



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA VIVIENDA
UNIFAMILIAR

Autor: Íñigo Fernández Arregui

Director: Íñigo Sanz Fernández

Madrid

Julio de 2023

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2022/23 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

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



Fdo.: Íñigo Fernández Arregui

Fecha: 13/ 07/ 2023

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Íñigo Sanz Fernández

Fecha://



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR

Autor: Íñigo Fernández Arregui

Director: Íñigo Sanz Fernández

Madrid

Julio de 2023

Quería agradecer a mi director Íñigo Sanz Fernández, el seguimiento a lo largo del proyecto en todas sus etapas. Ha sido una ayuda constante, y guía para dar forma a todo el trabajo, a pesar de las circunstancias en las que se ha desarrollado.

Tanto en el marco personal como en lo académico, gracias a mi madre, por ser un apoyo fundamental para el desarrollo del proyecto. Autora de mis virtudes, y educación en valores, me ha mostrado su confianza y amor incondicionales, pilar para la consecución de mis objetivos.

EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR

Autor: Fernández Arregui, Íñigo

Director: Sanz Fernández Íñigo.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

En los últimos años se ha desencadenado un creciente auge de las energías renovables, en respuesta de la tradicional dependencia de los combustibles fósiles. El aumento del precio de estos ha supuesto la transición hacia métodos de obtención de energía limpia, más sostenibles y eficientes. La búsqueda de alternativas más limpias, económicamente viables, surge a raíz de la volatilidad de los precios del petróleo y el gas, añadiendo la creciente preocupación acerca del impacto que conlleva su uso. Emerge, en este contexto, la implantación de sistemas de aerotermia y paneles fotovoltaicos en las viviendas, planteando un enfoque de consumo energético diferente, con el objetivo de aprovechar las energías renovables, y a su vez aumentando la eficiencia de los recursos energéticos.

El propósito del estudio y desarrollo de este trabajo consiste en evaluar la viabilidad y analizar los beneficios de la implantación de un sistema de placas solares y aerotermia en una vivienda unifamiliar. La principal motivación es abordar los desafíos energéticos actuales, desarrollando alternativas más eficientes y limpias.

Para su consecución, se aplica una marcada metodología de trabajo, que determina las fases del proyecto y los recursos que se emplearán.

Inicialmente, se desarrolla una parte de investigación, donde se describe el lenguaje científico necesario para la comprensión de los conceptos abordados por el proyecto. La propuesta de mejora de la eficiencia energética tiene varias partes diferentes, que se abordan conjuntamente en cada capítulo. Por un lado, se describen los actuales sistemas de distribución, además de los sistemas de calefacción más demandados. En este apartado destacan las calderas que emplean gas y gasóleo. Ligado a estas, principalmente se hace uso de radiadores para el acondicionamiento de las viviendas. En ocasiones, para viviendas de uso vacacional o estacional, se emplean alternativas como los calefactores eléctricos o la calefacción de biomasa, principalmente pellets. Suponen métodos de aclimatación más costosos debido al precio de la fuente de energía que los alimenta, pero son fáciles de instalar

y no requieren de una inversión inicial tan elevada como los métodos mencionados previamente.

Las alternativas limpias, que aprovechan el potencial inherente en los recursos naturales, y resultan más eficientes energéticamente son los sistemas de aerotermia y geotermia. Ambos supondrían un aumento de la eficiencia energética de la vivienda, contribuyendo al movimiento de transición energética. De cualquier manera, se descarta la implementación de la geotermia, por la complejidad de su instalación. Suele ser un sistema elegido para viviendas de nueva obra, dado la posibilidad de realizar las perforaciones ya sea debajo de la estructura de la vivienda o destinar una zona de la finca para dicho propósito. Por lo tanto, se decide implementar un sistema de aerotermia, que presenta gran eficiencia energética y combina a la perfección con el sistema de suelo radiante.

La aerotermia es un sistema que aprovecha la energía del aire, recogida generalmente por un líquido refrigerante en un ciclo cerrado. Es capaz de generar 4 kWh de energía a partir de cada kWh de energía aportado al sistema. La peculiaridad de este sistema consiste en que, dependiendo del sentido del ciclo, este sirve como sistema de calefacción, o refrigeración, con temperaturas de impulsión que rondan los 40°C y los 15°C respectivamente.

Adicionalmente, se definen conceptos clave relacionados con el aislamiento térmico, como la transmitancia y la conductividad térmicas, con el objetivo de clasificar el aislamiento térmico de la vivienda y analizar posibles mejoras de este. Se tienen en cuenta otros factores de interés, propios de los materiales aislantes, como la resistencia a la difusión del vapor de agua, la resistencia térmica, el calor específico y la densidad. Posteriormente se expone una clasificación de los materiales aislantes empleados en la construcción de viviendas, entre los que se encuentran las lanas minerales, los materiales sintéticos (como el poliuretano), y los aislantes ecológicos (como el corcho y la paja). Ante la posibilidad de realizar reformas en el aislamiento de la vivienda, se exponen varios métodos, que consisten en aislamiento exterior (el sistema SATE) e interior de la vivienda.

La posibilidad de reformar la vivienda para mejorar el aislamiento de esta se desestima más adelante, pues se obtiene un certificado de eficiencia energética que indica la transmitancia térmica de los cerramientos, huecos y lucernarios. Estos presentan valores de transmitancia térmica aceptables, por lo que realizar reformas introduciendo material aislante en los cerramientos, o cambiando las ventanas y puertas por unas con mayor aislamiento térmico no suponen una medida efectiva para aumentar la eficiencia energética de la vivienda.

En cuanto a las instalaciones fotovoltaicas, se dan apuntes sobre el funcionamiento y el montaje de estas. Se describen los tipos de paneles en función del tipo de célula de silicio que incorporan (siendo los monocristalinos los de mayor calidad), y las baterías fotovoltaicas, clasificadas según su voltaje, amperaje y velocidad de carga. La información acerca de las baterías solares se incluye ante la posibilidad de incluirlas posteriormente en la instalación, en función del periodo de amortización.

A continuación, se definen las características de la vivienda de estudio. Es una vivienda unifamiliar de 216m² útiles, situada en la provincia de León. De tres plantas, de las cuales la planta baja y la primera planta emplean el suelo radiante como sistema de distribución. La calefacción es de gasoil, suministrado a partir de un depósito común de la urbanización. Como se adelantaba, se obtiene un certificado de eficiencia energética que presenta las transmitancias de los cerramientos y los huecos, con objetivo de estudio de la estructura de la vivienda, en caso de que fuese necesario realizar reformas para mejorar el aislamiento. Además, presenta indicadores de calificación energética según el criterio de la Unión Europea, de emisiones globales de kg CO₂/m² al año (E) y del consumo global de energía primaria no renovable (D). Se prevé estos indicadores aumenten tras la implementación de la propuesta, dado que la aerotermia reduce en gran medida las emisiones de CO₂, y disminuirá el consumo de energía primaria no renovable gracias a las placas solares. Para terminar la definición de las características de la vivienda, se adjuntan los consumos de la vivienda, presentando la factura de gasoil (1544 €/año) y la factura de la luz de febrero de 2022 (ronda los 80 €, pero no se extrapola a todos los meses pues la demanda es variable a lo largo del año).

Para la puesta en marcha de la propuesta, se realiza un estudio previo, dedicado al dimensionamiento y ajuste de la instalación a las necesidades de la vivienda. Primero, se dispone de informes generados por una instalación fotovoltaica en una vivienda próxima a la de estudio. Se presenta la factura de energía eléctrica mensual, donde se reflejan los kWh vertidos a la red por la instalación, y el descuento económico asociado. Una vez introducida la propuesta con la *instalación ejemplo*, se realiza una simulación de la instalación en el software PVsyst. Se define una instalación compuesta por 10 paneles fotovoltaicos de 550 Wp y un inversor de 7,5 kWac.

Después de ajustar todos los parámetros de la simulación, como el grado de inclinación y el azimut, así como el consumo de la vivienda (sin contar con el sistema de aerotermia), se obtiene una generación anual de 9500 kWh. Se estima que la generación real de la instalación

ronde los 7500 kWh, pues las pérdidas introducidas en la simulación pueden variar en función de las condiciones meteorológicas. De cualquier forma, sirve para poder dimensionar las instalaciones y desarrollar un sistema de autoconsumo, que sirva como fuente de alimentación del sistema de aerotermia y recurrir lo menos posible de la energía de la red.

Por otro lado, se dimensiona el sistema de aerotermia con el apoyo de la calculadora de Mitsubishi Electric. A partir de los datos de calefacción de la vivienda, tanto del propio sistema como de consumo, la página web dimensiona el sistema de aerotermia. Debe sustituir una calefacción alimentada por gasoil, con un consumo de 2361 l/año. Siendo de 10 kWh el valor energético de cada litro de gasoil, el sistema de aerotermia debe hacer frente a un consumo de 25.000 kWh/año entre calefacción y ACS. Finalmente, estima un sistema con una potencia térmica de 18 kW, además de un ahorro anual del 50% y una reducción de las emisiones de dióxido de carbono del 70%.

Tanto para el sistema de aerotermia como para la instalación fotovoltaica, se contacta con empresas instaladoras de dichos sistemas, que generan presupuestos ajustados a las características de la vivienda. En el caso de la aerotermia, Vaillant escoge un modelo que presenta en su ficha técnica especificaciones como la eficiencia energética (A+++) y el rango de potencia de calefacción a 35°C (5,5 kW-18kW). Para obtener una noción del coste de la instalación fotovoltaica, se contacta con la empresa Sotysolar, que emite un presupuesto con cuyos componentes son similares a los introducidos en la simulación (10 paneles de 550 W obteniendo una instalación de 5,5 kWp).

Respecto a la parte económica, se emiten presupuestos separados pues se contacta con empresas que se encargan de cada sistema por separado. De cualquier forma, el estudio económico es conjunto, teniendo en cuenta el total de la inversión inicial, además de los ahorros y consumos en fuentes de energía (ahorro en gasóleo y nuevo consumo eléctrico). También se reserva un fondo de maniobra ajustado al IPC del mes de abril de 2023, destinado al mantenimiento anual de las placas solares.

Se adjunta la tabla, que representa los flujos de caja del proyecto, en un periodo de 25 años (la vida útil estimada de los equipos fotovoltaicos). Se muestra la inversión inicial total (Año 0), y dos flujos de caja, teniendo en cuenta que son constantes a lo largo del periodo de estudio, excepto en el Año 10 y el Año 20 que se prevé la sustitución del inversor de corriente eléctrica.

	Año 0	Año 01	Año 10
Ahorro en consumo de gasóleo		1544,15	1544,15
Ahorro en energía eléctrica		736	736
Sustitución inversor			-817
Consumo energía eléctrica		118,65	118,65
Beneficio Antes de Impuestos		2398,8	1581,8
Impuestos (IVA)		503,748	332,178
Limpieza placas anual		-100	-127,9
Sistema de aerotermia	-17401		
Instalación fotovoltaica	-6915		
Flujo de caja	-24316	2802,548	1786,078

Tabla 1: Estudio de viabilidad de la propuesta

Gracias a esta Tabla que resume los flujos de caja del proyecto, se pueden calcular los estimadores de viabilidad económica el Valor Actual Neto, y la Tasa Interna de Retorno, además del periodo de retorno (indica en cuanto tiempo se recupera la inversión inicial y se empiezan a generar beneficios).

El VAN queda definido como un criterio de inversión, expresando una medida de rentabilidad del proyecto en número de unidades monetarias. Este se calcula con Excel, obteniendo un VAN a partir de los flujos de caja calculados, aplicando una tasa de descuento del 4% (asumida en proyectos similares), de 17.863 €, lo que refleja que el proyecto genera valor y es viable económicamente.

La TIR es un indicador económico que representa la tasa de descuento que anula el VAN. Esta indica la tasa de descuento que se puede asumir en este proyecto para que sea rentable, siempre inferior a la TIR. Se calcula con Excel, y se obtiene un valor del 10%, lo que supone que la tasa de descuento que se puede asumir puede llegar hasta dicho valor.

ENERGY EFFICIENCY OF A DETACHED HOUSE

Author: Fernández Arregui, Íñigo.

Supervisor: Sanz Fernández, Íñigo.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

ABSTRACT

In recent years there has been a growing boom in renewable energy in response to the traditional dependence on fossil fuels. The rising price of fossil fuels has led to a transition towards more sustainable and efficient methods of obtaining clean energy. The search for cleaner, economically viable alternatives has arisen as a result of the volatility of oil and gas prices, adding to the growing concern about the impact of their use. In this context, the implementation of aerothermal systems and photovoltaic panels in homes is emerging, proposing a different approach to energy consumption, with the aim of taking advantage of renewable energies, and at the same time increasing the efficiency of energy resources.

The purpose of the study and development of this work is to assess the feasibility and analyse the benefits of implementing a system of solar panels and aerothermal energy in a single-family house. The main motivation is to address current energy challenges by developing more efficient and cleaner alternatives.

In order to achieve this, a clear work methodology is applied, which determines the phases of the project and the resources to be used.

Initially, a research part is developed, where the scientific language necessary for the understanding of the concepts addressed by the project is described. The proposal to improve energy efficiency has several different parts, which are dealt with jointly in each chapter. On the one hand, the current distribution systems are described, as well as the most demanded heating systems. In this section, boilers using gas and oil are highlighted. Linked to these, radiators are mainly used to air-condition dwellings. Occasionally, for holiday or seasonal homes, alternatives such as electric heaters or biomass heating, mainly pellets, are used. These are more expensive acclimatisation methods due to the price of the energy source that powers them, but they are easy to install and do not require as high an initial investment as the previously mentioned methods.

Clean alternatives, which exploit the inherent potential of natural resources and are more energy efficient, are aerothermal and geothermal systems. Both would increase the energy efficiency of housing, contributing to the energy transition movement. However, the implementation of geothermal energy is ruled out due to the complexity of its installation. It is usually a system chosen for newly built houses, given the possibility of drilling the boreholes either under the structure of the house or to allocate an area of the property for this purpose. Therefore, it is decided to implement an aerothermal system, which is highly energy efficient and combines perfectly with the underfloor heating system.

Aerothermal energy is a system that harnesses the energy of the air, generally collected by a coolant in a closed cycle. It can generate 4 kWh of energy from each kWh of energy supplied to the system. The peculiarity of this system is that, depending on the direction of the cycle, it serves as a heating or cooling system, with supply temperatures of around 40°C and 15°C respectively.

In addition, key concepts related to thermal insulation, such as thermal transmittance and thermal conductivity, are defined in order to classify the thermal insulation of the dwelling and to analyse possible improvements. Other factors of interest, specific to insulating materials, such as resistance to water vapour diffusion, thermal resistance, specific heat and density, are taken into account. Subsequently, a classification of insulating materials used in house construction is presented, including mineral wool, synthetic materials (such as polyurethane), and ecological insulators (such as cork and straw). When it comes to the possibility of renovating the insulation of the house, several methods are presented, consisting of external insulation (the SATE system) and internal insulation of the house.

The possibility of renovating the dwelling to improve its insulation is discouraged at a later stage, since an energy efficiency certificate is obtained that indicates the thermal transmittance of the enclosures, openings and skylights. These have acceptable thermal transmittance values, so renovating by introducing insulating material in the enclosures, or changing the windows and doors for ones with better thermal insulation is not an effective measure to increase the energy efficiency of the dwelling.

With regard to photovoltaic installations, notes are given on how they work and how to install them. The types of panels are described according to the type of silicon cell they incorporate (monocrystalline being the highest quality), and photovoltaic batteries are classified according to their voltage, amperage and charging speed. The information on solar

batteries is included in view of the possibility of including them in the installation at a later date, depending on the amortisation period.

The characteristics of the dwelling under study are defined below. It is a single-family house of 216 m², located in the province of León. It has three floors, of which the ground floor and the first floor use underfloor heating as the distribution system. The heating is oil-fired, supplied from a common tank in the urbanisation. As mentioned before, an energy efficiency certificate is obtained which presents the transmittances of the enclosures and openings, with the aim of studying the structure of the house in case it is necessary to carry out reforms to improve the insulation. It also presents energy rating indicators according to European Union criteria, global emissions of kg CO₂/m² per year (E) and global consumption of non-renewable primary energy (D). These indicators are expected to increase after the implementation of the proposal, since aerothermal energy greatly reduces CO₂ emissions, and will decrease the consumption of non-renewable primary energy thanks to the solar panels. To conclude the definition of the characteristics of the dwelling, the consumption of the dwelling is attached, presenting the diesel bill (1544 €/year) and the electricity bill of February 2022 (around 80 €, but it is not extrapolated to all months as the demand varies throughout the year).

For the implementation of the proposal, a preliminary study is carried out, dedicated to the sizing and adjustment of the installation to the needs of the dwelling. First, there are reports generated by a photovoltaic installation in a house close to the one under study. The monthly electricity bill is presented, showing the kWh fed into the grid by the installation, and the associated economic discount. Once the proposal with the example installation has been introduced, a simulation of the installation is carried out in the PVsyst software. An installation consisting of 10 photovoltaic panels of 550 Wp and a 7.5 kWac inverter is defined.

After adjusting all the simulation parameters, such as tilt and azimuth, as well as the consumption of the house (excluding the aerothermal system), an annual generation of 9500 kWh is obtained. It is estimated that the real generation of the installation is around 7500 kWh, as the losses introduced in the simulation may vary depending on the weather conditions. In any case, it serves to be able to dimension the installations and develop a self-consumption system, which serves as a power source for the aerothermal system and uses as little energy as possible from the grid.

On the other hand, the aérothermal system is dimensioned with the support of the Mitsubishi Electric calculator. Based on the heating data of the house, both the system itself and the consumption data, the web page sizes the aérothermal system. It has to replace an oil-fired heating system with a consumption of 2361 l/year. With an energy value of 10 kWh for each litre of diesel, the aérothermal system must cope with a consumption of 25,000 kWh/year between heating and DHW. Finally, he estimates a system with a thermal power of 18 kW, in addition to an annual saving of 50% and a reduction of carbon dioxide emissions of 70%.

For both the aérothermal system and the photovoltaic installation, contact is made with companies that install these systems, which generate budgets adjusted to the characteristics of the home. In the case of aérothermal systems, Vaillant chooses a model with specifications such as energy efficiency (A+++), and heating power range at 35°C (5.5 kW-18kW). To obtain an idea of the cost of the photovoltaic installation, the company Sotysolar was contacted and issued an estimate with components similar to those introduced in the simulation (10 panels of 550 W for an installation of 5.5 kWp).

Regarding the economic part, separate budgets are issued as separate companies are contacted for each system separately. In any case, the economic study is a joint one, considering the total initial investment, as well as the savings and consumption of energy sources (savings in diesel and new electricity consumption). A working capital reserve adjusted to the CPI for the month of April 2023 is also set aside for the annual maintenance of the solar panels.

The table, which represents the cash flows of the project, over a period of 25 years (the estimated useful life of the photovoltaic equipment), is attached. It shows the total initial investment (Year 0), and two cash flows, considering that they are constant throughout the study period, except in Year 10 and Year 20 when the replacement of the power inverter is foreseen.

	Year 0	Year 01	Year 10
Savings in diesel consumption		1544,15	1544,15
Savings in electrical energy		736	736
Inverter replacement			-817
Electricity consumption		118,65	118,65
Benefits Before Taxes		2398,8	1581,8
Taxes (IVA)		503,748	332,178
Annual plates maintenance		-100	-127,9
Aerothermal system	-17401		
Photovoltaic system	-6915		
Cash flow	-24316	2802,548	1786,078

Table 2: Feasibility study of the proposal

Thanks to this table, which summarises the cash flows of the project, the economic viability estimators Net Present Value and the Internal Rate of Return can be calculated, as well as the payback period (indicating how long it takes to recover the initial investment and start generating profits).

The NPV is defined as an investment criterion, expressing a measure of project profitability in number of monetary units. This is calculated with Excel, obtaining an NPV from the calculated cash flows, applying a discount rate of 4% (assumed in similar projects), of €17,863, which reflects that the project generates value and is economically viable.

The IRR is an economic indicator that represents the discount rate that cancels out the NPV. It indicates the discount rate that can be assumed for this project to be profitable, which is always lower than the IRR. It is calculated with Excel, and a value of 10% is obtained, which means that the discount rate that can be assumed can reach this value.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	7
Contexto.....	7
Motivación del proyecto	8
Objetivos de desarrollo	9
Metodología de trabajo	10
Capítulo 2. Estado de la Cuestión	12
Introducción	12
Sistemas de calefacción	12
2.1.1 Sistema de calefacción por aerotermia	15
Sistemas de distribución	18
Aislamiento térmico.....	21
Materiales aislantes.....	23
Formas de aislar una vivienda independiente	25
2.1.2 Aislamiento exterior	25
2.1.3 Aislamiento interior.....	27
Implementación de placas solares.....	29
2.1.4 Funcionamiento.....	29
2.1.4.1 Tipos de paneles solares	31
2.1.4.2 Tipos de instalaciones fotovoltaicas.....	31
2.1.4.2.1 Capacidad de una batería solar	32
2.1.4.2.2 Tipos de baterías solares.....	32
2.1.4.2.3 Parámetros que condicionan la capacidad de una batería	33
2.1.4.2.4 Niveles de carga según el voltaje de la batería solar	34
Conclusión	36
Capítulo 3. Estado actual del Edificio	37
Descripción del edificio	37
Calificación energética del edificio.....	47
3.1.1 Características de aislamiento de la vivienda.....	¡Error! Marcador no definido.
3.1.2 Certificado de calificación energética oficial	47
Descripción de las instalaciones técnicas del edificio	51

3.1.3 La caldera.....	51
3.1.4 Sistema de calefacción	55
Consumo energético del edificio.....	56
Conclusión	60
Capítulo 4. Propuesta de Mejora	62
Sistema de aerotermia	62
Instalación fotovoltaica.....	66
4.1.1 Datos de generación eléctrica.....	66
4.1.2 Simulación mediante PVsyst.....	72
Conclusión	80
Capítulo 5. Estudio económico	81
Desglose del presupuesto.....	81
Rentabilidad de la propuesta	84
Capítulo 6. Bibliografía.....	94
ANEXOS 95	
ANEXO I Certificado de eficiencia energética de la vivienda	95
ANEXO I.I DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL EDIFICIO.	97
ANEXO I.II CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO	100
ANEXO I.III RECOMENDACIONES PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA	102
ANEXO I.IV PRUEBAS, COMPROBACIONES E INSPECCIONES REALIZADAS POR EL TÉCNICO CERTIFICADOR.....	102
ANEXO II INFORME DE SIMULACIÓN EN PVSYSY	103

Listado de figuras

Figura 1: Evolución de los precios de combustibles para calefacción	14
Figura 2: Esquema de funcionamiento de un sistema de aerotermia	15
Figura 3: Ejemplo de etiqueta energética de una bomba de calor para calefacción, incluyendo SEER y SCOP	17
Figura 4 Sección del suelo radiante	19
Figura 5 Distribución de la temperatura en función del sistema de calefacción	20
Figura 6: Panel formado por lana de coco y corcho	24
Figura 7: Estructura molecular de la espuma de poliuretano	24
Figura 8: Sección de las capas del sistema SATE	26
Figura 9: Esquema de una instalación fotovoltaica con baterías	30
Figura 10: Gráfico de vida útil de una batería solar	34
Figura 11: Plano de la comunidad de viviendas	38
Figura 12: Plano de vista frontal de la vivienda	39
Figura 13: Plano de perfil de la vivienda	40
Figura 14: Cuadro de dimensiones de la comunidad (vivienda de estudio en la parcela número 3)	43
Figura 15: Plano de la planta baja	44
Figura 16: Plano de la primera planta	45
Figura 17: Plano de la planta bajo cubierta	46
Figura 18: Esquema de la chimenea de extracción de la caldera junto con su ficha técnica	53
Figura 19: Esquema hidráulico de la caldera	54
Figura 20: Esquema eléctrico de la caldera	55
Figura 21: Gráfico de consumo eléctrico en euros para el periodo de 2022	58
Figura 22: Gráfico de consumo kWh/día (10/2/2022-13/3/2022)	59
Figura 23: Demanda de kWh en función de la hora del día y el día de la semana respectivamente	59
Figura 24: Ficha técnica del sistema de aerotermia (adjunto 1)	64

Figura 25: Ficha técnica del sistema de aerotermia (adjunto 2)	65
Figura 26: Extracto de Google Maps de las viviendas de estudio (vivienda al norte) y la vivienda ejemplo (vivienda al sur)	67
Figura 27: Gráfica de energía generada por la instalación fotovoltaica durante los meses de operación en 2022.....	68
Figura 28: Gráfico de consumo de la vivienda durante los meses de operación de la instalación fotovoltaica en 2022	69
Figura 29: Generación y consumo de la vivienda ejemplo durante el periodo de actividad en 2022	70
Figura 30: Factura energética de la vivienda ejemplo de octubre de 2022	71
Figura 31: Desplegable de base de datos del software PVsyst.....	72
Figura 32: Pestaña de definición de red del software PVsyst.....	75
Figura 33: Diagrama solar de la instalación fotovoltaica de PVsyst.....	76
Figura 34: Panel de definición de consumos domésticos diarios para el año	77
Figura 35: Panel de consumo mensual de la vivienda.....	78
Figura 36: Diagrama de sectores de la inversión del proyecto.....	93

Listado de tablas

Tabla 1: Estudio de viabilidad de la propuesta.....	14
Table 2: Feasibility study of the proposal	19
Tabla 3: Tiempo de descarga y Amperaje/hora en función de la capacidad	32
Tabla 4: Voltaje en función del nivel de carga, para baterías de 12, 24 y 48V.....	35
Tabla 5: Superficie y transmitancia de los cerramientos opacos.....	47
Tabla 6: Transmitancia y factor solar de los huecos y lucernarios.....	48
Tabla 7: Indicador de emisiones globales de CO ₂	49
Tabla 8: Indicador global de consumo de energía primaria no renovable.....	50
Tabla 9: Ficha de datos técnicos de la caldera.....	52
Tabla 10: Ficha de consumo de gasóleo en el periodo 01/11/2020-31/10/2021 (chalé 5) ..	56
Tabla 11: Ficha de consumo de agua fría 4TR 2020 – 3TR 2021 (chalé 5).....	¡Error!
Marcador no definido.	
Tabla 12: Factura de la luz emitida por Iberdrola (10/2/2022-13/3/2022).....	58
Tabla 13: Componentes de la instalación fotovoltaica	67
Tabla 14: Presupuesto de Lecalsa para el sistema de aerotermia	83
Tabla 15: Presupuesto de Sotysolar para la instalación fotovoltaica.....	84
Tabla 16: Datos de generación de la simulación de la instalación fotovoltaica en PVsyst.	85
Tabla 17: Consumo energético del sistema de aerotermia estimado por Mitsubishi Electric	86
Tabla 18: Cálculo del coste de consumo eléctrico anual.....	86
Tabla 19: Estudio de viabilidad de la propuesta.....	88
Tabla 20: Estudio del periodo de recuperación de la propuesta	91
Tabla 21: Inversión económica del proyecto.....	92

Listado de ecuaciones

Ecuación 1: Fórmula del Valor Actual Neto (VAN)..... 89

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se hace una introducción de este proyecto despertando el interés del lector por el proyecto, describiendo la motivación de este, así como la metodología de trabajo y la alineación con los objetivos de Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

CONTEXTO

El proyecto y su propuesta surgen a raíz de la creciente preocupación por el medio ambiente y la dependencia de fuentes de energía no renovables, que ha impulsado el uso de fuentes de energía más sostenibles en diferentes sectores, incluyendo la vivienda y la construcción. Por ello, este trabajo de fin de grado se centra en la implantación de un sistema de aerotermia y placas fotovoltaicas, de cara a reducir el impacto ambiental ligado al consumo energético, y aprovechar los recursos naturales.

