétrico con funcionamiento continuo en los límites de aplicación	1.290 l/h	2.320 l/h	3.000 l/h	3.590 l/h	4.780 l/h
Máx. presión disponible a ΔT 3 K en B0/W35	0,062 MPa (0,620 bar)	0,039 MPa (0,390 bar)	0,051 MPa (0,510 bar)	0,098 MPa (0,980 bar)	0,082 MPa (0,820 bar)
Consumo de energía eléctrica bomba del circuito de solución salina a B0/W35 ΔT 3 K a 250 mbar pérdida de presión externa en el circuito de solución salina	44 W	62 W	64 W	83 W	121 W
Tipo de solución salina	Glicol etileno 30 % vol.	Glicol etileno 30 % vol.	Glicol etileno 30 % vol.	Glicol etileno 30 % vol.	Glicol etileno 30 % vol.

Circuito del edificio/circuito de calefacción					
	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Caudal volumétrico nominal a ΔT 5 K	920 l/h	1.530 l/h	1.920 l/h	2.450 l/h	3.320 l/h
Máx. presión dispon. a LIT 5 K	0,065 MPa (0,650 bar)	0,045 MPa (0,450 bar)	0,035 MPa (0,350 bar)	0,073 MPa (0,730 bar)	0,045 MPa (0,450 bar)
Caudal volumétrico nominal a ΔT 8 K	570 l/h	980 l/h	1.240 l/h	1.600 l/h	2.180 l/h
Máx. presión dispon. a ΔT 8 K	0,068 MPa (0,680 bar)	0,065 MPa (0,650 bar)	0,057 MPa (0,570 bar)	0,086 MPa (0,860 bar)	0,080 MPa (0,800 bar)
Mín. flujo volumétrico con funcionamiento continuo en los límites de aplicación	570 l/h	980 l/h	1.240 l/h	1.600 l/h	2.180 l/h
Máx. flujo volumétrico con funcionamiento continuo en los límites de aplicación	920 l/h	1.530 l/h	1.920 l/h	2.450 l/h	3.320 l/h
Consumo de energía eléctrica bomba de calefacción a B0/W35 ΔT 3 K a 250 mbar pérdida de presión externa en el circuito de calefacción	25 W	30 W	45 W	60 W	74 W

Datos de rendimiento

Los siguientes datos de rendimiento son válidos exclusivamente para productos nuevos con intercambiadores de calor limpios

	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Potencia B0/W35 ΔT 5 K	5,30 kW	8,90 kW	11,20 kW	14,50 kW	19,70 kW
Consumo eléctrico B0/W35 ΔT 5 K	1,30 kW	2,00 kW	2,50 kW	3,40 kW	4,70 kW
Valor de rendimiento B0/W35 ΔT 5 K / COP EN 14511	4,70	5,10	5,00	4,90	4,70
Potencia B0/W45 ΔT 5 K	5,30 kW	8,80 kW	11,20 kW	14,10 kW	19,60 kW
Consumo eléctrico B0/W45 ΔT 5 K	1,70 kW	2,50 kW	3,20 kW	4,20 kW	5,80 kW
Valor de rendimiento B0/W45 ΔT 5 K / COP EN 14511	3,50	3,80	3,80	3,80	3,70
Potencia B0/W55 ΔT 8 K	5,40 kW	9,00 kW	11,40 kW	14,70 kW	20,00 kW
Consumo eléctrico B0/W55 ΔT 8 K	2,00 kW	2,90 kW	3,80 kW	5,00 kW	6,60 kW
Valor de rendimiento B0/W55 ΔT 8 K / COP EN 14511	3,00	3,30	3,20	3,20	3,20
Potencia acústica B0/W35 EN 12102 / EN 14511 L _{W1} en modo calefacción	39,8 dB(A)	42,4 dB(A)	45,2 dB(A)	49,9 dB(A)	48,4 dB(A)
Potencia acústica B0/W45 EN 12102 / EN 14511 L _{W1} en modo calefacción	40,7 dB(A)	45,1 dB(A)	46,7 dB(A)	49,3 dB(A)	46,1 dB(A)
Potencia acústica B0/W55 EN 12102 / EN 14511 L _{W1} en modo calefacción	40,6 dB(A)	49,9 dB(A)	47,2 dB(A)	48,0 dB(A)	48,4 dB(A)