El objetivo principal de este proyecto es evaluar la implantación de una instalación fotovoltaica en apoyo a un sistema de aerotermia, en una vivienda unifamiliar, en sustitución del sistema de aclimatación de esta, una caldera de gasoil. El sistema de aerotermia se basa en el aprovechamiento de la energía contenida en el aire, proyectándola al sistema de distribución de la vivienda tanto en forma de calor como de frío. Por otro lado, las placas solares se basan en la captación de la radiación solar, lo que servirá como apoyo energético del sistema de aerotermia y del consumo de la vivienda. La propuesta representa una alternativa mucho más eficiente que los sistemas de calefacción de combustible fósil, además de ser más respetuosa con el medio ambiente.

El estudio de la propuesta comprende varias etapas, mediante las cuales se realizará un estudio de investigación de los parámetros técnicos de los sistemas de calefacción, tanto de combustible fósil como los que emplean energías renovables, como de los equipos y componentes una instalación fotovoltaica. Posteriormente se estudiará el dimensionamiento apropiado del

mismo, ajustándose a las necesidades de la vivienda, y un estudio económico a partir de las características obtenidas previamente.

A través de distintas herramientas de trabajo de simulación y manejo de datos, se llevará a cabo la simulación de la puesta en marcha de la propuesta, recopilando datos acerca de su funcionamiento y viabilidad económica.

MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Se centra en los desafíos energéticos de la actualidad. La implantación del sistema de aerotermia y la instalación fotovoltaica, pretende crear un sistema de abastecimiento energético sostenible reduciendo las emisiones de CO₂, aumentando la eficiencia energética de los combustibles fósiles gracias a la transición energética y el aprovechamiento de los recursos naturales, a través de la autonomía energética proporcionada por la instalación fotovoltaica.

El avance hacia una sociedad más sostenible, mediante el uso de los recursos naturales, gracias a la aerotermia que permite el aprovechamiento de la energía del aire, y la fotovoltaica que aprovecha la radiación solar. Elimina la dependencia de combustibles fósiles, reduciendo drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero y el cambio climático.

La eficiencia energética aumenta al hacer uso de los recursos naturales. La aerotermia emplea la energía del aire, en vez de hacer uso de los combustibles fósiles como los sistemas convencionales. Las placas solares, eliminan el factor de pérdidas asociadas por generación centralizada y la posterior distribución. El aumento de la eficiencia energética conlleva una reducción del consumo energético, además de sus costes asociados.

Propicia la autonomía energética, al generar energía en el lugar de consumo, y reducir la dependencia de fuentes externas de energía, ateniéndose a fluctuaciones de precios de los combustibles. En España se permite la venta del exceso energético producido, mediante programas de generación distribuida, mejorando si cabe la viabilidad económica del proyecto.

OBJETIVOS DE DESARROLLO

La implantación de un sistema de aerotermia y placas solares en una vivienda unifamiliar está relacionada con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Dichos objetivos fueron impuestos en la Cumbre de Desarrollo Sostenible por varios jefes de estado de las Naciones Unidas. Se centran en comprometer a todos los países de promover la prosperidad y proteger el medio ambiente, indistintamente de su nivel de desarrollo o riqueza. Son un total de 17 objetivos, y están recogidos en la Agenda de 2030.

Este proyecto se alinea con los siguientes objetivos:

- **Energía asequible y no contaminante (ODS 7):** el proyecto promueve la generación de energía limpia a partir de la aerotermia y los paneles fotovoltaicos. Aprovechando fuentes de energía renovable, se disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero al reducir la dependencia de combustibles fósiles, y aumenta la eficiencia energética.
- **Industria, innovación e infraestructura (ODS 9):** implantar estos sistemas promueve la innovación en tecnologías energéticas sostenibles. La implantación de la infraestructura del proyecto conlleva la creación de empleo y el desarrollo de la industria de energías renovables.
- **Ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11):** se promueve la transición hacia comunidades sostenibles, a través de la implantación de sistemas de aerotermia y placas fotovoltaicas en viviendas unifamiliares. Resulta en un entorno más limpio y saludable, al eliminar la dependencia de la generación eléctrica centralizada, mejorando la calidad del aire y las emisiones de dióxido de carbono.
- **Producción y consumo responsables (ODS 12):** la implantación de sistemas de aerotermia y paneles solares fomenta la producción y el consumo responsables, al eliminar la dependencia de la generación centralizada, y los efectos medioambientales relacionados. Se genera energía de forma local y eficiente, fomentando además la implementación de medidas de eficiencia energética en el hogar y el uso responsable de los recursos.

- Acción por el clima (ODS 13): la integración del sistema de aerotermia apoyado por paneles fotovoltaicos para la aclimatación de una vivienda unifamiliar supone una medida efectiva contra el cambio climático. Es una consecuencia directa la reducción de emisiones de carbono al sustituir los sistemas de calefacción tradicionales, que promueve la resiliencia climática y contribuye a limitar el cambio climático y sus efectos adversos.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología de trabajo que se llevará a cabo para el desarrollo del trabajo consta de tres fases principales, las cuales son: investigación, estudio de las características de la vivienda unifamiliar, y evaluación de la viabilidad de la propuesta mediante una simulación en el software PVsyst y presupuestos de empresas instaladoras de sistemas de aerotermia y placas fotovoltaicas.

En la fase de investigación, se realizará una exhaustiva investigación de la literatura científica relacionada con el proyecto, así como el estudio de los diferentes sistemas de aislamiento y sistemas de calefacción empleados en la actualidad. El propósito es obtener un amplio marco técnico, con el que todos los conceptos relacionados queden explicados, además de una posterior conclusión a cerca de los sistemas de distribución y calefacción más eficientes energéticamente, dando pie a la fase de la propuesta de mejora. Se plantearán por tanto los avances tecnológicos, conceptos clave y los beneficios de dichas tecnologías.

Habiendo quedado reflejada toda la información técnica relacionada con la propuesta, se prosigue con el estudio de las características de la vivienda unifamiliar donde se enfoca la propuesta. Se plantea la implantación de un sistema de aerotermia y paneles fotovoltaicos, por lo que será necesario reflejar el consumo energético y el sistema de aclimatación de la vivienda, tanto el sistema de calefacción como el de distribución. Se recopilará información sobre la ubicación geográfica y características estructurales de la misma, permitiendo determinar la carga térmica y eléctrica de la vivienda. Gran parte de la información que describe las necesidades energéticas de la vivienda quedará recogida en un Certificado de Eficiencia

Energética, compulsado por un técnico especialista que realizará un estudio de la vivienda, proporcionando mayor detalle de la eficiencia energética de la misma.

La tercera parte del trabajo consiste en determinar la viabilidad de la propuesta. Será necesario inicialmente dimensionar los sistemas de aerotermia y la instalación fotovoltaica a las necesidades de la vivienda. Para diseñar la instalación fotovoltaica se llevará a cabo una simulación en el software PVsyst. Cuenta con una base de datos con componentes fotovoltaicos de diferentes potencias y voltajes, permitiendo ajustar la simulación a la potencia y consumo adecuados. La simulación emite un informe de generación energética, a partir de los componentes seleccionados y las características de la zona climática seleccionada. Por otro lado, se seguirán las instrucciones de empresas instaladoras, para el dimensionamiento del sistema de aerotermia.

Paralelamente al dimensionamiento de los sistemas pertinentes, se llevará a cabo un estudio económico para evaluar la viabilidad de la propuesta. Se evaluará a partir de los presupuestos solicitados a empresas instaladoras, y las indicaciones de la simulación de PVsyst, el ahorro energético consecuente a lo largo de la vida útil de la instalación. Serán tendrán en cuenta costes de reparación de componentes menos longevos, así como fondos de maniobra destinados al mantenimiento anual, para estimar el periodo de retorno de inversión y el beneficio en el periodo de estudio. Se hará uso de la herramienta Excel del paquete de aplicaciones de Office, para calcular los flujos de caja y los índices de viabilidad económica.

Capítulo 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

INTRODUCCIÓN

Se busca la mejora de la eficiencia energética de una vivienda unifamiliar, estudiando los materiales de construcción, las instalaciones técnicas y el consumo del edificio. Para ello, se describe en este capítulo la situación actual de los factores previamente nombrados, exponiendo las posibles alternativas a emplear como propuesta de mejora.

Se pretende instalar un sistema de calefacción por aerotermia con placas solares, por lo que se entrará más en detalle en el funcionamiento de este sistema, así como el papel de las placas solares en apoyo a aumentar la eficiencia energética en viviendas, además de introducir los materiales aislantes y las técnicas llevadas a cabo para aislar instalaciones.

SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

En la actualidad existen diversos sistemas de calefacción, diseñados para ajustarse a ciertas características que diferencian unas instalaciones de otras, siendo de gran importancia para conseguir aumentar la eficiencia energética y reducir costes de instalación. Estos factores son: el tipo de vivienda (independiente o apartamento), las dimensiones, la zona climática, orientación y el precio de los combustibles.

Estos sistemas se clasifican en función del tipo de energía empleada¹:

- Calefacción de gas natural: el sistema más común en España debido a la diferencia de precio con el resto de los combustibles (0,04-0,06€/kWh), además de su alto poder calorífico. Se rige a partir de una caldera donde se combustiona el gas, el cual calienta unos tubos donde circula agua, transmitiendo el calor por convección. Estos tubos,

¹ «Sistemas de calefacción económicos para casas».

dependiendo de la instalación, pueden dirigir el agua caliente a radiadores o por tubos de suelo radiante distribuidos por la instalación.

- Calefacción eléctrica: de uso común en segundas viviendas o zonas donde no hay alta demanda de calefacción por las condiciones climáticas, debido al alto consumo de este sistema (0,10 €/kWh). El principio de este sistema consiste en la transformación de la energía eléctrica que circula por los circuitos eléctricos, en energía calorífica a través de resistencias eléctricas. Este sistema funciona regulado por acumuladores eléctricos (radiador que almacena el calor de las resistencias, liberándolo de forma constante o regulable, pudiendo cargarlo durante las franjas horarias de menor precio de la energía), convectores eléctricos (de gran consumo energético e incapaz de acumular calor), o suelo radiante eléctrico (de mayor eficiencia que los radiadores y coste de obra)
- Calefacción de gas propano: sistema usualmente empleado al no poder acceder al gas natural (cuyo precio es aproximadamente la mitad). Este se puede suministrar a granel (gracias a un camión cisterna), envasado en bombas o canalizado a un depósito central.
- Calefacción de gas butano: usualmente suministrado en bombonas, elegido en zonas abiertas como terrazas o en casas particulares de la sierra. Se emplea quemando el gas en estufas o calderas y chimeneas estancas.
- Calefacción de gasoil: emplea una caldera de gasoil, pudiendo emplear gasóleo B o gasóleo C (diferenciados en su composición de azufre y cetano).
- Calefacción de biomasa: basado en la combustión de pellet, combustible elaborado a partir de serrín, a través de calderas diseñadas específicamente para quemar biomasa, más costosas y menos longevas que las de gas. Este sistema es más seguro y menos contaminante que la combustión de gasoil.
- Calefacción por aerotermia: emplea la energía del aire mediante una bomba de calor, actuando como sistema de calefacción y refrigeración. Extrae el calor del aire cediéndolo a un refrigerante, el cual a su vez lo cede al sistema de calefacción de la instalación.
- Calefacción por geotermia: se centra en la extracción del calor en la tierra a través de tuberías enterradas, con un refrigerante nuevamente, que hace de puente entre el subsuelo y el sistema de tuberías de la vivienda. A temperatura del refrigerante se multiplica en una bomba, para su posterior circulación por la vivienda.

Para ilustrar la evolución de los precios de los combustibles en los últimos años, se adjunta en la Figura 1 una gráfica que comprende el periodo entre diciembre de 2011 hasta abril de 2021.



Figura 1: Evolución de los precios de combustibles para calefacción²

El sistema más sencillo de implementar es la calefacción eléctrica, pues los radiadores funcionan enchufados a las tomas de corriente eléctrica y no es necesario entrar en obra. Por otro lado, aunque los sistemas de aerotermia y geotermia debido al coste de la caldera son menos asequibles, además de las perforaciones necesarias para realizar la geotermia, son más eficientes en el largo plazo pues presentan un menor consumo de energía, amortizando el coste inicial a medio plazo. A estos sistemas le sigue la calefacción de gas natural, que presenta menor

² «¿Cuál es el combustible más económico para calefacción?»

consumo que la calefacción eléctrica, además de un combustible más barato. Suele ser el más cotizado por la relación entre el precio del combustible y la complejidad de su instalación.

2.1.1 SISTEMA DE CALEFACCIÓN POR AEROTERMIA

La aerotermia³ se basa en el ciclo de Carnot de las máquinas convencionales de aire acondicionado, y presentando mayor rendimiento, es capaz de proporcionar frío y calor a través de una válvula de 4 vías.

La bomba aerotérmica transporta calor aprovechando el cambio de fase de un refrigerante, a diferencia del resto de sistemas que aprovechan una reacción química exotérmica para su funcionamiento. Como se introdujo brevemente en la clasificación de los sistemas de calefacción, la bomba de calor de aerotermia extrae el calor del aire para introducirlo en otro espacio.

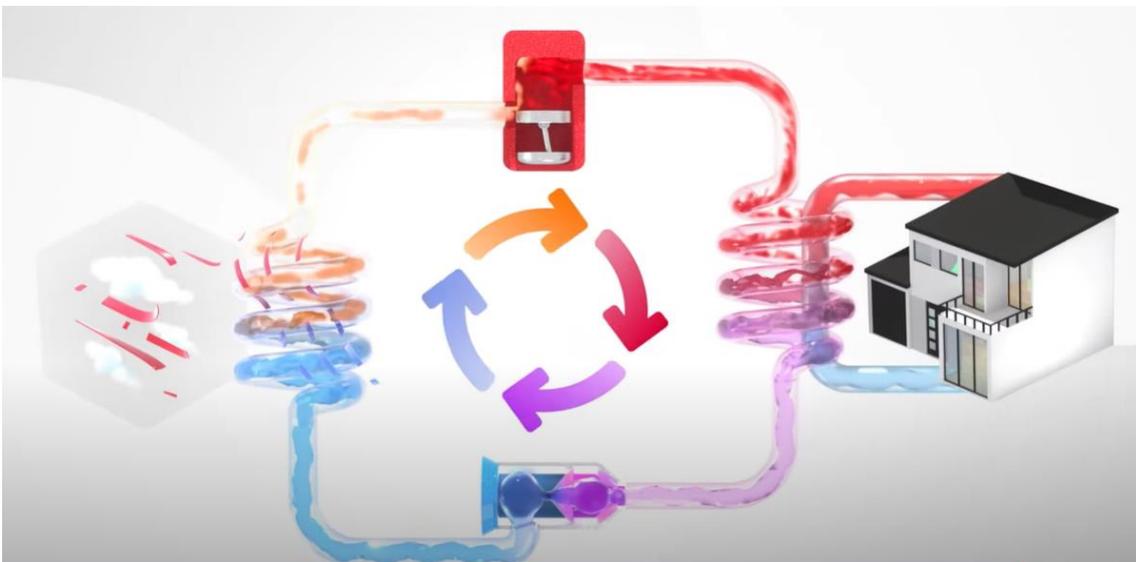


Figura 2: Esquema de funcionamiento de un sistema de aerotermia

³ Vicente, «Calefacción por aerotermia ▷▷ Funcionamiento y precios - caloryfrio.com».

El evaporador es el encargado de extraer la energía existente del aire exterior. El aire cede su calor al refrigerante, que se evapora. Circula hasta el compresor, que comprime el gas aumentando presión y temperatura. De ahí se dirige al condensador, encargado de calentar el circuito de calefacción, donde el gas cede calor y pasa a estado líquido. Finalmente, en la válvula de expansión, el líquido se expande, disminuyendo su presión y temperatura para comenzar el ciclo de nuevo. En verano el ciclo de la bomba de calor se invierte de sentido, pasando a extraer el aire del interior de la instalación enfriándola.

En los que concierne al rendimiento de las bombas de aerotermia, el foco de consumo principal⁴ de las máquinas de aerotermia es el compresor, consiguiendo grandes rendimientos energéticos finales debido a su desarrollo. En el mercado actual, las bombas de calor aerotérmicas producen entre 5-6 kWh de energía térmica por 1kWh de energía eléctrica consumida. A mayores, la temperatura de impulsión de los sistemas de aerotermia ronda los 40°C, siendo inferior a los sistemas de calefacción convencionales. El rendimiento de una bomba de calor en generación de calor se define mediante el SCOP (rendimiento medio estacional). Este lo componen rendimientos parciales que varían según: temperaturas de trabajo y exteriores y configuraciones de carga, teniendo en cuenta que no son factores constantes a lo largo del periodo de funcionamiento del sistema. También se contabiliza el rendimiento de la bomba en modo refrigeración mediante el SEER (ratio de eficiencia energética estacional). Ambos coeficientes funcionan de la misma manera que los anteriores, siendo el EER el que refleja las condiciones parciales. Se considera que una máquina de aerotermia debe tener un COP > 2.50 para considerarse fuente energía renovable.

Las máquinas de aerotermia son etiquetadas en función del clima, diferenciando: atlántico norte, continental y mediterráneo.

⁴ Vicente.

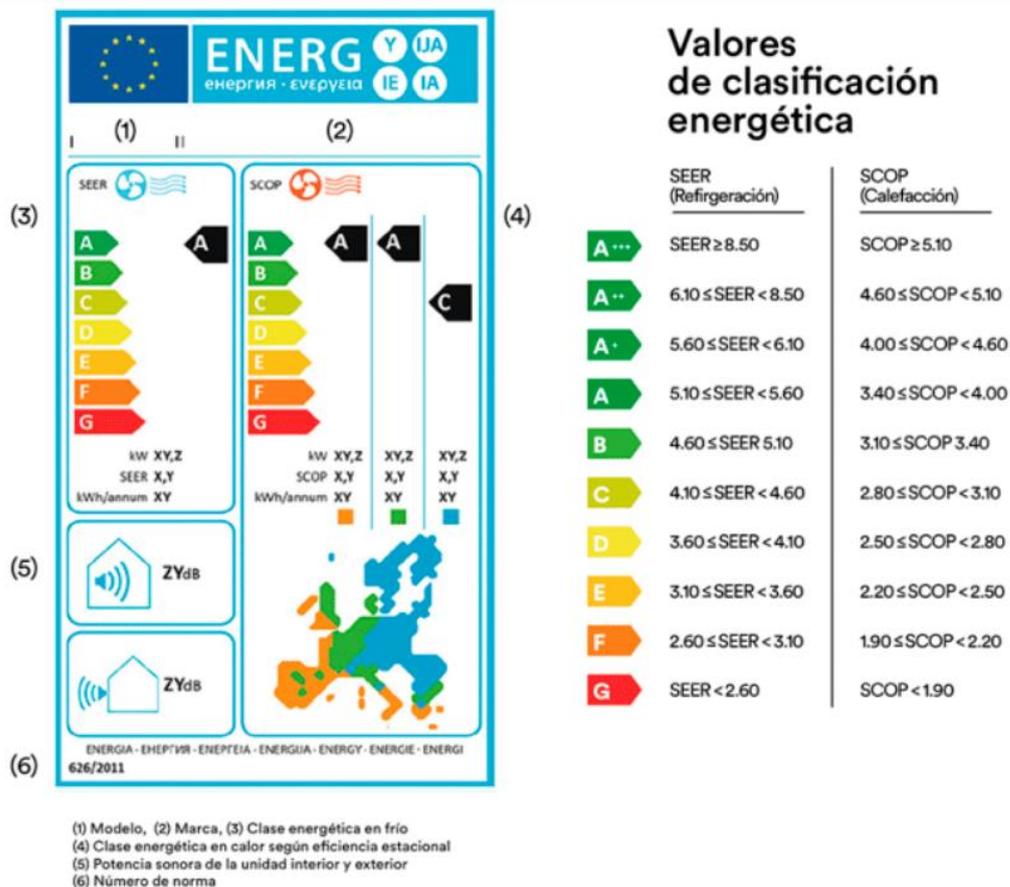


Figura 3: Ejemplo de etiqueta energética de una bomba de calor para calefacción, incluyendo SEER y SCOP⁵

Según el método de intercambio de calor secundario, la instalación puede ser por bomba de calor aire-agua (por suelo radiante, radiadores de baja temperatura o fancoils y conductos), o por aire acondicionado aire-aire.

La combinación⁶ más completa consta de la bomba de calor aerotérmica conectada a una red de suelo radiante, uniendo eficiencia energética y confort. En este caso, las máquinas se diferencian según su tipología en máquinas bibloc y monobloc.

⁵ «Directiva de ecodiseño y etiquetado energético - Eurofred».

⁶ Vicente, «Calefacción por aerotermia ▷▷ Funcionamiento y precios - caloryfrio.com».

La bomba de calor bibloc se compone de una unidad exterior (ventilador, compresor y evaporador), y el intercambiador aire-agua de interior (hidrokit y acumulador ACS), instalados con las conexiones de agua y refrigerante necesarias, pues el equipo exterior se encarga de captar la energía del aire, mientras que el intercambio de calor se realiza en el hidrokit.

Por otro lado, las bombas monobloc constan exclusivamente de la unidad exterior e hidrokit. Ocupa menos espacio que las máquinas bibloc, además de no requerir de conexiones de refrigerante entre ambas partes (por lo que su instalación es más sencilla y menos costosa). El intercambio de calor se realiza directamente en la unidad exterior, unida al sistema hidráulico.

SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Se procede a describir los sistemas de distribución que implican un sistema de tuberías de agua, calentada previamente en la caldera. En estos casos el acondicionamiento de una instalación se realiza de dos formas: mediante radiadores y suelo radiante.

La calefacción por suelo radiante consigue una distribución de calor uniforme, al funcionar a partir de tuberías instaladas por debajo del pavimento de la estancia. Puede ser tanto suelo radiante eléctrico como por agua, funcionando de esta forma con resistencias eléctricas (de la misma forma que la calefacción eléctrica) o mediante la circulación de agua caliente junto con calderas respectivamente. Precisa de cajas de colectores distribuidas por las estancias a calefactar. Empotradas en los tabiques de la instalación, son los elementos de donde parten los circuitos de suelo radiante.

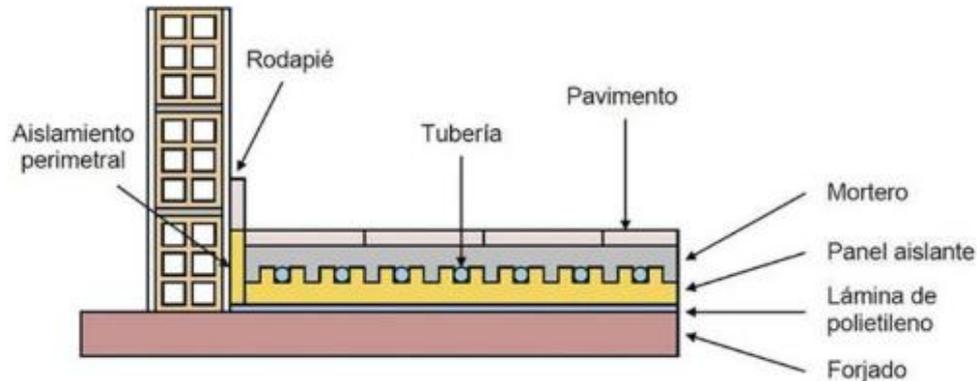


Figura 4 Sección del suelo radiante

La instalación del suelo radiante resulta sencilla⁷, al consistir en un serpentín de tuberías de polietileno reticulado o poli butileno acomodadas sobre el pavimento, cubiertas por una capa de mortero autonivelante. Cuenta con una banda perimetral de espuma de polietileno encargada de absorber la dilatación del mortero colocado sobre las tuberías, además de un filme de polietileno colocado sobre el suelo base para prevenir la transmisión de humedad por capilaridad. Las tuberías se colocan sobre paneles aislantes térmicos, que aseguran que el calor transmitido por las tuberías se transmita en dirección ascendente.

Como su propio nombre indica, el suelo radiante transmite calor por radiación. Calienta el suelo en lugar del aire, irradiando calor desde el suelo hacia arriba de forma difusa, el cual es absorbido por los objetos que a su vez ayudan a calentar la estancia. La radiación⁸ propaga energía térmica a través de ondas electromagnéticas.

Las partículas liberan esta energía al chocar con los objetos, transmitiendo esta energía. De esta forma, se puede sentir el calor transmitido por el suelo radiante, independientemente de la temperatura del aire circundante.

⁷ «Calefacción por Suelo Radiante | ¿Precio? | ¿Es la mejor?»

⁸ <https://www.facebook.com/WarmupUK>, «¿Cómo funciona la calefacción por suelo radiante?»

La calefacción por radiadores, en función de la energía consumida, puede ser: de agua (emplean un circuito que dirige el agua caliente hasta los mismos) y eléctricos, que pueden ser convectores (emplean resistencias eléctricas), de infrarrojos (emiten calor mediante convección y conducción generando una sensación parecida a la producida por el sol) y de inercia (generan calor y lo almacenan gracias a un fluido caloportador o un material cerámico).

Los radiadores transmiten calor por convección, cambiando la temperatura y alterando el flujo del aire. El aire cercano a los radiadores se calienta, disminuye su densidad y asciende, creando movimiento del aire circular. Esto hace que el calor proporcionado por los radiadores sea envolvente y confortable. La fabricación de los radiadores se lleva a cabo con distintos materiales, concretamente⁹ hierro fundido, chapa de acero y aluminio, consiguiendo diferentes resultados, siendo los de aluminio los más populares por su alta conductividad térmica (tardan menos en calentarse), además de ser los más económicos.

En la Figura 5 se describe gráficamente la distribución de la temperatura en un rango de T [10°C,30°C], para una altura de 3 metros.

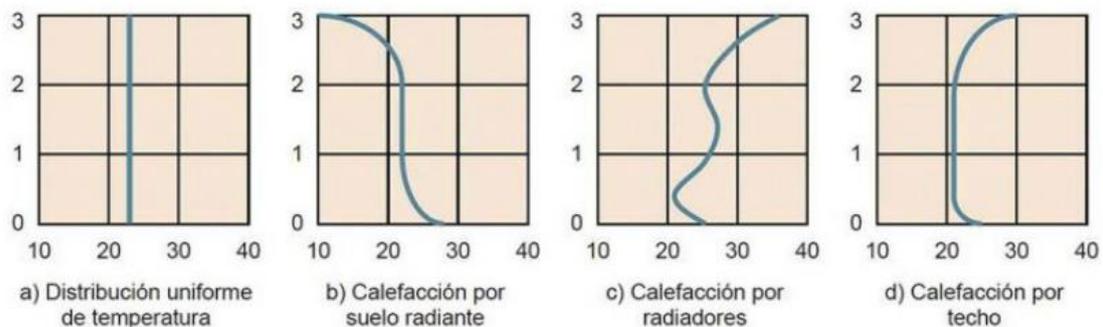


Figura 5 Distribución de la temperatura en función del sistema de calefacción

⁹ Carlos, «Calefacción con Radiadores | Qué es y Cómo funciona».

Reiterando, la distribución que genera mayor sensación de confort es la del suelo radiante, al proporcionar mayor temperatura en las zonas bajas (inferiores a 1 metros de altura), además de ser más uniforme que la generada por los radiadores.

Es importante tener en cuenta cuando se habla de eficiencia, la temperatura de distribución que emplea cada sistema. Se trata de la temperatura a la que sale el agua de la caldera y se distribuye por la red de la instalación. El sistema de calefacción por radiadores emplea una temperatura de impulsión en torno a los 70°C, mientras que el sistema de suelo radiante lo hace cerca de los 40°C (también denominado sistema de baja temperatura), propiciando un ahorro energético de hasta el 30%.

AISLAMIENTO TÉRMICO

El aislamiento térmico¹⁰ se define como la capacidad de un material de resistir a un cambio térmico, impidiendo una transmisión de energía calorífica. Esta es una característica propia de cada material, que se expresa como la conductividad térmica (λ), definida como el cociente de la densidad térmica y el gradiente de temperatura. A un material se le denomina aislante térmico cuando posee una conductividad térmica igual o inferior a 0,05 [W/k*m].

Para medir la capacidad de una instalación de resistir cambios térmicos se emplea la transmitancia térmica (U). Según la arquitecta María Blender¹¹ en “*Arquitectura & Energía*”, portal de eficiencia energética y sostenibilidad en arquitectura y edificación, de acuerdo con la norma NCh 853-2007 (Norma Chilena 853 de 2007), la transmitancia térmica se define como el “flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre dos ambientes separados por dicho elemento”. Por lo tanto, su unidad en el Sistema Métrico Decimal es W/(m²·K), Watt por metro cuadrado por Kelvin. En otras palabras,

¹⁰ «Arrevol Arquitectos».

¹¹ Administración, «El valor U. La transmitancia térmica en edificación.»

se expresa como la transferencia de calor de un fluido o cuerpo sólido por un segundo fluido, implicando necesariamente la existencia de gradiente térmico para la transferencia de calor.

Entrando más en detalle en la definición. Suponiendo un valor de transmitancia térmica de $U = 1\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$, indica que, por cada hora, cada metro cuadrado de superficie y cada grado de diferencia, para mantener la temperatura interior de una estancia envuelta con un elemento constructivo de dicha transmitancia, se requiere de 1Watt. Si por ejemplo hubiese una diferencia de 20 grados entre la temperatura exterior y la interior, se requeriría de 20 Watt por metro cuadrado de superficie, para mantener la temperatura interior constante.

La transmitancia térmica la definen la composición y estructura de un elemento constructivo, ya sea un muro o un techo. La composición depende de los distintos materiales que compongan el elemento, así como su estructura, que define cómo ha sido construido dicho elemento, como por ejemplo la disposición de los materiales y dimensiones de las diferentes capas. También se tienen en cuenta factores externos como la radiación térmica y la convección que dependerán de la orientación de este.

Otras propiedades de los materiales aislantes para tener en cuenta para su selección son¹²:

- El factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ): relación entre la permeabilidad del aire y la del material aislante. De valor adimensional, describe la permeabilidad del material, o capacidad de resistir el paso del vapor frente al paso de aire, siendo más duradero cuanto mayor sea su dicho factor.
- Resistencia térmica (R_t): capacidad de un material a oponerse a un flujo térmico, se mide en $[\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$. Se obtiene a través del cociente entre el espesor y la conductividad térmica del material.
- Calor específico (C_p): representa la capacidad de un material de resistir un cambio térmico al suministrarle calor, siendo buenos aislantes los materiales con alto calor

¹² SIMA, «PROPIEDADES DE LOS MATERIALES AISLANTES».

específico, concretamente la energía necesaria para elevar 1°C 1kg del material. Sus unidades son [J/kg*K], pudiendo expresarse también en [kcal/kg°C], siendo 1cal=4,184 J.

- Densidad (ρ): es la masa del material por unidad de volumen.

MATERIALES AISLANTES

En referencia a los denominados materiales aislantes, son los que requieren de menor espesor para conseguir aislar térmicamente una estancia. Se caracterizan por contener cavidades de aire estanco o gas inerte en su interior, que actúa como barrera frente al flujo térmico. Estos se dividen en¹³:

- Lanás minerales: su estructura consiste en un conjunto de filamentos entrelazados de materiales pétreos, formando un fieltro con aire inmóvil en su interior. Es el material aislante de uso más común debido a su versatilidad, pues sirve como aislante acústico y es resistente al fuego. Dentro de las lanás minerales se encuentran:
 - Lana de roca o lana mineral (SW): usado principalmente en cubiertas, forjados, fachadas, suelos, falsos techos, buhardillas y tabiques interiores. Se fabrica en forma de panel no rígido, rollo o en forma de manta a partir de roca volcánica.
 - Lana de vidrio (GW): a partir de la fundición de arena a altas temperaturas. Su estructura consiste en una red de finas fibras de vidrio unidas gracias a un aglomerante. De mayor resistencia a la humedad que la lana de roca, se considera además mejor aislante acústico. Se caracteriza por baja densidad y conductividad térmica, por lo que consigue mayor eficiencia con el mismo espesor que otros materiales aislantes con valores similares de conductividad térmica.
- Aislantes ecológicos o naturales: reciclables y biodegradables, son materiales respetuosos con el medio ambiente, sin aditivos ni sustancias. Ejemplo de aislantes naturales son: el corcho (en forma de virutas, paneles de corcho prensado o proyectado), el lino, la celulosa (aplicación por insuflado en cámaras trasdosados o forjados), lana de oveja (aumenta su

¹³ «Materiales aislantes térmicos».

capacidad aislante al humedecerse), la arlita, perlita y vermiculita (aislantes minerales), la fibra de coco y el algodón.



Figura 6: Panel formado por lana de coco y corcho¹⁴

- Aislantes sintéticos: compuestos por plástico y polímeros. Entre los más efectivos se distinguen el poliestireno (expandido EPS y extruido XPS), el poliuretano (generalmente proyectado en forma de espuma) y rollos reflexivos (constituido por burbujas de polietileno entre láminas de aluminio).

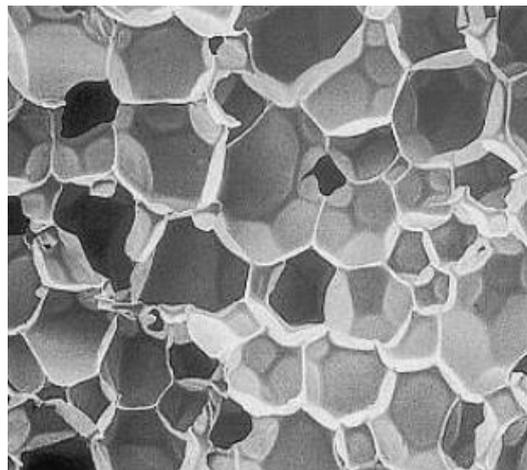


Figura 7: Estructura molecular de la espuma de poliuretano¹⁵

¹⁴ «Corkoco».

¹⁵ ipur, «Espuma rígida de poliuretano».

Como alternativa a los materiales aislantes brevemente expuestos, los paneles sándwich desempeñan la misma función. Formados por dos chapas de acero perfilado y un núcleo de poliuretano, se utilizan sobre las vigas de la cubierta para revestir techos.

FORMAS DE AISLAR UNA VIVIENDA INDEPENDIENTE

El aislamiento térmico de una vivienda supone la mejora de calidad de vida y sensación de confort, además de aumentar la eficiencia energética de esta, por lo que el aislamiento térmico es un factor a tener en cuenta durante la edificación de un inmueble.

2.1.2 AISLAMIENTO EXTERIOR

El Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE)¹⁶ consiste en forrar térmicamente el exterior de una vivienda, abarcando todas las superficies exceptuando los huecos, ocupados por ventanas y puertas. Este sistema evita la aparición de puentes térmicos en la instalación, mejorando la inercia térmica y confort en el interior. Las formas más comunes de instalación del sistema son por fijación mixta mediante adhesivo y fijación mecánica. Para conseguir el mejor resultado posterior a la aplicación del sistema, se debe concebir como un “sistema integral de fachadas”. Significa que todos los componentes deben estar ensayados de forma conjunta. Es importante considerar todas las fases del proceso para conseguir un acabado que permita aclimatar el edificio consiguiendo reducir las pérdidas de energía y puntos fríos.

¹⁶ CALORYFRIO, «Aislamiento térmico por el interior - caloryfrio.com».

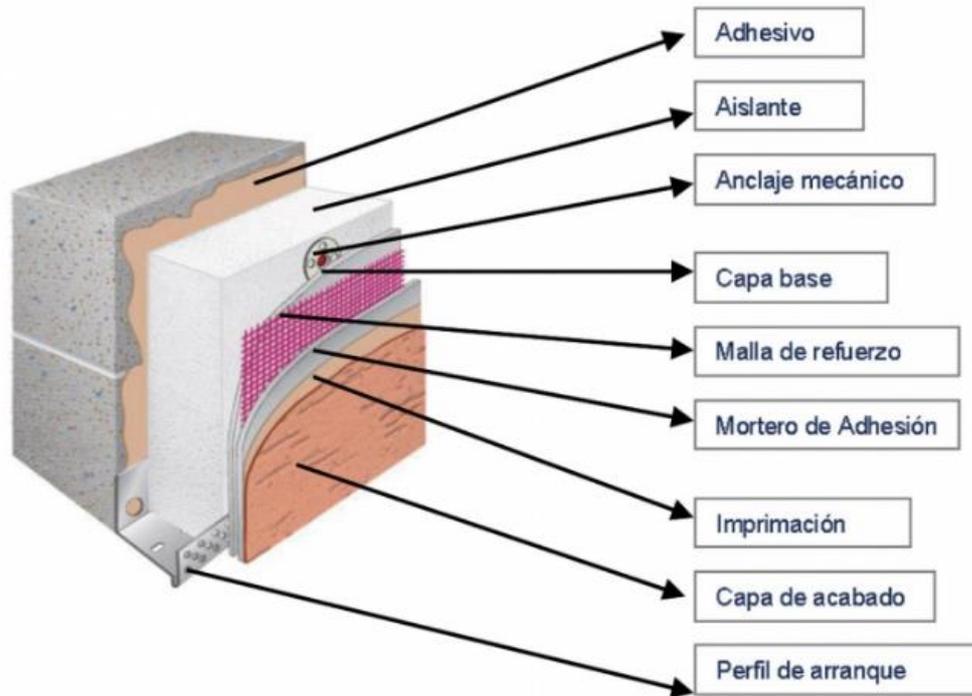


Figura 8: Sección de las capas del sistema SATE¹⁷

Las etapas de este sistema son las siguientes:

1. Inicialmente, se prepara la superficie del edificio, ya sea de nueva construcción o una rehabilitación energética. Se estudia la cohesión, resistencia y planimetría de la fachada, realizando un tratamiento previo del edificio facilitando la posterior adhesión del aislante a la superficie. Como soportes más comunes se plantea la utilización de bloques de hormigón o ladrillo cerámico, según las características del edificio y su condición. Los soportes condicionarán el material aislante a emplear, siendo los más habituales el poliestireno expandido y el extruido, además de la lana mineral.
2. Previo a la colocación del material aislante, se fijan en la parte inferior de la zona a aislar los perfiles de arranque de forma horizontal, respetando un zócalo (superior a 15 mm)

¹⁷ «SATE, paso a paso».

- para impedir la transmisión de humedad por capilaridad. Estos permiten una fijación uniforme de las placas de aislante, creando además una zona contra golpes y humedades.
3. Los métodos de fijación del material aislante varían en función de este. Generalmente, se extiende un cordón perimetral y pelladas de productos adhesivos en el centro de la placa. También se utiliza una llana dentada para extenderlo en el reverso de la placa de aislante. Si la superficie es muy grande, se emplea la ayuda de una máquina que extiende el adhesivo sobre esta. Las placas de aislante se apoyan sobre el perfil de arranque y se presionan con la llana. Estas se fijan al soporte mediante adhesivo y fijación mecánica complementaria (con tacos de plástico con cabeza circular).
 4. Se aplica una capa base de mortero para proteger las placas de aislante (inferior a 2 mm de espesor), y a continuación se coloca la malla mediante presión mientras este está fresco. Cuando se seca la primera capa, se coloca la siguiente, del mismo espesor que la primera. Al mortero, pasadas 24 horas, le sigue la imprimación, cuyo objetivo es evitar la elevada absorción del mortero de acabado, además de aumentar la adherencia de la superficie y actuar como igualador, de cara al acabado final.
 5. Finalmente se aplica un revestimiento para aumentar el aislamiento térmico, y se le aplica un revoco o un aplacado de: ladrillo, cerámica o piedra generalmente.

2.1.3 AISLAMIENTO INTERIOR

Por otro lado, existen métodos para aislar una vivienda cuando su aislamiento es deficiente. Se pueden acometer obras desde el exterior para rehabilitar la fachada o cubierta, o reforzar el aislamiento térmico desde el interior, siendo el más habitual en edificios residenciales o comunidades donde resulta más fácil que remodelar el exterior del edificio puesto que es necesario el consenso del resto de residentes.

El aislamiento térmico de fachada por el interior consiste en la implementación de material aislante, ya sean paneles o inyección del material desde el interior del edificio. Es una obra más ágil que la remodelación de la fachada exterior, al requerir de menor coste y tiempo de obra.

Resulta crucial, previo a la obra, un estudio de las características de la fachada para determinar si cuenta con cámara de aire (además de determinar su tamaño), y un estudio termográfico para

localizar posibles puentes térmicos que den salida al calor del interior de la instalación. Se tienen en cuenta a mayores factores como antigüedad del edificio, orientación y zona climática.

Los distintos métodos existentes para aislar una fachada por el interior son¹⁸:

- Aislamiento de poliestireno expandido con yeso laminado: mediante fijación mecánica o adhesivo se fijan paneles aislantes cubiertos con yeso en estado líquido o placas de yeso laminado.
- Trasdosado autoportante: mediante perfiles metálicos independientes del muro se fijan placas de yeso laminado, rellenando el espacio entre ambos con lana mineral o de vidrio.
- Espuma de poliuretano proyectada por el interior o sistemas de placas aislantes acabadas con revocos de yeso laminado (puede reducir la superficie útil del edificio hasta 5 centímetros).
- Aislamiento térmico de fachadas por el interior mediante relleno de cámaras de aire: se usa corcho, celulosa o lana para rellenar huecos de aire.

El aislamiento de fachadas por el interior puede resultar la única opción frente a pérdidas de calor, ante la imposibilidad de realizar una reforma de la fachada exterior del edificio. No requiere de permisos de obras, permite sanear los muros y frenar la aparición de humedades. Aun siendo una obra menos costosa y compleja que el aislamiento exterior, presenta como inconvenientes la pérdida de espacio útil en el interior de la vivienda a causa de la instalación de paneles de material aislante en el interior de los muros. Más aún, no es una solución completa de aislamiento, pues se realiza en una parte de la vivienda y no en la fachada completa.

¹⁸ CALORYFRIO, «Aislamiento térmico por el interior - caloryfrio.com».

IMPLEMENTACIÓN DE PLACAS SOLARES

Las placas solares son una fuente de energía renovable por la que se suele optar en viviendas unifamiliares e instalaciones con baja demanda energética. Además, es un complemento ideal para el sistema de aerotermia, pues la energía eléctrica generada por estas podría alimentar el consumo eléctrico de la bomba de aerotermia generando un sistema completamente renovable.

2.1.4 FUNCIONAMIENTO

Las placas solares¹⁹ basan su funcionamiento en la célula solar fotovoltaica, capaz de transformar energía solar en eléctrica, empleando energía fotoeléctrica. Ciertos materiales, como el silicio, son capaces de generar corriente eléctrica cuando son expuestos a radiación solar, pues la energía de la luz solar libera electrones, creando así flujo de electricidad. Las placas solares las componen un conjunto de células fotovoltaicas, a partir de silicio a las que se le añade fósforo y boro para potenciar la generación de electricidad. Es común disponerlas en serie, ajustando el voltaje a un sistema de corriente continua, posteriormente invertido a corriente alterna, permitiendo consumir durante el día la energía captada por las placas. Después del alternador, antes de ser consumida, la corriente pasa por el cuadro de protecciones de la instalación. La corriente eléctrica producida se puede almacenar en baterías para ser consumida en caso de que no haya demanda en el momento de la generación (sería necesario un regulador de carga para que no se sobrecarguen las baterías). De forma alternativa, la instalación se puede conectar a la red para enviar el exceso de generación.

¹⁹ «Placas Solares».



Figura 9: Esquema de una instalación fotovoltaica con baterías²⁰

Para calcular la potencia de las placas solares, se utilizan los vatios pico (W_p). Como solución a la variación de la intensidad de la luz solar durante el año y las horas del día, se utiliza esta medida, que representa el rendimiento de los paneles solares, dadas una temperatura y radiación solar estándar. Con el fin de obtener la mayor capacidad de autoconsumo posible, a la hora de dimensionar una instalación, se deben analizar los vatios pico., además de la zona geográfica, orientación y ángulo del tejado.

Usualmente las placas llevan incorporadas una tecnología denominada PERC, que consta de una capa antirreflejante, aumentando la eficacia de las placas en momentos de baja luminosidad. Por otro lado, impide el aumento de temperatura de las placas, frenando el fenómeno causado por las altas temperaturas.

²⁰ «Cómo Funciona una Instalación Solar Fotovoltaica».

2.1.4.1 Tipos de paneles solares

Dentro de los paneles fabricados a partir de silicio, surgen tres categorías: amorfos, policristalinos y monocristalinos. Se diferencian principalmente en el tipo de célula de silicio que incorporan, además del proceso de fabricación.

- Los paneles solares amorfos no tienen una estructura definida y pierden eficiencia durante los primeros meses de funcionamiento.
- En cuanto a los policristalinos, compuestos por cristales orientados de formas diferentes, su proceso de fabricación es más barato a costa de un producto menos eficiente. Se distinguen por tener un tono azulado.
- Son considerados de mayor calidad los módulos monocristalinos, formados a partir de una única célula de silicio de alta pureza. Son solidificados a temperatura homogénea (proceso más costoso), lo que conlleva mayor eficiencia y rendimiento del panel, permitiendo mayor libertad de movimiento de los electrones.

2.1.4.2 Tipos de instalaciones fotovoltaicas

Las instalaciones fotovoltaicas constan de dos variantes, en función de si el exceso de generación se almacena en un set de baterías, o se vierte a la red eléctrica. La elección del sistema dependerá de las necesidades de la instalación (el consumo energético), así como la generación del sistema y factores como el precio de la electricidad y la consecuente valoración económica del equipo y su amortización.

Si la instalación vierte energía a la red eléctrica, solamente consta de los módulos fotovoltaicos y el inversor, necesario para transformar la corriente eléctrica, captada en forma de corriente continua por los paneles y transformada por este a corriente alterna.

Por otro lado, se pueden implementar baterías para almacenar los excesos de generación de la instalación y aprovecharlos para autoconsumo. Estas baterías, encargadas de almacenar energía²¹, funcionan mediante un proceso de oxidación-reducción. Formadas por un polo

²¹ «Baterías para placas solares».

positivo y uno negativo, además de los electrolitos, los que permiten la extracción de la energía acumulada en estas.

2.1.4.2.1 Capacidad de una batería solar

La capacidad²² de una batería solar se traduce en la cantidad de energía que puede acumular el dispositivo, medido en Amperios-hora (Ah), y se calcula multiplicando el voltaje de los acumuladores por el amperaje. La capacidad está determinada por:

- **El amperaje** es el caudal que suministra la batería
- **El voltaje** representa la fuerza (diferencia de potencial) con la que circula dicho caudal.
- **La velocidad de descarga** de la batería, inversamente proporcional a la potencia suministrada, es decir, que cuanto mayor sea, menor será la potencia de la batería.

A continuación, se muestra una tabla donde se pueden apreciar distintas capacidades, con su correspondiente tiempo de descarga y el Amperaje/hora.

Indicación	Tiempo de descarga	Amperaje/hora
C120	120 horas	1.300 Ah
C100	100 horas	950 Ah
C10	10 horas	620 Ah
C5	5 horas	550 Ah

Tabla 3: Tiempo de descarga y Amperaje/hora en función de la capacidad²³

Se observa como las baterías de menor capacidad son las que más rápido se descargan, y por ende las que menos potencia suministran.

2.1.4.2.2 Tipos de baterías solares

²² «Baterías para placas solares».

²³ «Baterías para placas solares».

Surge una clasificación²⁴ de las baterías solares, según la tecnología de fabricación.

- **Baterías solares AGM:** diseñadas para pequeñas instalaciones, como caravanas. No requieren mantenimiento y presentan buen funcionamiento ante descargas profundas, pudiendo recargarse. Presentan una vida útil entre los 5 y los 10 años.
- **Baterías solares fotovoltaicas Monoblock:** con una vida útil de entre 4 y 5 años, se emplean para instalaciones aisladas de bajo consumo o uso temporal.
- **Baterías solares estacionarias:** indicadas especialmente para instalaciones con consumos altos y continuos, soportando descargas completas sin ver afectada su vida útil. Además, cuentan con una excelente relación calidad-precio.
- **Baterías de litio para placas solares:** versátiles para cualquier tipo de instalación, dado su rápido tiempo de carga, que son compactas y ligeras. Es el acumulador más caro, pero el más sostenible pues no emiten gases contaminantes.

2.1.4.2.3 Parámetros que condicionan la capacidad de una batería

Los parámetros que condicionan la capacidad de una batería fotovoltaica de acumular energía y generar corriente eléctrica son la velocidad de carga/descarga y la profundidad de carga, que determina la cantidad de energía eléctrica que puede almacenar una batería en una carga. La profundidad de carga también es un indicador de la vida útil de una batería, siendo menor cuanto mayor sea su profundidad de carga (por lo que se recomienda no descargarlas más de un 50%).

Gráficamente, se puede observar cómo se reducen el número de ciclos en función de la profundidad de la descarga.

²⁴ «Baterías para placas solares».



Figura 10: Gráfico de vida útil de una batería solar²⁵

Se busca que las baterías solares duren entre los 4000 y los 6000 ciclos de carga, con descargas inferiores al 40%.

2.1.4.2.4 Niveles de carga según el voltaje de la batería solar

Se expone a continuación²⁶ el voltaje de las baterías según su nivel de carga, donde emplear cada una de ellas en función del consumo mensual y la potencia requerida.

1. Baterías solares de 12V: para instalaciones con consumos mensuales no superiores a 100 kWh y potencias de 1kW. Además, se recomienda emplear baterías monoblock, diseñadas para consumos estacionales.
2. Baterías solares de 24V: diseñadas para instalaciones con consumos entre 100 y 150 kWh, y potencias entre 1 y 5 kW. Se recomiendan baterías estacionarias, debido a su relación calidad-precio.

²⁵ «Baterías para placas solares».

²⁶ «Baterías para placas solares».

3. Baterías de 48V: diseñadas para consumos superiores a los 150kWh, con potencias superiores a los 5kW, se recomienda el uso de baterías de litio o estacionarias.

Para terminar, se muestra una tabla donde se representan los niveles de voltaje en función de el nivel de carga para las baterías enumeradas anteriormente, según los datos extraídos del artículo referenciado en esta sección.

Nivel de carga	Baterías de 12V	Baterías de 24V	Baterías de 48V
100%	12,7V	25,4V	50,8V
75%	12,5V	25V	50V
50%	12,2V	24,4V	48,8V
30%	12V	24V	48V
Descargada	11,6V	23,2V	46,4V

Tabla 4: Voltaje en función del nivel de carga, para baterías de 12, 24 y 48V

Como apunte final de esta sección, es posible conectar baterías solares en serie. El resultado sería la suma total del voltaje de todas las baterías, manteniendo el mismo amperaje. Como ejemplo, si se tuviesen 4 baterías de 12V y 1000Ah, el resultado de conectarlas en serie sería un voltaje total de 48V y un amperaje de 1000Ah.

CONCLUSIÓN

El sistema de calefacción más completo es el compuesto por una bomba de aerotermia bibloc, unida a un sistema de suelo radiante que garantice mayor sensación de confort que el resto de los sistemas, además de ser el más eficiente en cuanto a consumo de energía se refiere. A esto se le añade una instalación fotovoltaica para reducir el consumo eléctrico del sistema de calefacción. Se recomiendan²⁷ los módulos monocristalinos, por presentar mayor eficacia que el resto de las placas solares. Funcionan mejor en entornos con menor exposición a la luz y a altas temperaturas (afectan a la eficiencia de los paneles).

En relación con las baterías, por las características de la instalación fotovoltaica, se implementarían baterías estacionarias, pues como se ha explicado, cuentan con una buena relación calidad-precio, además de estar diseñadas para viviendas (consumos altos y continuos). Queda implícito que la valoración de si se incluirán baterías en la instalación se llevará a cabo en los siguientes capítulos que involucren la propuesta de mejora y la consecuente valoración económica.

²⁷ «Placas Solares».

Capítulo 3. ESTADO ACTUAL DEL EDIFICIO

DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

A continuación, se describen las características del edificio. Como se ha descrito previamente, es una vivienda unifamiliar en la localidad de León, situada en el centro de la ciudad en el barrio de Eras de Renueva, dentro de una urbanización compuesta por doce viviendas. En las siguientes figuras se adjunta la disposición de la comunidad, así como alzado y perfil de la vivienda.