3. Fuente de calor aire

Circuito de fuentes de calor/circuito de solución salina					
	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Módulo de fuente de calor	1 x VWL 11/4 SA	1 x VWL 11/4 SA	1 x VWL 11/4 SA	2 x VWL 11/4 SA	2 x VWL 11/4 SA
Tipo de solución salina	Glicol de etileno 44 % vol.	Glicol de etileno 44 % vol.	Glicol de etileno 44 % vol.	Glicol de etileno 44 % vol.	Glicol de etileno 44 % vol.

Circuito del edificio/circuito de calefacción					
	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Módulo de fuente de calor	1 x VWL 11/4 SA	1 x VWL 11/4 SA	1 x VWL 11/4 SA	2 x VWL 11/4 SA	2 x VWL 11/4 SA
Caudal volumétrico nominal a ΔT 5 K	1.070 l/h	1.510 l/h	1.990 l/h	2.650 l/h	3.440 l/h
Máx. presión dispon. a ΔT 5 K	0,061 MPa (0,610 bar)	0,042 MPa (0,420 bar)	0,031 MPa (0,310 bar)	0,064 MPa (0,640 bar)	0,038 MPa (0,380 bar)
Caudal volumétrico nominal a ΔT 8 K	660 l/h	1.020 l/h	1.350 l/h	1.720 l/h	2.300 l/h
Máx. presión dispon. a ΔT 8 K	0,069 MPa (0,690 bar)	0,056 MPa (0,560 bar)	0,053 MPa (0,530 bar)	0,084 MPa (0,840 bar)	0,075 MPa (0,750 bar)
Mín. flujo volumétrico con funcionamiento continuo en los límites de aplicación	660 l/h	1.020 l/h	1.350 l/h	1.720 l/h	2.300 l/h



Bombas de calor geotérmicas

flexoTHERM exclusive

Circuito del edificio/circuito de calefacción

	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Módulo de fuente de calor	1 x VWL 11/4 SA	1 x VWL 11/4 SA	1 x VWL 11/4 SA	2 x VWL 11/4 SA	2 x VWL 11/4 SA
Caudal volumétrico nominal a ΔT 5 K	1.070 l/h	1.510 l/h	1.990 l/h	2.650 l/h	3.440 l/h
Máx. presión dispon. a ΔT 5 K	0,061 MPa (0,610 bar)	0,042 MPa (0,420 bar)	0,031 MPa (0,310 bar)	0,064 MPa (0,640 bar)	0,038 MPa (0,380 bar)
Caudal volumétrico nominal a ΔT 8 K	660 l/h	1.020 l/h	1.350 l/h	1.720 l/h	2.300 l/h
Máx. presión dispon. a ΔT 8 K	0,069 MPa (0,690 bar)	0,056 MPa (0,560 bar)	0,053 MPa (0,530 bar)	0,084 MPa (0,840 bar)	0,075 MPa (0,750 bar)
Min. flujo volumétrico con funcionamiento continuo en los límites de aplicación	660 l/h	1.020 l/h	1.350 l/h	1.720 l/h	2.300 l/h
Máx. flujo volumétrico con funcionamiento continuo en los límites de aplicación	1.070 l/h	1.510 l/h	1.990 l/h	2.650 l/h	3.440 l/h
Consumo de energía eléctrica bomba de calefacción a A7/W35 ΔT 5 K a 250 mbar pérdida de presión externa en el circuito de calefacción	28 W	36 W	50 W	70 W	78 W

Datos de rendimiento

Los siguientes datos de rendimiento son válidos exclusivamente para productos nuevos con intercambiadores de calor limpios