Figura 11: Plano de la comunidad de viviendas



Figura 12: Plano de vista frontal de la vivienda

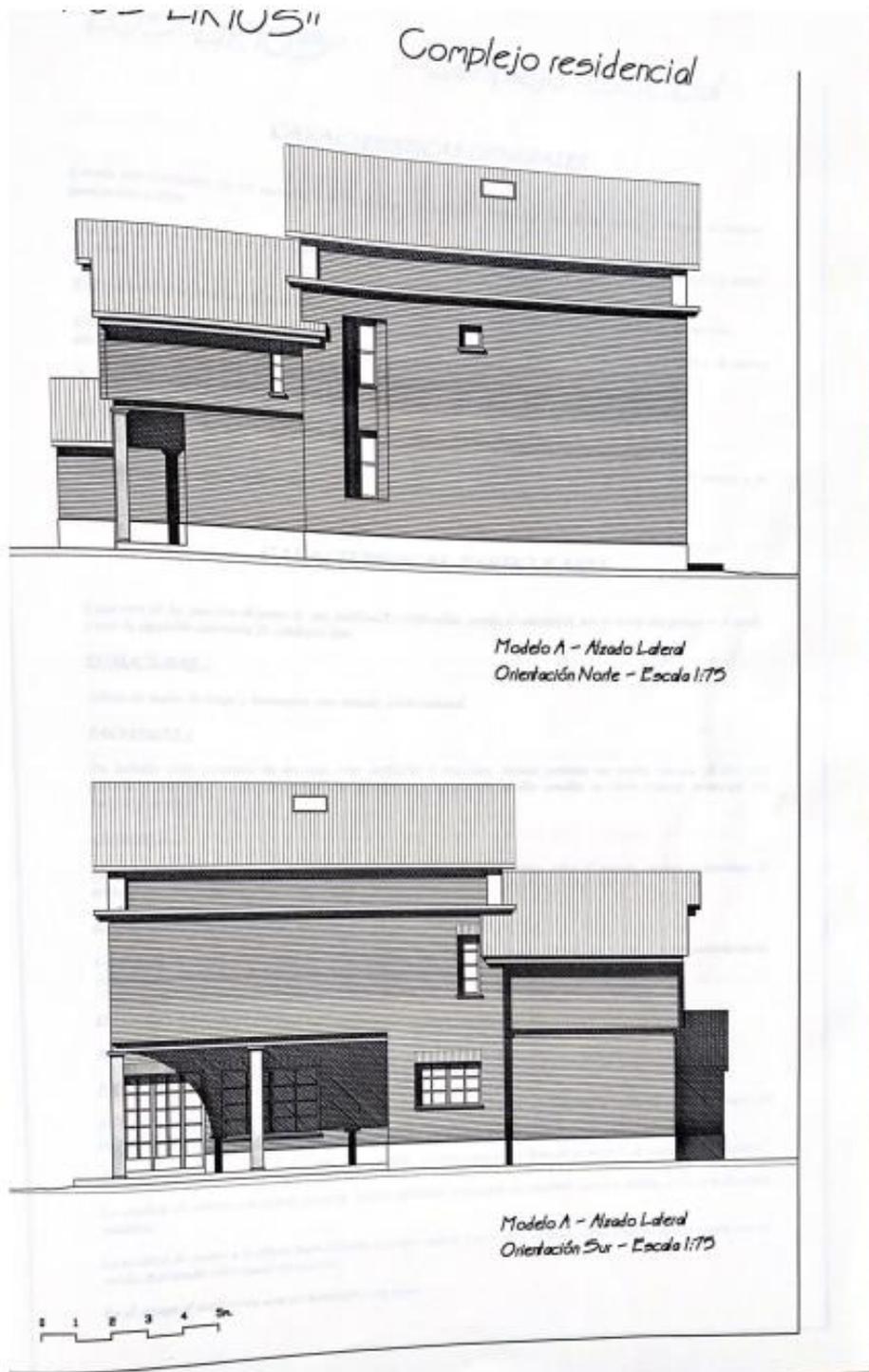


Figura 13: Plano de perfil de la vivienda

La vivienda está unida a la colindante por el muro del garaje y el jardín, y presenta la siguiente memoria de calidades:

- **Estructuras:** mixta de muro de carga y hormigón, con forjado unidireccional.
- **Fachadas:** de ladrillo visto cerámico de una asta, con sardineles e impostas, incluso cornisas de vuelo, cámara de aire con aislamiento acústico a base de poliuretano proyectado y tabique de ladrillo sencillo en cierre interior, rematado con enlucido de yeso.
- **Cubierta:** formada por forjado unidireccional, teja de hormigón recibida con mortero sobre el mismo, incluso aislamiento de poliuretano proyectado.
- **Carpintería exterior:** Carpintería en ventana de aluminio extrusionado y con rotura de puente térmico, en color, incluso acristalamiento doble vidrio con cámara de aire. Persiana de láminas de aluminio.
- **Distribución interior:** realizada con ladrillo cerámico hueco sencillo y acabada en enlucido de yeso.
- **Pavimentos:** mármol tipo crema marfil o similar en baldosas 40x40 cm en el vestíbulo de acceso y el salón, además de rodapié del mismo material. En el distribuidor de la primera planta, los dormitorios y el vestidor, parqué flotante de madera de roble. Las escaleras de acceso a la primera y segunda planta son de mármol crema, al igual que en vestíbulo de entrada. El pavimento de la segunda planta o buhardilla es de corcho barnizado sobre pasta niveladora.
- **Cocina-office:** pavimento a base de plaqueta de gres 31x31 cm. En las paredes se dispone plaqueta cerámica 20x30 cm en la zona de la cocina. En la zona del office o comedor diario las paredes están enlucidas de yeso. Solamente hay dos tomas de agua en esta estancia, una dirigida al fregadero y otra al lavavajillas o lavadora, con sus correspondientes desagües. En cuanto a la instalación eléctrica, se compone de dos enchufes de fuerza (1-16) A y (1-25) A, además de otros tres enchufes para pequeños electrodomésticos de 10A.

- **Baños:**
 - Baño principal: pavimento de baldosa de mármol crema de marfil 40x40cm, al igual que en las paredes.
 - Baño segundo y aseo de invitados: pavimento a base de plaqueta de gres 31x31cm. Paredes de plaqueta cerámica de 20x30 cm.
- **Instalación de calefacción y agua caliente sanitaria:** sistema de circulación de agua distribuida por suelo radiante, con caldera mixta y acumulador para agua caliente, alimentada por gasóleo con depósito centralizado para todo el complejo y contadores individuales.
- **Instalación de electricidad:** llevada a cabo según lo dispuesto en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, en un grado de electrificación medio, con mecanismos empotrados.

El cuadro de superficies en la Figura 4, muestra las dimensiones de los tipos de viviendas de la comunidad, Tipo A1 y Tipo A2, siendo del Tipo A2 la vivienda de estudio. Además, indica las dimensiones de la parcela compartida por ambos modelos de vivienda (siendo la parcela de interés la número 3).

"LOS LIRIOS" Complejo residencial

CUADRO DE SUPERFICIES

	VIVIENDA TIPO A-1	VIVIENDA TIPO A-2	
- SUPERFICIE CONSTRUIDA -			
Planta Baja	125, 90 m ²	125, 90 m ²	
Planta Primera	108, 60 m ²	108, 60 m ²	
Bajo Cubierta	44, 79 m ²	44, 79 m ²	
TOTAL	279, 34 m²	279, 34 m²	
Porches y Terrazas	15, 70 m ²	10, 47 m ²	
TOTAL SUPERFICIE CONSTRUIDA	295, 10 m²	295, 81 m²	
- SUPERFICIE UTIL -			
Planta Baja	107, 54 m ²	107, 85 m ²	
Planta Primera	89, 89 m ²	89, 82 m ²	
Bajo Cubierta	39, 38 m ²	39, 38 m ²	
TOTAL	236, 74 m²	237, 05 m²	
Porches y Terrazas	15, 70 m ²	10, 47 m ²	
TOTAL SUPERFICIE UTIL	250, 50 m²	253, 52 m²	
- SUPERFICIE DE LA PARCELA MAS LA PARTE PROPORCIONAL DE LAS ZONAS COMUNES -			
PARCELA	MP	P.P. COMUN	TOTAL
2	410, 04	89, 23	505, 27 m ²
4	383, 02	82, 15	465, 17 m ²
6	370, 08	79, 37	449, 45 m ²
1	432, 55	92, 77	525, 32 m ²
3	399, 53	85, 09	485, 22 m ²
5	300, 51	78, 01	445, 18 m ²

Figura 14: Cuadro de dimensiones de la comunidad (vivienda de estudio en la parcela número 3)

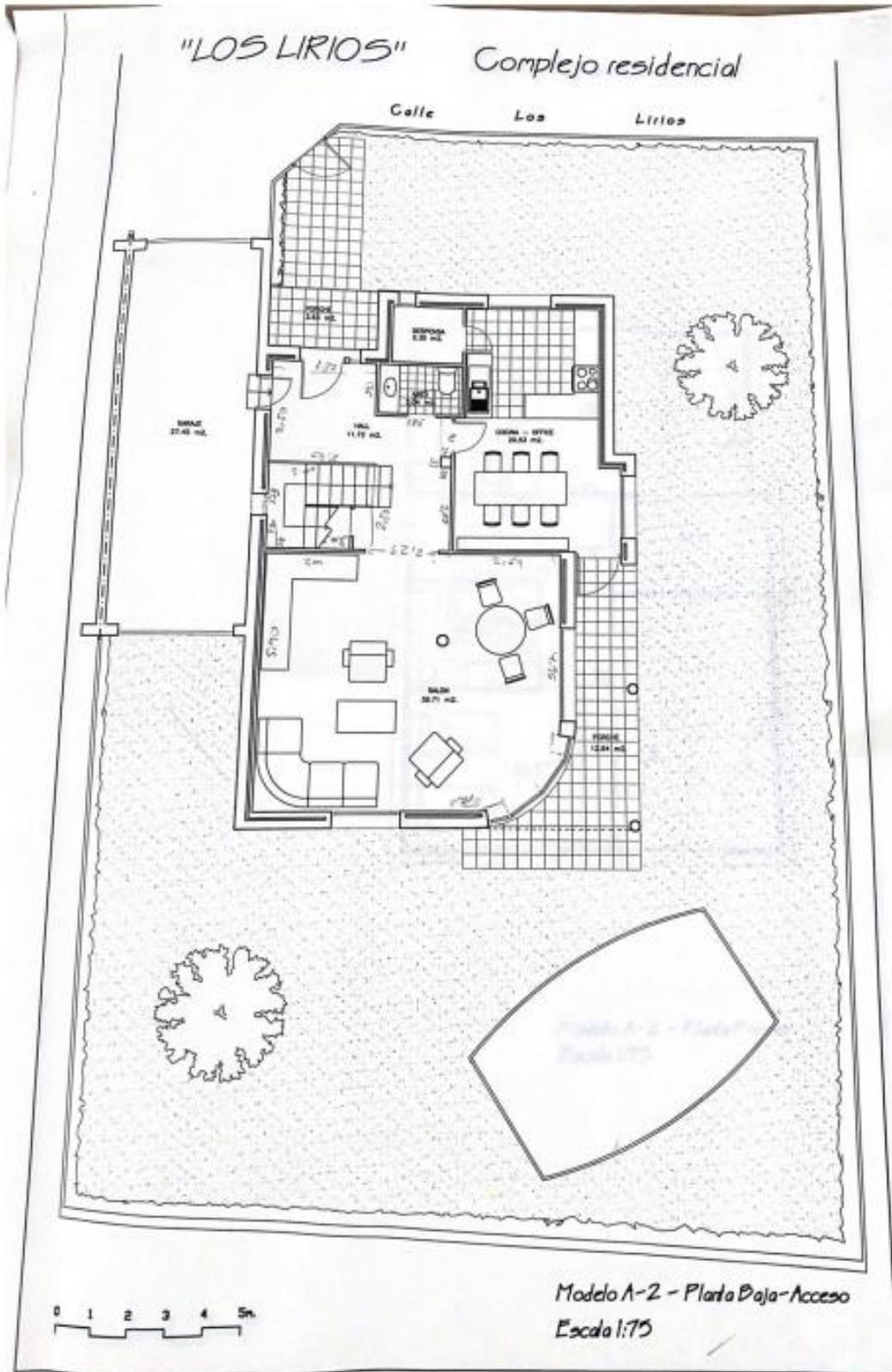


Figura 15: Plano de la planta baja

Se muestran a continuación los planos correspondientes a las diferentes plantas del edificio.

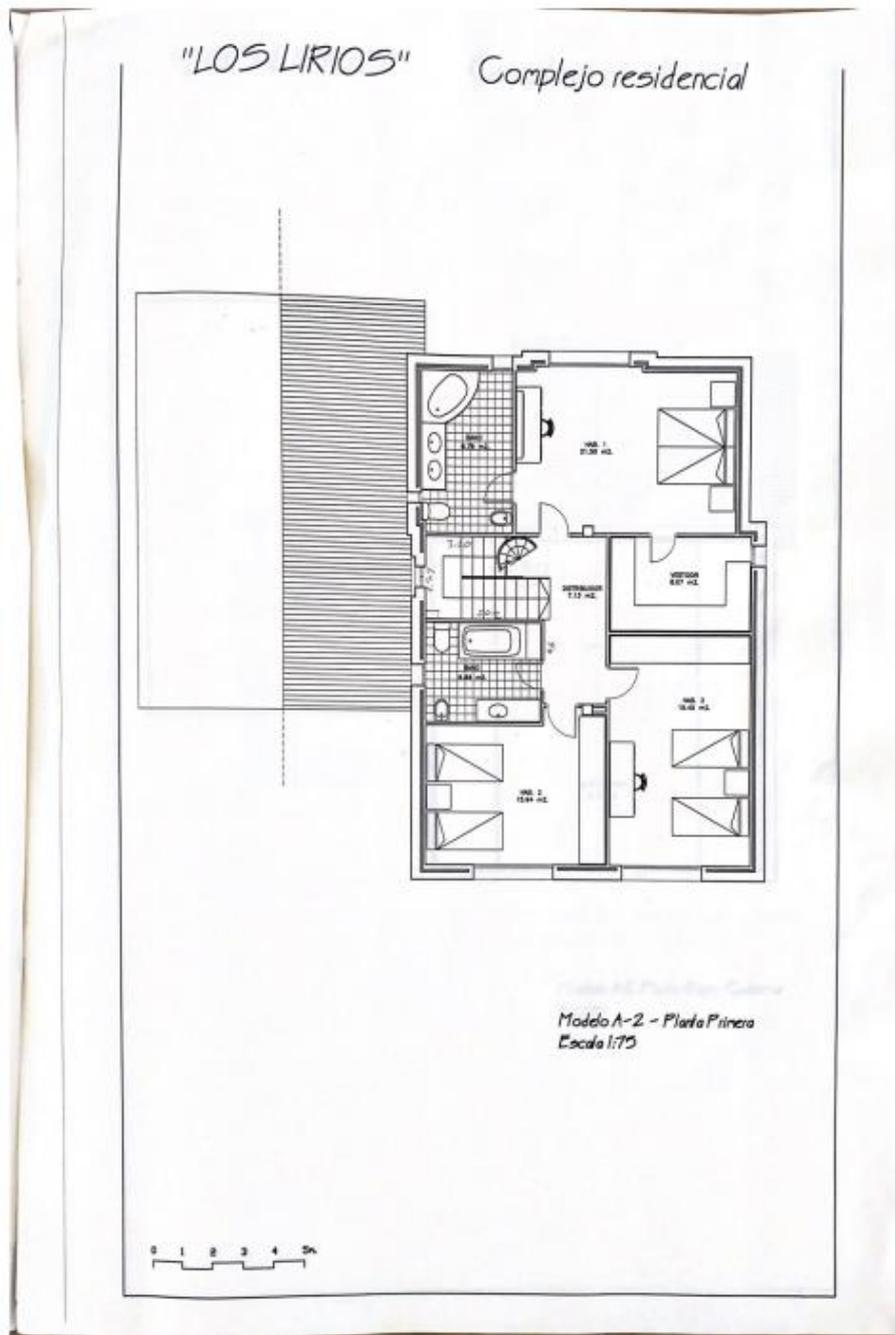


Figura 16: Plano de la primera planta

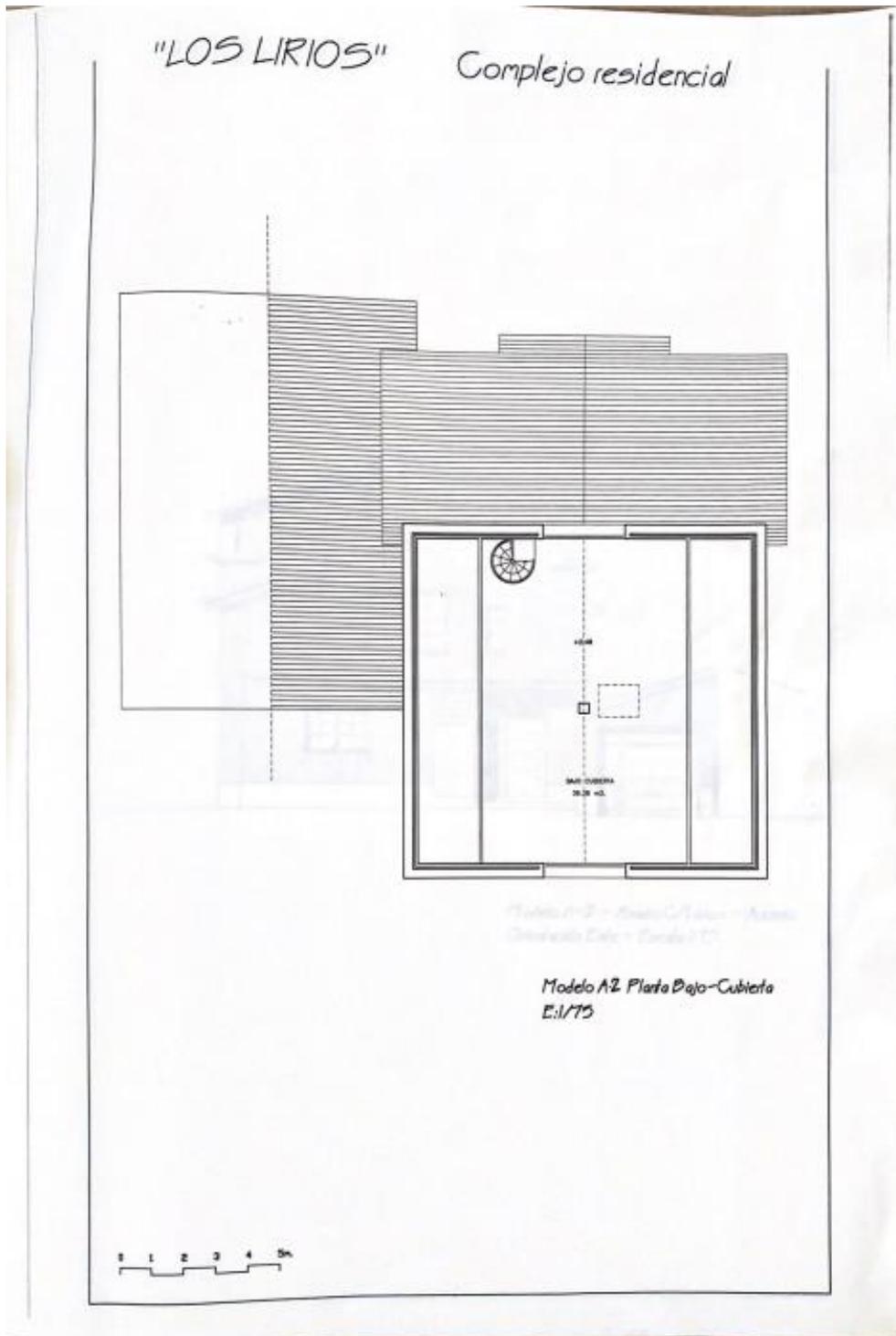


Figura 17: Plano de la planta bajo cubierta

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

En este apartado se estudia la necesidad energética para acondicionar la vivienda, que viene determinada por las características de construcción del mismo, como son: la transmitancia térmica (en función de los materiales empleados), dimensiones, orientación y aperturas de las distintas estancias que lo componen, así como el sistema de distribución. El objetivo es señalar posibles puntos para mejorar la eficiencia energética de la instalación, ya sea por medio de modificaciones en la estructura (para modificar la transmitancia térmica), o cambiar el sistema de distribución por uno más eficiente.

3.1.1 CERTIFICADO DE CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OFICIAL

La obtención del certificado se lleva a cabo a través de un arquitecto técnico, que lleva un estudio de la vivienda y sus características, concluyendo en lo siguiente:

- El consumo de energía primaria no renovable es de 222,8 kWh/m² por año, obteniendo una calificación de tipo D.
- Las emisiones de dióxido de carbono son de 58,5 kg CO₂/m² por año, situándolo en una calificación de tipo E.

En el certificado se muestran las transmitancias de todos los cerramientos opacos que componen la vivienda, además de los metros cuadrados de cada uno.

Como se puede comprobar a continuación, la vivienda está debidamente aislada, pues los valores de transmitancias obtenidos para los cerramientos son bajos.

Nombre	Tipo	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² ·K]	Modo de obtención
CUBIERTA	Cubierta	63.5	0.70	Por defecto
FACHADA NORESTE	Fachada	50.8	1.40	Por defecto
FACHADA SURESTE	Fachada	66.25	1.40	Por defecto
FACHADA SUROSETE	Fachada	46.55	1.40	Por defecto
FACHADA NOROSETE	Fachada	66.8	1.40	Por defecto
Suelo con terreno	Suelo	140.0	1.00	Por defecto

Tabla 5: Superficie y transmitancia de los cerramientos opacos

De cara a la propuesta de mejora, se desestima hacer una reforma de los cerramientos para modificar el aislamiento de la vivienda, ya sea implementar material aislante desde el interior, o mediante el sistema SATE (como se ha explicado en el anterior capítulo). Supondría una gran inversión y no se obtendrían grandes resultados frente a los valores de transmitancias actuales.

El informe muestra además los valores de transmitancia y factor solar de los huecos y lucernarios de la vivienda. Se define factor solar²⁸ como la relación entre la energía solar que incide sobre una superficie transparente o semitransparente, y la cantidad de energía que la atraviesa.

Nombre	Tipo	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² ·K]	Factor solar	Modo de obtención. Transmitancia	Modo de obtención. Factor solar
1	Lucernario	1.5	3.08	0.61	Estimado	Estimado
2	Hueco	3.0	3.44	0.62	Estimado	Estimado
3	Hueco	0.75	3.44	0.62	Estimado	Estimado
4	Hueco	4.0	3.44	0.62	Estimado	Estimado
5	Hueco	3.2	3.44	0.62	Estimado	Estimado
6	Hueco	3.0	3.44	0.62	Estimado	Estimado
7	Hueco	0.75	3.44	0.62	Estimado	Estimado
8	Hueco	9.0	3.44	0.62	Estimado	Estimado
9	Hueco	3.0	3.44	0.62	Estimado	Estimado
10	Hueco	3.2	3.44	0.62	Estimado	Estimado
11	Hueco	3.2	3.44	0.62	Estimado	Estimado
12	Hueco	2.0	4.00	0.12	Estimado	Estimado
13	Hueco	2.0	4.00	0.12	Estimado	Estimado

Tabla 6: Transmitancia y factor solar de los huecos y lucernarios

Frente a los datos obtenidos en el informe, se desestima la reforma o sustitución de las actuales ventanas que ocupan los huecos y lucernarios. Los valores de transmitancia²⁹ para los diferentes huecos que se reflejan corresponden a: perfiles metálicos con rotura de puente térmico con espesor de rotura ($4 < d < 12\text{mm}$), y superior a 12 mm en los casos con transmitancias inferiores a $4 \text{ W/m}^2\text{k}$.

²⁸ «El factor solar. Nociones básicas - PREFIRE Innovation Hub».

²⁹ «Ventanas de PVC o Aluminio».

Adicionalmente, se analizan las instalaciones térmicas de la vivienda, discerniendo entre generadores de refrigeración y de calefacción. En el caso de estudio, la vivienda consta únicamente de sistema de calefacción, cuyo rendimiento estacional estimado es de 77,4%. El rendimiento estacional³⁰ se define como la medida que indica la eficiencia energética durante un periodo determinado de funcionamiento. Se calcula teniendo en cuenta tanto la eficiencia a carga completa, como a carga parcial, en función de las pérdidas debidas a los periodos de parada, cuando la caldera cede calor al ambiente a través de su envolvente. Expresa el cociente entre la cantidad de energía útil generada y la cantidad de energía consumida.

En cuanto a la calificación energética del edificio en emisiones, medida en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo, se obtiene el siguiente indicador global:

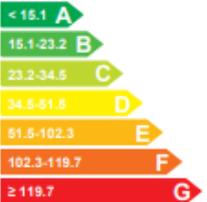
INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
	58.5 E	CALEFACCIÓN		ACS	
		<i>Emisiones calefacción [kgCO₂/m² año]</i>	E	<i>Emisiones ACS [kgCO₂/m² año]</i>	F
		50.68		7.26	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
<i>Emisiones globales [kgCO₂/m² año]</i>		<i>Emisiones refrigeración [kgCO₂/m² año]</i>	-	<i>Emisiones iluminación [kgCO₂/m² año]</i>	-
		0.52		-	

Tabla 7: Indicador de emisiones globales de CO₂

Adicionalmente, el informe refleja las emisiones de CO₂ por consumo eléctrico como de combustibles, siendo:

- Emisiones por consumo de combustibles (calefacción y ACS) → 13674,7 kg CO₂/año
- Emisiones por consumo eléctrico (refrigeración e iluminación) → 123,6 kg CO₂/año

³⁰ «Revisión del rendimiento de una caldera de gas natural».

En vista de los resultados, la sustitución del sistema de calefacción en uso por otro más avanzado tecnológicamente o la implantación de una instalación de energía renovable favorecerá visiblemente a la mejora de la eficiencia energética de la vivienda. Se vería reducido tanto el consumo de energía eléctrica, como las emisiones de CO₂ anuales por consumo de combustible. A mayores, si se añade un sistema de aerotermia ligado a una instalación fotovoltaica, las emisiones se eliminarían por completo, dado que estos sistemas emplean la energía eléctrica como fuente de alimentación.

Por otro lado, se presenta la calificación energética del edificio en consumo de energía primaria no renovable, en otras palabras, la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables, que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

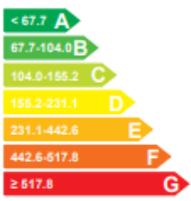
INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
	<p>222.8 D</p>	CALEFACCIÓN		ACS	
		Energía primaria calefacción [kWh/m ² año]	D	Energía primaria ACS [kWh/m ² año]	E
		192.13		27.54	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m ² año]		Energía primaria refrigeración [kWh/m ² año]	-	Energía primaria iluminación [kWh/m ² año]	-
		3.09		-	

Tabla 8: Indicador global de consumo de energía primaria no renovable

Queda reflejado en la Tabla 6 que la vivienda basa casi por completo el consumo de energía primaria no renovable (gasoil) en la calefacción, por lo que toma cada vez más importancia la propuesta de sustituir la caldera en uso por un sistema de alimentación eléctrica, específicamente el de aerotermia.