	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Módulo de fuente de calor	1 x VWL 11/4 SA	1 x VWL 11/4 SA	1 x VWL 11/4 SA	2 x VWL 11/4 SA	2 x VWL 11/4 SA
Rendimiento calorífico A2/W35	5,70 kW	7,80 kW	10,30 kW	13,90 kW	17,40 kW
Consumo de potencia A2/W35	1,40 kW	2,10 kW	2,70 kW	3,50 kW	4,80 kW
Valor de rendimiento A2/W35 / COP EN 14511	4,20	4,00	3,90	4,10	3,70
Potencia A7/W35 ΔT 5 K	6,20 kW	8,80 kW	11,50 kW	15,30 kW	19,80 kW
Consumo de potencia A7/W35 ΔT 5 K	1,40 kW	2,00 kW	2,60 kW	3,30 kW	4,60 kW
Valor de rendimiento A7/W35 LT 5 K / COP EN 14511	4,80	4,60	4,60	4,80	4,40
Potencia A7/W45 ΔT 5 K	6,10 kW	9,00 kW	12,00 kW	15,60 kW	20,60 kW
Consumo de potencia A7/W45 ΔT 5 K	1,70 kW	2,50 kW	3,20 kW	4,20 kW	5,70 kW
Valor de rendimiento A7/W45 ΔT 5 K / COP EN 14511	3,70	3,70	3,80	3,90	3,70
Potencia A7/W55 ΔT 8 K	6,10 kW	9,50 kW	12,20 kW	16,00 kW	20,90 kW
Consumo de potencia A7/W55 ΔT 8 K	2,00 kW	3,00 kW	3,90 kW	5,00 kW	6,70 kW
Valor de rendimiento A7/W55 ΔT 8 K / COP EN 14511	3,10	3,20	3,20	3,30	3,20
Potencia refrigerante A35/W18 ΔT 5 K, activa	6,60 kW	8,60 kW	12,10 kW	15,80 kW	22,30 kW
Consumo de potencia A35/W18 ΔT 5 K, activo	1,60 kW	2,80 kW	3,70 kW	4,40 kW	6,20 kW
Ratio de eficiencia energética A35/W18 EN 14511	4,30	3,20	3,40	3,90	3,40
Potencia acústica A7/W35 EN 12102 / EN 14511 L_{w1} en modo calefacción	40,3 dB(A)	45,8 dB(A)	44,4 dB(A)	48,7 dB(A)	48,1 dB(A)
Potencia acústica A7/W45 EN 12102 / EN 14511 L_{w1} en modo calefacción	41,0 dB(A)	50,1 dB(A)	46,4 dB(A)	49,4 dB(A)	46,1 dB(A)
Potencia acústica A7/W55 EN 12102 / EN 14511 L_{w1} en modo calefacción	40,9 dB(A)	52,7 dB(A)	46,1 dB(A)	48,0 dB(A)	46,4 dB(A)
Potencia acústica A35/W18 EN 12102 / EN 14511 L_{w1} en modo refrigeración	48,3 dB(A)	54,7 dB(A)	49,7 dB(A)	46,8 dB(A)	47,2 dB(A)

Límites de aplicación de la bomba de calor para calefacción y refrigeración (fuente de calor: aire)

Con caudales volumétricos en el circuito de calefacción (ΔT 5K o ΔT 8 K) iguales que en la comprobación de la potencia calorífica nominal bajo condiciones nominales normativas .

El funcionamiento de la bomba de calor fuera de los límites de aplicación provoca su bloqueo a través de los dispositivos de regulación y de seguridad internos.

	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Límites de aplicación bomba de calor calefacción (Fuente de calor aire)	- A40/W65 - A40/W25 - A-22/W25 - A-22/W50 - A-2/W65 - A15/W65	- A40/W65 - A40/W25 - A-22/W25 - A-22/W50 - A-2/W65 - A15/W65	- A40/W65 - A40/W25 - A-22/W25 - A-22/W50 - A-2/W65 - A15/W65	- A40/W65 - A40/W25 - A-22/W25 - A-22/W50 - A-2/W65 - A15/W65	- A40/W65 - A40/W25 - A-22/W25 - A-22/W50 - A-2/W65 - A15/W65
Límites de aplicación bomba de calor refrigeración (Fuente de calor aire)	- A20/W20 - A40/W20 - A40/W5 - A20/W5	- A20/W20 - A40/W20 - A40/W5 - A20/W5	- A20/W20 - A40/W20 - A40/W5 - A20/W5	- A20/W20 - A40/W20 - A40/W5 - A20/W5	- A20/W20 - A40/W20 - A40/W5 - A20/W5