Por último, el informe califica la vivienda como tipo D en la calificación parcial de la demanda energética de calefacción y refrigeración. Como se ha recalado previamente, no cuenta con una instalación de aire acondicionado, por lo que la demanda es íntegramente de calefacción. Esta calificación expresa la energía necesaria para mantener las condiciones necesarias de confort en el interior de la vivienda, siendo de 126,1 kWh/m² por año. Esta necesidad energética se podría reducir aumentando la capacidad de aislamiento de la vivienda, pues es inherente a

las características de construcción de la misma, ya sean: los materiales de construcción empleados, sus dimensiones, la orientación y la zona climática. En cuanto a la posibilidad de mejorar las características de la infraestructura, anteriormente se comentó la tabla 4 donde aparecen las transmitancias de los cerramientos opacos, siendo cercanos a la unidad, se considera ineficiente realizar una reforma de los mismos con tal propósito. De cualquier forma, los huecos y lucernarios sí presentan mayor transmitancia térmica, por lo que se estudiará más adelante la posibilidad de sustituir los actuales perfiles metálicos con rotura de puente térmico, para intentar así reducir la demanda de la vivienda.

DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES TÉCNICAS DEL EDIFICIO

3.1.2 LA CALDERA

Es de gasóleo, instalada por la empresa Tifell electrosolar S.A. Es el modelo Eurofell 30 AS, con clase B de eficiencia energética estacional de calefacción, potencia calorífica nominal de 27 KW, eficiencia energética estacional de $\eta_s = 86\%$ y nivel de potencia acústica en interiores de $L_{WA} = 59$ dB. Todas las figuras que se muestran a continuación corresponden a la ficha de producto proporcionada por la empresa instaladora de la caldera. Los datos técnicos del modelo Eurofell 30AS son:

Datos de identificación										
Modelo			Eurofell 20 S	Eurofell 20 BV	Eurofell 20 AS	Eurofell [BLUE] 30 S	Eurofell [BLUE] 30 BV	Eurofell [BLUE] 30 AS	Eurofell [BLUE] 30 M	Eurofell [BLUE] 30 T
Caldera de baja temperatura			NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Aparato de calefacción de cogeneración			NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Caldera de condensación			NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Caldera B11			NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Calefactor combinado			NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI
Potencia										
Consumo calorífico nominal	Prated	kW	18	18	18	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3
Potencia calorífica útil 100%	P ₄	kW	16,7	16,7	16,7	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2
Potencia calorífica útil 30%	P ₁	kW	5,3	5,3	5,3	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
Eficiencia										
Eficiencia energética estacional de calefacción	η_s	%	87	86	86	86	86	86	86	86
Eficiencia útil 100%	η_4	%	87,6	87,6	87,6	87,6	87,6	87,6	87,6	87,6
Eficiencia útil 30%	η_1	%	89,8	89,8	89,8	89,8	89,8	89,8	89,8	89,8
Consumo de electricidad auxiliar										
A plena carga	elmax	kW	0,167	0,167	0,167	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156
A carga parcial	elmin	kW	0,058	0,058	0,058	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055
En modo de espera	P _{SB}	kW	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Otros elementos										
Pérdida de calor en modo de espera	P _{SBY}	kW	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091
Nivel de potencia acústica en interiores	L _{WA}	dB	55	55	55	59	59	59	59	59
ACS										
Perfil de carga declarado									M	L
Eficiencia energética de caldeo de agua	η_{wh}	%							65	79
Consumo diario de electricidad	Q _{elec}	kWh							0,182	0,188
Consumo anual de electricidad	AEC	kWh							39	40
Consumo diario de combustible	Q _{fuel}	kWh							9,316	15,023
Consumo anual de combustible	AFC	Gj							7	11

Tabla 9: Ficha de datos técnicos de la caldera

Se proporciona además un esquema de la chimenea de evacuación de gases de la caldera junto con una ficha técnica de la misma:

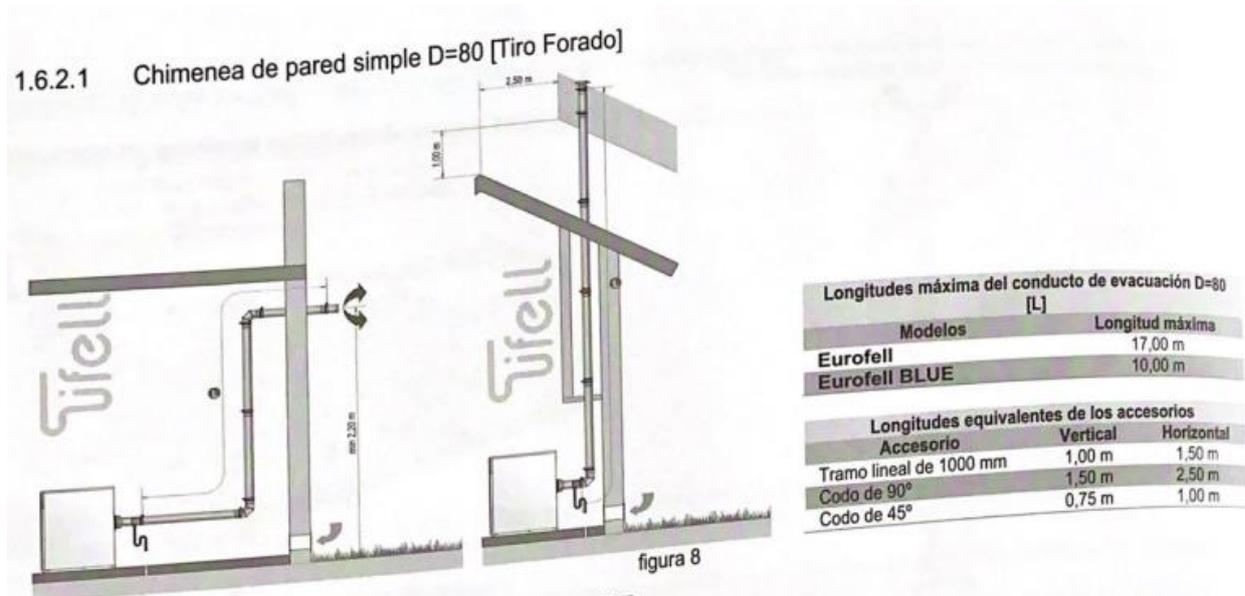


Figura 18: Esquema de la chimenea de extracción de la caldera junto con su ficha técnica

Se adjuntan además los esquemas eléctrico e hidráulico para una descripción más detallada del sistema:

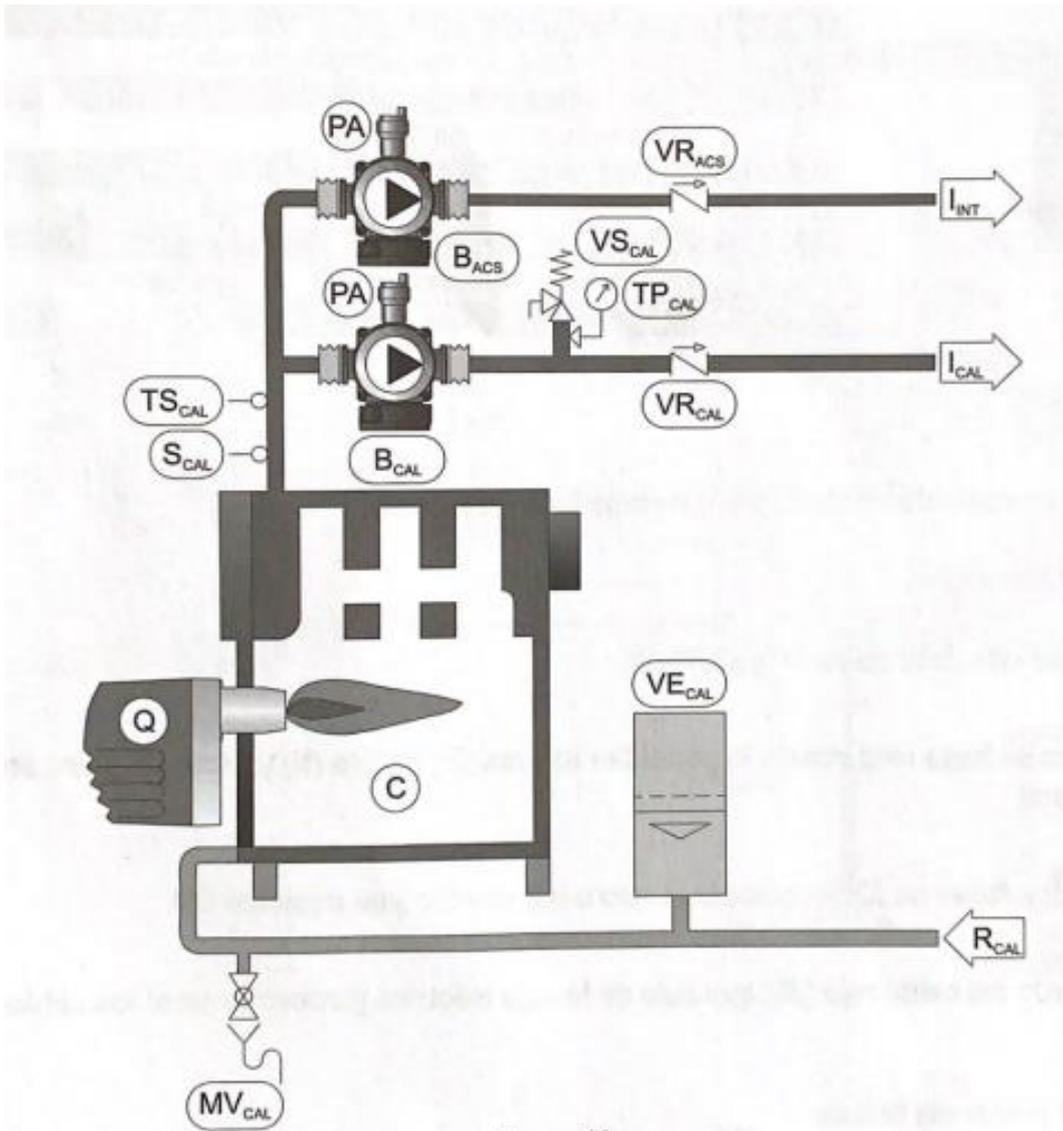


Figura 19: Esquema hidráulico de la caldera

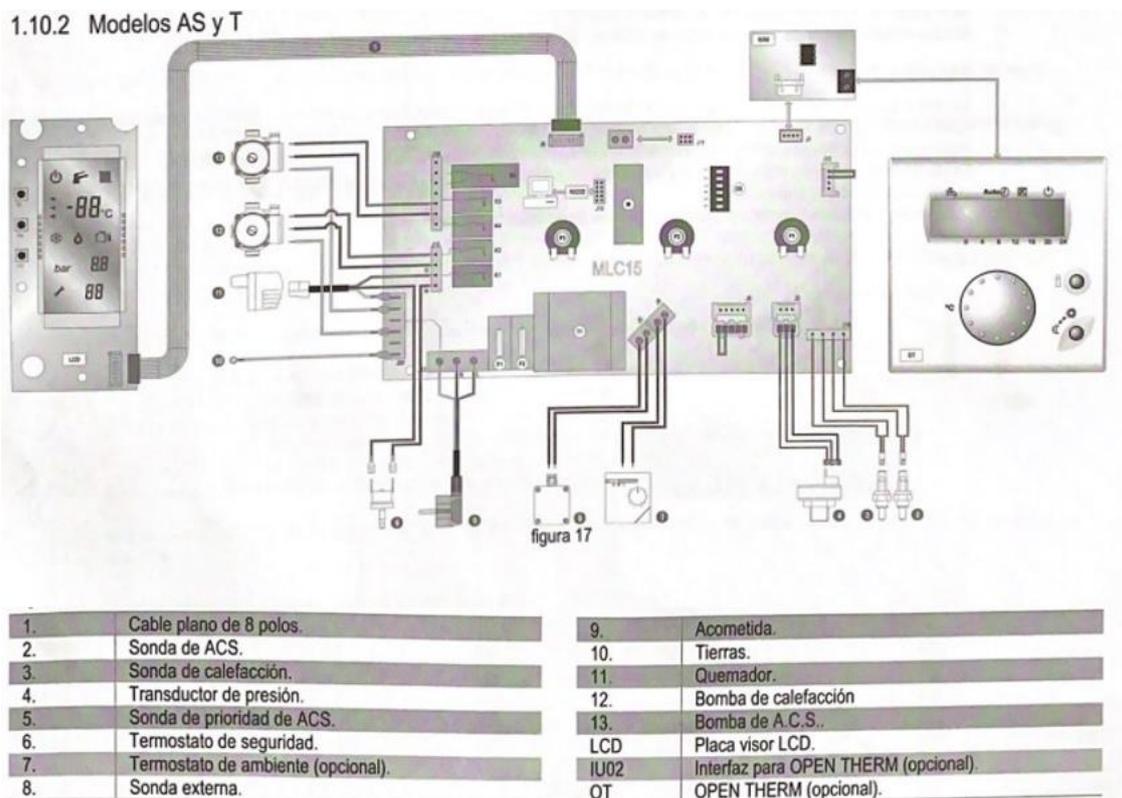


Figura 20: Esquema eléctrico de la caldera

3.1.3 SISTEMA DE CALEFACCIÓN

El sistema de calefacción de la instalación es de suelo radiante para la planta baja y la primera planta de la vivienda. La instalación de este sistema es acorde a lo explicado en el anterior capítulo, mediante la aplicación de mortero sobre tuberías de polietileno reticulado, además de una banda perimetral de espuma de polietileno (encargada de absorber la dilatación del mortero), incluyendo un filme de polietileno colocado sobre el suelo base para impedir la transmisión de humedad. Para la distribución de este sistema, se sitúan dos cajas de colectores, una por cada planta que emplea este sistema de calefacción.

La planta bajo cubierta utiliza un sistema de radiadores, opción más económica para acomodar la estancia dado su reducido uso en comparación con las plantas baja y primera.

CONSUMO ENERGÉTICO DEL EDIFICIO

En cuanto a la demanda energética del edificio, se tiene en cuenta tanto el consumo de agua fría, como el consumo de gasóleo y electricidad.

En la siguiente figura se muestra el consumo de gasóleo por el periodo de un año de toda la comunidad, viéndose reflejados los de la vivienda de estudio (chalé 5).

LISTADO CONSUMOS GASOLEO					
COMUNIDAD DE PROPIETARIOS - URBANIZACION LOS LIRIOS -					
C/RIO MORO,19- 24008-LEON					
	01,11,2020	31,10,2021		PRECIO	
VIVIENDA	ANTERIOR	L.ACTUAL	CONSUMO	LITRO,	TOTAL
Chalet,1	62.519	65.218	2.699	0,6540256 €	1.765,21 €
Chalet,2	71.742	74.336	2.594	0,6540256 €	1.696,54 €
Chalet,3	62.625	65.378	2.753	0,6540256 €	1.800,53 €
Chalet,4	57.346	59.735	2.389	0,6540256 €	1.562,47 €
Chalet,5	56.185	58.546	2.361	0,6540256 €	1.544,15 €
Chalet,6	6.887	9.822	2.935	0,6540256 €	1.919,57 €
Chalet,7	33.882	36.899	3.017	0,6540256 €	1.973,20 €
Chalet,8	7.334	9.677	2.343	0,6540256 €	1.532,38 €
Chalet,9	67.298	69.773	2.475	0,6540256 €	1.618,71 €
Chalet,10	41.120	43.419	2.299	0,6540256 €	1.503,60 €
Chalet,11	43.322	46.513	3.191	0,6540256 €	2.087,00 €
Chalet,12	7.751	10.421	2.670	0,6540256 €	1.746,25 €
TOTAL	518.011	549.737	31.726		20.749,61 €
GENERAL	685.531	716.157	30.626		
DIFERENC.			1.100		

Tabla 10: Ficha de consumo de gasóleo en el periodo 01/11/2020-31/10/2021 (chalé 5)

Además de los gastos en agua fría.

COMUNIDAD DE PROPIETARIOS - URBANIZACION LOS LIRIOS - C/RIO MORO,19- 24008-LEON					
LISTADO CONSUMOS AGUA FRÍA					
AL 31,10,2021					
PARA REPERCUTIR AGUA POZO AL 31,10,2021					
VIVIENDA	4, TR, 2020	1, TR, 2021	2 TR2021	3, TR2021	total consumo
Chalet, 1	24,75 €	49,50 €	16,65 €	18,45 €	109,35 €
Chalet, 2	12,60 €	36,90 €	62,10 €	21,60 €	133,20 €
Chalet, 3	15,75 €	27,45 €	55,35 €	33,30 €	131,85 €
Chalet, 4	9,90 €	14,40 €	60,30 €	22,95 €	107,55 €
Chalet, 5	8,55 €	14,85 €	61,65 €	44,55 €	129,60 €
Chalet, 6	16,20 €	25,20 €	49,05 €	39,15 €	129,60 €
Chalet, 7	22,05 €	18,45 €	31,50 €	30,60 €	102,60 €
Chalet, 8	18,00 €	29,70 €	51,30 €	33,75 €	132,75 €
Chalet, 9	15,30 €	34,65 €	58,50 €	37,80 €	146,25 €
Chalet, 10	18,90 €	19,35 €	31,95 €	26,10 €	96,30 €
Chalet, 11	18,90 €	21,60 €	36,45 €	21,15 €	98,10 €
Chalet, 12	19,35 €	22,50 €	34,65 €	16,20 €	92,70 €
TOTAL	200,25 €	314,55 €	549,45 €	345,60 €	1.409,85 €

Tabla 11: Ficha de consumo de agua fría 4TR 2020 – 3TR 2021 (chalé 5)

Por último, se adjunta un gráfico del consumo eléctrico anual del periodo 2022 proporcionado por la empresa Iberdrola.

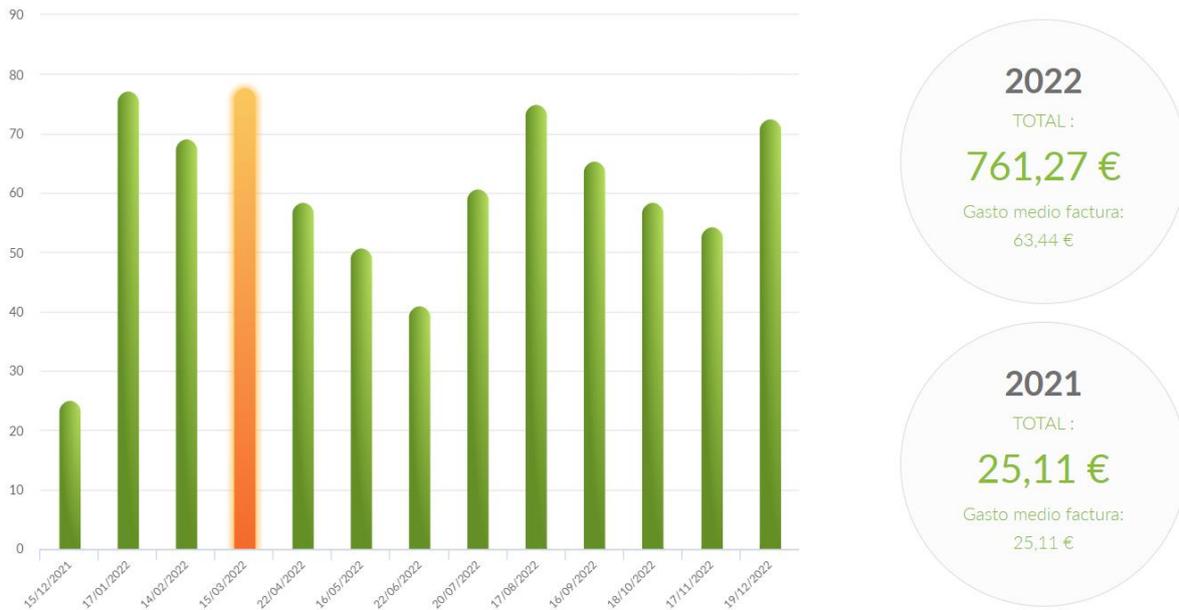


Figura 21: Gráfico de consumo eléctrico en euros para el periodo de 2022

Además, se adjunta a continuación la factura que comprende desde la segunda quincena de febrero hasta la primera de marzo de 2022, resultando ser el periodo de mayor consumo.

€ DETALLE DE FACTURA		
ENERGÍA		
Potencia facturada	Punta 4,4 kW x 31 días x 0,097661 €/kW día	13,32 €
	Valle 4,4 kW x 31 días x 0,015568 €/kW día	2,12 €
Total importe potencia hasta 13/03/2022		15,44 €
Energía facturada	284 kWh x 0,224488 €/kWh	63,75 €
Descuento sobre consumo 15%	15% s/63,75 €	-9,56 €
Impuesto sobre electricidad	0,5% s/69,63 €	0,35 €
TOTAL ENERGÍA		69,98 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS		
Alquiler equipos medida	31 días x 0,02663 €/día	0,83 €
Asistente Smart Iberdrola	1,06 meses x 1,04 €/mes	1,10 €
Dto Asistente Smart	100% s/1,1 €	-1,10 €
TOTAL SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS		0,83 €
IMPORTE TOTAL		70,81 €
IVA Reducido (*)	10% s/70,81 €	7,08 €
TOTAL IMPORTE FACTURA		77,89 €

Tabla 12: Factura de la luz emitida por Iberdrola (10/2/2022-13/3/2022)

La empresa Iberdrola en su informe, incluye el consumo de kWh/día de este periodo, pudiendo ver con claridad la demanda de la vivienda a lo largo del periodo, incluso la demanda a lo largo de la semana.

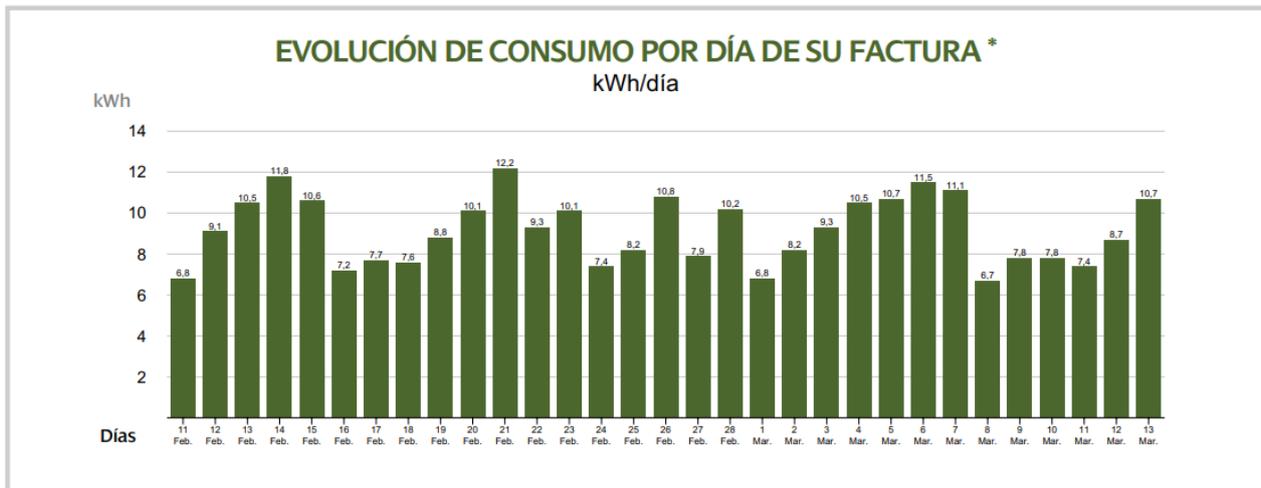


Figura 22: Gráfico de consumo kWh/día (10/2/2022-13/3/2022)

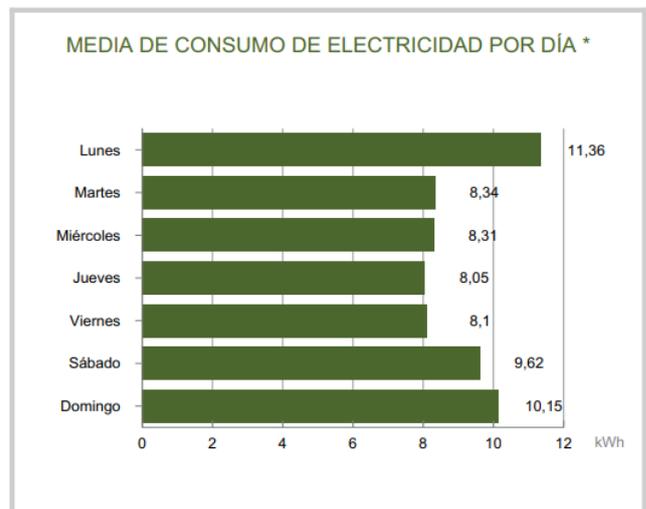
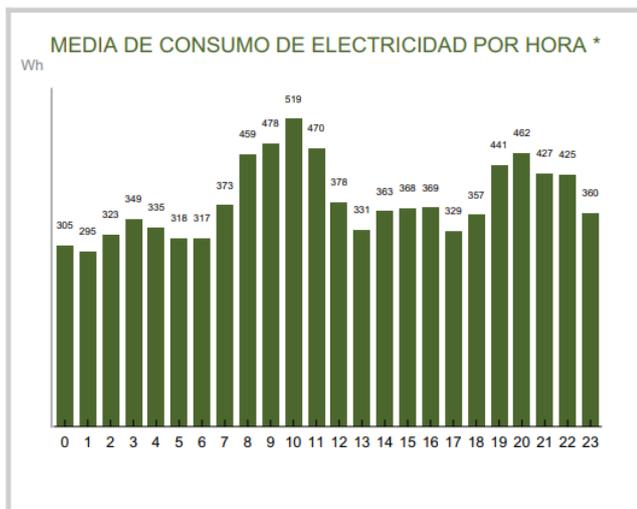


Figura 23: Demanda de kWh en función de la hora del día y el día de la semana respectivamente

CONCLUSIÓN

En este capítulo se han descrito los equipos técnicos y componentes de la instalación, junto con los consumos de combustible, agua fría y electricidad en el periodo de un año. Son evaluados: la caldera de gasóleo, las bombas hidráulicas que distribuyen el A.C.S., y el agua que circula por los circuitos de calefacción y el sistema de calefacción. Esto da pie a la lista de propuestas con objetivo de mejorar la eficiencia energética y reducir los consumos del edificio.

A raíz de la exposición del certificado de eficiencia energética, que muestra tanto las transmitancias de los cerramientos y los huecos de la vivienda, como la demanda energética y las emisiones de la misma, se plantean las reformas y propuestas oportunas de cara a mejorar la eficiencia energética. Esto se traduce en reducir el consumo energético, además de las emisiones de CO₂, haciendo uso de energía limpia y el planteamiento de reformas en la infraestructura que aislen de forma más efectiva la temperatura del interior.

Se ha comentado la posibilidad de implementar material aislante en los cerramientos. En vista de los valores de transmitancia térmica obtenidos resulta una medida poco eficiente, pues no se prevé una gran mejora del aislamiento. Por otro lado, los huecos y lucernarios presentan transmitancias mayores, que a raíz de una búsqueda por la red se prevé que se pudiera ver reducida a la mitad en caso de sustituir los actuales perfiles por unos de mayor aislamiento. Se desestima llevar esta medida a cabo de la misma forma que la implementación de material aislante en los cerramientos, pues aun reduciendo la transmitancia térmica y con ello el aislamiento, se pretende centrar la inversión del capital en la sustitución del sistema de calefacción.

La medida principal para mejorar la eficiencia energética de la vivienda se basa en la implementación de un sistema de aerotermia, alimentado en su medida por una instalación fotovoltaica. Esto resultará en la eliminación de las emisiones actuales de CO₂ debidas al consumo de gasóleo que alimenta la caldera de la vivienda.

La instalación fotovoltaica proporcionará energía limpia al sistema de aerotermia en función de su diseño. Este se llevará a cabo mediante simulaciones en el software PVsyst, y se determinará

si es más oportuno la implementación de baterías de litio o verter la energía no consumida a la red. La valoración de ambos sistemas se llevará a cabo conjuntamente en los siguientes capítulos que conciernen tanto la parte de simulación como la parte económica de la propuesta.

Capítulo 4. PROPUESTA DE MEJORA

En este capítulo se describen las mejoras a implementar en la vivienda, con objetivo de aumentar la eficiencia energética y mejorar la calidad de vida de la vivienda. Como se ha comentado en el anterior capítulo, se decide implementar un sistema de aerotermia apoyado por una instalación fotovoltaica. Para ambos sistemas, se explica en este capítulo las características de cada uno.

Para la instalación fotovoltaica, se hace una valoración contrastando datos de una vivienda cercana de características similares a la de estudio para demostrar la viabilidad de la propuesta, además de una posterior simulación del sistema con el apoyo del software PVsyst.

SISTEMA DE AEROTERMIA

La primera parte de la propuesta se centra en cambiar la caldera de gasoil por un sistema de aerotermia bibloc, también conocido como bomba de calor aire-agua bibloc. Como se ha desarrollado en el Capítulo 2, la aerotermia emplea la energía contenida en el aire, para suministrar calefacción, refrigeración y ACS (agua caliente sanitaria). En concreto, el sistema bibloc consta de dos unidades: una interior que contiene el intercambiador de calor, que transfiere la temperatura al sistema de distribución o al de ACS, y una exterior con otro intercambiador de calor y un compresor, encargado de extraer el calor del aire exterior.

Se opta por este sistema en vez del monobloc debido a su mayor rendimiento y la capacidad de la vivienda para instalarlo, pues requiere de espacio suficiente para las dos unidades.

Para dimensionar el sistema, se realiza una estimación a partir del consumo de gasoil anual. Los datos de 2022 indican que el consumo fue de 2361 litros. Cada litro de gasoil proporciona 10,7 kWh, por lo que el consumo energético del año 2022 de calefacción y ACS fue de 25.262 kWh. Este consumo energético es por lo tanto al que se tendrá que ajustar el sistema de aerotermia para suministrar la demanda de la vivienda.

En su página web, Mitsubishi Electric³¹ proporciona una estimación del sistema de aerotermia que sería necesario para sustituir la caldera de gasoil, a partir de las características de la vivienda, como son: zona climática, año de construcción, metros cuadrados habitables y orientación de la fachada principal. Además, se introducen los datos de consumo: sistema de calefacción y ACS, el consumo energético anual de estos sistemas y el sistema de distribución (en este caso suelo radiante en las plantas baja y primera, y radiadores en la planta bajo cubierta).

Con estos datos, la web proporciona una estimación del ahorro anual, y sugiere un modelo de aerotermia que se ajuste a la demanda. Prevé un ahorro del 50% anual, y una reducción de las emisiones de CO₂ del 70% con respecto a la caldera de gasoil. Sugiere un modelo con una potencia térmica de 18 kW.

Para obtener información acerca del modelo que se ajuste con mayor precisión a las necesidades de la vivienda, se contacta con distintas empresas que instalan equipos de aerotermia.

La empresa Vaillant genera un presupuesto para la instalación del equipo de aerotermia en la vivienda, especificando el modelo con su ficha técnica, donde quedan reflejadas sus características de funcionamiento. En la ficha técnica, se representa recuadrado el nombre de la unidad exterior seleccionada para la instalación, en concreto, el modelo aroTHERM 15. Cabe resaltar que este modelo muestra una eficiencia energética de A+++ , trabajando a una temperatura de 35°C, y un rango de potencia de calefacción entre los 5,5 kW y los 18,1 kW. Se adjuntan a continuación dos extractos de la ficha técnica del sistema, incluyendo además de la unidad exterior, los acumuladores de calefacción y ACS, con sus especificaciones.

³¹ «Calculadora Ecodan».

aroTHERM plus

Datos técnicos

Características	Ud	aroTHERM plus 4	aroTHERM plus 6	aroTHERM plus 8	aroTHERM plus 12	aroTHERM plus 12T	aroTHERM plus 15	aroTHERM plus 15T
Alimentación eléctrica UE		230V/50Hz				400V/50Hz	230V/50Hz	400V/50Hz
Eficiencia Energética Calef.		A+++ / A++						
η_p Calefacción 35 °C	%	180	186	187	200	200	187	186
PCA (Potencial Calentamiento Atmosférico)	EN 517/2014	3						
CO ₂ , equivalente	Por máquina	t	0,0018	0,0027		0,0039		
Rango de trabajo (mín - máx)	Calefacción	°C	-25 +43					
	ACS		-20 +43					
	Refrigeración		+15 +46					
Potencia Calefacción (mín - máx) PERMANENTE	A7/W35	kW	2,2-5,5	3,1-7,8	2,9-10,1	5,5-14,0		5,5-18,1
	A7/W45		2,0-5,5	2,7-7,5	2,5-9,6	5,4-13,5		5,5-17,4
	A7/W55		1,8-5,3	2,2-7,5	2,3-9,4	4,8-13,1		4,8-17,1
COP ¹	A7/W35	kW	4,80	4,79		5,38		
	A7/W45		3,56	3,55		4,10		
	A7/W55		2,80	2,93		3,11		
Potencia Refrigeración (mín - máx) PERMANENTE	A35/W7	kW	1,8-5,0	2,5-6,3	2,5-7,7	4,4-10,0		4,4-12,8
	A35/W18		2,4-5,6	3,6-7,1	3,6-9,6	6,0-13,4		6,0-17,3
EER ¹	A35/W7	kW	3,37	3,46		3,52		
	A35/W18		4,29	4,21		4,58		
Temperatura máxima sin resistencia eléctrica de apoyo	Calefacción	°C	75					
	ACS		70					
Presión sonora Ud. Exterior a 3m, direct...2 / A7/W35	modo normal	dB(A)	32		39	40		43
	modo noche		28		33			
Rendimiento en ACS²								
Eficiencia Energética ACS Rango A+ - F	Clima cálido	%	A+					
η_{wh} ACS			190			193		
COP ACS EN 16147 (A14)			4,41			4,43		
Perfil de carga			L	XL				
Eficiencia Energética ACS Rango A+ - F	Clima medio	%	A+					
η_{wh} ACS			171			163		
COP ACS EN 16147 (A7)			3,99			3,76		
Perfil de carga			L	XL				
Eficiencia Energética ACS Rango A+ - F	Clima frío	%	A+					
η_{wh} ACS			167			149		
COP ACS EN 16147 (A2)			3,77			3,41		
Perfil de carga			L	XL				

Figura 24: Ficha técnica del sistema de aerotermia (adjunto 1)

Características		Ud	aroTHERM plus 4	aroTHERM plus 6	aroTHERM plus 8	aroTHERM plus 12	aroTHERM plus 12T	aroTHERM plus 15	aroTHERM plus 15T
Rendimiento en calefacción									
Eficiencia estacional Calefacción etaS	Clima cálido W35	%	220	229	228	256	245		
	Clima medio W35		180	186	187	200	187		
	Clima frío W35		152	162	159	168			
Calefacción SCOP EN 14825	Clima cálido W35		5,57	5,81	5,78	6,48	6,19		
	Clima medio W35		4,56	4,71	4,75	5,07	4,74		
	Clima frío W35		3,88	4,13	4,05	4,27	4,28		
Unidad Exterior			VWL 45/6 230V 53	VWL 65/6 230V 53	VWL 85/6 230V 53	VWL 125/6 230V 53	VWL 125/6 400V 53	VWL 155/6 230V 53	VWL 155/6 400V 53
Peso neto		kg	114	128		194	210	194	210
Refrigerante			R290						
Carga de refrigerante		kg	0,6	0,9		1,3			
Dimensiones sin embalaje		All/Ancho/Prof mm	765/1100/450		965/1100/450		1565/1100/450		
Caudal bomba de calefacción		l/h	780	1050	1300	2065		2500	
Presión disponible		kPa	58	50	36	55		38	
Caudal mínimo		l/h	400	540		995			
Caudal máximo de ventilación		m³/h	2300	3000		6000			
Conexiones hidráulicas			G 1 1/4						
Corriente máxima		A	14,3	15,0		23,3	15,0	23,3	15,0
Interruptor protección recomendado		Curva C	16	16		25	16A triL 3P+N	25	16A triL 3P+N
Potencia sonora EN 12102	A7W35	dB(A)	51	50	58			61	
	Modo silencioso		46			51			
	ErP A7/W55		52	57		60		61	
Unidad interior - torre hidráulica			VIH QW 190/6						
Alimentación eléctrica			230V / 50 Hz						
Dimensiones sin embalaje		All/Ancho/Prof mm	1.880/595/693						
Peso neto		kg	143						
Volumen equivalente agua a 40 °C		Acumul. 70 °C entrada 10 °C	370						
Volumen acumulación		l	185						
Tiempo de calentamiento a temperatura nominal		EN 16147	192	125	<125	80	80	<80	<80
Máx. presión circuito calef.		bar	3						
Potencia sonora EN 12102		A7W35	<30						
Conexiones hidráulicas	Bomba de calor	-	G 1 1/4						
	Circuito calefacción		G 1						
Unidad interior - módulo hidráulico			MEH97/6						
Alimentación eléctrica			230-400V / 50 Hz						
Dimensiones sin embalaje		All/Ancho/Prof mm	720/440/350						
Peso neto		kg	20						
Máx. presión circuito calef.		bar	3						
Potencia sonora EN 12102		A7W35	<29						
Conexiones hidráulicas	Bomba de calor	-	G 1 1/4						
	Circuito calefacción		G 1						

Figura 25: Ficha técnica del sistema de aerotermia (adjunto 2)

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

La segunda parte de la propuesta se centra en la implementación de una instalación fotovoltaica, que sirva como suministro de energía limpia para la demanda energética de la vivienda, además de un apoyo al sistema de aerotermia.

Este apartado se divide en tres secciones, donde se muestran primero datos de generación de una vivienda de características similares a la de estudio, mostrando la viabilidad del proyecto. Posteriormente, se realizará una simulación de la instalación fotovoltaica mediante el software PVsyst, discerniendo entre la posibilidad de añadir baterías a la instalación, lo que aumentaría la autonomía del sistema, a costa de una mayor inversión inicial.

Primeramente, en relación a los datos de consumo anuales comentados anteriormente, es necesario para dimensionar tener en cuenta que, para crear un sistema de autoconsumo, la instalación fotovoltaica tendrá que generar lo correspondiente a la demanda eléctrica anual de la vivienda, mas la demanda en calefacción y ACS. Concretamente, la instalación fotovoltaica se enfrenta a un consumo que ronda los 25.300 kWh en calefacción y ACS, además de un consumo eléctrico de 2800 kWh anuales (estimado sumando las facturas de la luz mensuales), haciendo un total de 28.100 kWh anuales. Esta se llevará a cabo en la cubierta sureste de la vivienda, que cuenta con una superficie aproximada de 50 m².

4.1.1 DATOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

La instalación fotovoltaica se encuentra situada en una vivienda de la misma zona urbana de estudio. La vivienda donde ha sido implementada (se denominará vivienda ejemplo) es de características similares a las de la vivienda de estudio, teniendo en cuenta orientación, dimensiones de superficie útil (para implementar los módulos fotovoltaicos), y por proximidad, índices de irradiación similares. Se adjunta un extracto de Google Earth para mayor clarificación de las circunstancias planteadas.

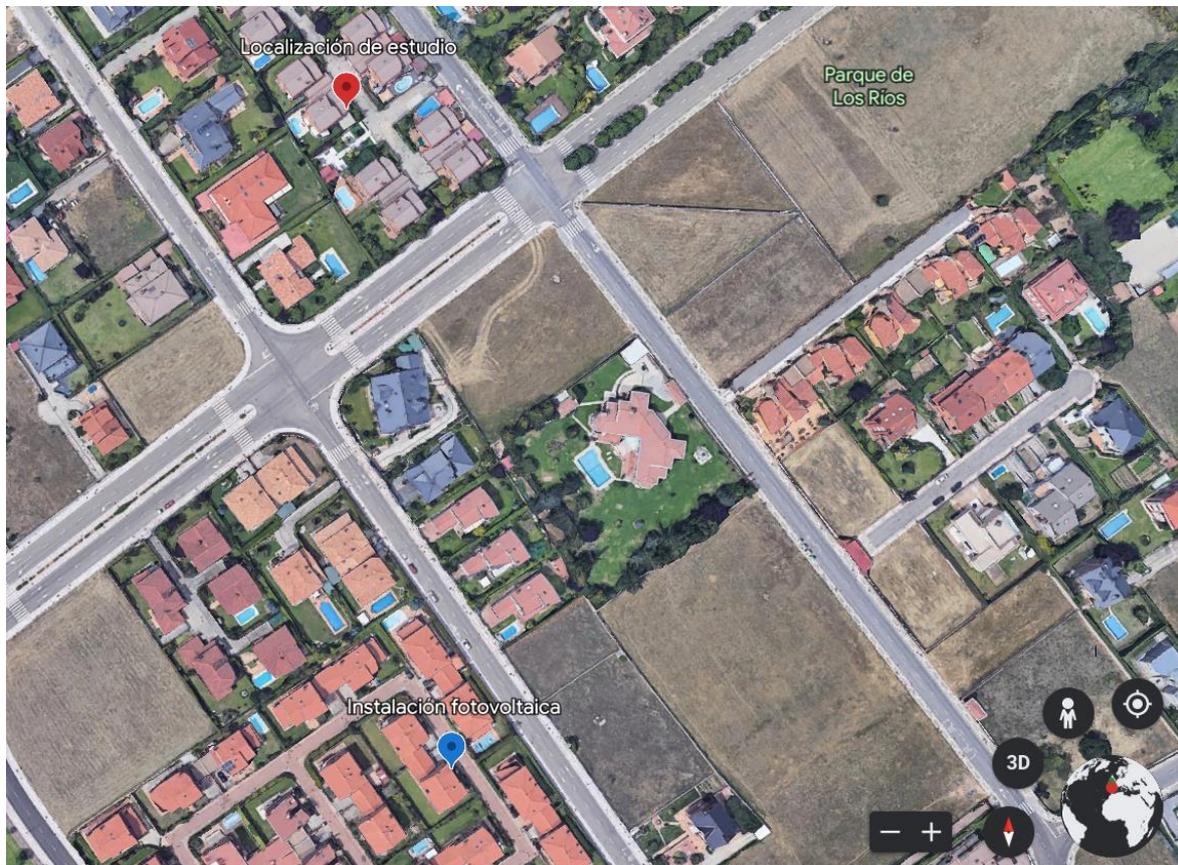


Figura 26: Extracto de Google Maps de las viviendas de estudio (vivienda al norte) y la vivienda ejemplo (vivienda al sur)

La instalación ha sido implementada por la empresa Iberdrola, quien suministra todos los datos de generación y consumo de energía eléctrica que se expondrán en este apartado. Los componentes de la instalación son los siguientes:

Uds.	Equipos	Modelo
10	Paneles Solares FV	PANEL DE 400W
1	Inversores	INVERSOR DE 3,5

Tabla 13: Componentes de la instalación fotovoltaica

Como se ha descrito en el **Capítulo 2 Estado del arte**, las instalaciones fotovoltaicas tienen dos variantes, dependiendo de si vierten electricidad a la red, o cuentan con un set de baterías para su posterior almacenamiento.

En este caso, la instalación cuenta con 10 paneles solares de 400W/panel, además de un inversor, encargado de transformar la corriente de continua a alterna. No se incluyen baterías en la instalación, por lo que los excesos de generación se vierten a la red eléctrica.

Se muestran a continuación los gráficos de generación de la instalación y consumo de la vivienda, durante el año 2022, únicamente de los meses que la instalación estuvo operativa, desde mayo hasta diciembre.



Figura 27: Gráfica de energía generada por la instalación fotovoltaica durante los meses de operación en 2022

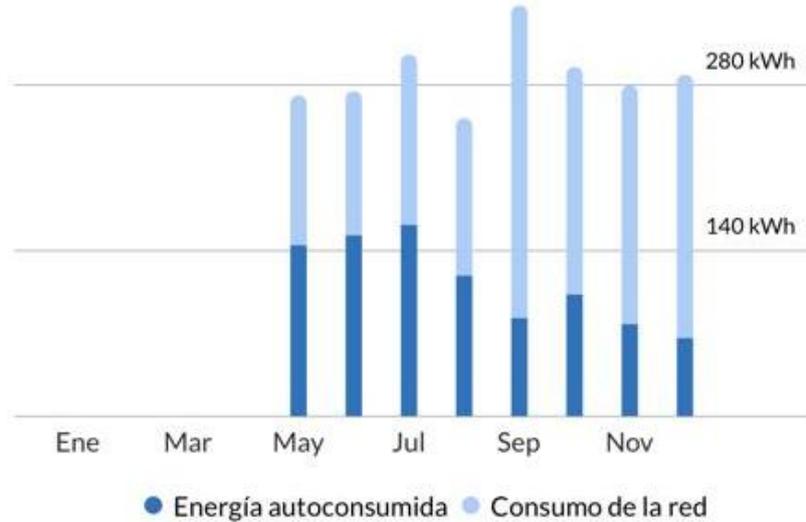


Figura 28: Gráfico de consumo de la vivienda durante los meses de operación de la instalación fotovoltaica en 2022

Por otro lado, se muestran los datos de generación y consumos totales durante el periodo, incluyendo el porcentaje de la energía auto consumida por la vivienda, así como la exportada y la aportada por la red.



Figura 29: Generación y consumo de la vivienda ejemplo durante el periodo de actividad en 2022

Las anteriores figuras muestran los datos de consumo de la vivienda respecto a la energía generada por la instalación fotovoltaica. Para mayor detalle de la demanda energética de la vivienda, se proporciona la factura energética del mes de octubre de 2022, que refleja un descuento por la energía vertida por la instalación a la red durante dicho periodo, pues como se ha explicado previamente, cuando la generación de la instalación supera la demanda de la vivienda, la energía generada se vierte a la red pasando por el inversor. Alternativamente se podría haber instalado un equipo de baterías para almacenarla y usarla posteriormente, aumentando la autonomía de esta, frente a periodos de baja generación que aumenten la demanda eléctrica, como son los días nublados o los periodos de invierno.

ENERGÍA		
Potencia facturada	Punta 5,75 kW x 31 días x 0,092744 €/kW día	16,53 €
	Valle 5,75 kW x 31 días x 0,015252 €/kW día	2,72 €
Total importe potencia hasta 31/10/2022		19,25 €
<i>Energía facturada</i>	192,24 kWh x 0,18408 €/kWh	35,39 €
<i>Compensación de excedentes</i>	-269,11 kWh x 0,109404 €/kWh	-29,44 €
CARGOS NORMATIVOS		
Financiación bono social fijo	31 días x 0,036718 €/día	1,14 €
Tope precio del gas RDL 10/2022 (29/10/2022-31/10/2022)	12,4 kWh x -0,000363 €/kWh	0,00 €
Mecanismo ajuste Op. Sistema RDL 10/2022	192,24 kWh x 0,001198 €/kWh	0,23 €
Impuesto sobre electricidad	192,24 kWh x 0,001 €/kWh	0,19 €
TOTAL ENERGÍA		26,76 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS		
Alquiler equipos medida	31 días x 0,02663 €/día	0,83 €
Asistente Smart Iberdrola	1 mes x 1,04 €/mes	1,04 €
Protección Eléctrica Hogar	1 mes x 6,28 €/mes	6,28 €
Dto Asistente Smart	50% s/1,04 €	-0,52 €
TOTAL SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS		7,63 €
IMPORTE TOTAL		34,39 €
IVA Reducido (*)	5% s/27,59 €	1,38 €
IVA	21% s/6,8 €	1,43 €
TOTAL IMPORTE FACTURA		37,20 €

Figura 30: Factura energética de la vivienda ejemplo de octubre de 2022

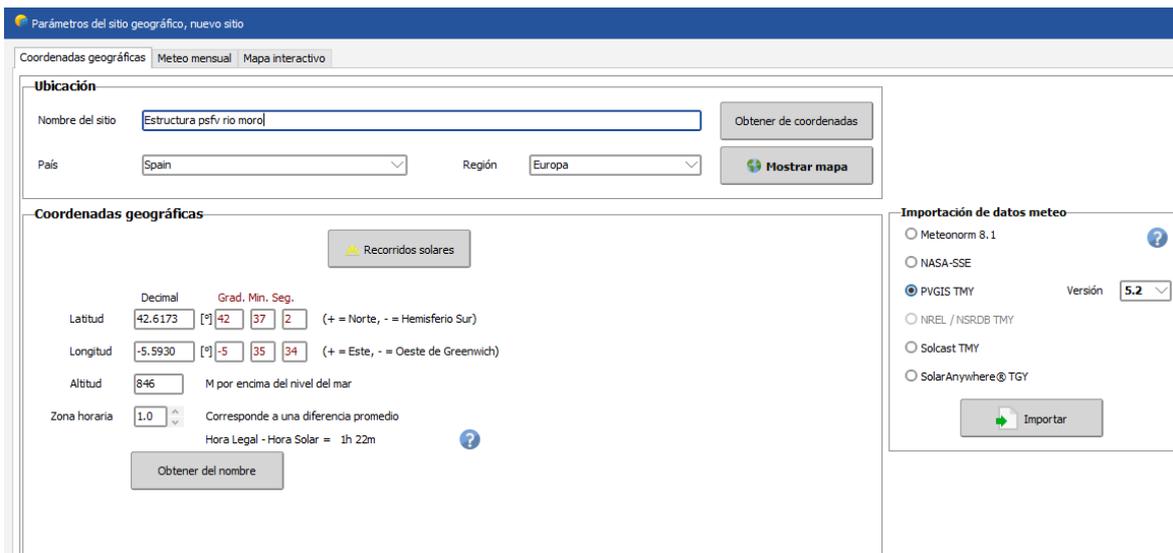
Durante este mes, la demanda total fue de 192,24 KWh, lo que se debe entender como el consumo de energía total, independientemente de si proviene de la instalación fotovoltaica o la red eléctrica. Además, para reflejar con mayor exactitud el funcionamiento de la instalación, se incluye en la factura una *compensación por excedentes*, indicando la energía vertida a la red durante el mes de octubre. En el gráfico de generación de energía proporcionado anteriormente, dicho mes sobrepasa los 320 KWh, pues refleja tanto la energía auto consumida, como la vertida a la red.

Con este apunte solamente se pretende demostrar la eficiencia de la instalación, la cual, en un mes de generación media, siendo julio el mes de mayor generación, se consigue reducir a la mitad el importe de la factura energética.

4.1.2 SIMULACIÓN MEDIANTE PVSYS

El software permite partir de tres diseños diferentes para realizar la simulación: conectado a red, independiente y de bombeo. Se escoge la simulación del sistema conectado a red, lo que no quiere decir que se elimine la posibilidad de incluir módulos de baterías para aumentar la autonomía del sistema. Incluso si esta medida se llevase a cabo, se puede dar la situación de que las baterías estén completamente cargadas y la instalación este vertiendo energía a la red, pudiendo darse que la generación sea mayor que el consumo en algún momento determinado (en los meses de verano).

Previo a la ejecución de la simulación, y la elección del diseño de la instalación fotovoltaica, es necesario ajustar la base de datos al lugar de estudio, concretamente en la provincia de León. A continuación, se muestra la pestaña donde se realizan las modificaciones pertinentes para ajustar la simulación.



Parámetros del sitio geográfico, nuevo sitio

Coordenadas geográficas | Meteo mensual | Mapa interactivo

Ubicación

Nombre del sitio:

País: Región:

Coordenadas geográficas

Latitud: Decimal Grad. Min. Seg. (+ = Norte, - = Hemisferio Sur)

Longitud: (+ = Este, - = Oeste de Greenwich)

Altitud: M por encima del nivel del mar

Zona horaria: Corresponde a una diferencia promedio
Hora Legal - Hora Solar = 1h 22m

Importación de datos meteo

Meteonorm 8.1

NASA-SSE

PVGIS TMY Versión

NREL / NSRDB TMY

Solcast TMY

SolarAnywhere® TGY

Figura 31: Despliegable de base de datos del software PVsyst

En dicho desplegable se muestran tres pestañas. Se comienza ajustando la base de datos a la zona de estudio a partir de la tercera pestaña, un *Mapa Interactivo* que permite buscar la ubicación exacta. A partir de ahí, se vuelve a la mostrada en la Figura 30, donde se nombra el proyecto, y se actualizan las coordenadas indicadas en el *Mapa Interactivo*. Además, parecen las distintas bases de datos que se pueden emplear para la simulación. Cada una refleja datos mensuales de: irradiación horizontal global, irradiación difusa horizontal, temperatura, velocidad del viento y humedad relativa. Se escoge la base de datos de PVGIS TMI, en su versión 5.2.

Una vez fijada la base de datos que se va a emplear para la simulación, se escoge el diseño de la instalación, en este caso conectada a red. Lo siguiente es ajustar los parámetros principales de la simulación.

Empezando por la orientación del tejado de la vivienda. Se despliega una pestaña donde se debe ajustar la inclinación del plano de las placas solares y el azimut³², que se define como el ángulo que forma el norte geográfico con la proyección vertical de un cuerpo celeste sobre el plano horizontal del observador, en función de la latitud del mismo. Este se mide en grados, desde el norte geográfico, en sentido de las agujas del reloj. Aplicándolo a los paneles fotovoltaicos, corresponde a su orientación respecto al norte geográfico, siendo aproximadamente sureste, la del propio tejado donde se pretenden instalar los paneles.