4. Fuente de calor agua subterránea

Circuito de fuentes de calor/circuito de solución salina y circuito de agua subterránea

	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Módulo de fuente de calor	VWW 11/4 SI	VWW 11/4 SI	VWW 11/4 SI	VWW 19/4 SI	VWW 19/4 SI
Caudal volumétrico nominal del agua subterránea ΔT 3 K en W10W35	1,450 l/h	2,240 l/h	3,520 l/h	4,540 l/h	5,480 l/h
Tipo de solución salina	Glicol etileno 30 % vol.	Glicol etileno 30 % vol.	Glicol etileno 30 % vol.	Glicol etileno 30 % vol.	Glicol etileno 30 % vol.

Circuito del edificio/circuito de calefacción

	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Módulo de fuente de calor	VWW 11/4 SI	VWW 11/4 SI	VWW 11/4 SI	VWW 19/4 SI	VWW 19/4 SI
Caudal volumétrico nominal a ΔT 5 K	1.100 l/h	1.720 l/h	2.170 l/h	2.920 l/h	3.990 l/h
Máx. presión dispon. a ΔT 5 K	0,065 MPa (0,650 bar)	0,042 MPa (0,420 bar)	0,023 MPa (0,230 bar)	0,056 MPa (0,560 bar)	0,021 MPa (0,210 bar)
Caudal volumétrico nominal a ΔT 8 K	680 l/h	1.130 l/h	1.420 l/h	1.870 l/h	2.610 l/h
Máx. presión dispon. a ΔT 8 K	0,068 MPa (0,680 bar)	0,056 MPa (0,560 bar)	0,047 MPa (0,470 bar)	0,082 MPa (0,820 bar)	0,069 MPa (0,690 bar)
Min. flujo volumétrico con funcionamiento continuo en los límites de aplicación	680 l/h	1.130 l/h	1.420 l/h	1.870 l/h	2.610 l/h
Máx. flujo volumétrico con funcionamiento continuo en los límites de aplicación	1.100 l/h	1.720 l/h	2.170 l/h	2.920 l/h	3.990 l/h
Consumo de energía eléctrica bomba de calefacción a W10/W35 ΔT 5 K a 250 mbar pérdida de presión externa en el circuito de calefacción	35 W	45 W	55 W	100 W	110 W

Datos de rendimiento

Los siguientes datos de rendimiento son válidos exclusivamente para productos nuevos con intercambiadores de calor limpios.

Condiciones de comprobación para calcular los datos de rendimiento conforme a EN 14511

	VWF 57/4	VWF 87/4	VWF 117/4	VWF 157/4	VWF 197/4
Módulo de fuente de calor	VWW 11/4 SI	VWW 11/4 SI	VWW 11/4 SI	VWW 19/4 SI	VWW 19/4 SI
Potencia W10/W35 ΔT 5 K	6,40 kW	10,00 kW	12,90 kW	16,80 kW	23,00 kW
Consumo eléctrico W10/W35 ΔT 5 K	1,40 kW	1,90 kW	2,40 kW	3,10 kW	4,40 kW
Valor de rendimiento W10/W35 ΔT 5 K / COP EN 14511	4,80	5,20	5,10	5,40	5,20
Potencia W10/W45 ΔT 5 K	6,30 kW	10,10 kW	12,90 kW	16,60 kW	23,60 kW
Consumo eléctrico W10/W45 ΔT 5 K	1,70 kW	2,50 kW	3,10 kW	4,00 kW	5,60 kW
Valor de rendimiento W10/W45 ΔT 5 K / COP EN 14511	3,70	4,10	4,00	4,20	4,10
Potencia W10/W55 ΔT 8 K	6,30 kW	10,30 kW	13,30 kW	17,10 kW	23,80 kW
Consumo eléctrico W10/W55 ΔT 8 K	2,10 kW	3,00 kW	3,90 kW	4,80 kW	6,80 kW
Valor de rendimiento W10/W55 ΔT 8 K / COP EN 14511	3,00	3,50	3,30	3,60	3,50
Potencia acústica W10/W35 EN 12102 / EN 14511 L_{w1} en modo calefacción	41,2 dB(A)	47,9 dB(A)	45,0 dB(A)	49,9 dB(A)	50,6 dB(A)
Potencia acústica W10/W45 EN 12102 / EN 14511 L_{w1} en modo calefacción	40,9 dB(A)	50,3 dB(A)	47,8 dB(A)	48,0 dB(A)	47,8 dB(A)
Potencia acústica W10/W55 EN 12102 / EN 14511 L_{w1} en modo calefacción	41,8 dB(A)	53,8 dB(A)	47,6 dB(A)	49,1 dB(A)	46,4 dB(A)

AEROTERMIA - M-THERMAL 2 - UNIDADES BIBLOCK

CARACTERÍSTICAS

- Todo en uno: agua caliente sanitaria y climatización conectando el equipo a fan coils, suelo radiante y radiadores
- Potencias de 4 a 16 kW
- Módulo hidráulico de serie
- Incorpora la sonda de agua caliente, filtro y vaso de expansión
- Prioridad de agua seleccionable
- Programable para almacenar agua caliente
- Ventiladores Inverter DC
- Compresores Twin Rotary
- Clase energética A+++
- Coeficientes de rendimiento estacional (SCOP) de hasta 5,21
- Factores de eficiencia energética estacional (SEER) de hasta 8,95
- Amplio rango de temperaturas exteriores
- Posibilidad de utilización en aplicaciones industriales
- Posibilidad de integración en sistemas híbridos
- Control Wi-Fi



UNIDADES BI-BLOCK			ETH04VA	ETH06VA	ETH08VA	ETH10VA	ETH12VA	ETH12VA-TRI	ETH16VA	ETH16VA-TRI
UNIDAD EXTERIOR										
CALEFACCIÓN A7W35	Capacidad nominal	kW	4,25	6,20	8,30	10	12,1	12,1	16,0	16,0
	Consumo nominal	kW	0,82	1,24	1,60	2,00	2,44	2,44	3,56	3,56
	COP		5,20	5,00	5,20	5,00	4,95	4,95	4,50	4,50
CALEFACCIÓN A7W45	Capacidad nominal	kW	4,35	6,35	8,20	10	12,3	12,3	16,0	16,0
	Consumo nominal	kW	1,14	1,69	2,08	2,63	3,24	3,24	4,44	4,44
	COP		3,80	3,75	3,95	3,80	3,80	3,80	3,60	3,60
CALEFACCIÓN A7W55	Capacidad nominal	kW	4,40	6,00	7,50	9,50	12,0	12,0	16,0	16,0
	Consumo nominal	kW	1,49	2,00	2,36	3,06	3,87	3,87	5,52	5,52
	COP		2,95	3,00	3,18	3,10	3,10	3,10	2,90	2,90
CALEFACCIÓN A-7W35	Capacidad nominal	kW	4,8	6,1	7,1	8,25	10	10	13,3	13,3
	Consumo nominal	kW	1,52	2	2,18	2,62	3,33	3,33	4,93	4,93
	COP		3,15	3,05	3,25	3,15	3	3	2,7	2,7
CALEFACCIÓN A-7W55	Capacidad nominal	kW	4	5,15	6,15	6,85	10	10	12,5	12,5
	Consumo nominal	kW	2,05	2,58	3	3,43	4,88	4,88	6,19	6,19
	COP		1,95	2	2,05	2	2,05	2,0	2,02	2,02
REFRIGERACIÓN A35W18	SCOP / Etiqueta energética salida a 35°C		4,85 / A+++	4,95 / A+++	5,21 / A+++	5,19 / A+++	4,81 / A+++	4,815 / A+++	4,62 / A+++	4,62 / A+++
	SCOP / Etiqueta energética salida a 55°C		3,31 / A++	3,52 / A++	3,36 / A++	3,49 / A++	3,45 / A++	3,45 / A++	3,41 / A++	3,41 / A++
	Capacidad nominal	KW	4,50	6,55	8,40	10,0	12,0	12,0	14,9	14,9
REFRIGERACIÓN A35W7	Consumo nominal	KW	0,81	1,34	1,66	2,08	3,00	3,00	4,38	4,38
	EER		5,55	4,90	5,05	4,80	4,00	4,00	3,40	3,40
	Capacidad nominal	KW	4,70	7,00	7,40	8,20	11,6	11,6	14,0	14,0
Rango de temperaturas de operación	Consumo nominal	KW	1,36	2,33	2,19	2,48	4,22	4,22	5,71	5,71
	EER		3,45	3,00	3,38	3,30	2,75	2,75	2,45	2,45
	SEER / Etiqueta energética salida a 7°C		4,99 / A+++	5,34 / A+++	5,83 / A+++	5,98 / A+++	4,89 / A+++	4,89 / A+++	4,69 / A+++	4,69 / A+++
Rango de temperaturas de operación	SEER / Etiqueta energética salida a 18°C		7,77 / A++	8,21 / A++	8,95 / A++	8,78 / A++	7,1 / A++	7,1 / A++	6,75 / A++	6,75 / A++
	Límites temp. exterior de operación en frío	°C	-5/43	-5/43	-5/43	-5/43	-5/43	-5/43	-5/43	-5/43
	Límites temp. exterior de operación en calefac.	°C	-25/35	-25/35	-25/35	-25/35	-25/35	-25/35	-25/35	-25/35