El software permite el ajuste del grado de inclinación de los paneles para optimizar su rendimiento frente a la inclinación óptima, que posee el mayor Factor de transposición. La propia base de datos del software lo define como el cociente entre la irradiación incidente en el plano de estudio y la irradiación horizontal. Este ajuste se puede hacer para buscar aumentar el rendimiento durante el verano, el invierno o el rendimiento de irradiación anual. Se selecciona el periodo de invierno pues será cuando menor generación presente la planta, por ende, cuando más interesa optimizar la posición de los paneles.

³² «Azimut | Meteopedia».

El resultado final del ajuste del plano para conseguir el mayor factor de transposición, sin inclinar las placas de forma excesiva es de 40° , como se muestra en la Figura 31.

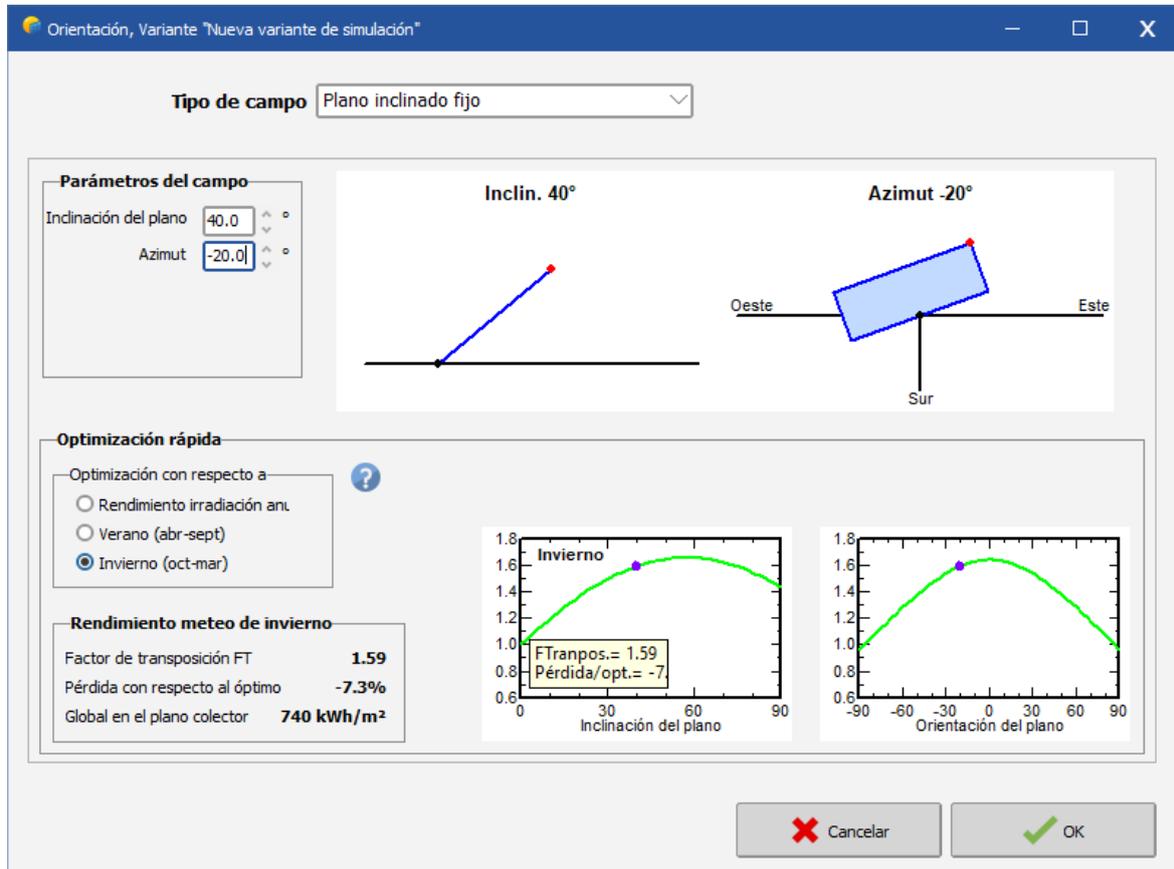


Figura: Pestaña de ajuste de la orientación del plano de los paneles fotovoltaicos

El siguiente paso consiste en ajustar las características del sistema, siendo: los paneles solares (con su respectiva potencia pico), el inversor (con su potencia de trabajo ajustada al tamaño de la instalación), y la configuración del número de módulos y cadenas de paneles.

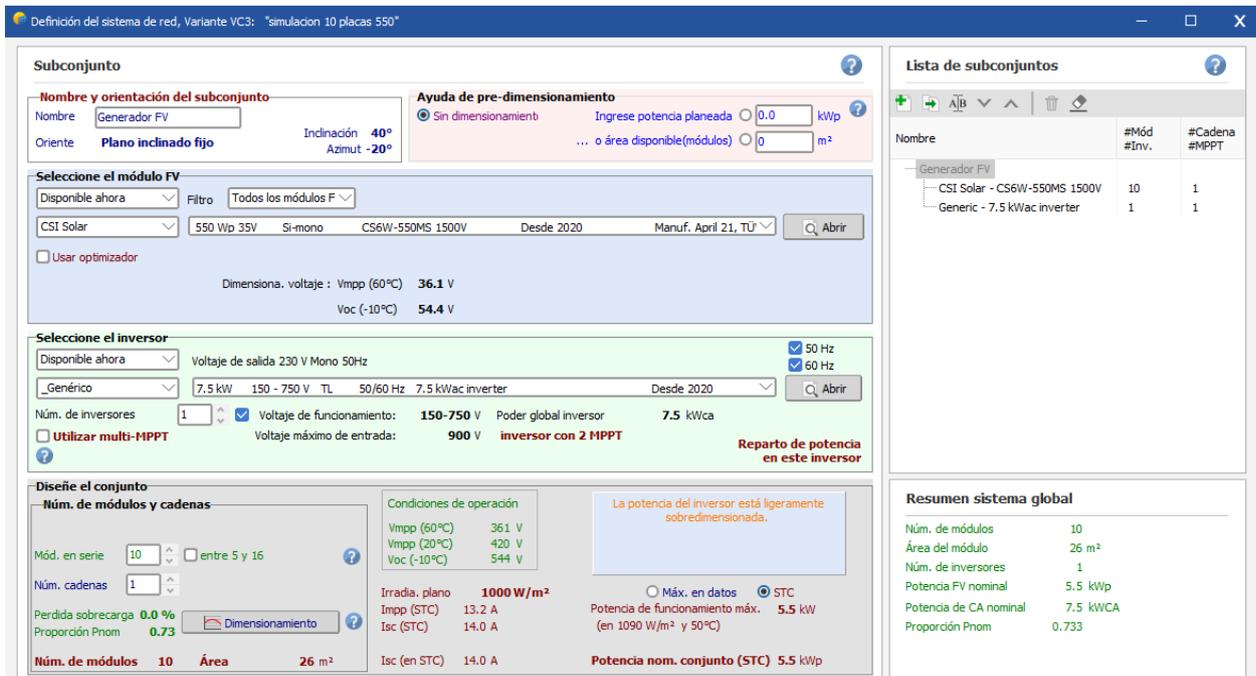
Para la elección de los elementos del equipo, así como el número de los mismos, se contacta con varias empresas que ofrecen la generación gratuita de presupuestos a partir de datos simples, como es la ubicación de la vivienda y la demanda eléctrica anual.

Estas, recomiendan que la instalación tenga una potencia de 5,5 kWp, dimensionándola para suplir la demanda eléctrica de la vivienda contando con el sistema de aerotermia. Esta potencia se puede conseguir con diversas configuraciones, dependiendo de la potencia pico de los paneles y el número de los mismo que se decida instalar. Se llevan a cabo dos simulaciones que consiguen la potencia pico requerida:

- 10 placas de 550W/placa que consiguen una producción anual de 9586 kWh/año.
- 12 placas de 455W/placa que consiguen una producción anual de 9517 kWh/año.

Se opta por la primera configuración, que presenta 10 placas de 550W/panel, y un inversor de 7,5 kW de potencia nominal. El software indica un ligero sobredimensionamiento del mismo en la simulación, debido al escaso número de inversores que ofrece la biblioteca de PVsyst. La parte económica se llevará a cabo teniendo en cuenta un inversor de 5 kW, siendo el adecuado para la potencia de la instalación.

En la inferior de la pestaña, se definen el número de paneles y el número de cadenas que se pretenden implementar, seleccionando una única cadena de 10 paneles.



Definición del sistema de red, Variante VC3: "simulación 10 placas 550"

Subconjunto

Nombre y orientación del subconjunto
 Nombre: Generador FV
 Oriente: Plano inclinado fijo
 Inclinación: 40°
 Azimut: -20°

Ayuda de pre-dimensionamiento
 Sin dimensionamiento
 Ingrese potencia planeada: 0.0 kWp
 ... o área disponible(módulos): 0 m²

Seleccione el módulo FV
 Disponible ahora: [dropdown]
 Filtro: Todos los módulos F
 CSI Solar | 550 Wp 35V | Si-mono | CS6W-550MS 1500V | Desde 2020 | Manuf. April 21, TU
 Usar optimizador: [checkbox]
 Dimensiona. voltaje: Vmpp (60°C) 36.1 V
 Voc (-10°C) 54.4 V

Seleccione el inversor
 Disponible ahora: [dropdown]
 Voltaje de salida 230 V Mono 50Hz
 Genérico | 7.5 kW | 150 - 750 V TL | 50/60 Hz | 7.5 kWac inverter | Desde 2020
 Núm. de inversores: 1
 Voltaje de funcionamiento: 150-750 V | Poder global inversor: 7.5 kWca
 Utilizar multi-MPPT: [checkbox]
 Voltaje máximo de entrada: 900 V | Inversor con 2 MPPT
 Reparto de potencia en este inversor

Diseño el conjunto
 Núm. de módulos y cadenas
 Mód. en serie: 10 (entre 5 y 16)
 Núm. cadenas: 1
 Pérdida sobrecarga: 0.0 %
 Proporción Prom: 0.73
 Núm. de módulos: 10 | Área: 26 m²

Condiciones de operación
 Vmpp (60°C): 36.1 V
 Vmpp (20°C): 42.0 V
 Voc (-10°C): 54.4 V
 Irradia. plano: 1000 W/m²
 Imp (STC): 13.2 A
 Isc (STC): 14.0 A
 Isc (en STC): 14.0 A

La potencia del inversor está ligeramente sobredimensionada.
 Máx. en datos | STC
 Potencia de funcionamiento máx. (en 1090 W/m² y 50°C): 5.5 kW
 Potencia nom. conjunto (STC): 5.5 kWp

Lista de subconjuntos

Nombre	#Mód #Inv.	#Cadena #MPPT
Generador FV		
CSI Solar - CS6W-550MS 1500V	10	1
Generic - 7.5 kWac inverter	1	1

Resumen sistema global

Núm. de módulos	10
Área del módulo	26 m²
Núm. de inversores	1
Potencia FV nominal	5.5 kWp
Potencia de CA nominal	7.5 kWCA
Proporción Prom	0.733

Figura 32: Pestaña de definición de red del software PVsyst

En la Figura 32 se recogen los datos finales del equipo que se va a simular. La propia pestaña muestra un resumen global del sistema, en la parte inferior derecha, recogiendo los metros cuadrados empleados, la potencia fotovoltaica nominal y el número de elementos que se van a emplear. El diseño entra dentro de los parámetros de diseño, dado que se va a instalar en la cara sureste de la vivienda, con una superficie aproximada de 50 m².

Se prosigue por la sección *Horizonte*, donde se fijan a partir de la base de datos de PVGIS 5.2, las horas de luz que va a tener la instalación fotovoltaica a lo largo de un año. Esto se representa a partir de un diagrama solar, donde se reflejan las líneas de 7 días del año.

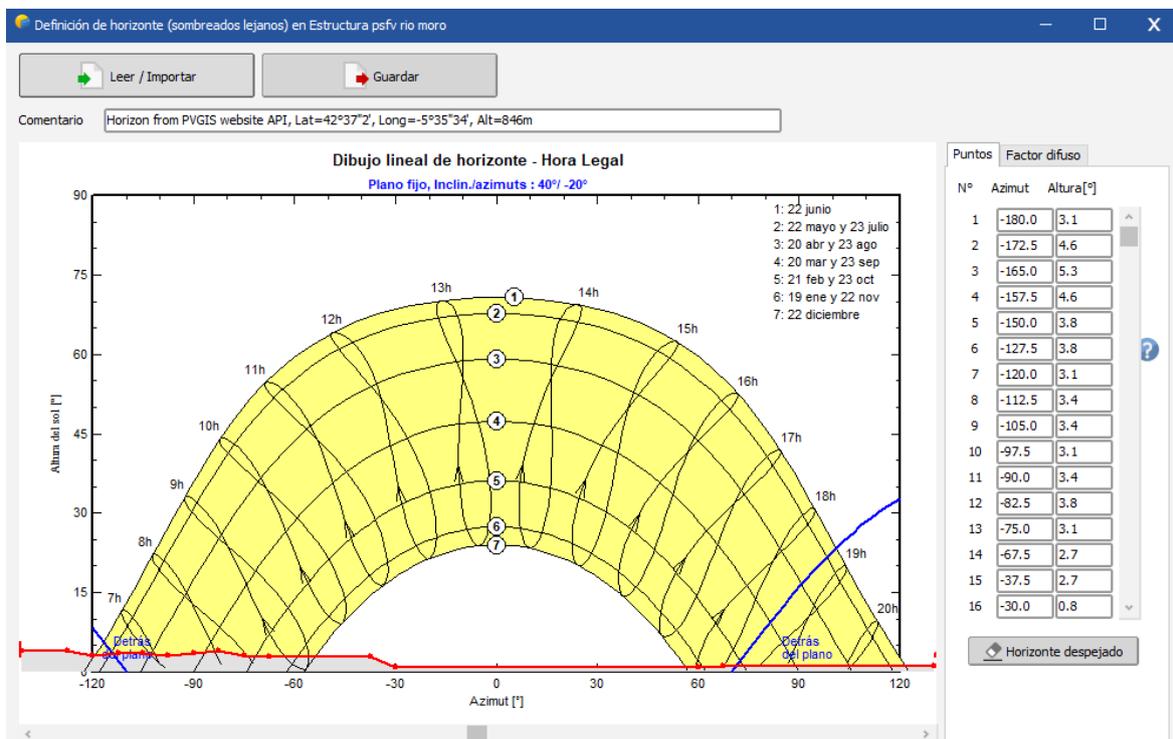


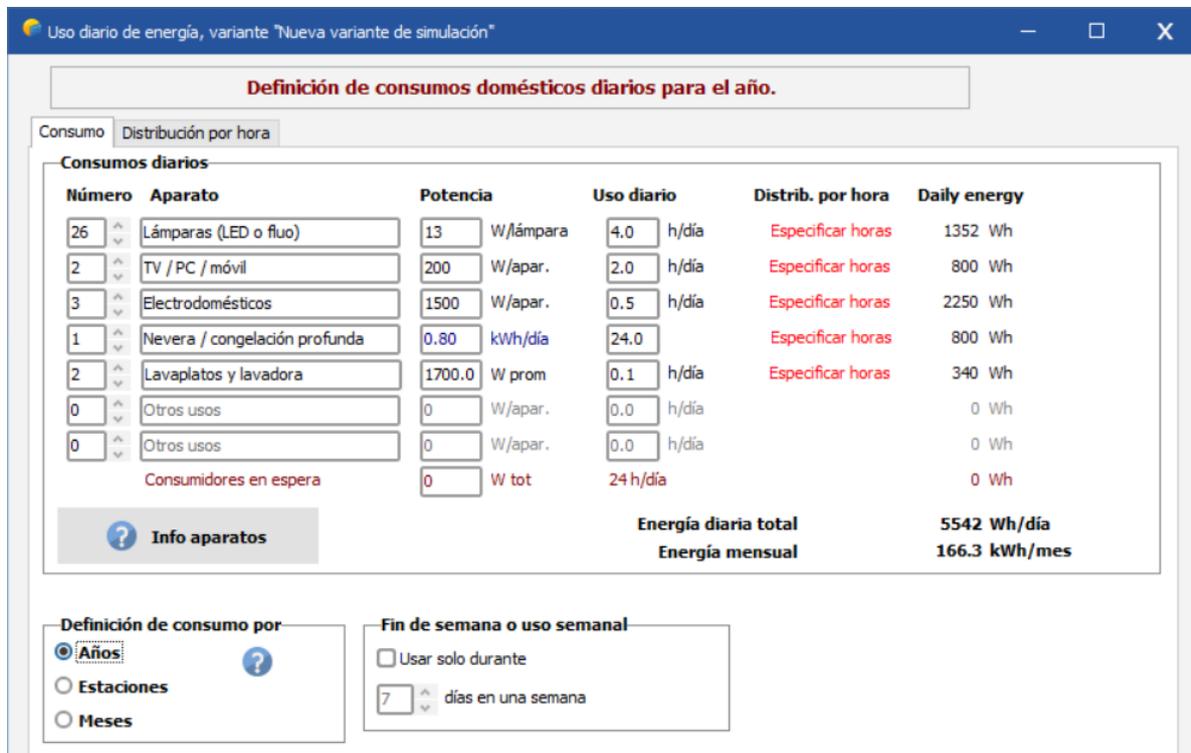
Figura 33: Diagrama solar de la instalación fotovoltaica de PVsyst

La línea roja representa el horizonte (casi horizontal en el diagrama). La interpretación de este diagrama se centra en dicha línea, que refleja a qué horas, y qué días, a la instalación fotovoltaica no le va a incidir la luz solar. Un caso de este fenómeno ocurre a las 8 de la mañana para el día 5 (21 de febrero y 23 de octubre), pues la línea 5 queda por debajo de la línea horizonte durante ese periodo concreto. Además, hay dos líneas en las esquinas inferiores del

diagrama que representan momentos del día en los que la incidencia del sol se produce detrás del plano.

A continuación, se ajustan las pérdidas del sistema, en el apartado *Pérdidas detalladas*. Se aproximan las pérdidas para obtener valores reales de generación. En primer lugar, se especifica que los módulos serán montados “libres” con circulación de aire. Se tiene en cuenta un 2% de pérdidas ligado a la posible suciedad de las placas y un factor de degradación promedio de las placas de 0,45% anual.

El siguiente paso consiste en ajustar las *necesidades del usuario*, lo que se traduce en la demanda energética de la instalación. Esto se puede estimar en función de los consumos diarios dados por los aparatos de la instalación, ya sean lámparas, televisiones, ordenador, electrodomésticos... Se lleva a cabo sin tener en cuenta el consumo eléctrico que conllevará el sistema de aerotermia, pues la instalación fotovoltaica ya se ha sobredimensionado para cubrir el futuro consumo eléctrico de la vivienda, incluyendo el sistema.



Uso diario de energía, variante "Nueva variante de simulación"

Definición de consumos domésticos diarios para el año.

Consumo Distribución por hora

Número	Aparato	Potencia	Uso diario	Distrib. por hora	Daily energy
26	Lámparas (LED o fluo)	13 W/lámpara	4.0 h/día	Especificar horas	1352 Wh
2	TV / PC / móvil	200 W/apar.	2.0 h/día	Especificar horas	800 Wh
3	Electrodomésticos	1500 W/apar.	0.5 h/día	Especificar horas	2250 Wh
1	Nevera / congelación profunda	0.80 kWh/día	24.0 h/día	Especificar horas	800 Wh
2	Lavaplatos y lavadora	1700.0 W prom	0.1 h/día	Especificar horas	340 Wh
0	Otros usos	0 W/apar.	0.0 h/día		0 Wh
0	Otros usos	0 W/apar.	0.0 h/día		0 Wh
Consumidores en espera		0 W tot	24 h/día		0 Wh
Energía diaria total					5542 Wh/día
Energía mensual					166.3 kWh/mes

Info aparatos

Definición de consumo por: Años Estaciones Meses

Fin de semana o uso semanal: Usar solo durante días en una semana

Figura 34: Panel de definición de consumos domésticos diarios para el año

De esta forma se obtiene una estimación de la demanda anual de la vivienda. Resulta poco precisa porque el software agrupa en el mismo grupo todas las lámparas, o electrodomésticos, que no tienen por qué tener toda la misma potencia, así como el mismo uso diario. Se intenta hacer una aproximación, incluyendo en el software los aparatos más utilizados, así como el uso diario de estos. Resulta en un consumo de 166.3 kWh/mes, lo cual, extrapolándolo a un año natural, sugiere que el consumo es 1995,6 kWh/año.

Para hacerlo de forma más aproximada, el software permite introducir valores de consumo mensuales, emitidos por la empresa Iberdrola. Se introducen los valores de consumo del año 2022, y resulta en lo siguiente:

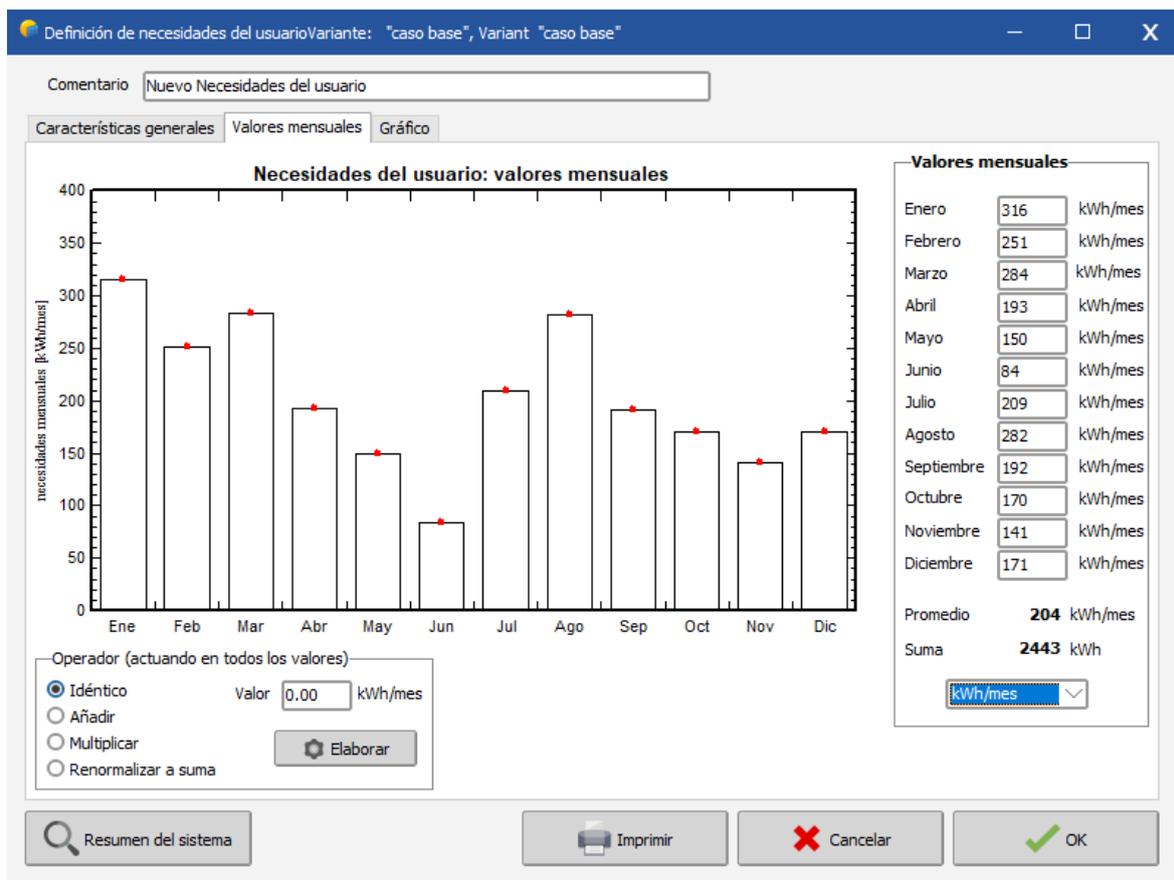


Figura 35: Panel de consumo mensual de la vivienda

De esta forma resulta en un consumo anual de 2440 kWh en el año 2022, bastante superior al valor obtenido con la anterior estimación. Este se tomará como valor de consumo de la vivienda para cualquier año natural.

El software emite un informe tras la ejecución de la simulación, donde se reflejan los componentes escogidos, los datos de producción de la instalación y el consumo de la vivienda establecido en los parámetros. PVsyst estima una generación anual de 9500kWh, y un uso de 2440 kWh, con la demanda actual. Los resultados de la simulación no son datos exactos de generación, pues la base de datos realiza una estimación de la producción en función de los datos meteorológicos recogidos de años anteriores. Adicionalmente, se han estimado cuales pueden ser las pérdidas de la instalación durante su periodo de actividad, por lo que los datos de generación pueden variar en función de los factores que las condicionan, mencionados previamente. En cambio, sirve para estimar cuales son las necesidades de la vivienda e implementar así la aerotermia de manera que se construya un sistema de autoconsumo, pues se prevé una demanda inferior a 9 MWh incluyendo dicho sistema.

Para aumentar la autonomía de la instalación fotovoltaica, se estudiará en el siguiente capítulo la posibilidad de implementar baterías de litio a la instalación fotovoltaica, con el objetivo de aumentar la autonomía de la misma, y extraer la menor energía de la red eléctrica, en la medida de lo posible, pues tampoco se pretende crear un sistema independiente.

A este respecto, como base del estudio económico de la propuesta, se contacta con distintas empresas que ofertan la instalación de placas fotovoltaicas, además del resto de componentes necesarios para su funcionamiento y conexión a la red. Sotysolar genera un presupuesto en el que se incluyen 10 paneles de 550 W/panel, además de un inversor ajustado a la potencia de la instalación, la cual resulta en 5,5 kWp. Estima además una generación de 7,5 kWh, inferior a la obtenida mediante el software PVsyst, pues la empresa Sotysolar tiene datos de generación de las instalaciones que ha llevado a cabo y trabajan con datos reales y más ajustados.

CONCLUSIÓN

La propuesta se centra en la sustitución de la caldera de gasoil por un sistema de aerotermia, apoyado por una instalación fotovoltaica. Los datos relacionados con el funcionamiento y las características de los equipos proporcionadas en este capítulo sirven para estimar la magnitud de la inversión, además de esclarecer las características de la propuesta.

No se considera relevante si los equipos mencionados en este capítulo son los que se estudian en la parte económica del proyecto, pues se pueden presentar diferencias de precio, incluso pueden diferir las características de funcionamiento según el fabricante y la empresa instaladora. Se tiene en cuenta como aproximación, como se ha comentado, para esbozar de forma aproximada, mediante las simulaciones y los diferentes presupuestos, la cuestión económica de la propuesta.