Rango de temperaturas de operación	Límites de funcionamiento exterior en ACS	°C	-25/43	-25/43	-25/43	-25/43	-25/43	-25/43	-25/43	-25/43
	Caudal de aire	m³/h	2,770	2,770	4,030	4,030	4,060	4,060	4,650	4,650
	Tipo de compresor		Twin Rotary DC	Twin Rotary DC	Twin Rotary DC	Twin Rotary DC	Twin Rotary DC	Twin Rotary DC	Twin Rotary DC	Twin Rotary DC
CONEXIONES FRIGORÍFICAS	Potencia sonora	dB	56	58	59	60	64	64	68	68
	Dimensiones externas [AnxAlxFon]	mm	1008x712x429	1008x712x429	1118x864x523	1118x864x523	1118x864x523	1118x864x523	1118x864x523	1118x864x523
	Dimensiones del embalaje [AnxAlxFon]	mm	1065x890x560	1065x890x560	1180x890x560	1180x890x560	1180x890x560	1180x890x560	1180x890x560	1180x890x560
CONEXIONES FRIGORÍFICAS	Peso neto/peso bruto	Kg	58/64	58/64	77/88	77/88	96/110	96/110	112/125	112/125
	EAN		8436567809664	8436567809671	8436567809688	8436567806526	8436567806540	8435666501714	8436567806564	8435666501721
	Alimentación		1P 220-240V-50Hz	1P 220-240V-50Hz	1P 220-240V-50Hz	1P 220-240V-50Hz	1P 220-240V-50Hz	3P 380-415V-50Hz	1P 220-240V-50Hz	3P 380-415V-50Hz
CONEXIONES FRIGORÍFICAS	Ubicación de la alimentación		Exterior	Exterior	Exterior	Exterior	Exterior	Exterior	Exterior	Exterior
	Sección del cable de alimentación	mm²	3x4	3x4	3x4	3x6	3x6	5x2,5	3x6	5x2,5
	Diámetro tuberías líquido/gas	Pulg.	1/4 - 5/8	1/4 - 5/8	3/8 - 5/8	3/8-5/8	3/8-5/8	3/8-5/8	3/8-5/8	3/8-5/8
CONEXIONES FRIGORÍFICAS	Disistancias mínima/máxima	m	2/30	2/30	2/30	2/30	2/30	2/30	2/30	2/30
	Altura máxima unidad exterior Sup/Inf	m	20/20	20/20	20/20	20/20	20/20	20/20	20/20	20/20
	Refrigerante		R32	R32	R32	R32	R32	R32	R32	R32
CONEXIONES FRIGORÍFICAS	Precarga de refrigerante	g	1.500	1.500	1.650	1.650	1.650	1.840	1.840	1.840
	Longitud sin carga adicional	m	15	15	15	15	15	15	15	15
	Carga adicional de refrigerante	g/m	20	20	38	38	38	38	38	38
UNIDAD INTERIOR										
CÓDIGO EAN			ETHKH06A 8436567809695		ETHKH10A 8436567806533		ETHKH16A 8436567806557			
Rango de temperatura de entrega del agua	Temperatura producción en refrigeración	°C	5/25	5/25	5/25	5/25	5/25	5/25	5/25	5/25
	Temperatura producción en calefacción	°C	25/65	25/65	25/65	25/65	25/65	25/65	25/65	25/65
	Temperatura producción ACS	°C	30/60	30/60	30/60	30/60	30/60	30/60	30/60	30/60
CONEXIONES FRIGORÍFICAS	Dimensiones externas [AnxAlxFon]	mm	420x790x270	420x790x270	420x790x270	420x790x270	420x790x270	420x790x270	420x790x270	420x790x270
	Dimensiones del embalaje [AnxAlxFon]	mm	525x1050x360	525x1050x360	525x1050x360	525x1050x360	525x1050x360	525x1050x360	525x1050x360	525x1050x360
	Peso neto/peso bruto	Kg	37/43	37/43	37/43	37/43	37/43	37/43	39/45	39/45
ALIMENTACIÓN 1P 220-240V-50Hz										
CONEXIONES FRIGORÍFICAS	Conexiones eléctricas	mm²	3x1,5	3x1,5	3x1,5	3x1,5	3x1,5	3x1,5	3x1,5	3x1,5
	Comunicación con cable apantallado	mm²	3x0,75+pant	3x0,75+pant	3x0,75+pant	3x0,75+pant	3x0,75+pant	3x0,75+pant	3x0,75+pant	3x0,75+pant
	Conexión hidráulica	Pulg.	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"
CONEXIONES FRIGORÍFICAS	Diámetro desague	mm	25	25	25	25	25	25	25	25

MAXLOR BOILER CON BRASERODE AUTOLIMPIEZA 16A



ECODESIGN2020

Mod. 16450m³A⁺

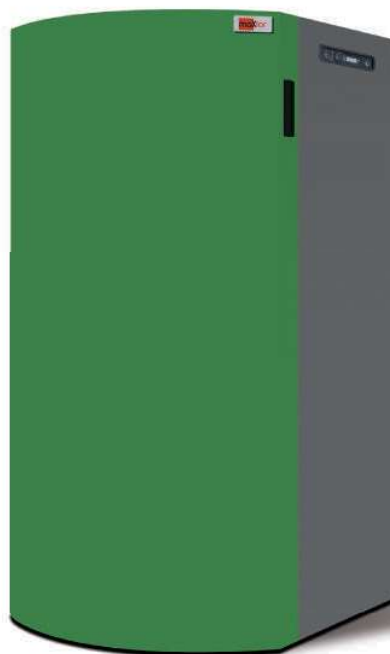
Wi-Fi opcional



Display LCD



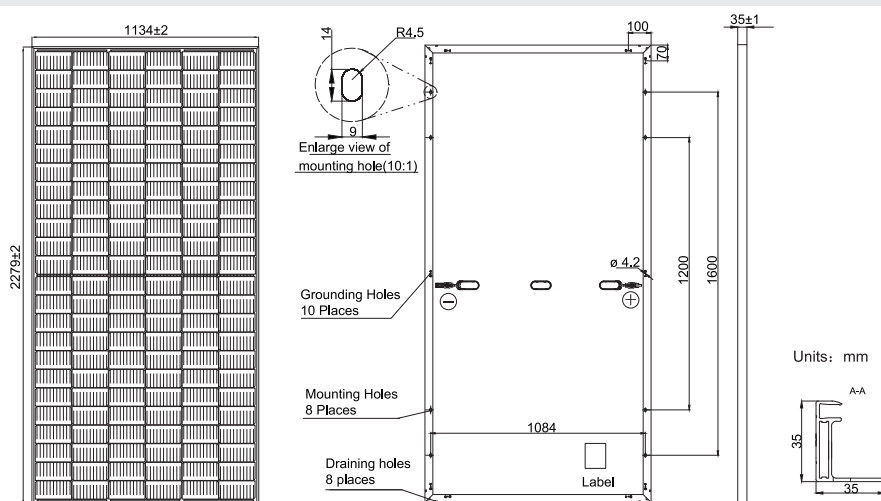
Bomba modulante

Brasero de
autolimpiezaResistencia
de cerámica

Datos Técnicos		Mod. 16
Potencia global (máx - mín)	kW	15,9 - 4,4
Potencia de entrega al agua (máx-mín)	kW	14,5 - 4
Consumo horario de pellets (máx - mín) /	kg - h	3,27 - 0,91
Eficiencia (máx - mín)	%	91,1 - 90
Conducto de descarga de humos	ø mm	80
Capacidad del depósito de pellets	lt - kg	70 - 46
Autonomía (máx - mín)	h	50 - 14
Energía eléctrica para ejercer	W	140 - 350
Dimensiones (L x A x H) / Dimensões (L x P x H)	mm	562 x 701 x 1081
Peso	kg	180

Todos los datos e imágenes son aproximados y provisionales y están sujetos a cambios sin previo aviso. El valor del volumen se refiere para edificios bien aislados y es indicativo.

MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	28.6kg±3%
Dimensions	2279±2mm×1134±2mm×35±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC) , 12 AWG(UL)
No. of cells	144(6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4.10(1000V) QC 4.10-35(1500V)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1300mm(+)/1300mm(-)
Packaging Configuration	31pcs/Pallet, 620pcs/40ft Container

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S30 -525/MR	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR
Rated Maximum Power(P _{max}) [W]	525	530	535	540	545	550
Open Circuit Voltage(V _{oc}) [V]	49.15	49.30	49.45	49.60	49.75	49.90
Maximum Power Voltage(V _{mp}) [V]	41.15	41.31	41.47	41.64	41.80	41.96
Short Circuit Current(I _{sc}) [A]	13.65	13.72	13.79	13.86	13.93	14.00
Maximum Power Current(I _{mp}) [A]	12.76	12.83	12.90	12.97	13.04	13.11
Module Efficiency [%]	20.3	20.5	20.7	20.9	21.1	21.3
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of I _{sc} (α _{Isc})	+0.045%/°C					
Temperature Coefficient of V _{oc} (β _{Voc})	-0.275%/°C					
Temperature Coefficient of P _{max} (γ _{Pmp})	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G					

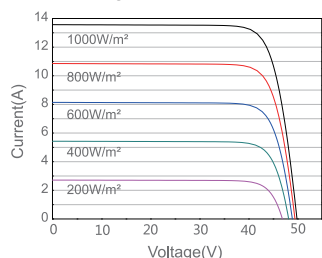
Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

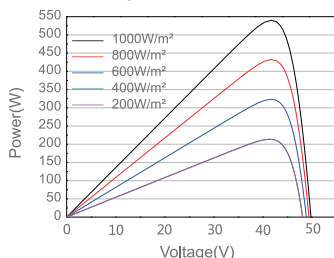
TYPE	JAM72S30 -525/MR	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR	OPERATING CONDITIONS	
Rated Max Power(P _{max}) [W]	397	401	405	408	412	416	Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Open Circuit Voltage(V _{oc}) [V]	46.05	46.18	46.31	46.43	46.55	46.68	Operating Temperature	-40°C~+85°C
Max Power Voltage(V _{mp}) [V]	38.36	38.57	38.78	38.99	39.20	39.43	Maximum Series Fuse Rating	25A
Short Circuit Current(I _{sc}) [A]	10.97	11.01	11.05	11.09	11.13	11.17	Maximum Static Load, Front* Maximum Static Load, Back*	5400Pa(112lb/ft ²) 2400Pa(50lb/ft ²)
Max Power Current(I _{mp}) [A]	10.35	10.39	10.43	10.47	10.51	10.55	NOCT	45±2°C
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G						Safety Class	Class II
							Fire Performance	UL Type 1

CHARACTERISTICS

Current-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Power-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Current-Voltage Curve JAM72S30-540/MR