De cualquier forma, las características de la propuesta son:

- Un sistema de aerotermia bibloc, con una unidad de ventilación en el exterior, además de una unidad interior formada por dos depósitos de agua, uno para calefacción y otro para ACS.
- Una instalación fotovoltaica de 10 placas solares con una potencia de 5,5 kWp, además de un inversor ajustado a la potencia de la instalación, y un medidor bidireccional.

Se pide a las empresas instaladoras, la inclusión de baterías en los presupuestos para valorar su implementación cuando se estudie la amortización de la propuesta.

Capítulo 5. ESTUDIO ECONÓMICO

En este capítulo se va a desglosar el presupuesto de la propuesta para mejorar la eficiencia económica de la vivienda. Gracias a los datos aportados por empresas que ofrecen servicios de instalación de sistemas de aerotermia y plantas fotovoltaicas, se puede aproximar con precisión la inversión necesaria para poder llevar a cabo el proyecto, así como el tiempo necesario para amortizarlo.

DESGLOSE DEL PRESUPUESTO

En este apartado se muestra el presupuesto proporcionado por la empresa Vaillant para la sustitución de la caldera por un sistema de aerotermia, y el proporcionado por la empresa Sotysolar para la implementación de la instalación fotovoltaica.

El sistema de aerotermia por el que se estudia sustituir la caldera de gasoil, es el mostrado en el Capítulo 4, de la marca Vaillant. En cambio, el técnico que realiza el estudio de la vivienda y ejecuta la obra, es de la empresa Lecalsa, quien emite finalmente el presupuesto que describe la siguiente forma:

- Pack bomba de calor aerotermia aroTHERM plus.
 - Pack Vaillant aroTHERM plus 15 básico sensoCOMFORT inalámbrico.
- Control multizonas red 5.
 - VR 92f. Control remoto inalámbrico para gestionar cada circuito/zona adicional.
 - VR 71. Módulo eBUS para gestionar 3 circuitos. Se sumintran 4 sondas VR 10 y 1 sonda VR 11.
- Desacoplador hidráulico
 - Depósito de inercia de acero negro, de 100 litros, con soportación para pared.
 - Accesorios para depósito.

- Interacumulador de A.C.S VIH RW 200L
 - Depósito de ACS de 200L para instalación sobre suelo de serpentín incorporado. Ideal para trabajar en combinación con aerotermia.
 - Aislamiento de alta efectividad.
 - Instalación sobre suelo y ancho.
 - Cuba vitrificada de alto rendimiento.
 - Ánodo de magnesio integrado contra la corrosión.
 - Válvula diversoria motorizada.
 - Grupo de seguridad 7 bar.
 - Vaso de expansión ACS.
- Instalación de bomba de calor.
 - 2 Bombas circuladoras de alta eficiencia Grundfos 25-60.
 - Filtro de malla.
 - Tubería y aislamiento térmico.
 - Llaves de corte y accesorios.
 - Sistema de llenado de la instalación.
 - Vaso de expansión de 25 l.
 - Válvula de seguridad de 3 bar.
 - Instalación eléctrica, desde cuadro general.
 - Protección eléctrica de 25 A.
 - Instalación de componentes electrónicos y puesta en marcha.
 - Mano de obra.

En el presupuesto se detallan tanto los componentes del sistema de aerotermia, como el proceso de instalación. A continuación, la valoración económica proporcionada por Lecalsa.

Descripción	Precio	Dto.	Importe
Pack bomba de calor aerotermia aroTHERM plus.	12395	30	8676,5
Control multizonas red 5.	450		450
Desacoplador hidráulico	620		620
Interacumulador de A.C.S VIH RW 200L	2060		2060
Instalación de bomba de calor.	2575		2575
IVA (21%)			3020,11
TOTAL			17401,61

Tabla 14: Presupuesto de Lecalsa para el sistema de aerotermia

Para la instalación fotovoltaica, se parte del presupuesto generado por la empresa Sotysolar. No está desglosado de la misma forma que el proporcionado por Lecalsa, por lo se hace una estimación a partir del precio fijado en los portales de venta de componentes fotovoltaicos. Dicho presupuesto incluye:

- 10 paneles solares Exiom Solution EX550MB-144
 - En el portal de venta rehabilitaweb,³³ se distribuyen estos paneles por 255 €, incluyendo el IVA. El precio por 10 paneles sería de 2550 €.
- Un inversor Huawei Solar SUN2000-5KTL-L1
 - En el portal de venta AutoSolar³⁴ se distribuyen por 816,7 €.
- Un medidor de corriente bidireccional Huawei Solar DDSU666H1-Ph 100 A.
 - En el portal Efecto Solar se distribuyen por 90,9 €.
- Estructura de aluminio del fabricante Fischer
- Anclajes de la estructura, cableado, instalación eléctrica y mano de obra.

³³ Panel monocristalino EXIOM de 550W.

³⁴ «Inversor Huawei SUN2000-5KTL-L1 5000W | al Mejor Precio».

Sotysolar emite una valoración de la instalación de 6914 €, aplicando previamente un descuento de 500€, incluyendo impuestos. El total del coste de los productos cuyo precio se especifica anteriormente es de 3457,6 €, 4183 € después de impuestos. Deduciendo esta cantidad del total presupuestado, se obtiene un coste de mano de obra y complementos de la instalación de 2731 €, 2257 € antes de impuestos. Mostrando estos datos de una forma visual, se plasman los datos obtenidos en la Tabla 13.

Descripción	Importe
10 paneles solares Exiom Solution EX550MB-144	2550
Un inversor Huawei Solar SUN2000-5KTL-L1	816,7
Un medidor de corriente bidireccional Huawei Solar DDSU666H1-Ph 100 A	90,9
Otros componentes y mano de obra	2257
IVA (21%)	1200,06
TOTAL	6914,66

Tabla 15: Presupuesto de Sotysolar para la instalación fotovoltaica

Reuniendo la información correspondiente de ambos presupuestos, se obtiene una inversión total de 24315,62 €.

RENTABILIDAD DE LA PROPUESTA

La propuesta supone una inversión que ronda los 25.000 €, pero cada año desde su puesta en marcha, las facturas mensuales de luz y combustible necesario para aclimatar la vivienda (energía eléctrica pues se trata de aerotermia) serán inferiores a las actuales. Por ello, resulta un factor de peso el estudio de la amortización de la propuesta.

Vaillant muestra datos generales a cerca del consumo energético de un sistema de aerotermia de su marca. De la misma forma, Sotysolar muestra en el presupuesto la energía que se espera la instalación fotovoltaica genere anualmente.

Se construye una tabla para saber las cifras de ahorro anual y visualizar el flujo de caja, a partir de los datos proporcionados por Vaillant y Sotysolar, y los datos de consumo de la vivienda de luz y gasóleo.

En la tabla se muestra inicialmente el ahorro en gasóleo que supondrá el cambio de sistema de calefacción. El sistema de aerotermia supondrá un aumento de la demanda de energía eléctrica de la vivienda, el cual se estima a partir de los estudios proporcionados por las empresas instaladoras.

Por otro lado, la instalación fotovoltaica proporcionará una parte de la energía eléctrica consumida por la vivienda, teniendo en cuenta pérdidas y que la generación no irá de la mano en todo momento de la demanda de la vivienda, por lo que seguirá siendo necesario extraer energía de la red, y habrá periodos de exceso de generación en los que se verterá energía a la red. De esta forma, se estima por un lado el consumo eléctrico de la aerotermia, y posteriormente el ahorro energético que supone la instalación fotovoltaica.

Para estimar el ahorro energético consecuencia de la instalación fotovoltaica, se contrastan los datos extraídos de la simulación de PVsyst, incluyendo la estimación de consumo mensual de Mitsubishi Electric, además del consumo energético actual.

La simulación de PVsyst genera un informe de la simulación, donde se reflejan los datos a cerca de los componentes del sistema, y la producción de energía mensual. Se puede ver en la tabla a continuación, donde EArray muestra la energía efectiva suministrada a la salida del sistema fotovoltaico (energía útil para el usuario), y E_User el consumo energético actual de la vivienda, dividido en meses a lo largo de un año natural.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EFrGrid kWh
January	46.8	25.42	4.67	76.4	73.2	397	316.2	96.8	289	219.4
February	91.2	29.59	2.57	148.2	142.5	766	251.3	100.0	652	151.3
March	116.6	50.89	5.95	147.6	141.4	751	284.2	124.8	611	159.4
April	163.0	62.61	9.73	179.8	172.2	901	193.0	96.8	786	96.2
May	214.5	71.04	11.92	211.3	202.1	1048	150.3	81.0	946	69.3
June	228.4	71.72	16.57	210.0	200.5	1024	84.2	48.3	954	36.0
July	251.2	57.43	20.87	238.6	228.1	1142	209.1	115.0	1005	94.1
August	218.0	49.98	21.86	230.8	221.2	1100	282.0	142.9	936	139.1
September	151.4	49.26	16.79	185.3	177.8	906	192.2	88.6	800	103.6
October	104.6	36.92	10.37	156.9	151.0	792	169.6	70.0	706	99.6
November	63.2	24.60	8.21	111.1	106.6	567	141.1	51.9	503	89.2
December	42.5	22.87	2.10	75.2	71.7	390	171.1	57.5	322	113.6
Year	1691.3	552.33	11.02	1971.4	1888.4	9783	2444.4	1073.6	8512	1370.8

Tabla 16: Datos de generación de la simulación de la instalación fotovoltaica en PVsyst

Además, gracias a la estimación de Mitsubishi Electric, se puede aproximar el consumo del sistema de aerotermia, también dividido en meses a lo largo de un año natural.

Mes	Consumo de aerotermia
Enero	780
Febrero	632
Marzo	584
Abril	443
Mayo	252
Junio	37
Julio	138
Agosto	98
Septiembre	85
Octubre	242
Noviembre	557
Diciembre	738

Tabla 17: Consumo energético del sistema de aerotermia estimado por Mitsubishi Electric

Con los datos del consumo estimado de aerotermia, sumado al consumo conocido de la vivienda y la estimación de generación de la instalación fotovoltaica desarrollado mediante PVsyst, se puede estimar el coste en energía eléctrica mensual.

Mes	Consumo de aerotermia (kWh)	Consumo vivienda (kWh)	Generación fotovoltaica (kWh)	Consumo de energía eléctrica mensual (kWh)	Coste del consumo (€)
Enero	780	317	397	-700	-157,15
Febrero	632	252	766	-118	-26,491
Marzo	584	283	751	-116	-26,042
Abril	443	193	901	265	28,991
Mayo	252	151	1048	645	70,563
Junio	37	84	1024	903	98,7882
Julio	138	210	1142	794	86,8636
Agosto	98	282	1100	720	78,768
Septiembre	85	193	906	628	68,7032
Octubre	242	170	792	380	41,572
Noviembre	557	141	567	-131	-29,4095
Diciembre	738	171	390	-519	-116,5155
VALOR ANUAL					118,641

Tabla 18: Cálculo del coste de consumo eléctrico anual

Se muestran meses en los que el consumo de energía eléctrica es negativo, en base a que se calcula como generación fotovoltaica menos los consumos de la vivienda y aerotermia. En esos casos, ha sido necesaria la extracción de energía de la red para abastecer el consumo de la vivienda, por lo que el consumo estimado en kWh se multiplica por el precio impuesto por la empresa distribuidora Iberdrola 0,225 €/kWh. Los consumos positivos indican por tanto que la generación ha sido superior en esos meses, por lo que dicho exceso ha sido vertido a la red. Iberdrola valora los excesos importados a la red en 0,1094 €/kWh. Con los datos del precio de la energía en función de si se importa o exporta a la red, se calcula el coste mensual y luego se refleja la suma o total anual para realizar el estudio de la viabilidad del proyecto.

Para estudiar la rentabilidad de la propuesta, se debe escoger el periodo de estudio. El objetivo es saber si en el tiempo que la instalación fotovoltaica esté funcionando, antes de agotar su vida útil, el proyecto va a ser rentable económicamente. Los paneles fotovoltaicos tienen una vida útil alrededor de los 25 años, por lo que se estudiará la rentabilidad del mismo en ese tiempo.

Se tienen en cuenta las siguientes consideraciones para estudiar la rentabilidad de la propuesta:

- Se considera como ingreso el ahorro en gasóleo, debido a la sustitución de la caldera por un sistema de aerotermia que emplea energía eléctrica como fuente de alimentación.
- El nuevo consumo eléctrico anual ha sido previamente estimado, teniendo en cuenta la generación de la instalación fotovoltaica y el consumo de la vivienda una vez puesto en marcha el sistema de aerotermia.
- El anterior consumo eléctrico se considera un ahorro en energía eléctrica.
- Se estima sea necesario sustituir el inversor de la instalación fotovoltaica cada 10 años.
- Se reserva un fondo de maniobra de 100 € para la limpieza y mantenimiento de los paneles fotovoltaicos.
- El fondo de maniobra aumenta anualmente según el IPC actual, del mes de abril de 2023, un 3,1% respecto al del año 1.

Estas se aplican en la tabla a continuación, donde se reflejan los flujos de caja correspondientes al año 0 (la inversión inicial), el del año 1 (año de puesta en marcha) y el del año 10 (que refleja la sustitución del inversor).

	Año 0	Año 01	Año 10
Ahorro en consumo de gasóleo		1544,15	1544,15
Ahorro en energía eléctrica		736	736
Sustitución inversor			-817
Consumo energía eléctrica		118,65	118,65
Beneficio Antes de Impuestos		2398,8	1581,8
Impuestos (IVA)		503,748	332,178
Limpieza placas anual		-100	-127,9
Sistema de aerotermia	-17401		
Instalación fotovoltaica	-6915		
Flujo de caja	-24316	2802,548	1786,078

Tabla 19: Estudio de viabilidad de la propuesta

Los flujos de caja hasta el año 25 coinciden con el del año 1, exceptuando el aumento a razón del 3% del fondo de maniobra reservado para la limpieza de las placas, en relación al IPC de abril de 2023. Además, en los años 10 y 20 se incluye la sustitución del inversor, considerando la vida útil del mismo.

Una vez obtenidos los flujos de caja de los próximos 25 años, se puede estimar si el proyecto va a ser rentable a partir de indicadores económicos, el Valor Actual Neto (VAN), y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

El VAN³⁵ queda definido como un criterio de inversión, consistiendo en saber si un proyecto va a generar beneficio o pérdida, mediante la actualización de los cobros y pagos que se produzcan en dicho proyecto. Expresa una medida de rentabilidad del proyecto en número de unidades monetarias. Se calcula mediante la siguiente fórmula, en la que se reflejan todos los parámetros necesarios para su obtención.

³⁵ Morales, «Valor actual neto (VAN)».

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Ecuación 1: Fórmula del Valor Actual Neto (VAN)

Expresa el sumatorio de los flujos de caja (F_t), de cada periodo (año t) hasta el fin del proyecto (año n), a un tipo de interés exigido o impuesto al proyecto (k), menos la inversión inicial que suponga la puesta en marcha del proyecto.

Es un indicador de si la inversión es rentable. Si es positivo, indica que el proyecto generará beneficio en el periodo de estudio, al tipo de interés fijado. Si es negativo, indica que no se debe realizar la inversión pues generará pérdida de valor. Puede darse que el van sea nulo, por lo que resultará indiferente iniciar el proyecto, pues no añade valor.

Por otro lado, la Tasa Interna de Retorno (TIR)³⁶, se define como el porcentaje de beneficio que proporcionará una inversión o proyecto. Es una referencia del tipo de interés mínimo que debe dar una inversión para ser rentable. También se puede definir en base a su cálculo, como la tasa de interés que hace que el VAN sea nulo.

En consecuencia, a la hora de estudiar la rentabilidad de un proyecto, si la TIR es inferior a la tasa de descuento fijada, significa que los beneficios a largo plazo que pueda generar van a ser inferiores que la financiación de este, descontando los pagos futuros a su valor presente, indicando si es viable en el periodo de estudio.

Aplicando la información previa, al estudio económico del proyecto, se obtiene una TIR del 10%. Para obtener rentabilidad económica en el periodo de estudio, la tasa de descuento debe

³⁶ Arias, «Tasa interna de retorno (TIR) - Definición y ejemplos».

ser inferior que la Tasa Interna de Retorno calculada. Se fija una tasa de descuento del 4%, en vista de proyectos similares que emplean tasas de descuento de la misma magnitud. Con la ayuda de Excel, se calcula un VAN del proyecto de 17.863 €.

Como se ha explicado anteriormente, una TIR positiva indica la viabilidad del proyecto dentro del periodo de estudio. Fijando una tasa de descuento inferior a la TIR se obtiene por lo tanto un valor positivo del VAN.

Inclusive, se tiene en cuenta el Periodo de Retorno (PR) del proyecto, que indica el momento a partir del cual el proyecto empieza a generar beneficios. Como se muestra en la tabla a continuación, a partir del año 8 desde la puesta en marcha de la propuesta, se prevé empiece a generar beneficios.

Año	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado	Recuperación económica
0	-24316	-24316	-24316
1	2802,55	-21513,45	-21513,45
2	2799,45	-18714,00	-18714,00
3	2796,35	-15917,66	-15917,66
4	2793,25	-13124,41	-13124,41
5	2790,15	-10334,26	-10334,26
6	2787,05	-7547,21	-7547,21
7	2783,95	-4763,26	-4763,26
8	2780,85	-1982,42	-1982,42
9	2777,75	795,33	795,33
10	1786,08	2581,41	2581,41
11	2771,55	5352,96	5352,96
12	2768,45	8121,41	8121,41
13	2765,35	10886,75	10886,75
14	2762,25	13649,00	13649,00
15	2759,15	16408,15	16408,15
16	2756,05	19164,20	19164,20
17	2752,95	21917,15	21917,15
18	2749,85	24666,99	24666,99
19	2746,75	27413,74	27413,74
20	1755,08	29168,82	29168,82
21	2740,55	31909,37	31909,37
22	2737,45	34646,82	34646,82
23	2734,35	37381,16	37381,16
24	2731,25	40112,41	40112,41
25	2728,15	42840,56	42840,56

Tabla 20: Estudio del periodo de recuperación de la propuesta

Concluyendo el estudio de viabilidad económica, se ha demostrado que el proyecto presenta un periodo de retorno dentro de los límites establecidos (la vida útil de los equipos fotovoltaicos), por lo que es rentable económicamente. Los indicadores económicos empleados reflejan que el proyecto añade valor a la inversión inicial, con una tasa de descuento estimada inferior al 10%, y un Valor Actual Neto del proyecto de 17.000 €.

Se presenta en la Tabla 19 un desglose de la inversión inicial del proyecto, incluyendo tanto el equipo de aerotermia como la instalación fotovoltaica.

Descripción	Precio	Dto.	Importe
Sistema de aerotermia			14381,5
Pack bomba de calor aerotermia aroTHERM plus.	12395	30	8676,5
Control multizonas red 5.	450		450
Desacoplador hidráulico	620		620
Interacumulador de A.C.S VIH RW 200L	2060		2060
Instalación de bomba de calor.	2575		2575
Instalación fotovoltaica			5714,6
10 paneles solares Exiom Solution EX550MB-144			2550
Un inversor Huawei Solar SUN2000-5KTL-L1			816,7
Un medidor de corriente bidireccional Huawei Solar DDSU666H1-Ph 100 A			90,9
Otros componentes y mano de obra			2257
IVA (21%)			4220,181
TOTAL			24316,281

Tabla 21: Inversión económica del proyecto

Para mayor clarificación, se muestra en un diagrama de sectores las distintas partes de la inversión, siendo visiblemente superior la inversión destinada al sistema de aerotermia y su implementación en la vivienda.

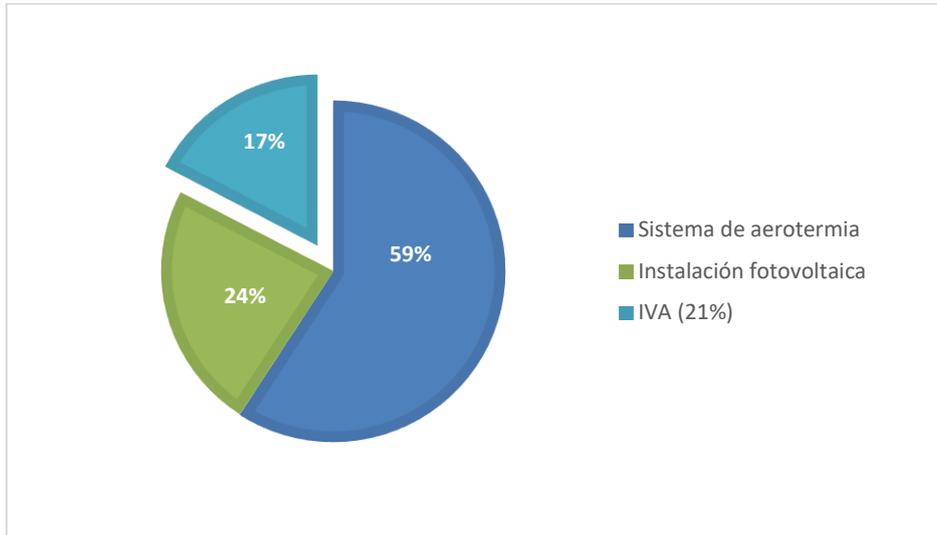


Figura 36: Diagrama de sectores de la inversión del proyecto

Capítulo 6. BIBLIOGRAFÍA

- [ADMI17] Administrador, "Revisión del rendimiento de una caldera de gas natural". Blog - MaesWell®, 10 de abril de 2017.
- [ADMI15] Administrador, "El valor U. La transmitancia térmica en edificación." Arquitectura y Energía, 23 de marzo de 2015.
- [ANDR23] Andrés S.A., "Tasa interna de retorno (TIR) - Definición y ejemplos", Economipedia, 1 de marzo de 2020.
- [JULI18] Julio A. Romero Alonso "Arrevol Arquitectos: 5 sistemas para mejorar el aislamiento térmico de tu vivienda", 5 de febrero de 2018.
- [MIKE22] Mikel Iturbe. "Aislamiento térmico por el interior - caloryfrio.com", Caloryfrio.com, 14 de febrero de 2022.
- [ANFA17] Departamento técnico de Anfapa, "SATE, paso a paso", Interempresas, 3 de mayo de 2017. <https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/185510-SATE-paso-a-paso.html>.
- [VICT20] Víctor Velayos Morales y José Francisco López, "Valor actual neto (VAN)". Economipedia, 1 de marzo de 2020.
- [GUIL22] Guillermo Ojeda, "Baterías para placas solares: Funcionamiento y Mejores marcas", Selectra, 1 de diciembre de 2022.
- [SIMA18] Grupo SIMA, "Propiedades de los materiales aislantes". PAEE, 27 de agosto de 2018. <https://passivhaus-paee.com/propiedades-de-los-materiales-aislantes/>.
- [ALEJ22] Alejandro San Vicente. "Calefacción por aerotermia. Funcionamiento y precios", caloryfrio.com, 14 de septiembre de 2022.

ANEXOS

ANEXO I CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA VIVIENDA

IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:

Nombre del edificio	LOS LIRIOS-5		
Dirección	C/ RIO MORO,19		
Municipio	León	Código Postal	24008
Provincia	León	Comunidad Autónoma	Castilla y León
Zona climática	E1	Año construcción	1996
Normativa vigente (construcción / rehabilitación)	NBE-CT-79		
Referencia/s catastral/es	7519137TN8271N0001BW		
Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:			
<input type="radio"/> Edificio de nueva construcción		<input checked="" type="radio"/> Edificio Existente	
<input checked="" type="radio"/> Vivienda <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="radio"/> Unifamiliar <input type="radio"/> Bloque <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Bloque completo <input type="radio"/> Vivienda individual 		<input type="radio"/> Terciario <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Edificio completo <input type="radio"/> Local 	

DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:

Nombre y Apellidos	JAVIER FERNÁNDEZ LLAMAS	NIF(NIE)	09770779B
Razón social	-	NIF	-
Domicilio	C/ LA FUENTE, 38		
Municipio	VILLOBISPO	Código Postal	24195
Provincia	León	Comunidad Autónoma	Castilla y León
e-mail:	APAREJADORJAVIERLLAMAS@GMAIL.COM	Teléfono	629124255
Titulación habilitante según normativa vigente	ARQUITECTO TÉCNICO		
Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión:	CEXv2.3		

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE [kWh/m ² año]		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO [kgCO ₂ / m ² año]	
 <p>< 67.7 A 67.7-104.0 B 104.0-155.2 C 155.2-231.1 D 231.1-442.6 E 442.6-517.8 F ≥ 517.8 G</p>	<p>222.8 D</p>	 <p>< 15.1 A 15.1-23.2 B 23.2-34.5 C 34.5-51.5 D 51.5-102.3 E 102.3-119.7 F ≥ 119.7 G</p>	<p>58.5 E</p>

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

Fecha: 01/05/2023

Firma del técnico certificador

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

Anexo I.II Calificación energética del edificio.

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

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

Registro del Órgano Territorial Competente:

ANEXO I. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL EDIFICIO

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

1. SUPERFICIE, IMAGEN Y SITUACIÓN

Superficie habitable [m ²]	236.0		
Imagen del edificio		Plano de situación	
			

2. ENVOLVENTE TÉRMICA

Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² -K]	Modo de obtención
CUBIERTA	Cubierta	63.5	0.70	Por defecto
FACHADA NORESTE	Fachada	50.8	1.40	Por defecto
FACHADA SURESTE	Fachada	66.25	1.40	Por defecto
FACHADA SUROSETE	Fachada	46.55	1.40	Por defecto
FACHADA NOROSETTE	Fachada	66.8	1.40	Por defecto
Suelo con terreno	Suelo	140.0	1.00	Por defecto

Huecos y lucernarios

Nombre	Tipo	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² ·K]	Factor solar	Modo de obtención. Transmitancia	Modo de obtención. Factor solar
1	Lucernario	1.5	3.08	0.61	Estimado	Estimado
2	Hueco	3.0	3.44	0.62	Estimado	Estimado
3	Hueco	0.75	3.44	0.62	Estimado	Estimado
4	Hueco	4.0	3.44	0.62	Estimado	Estimado
5	Hueco	3.2	3.44	0.62	Estimado	Estimado
6	Hueco	3.0	3.44	0.62	Estimado	Estimado
7	Hueco	0.75	3.44	0.62	Estimado	Estimado
8	Hueco	9.0	3.44	0.62	Estimado	Estimado
9	Hueco	3.0	3.44	0.62	Estimado	Estimado
10	Hueco	3.2	3.44	0.62	Estimado	Estimado
11	Hueco	3.2	3.44	0.62	Estimado	Estimado
Nombre	Tipo	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² ·K]	Factor solar	Modo de obtención. Transmitancia	Modo de obtención. Factor solar
12	Hueco	2.0	4.00	0.12	Estimado	Estimado
13	Hueco	2.0	4.00	0.12	Estimado	Estimado

3. INSTALACIONES TÉRMICAS

Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
Calefacción y ACS	Caldera Estándar	27.0	77.4	Gasóleo-C	Estimado
TOTALES	Calefacción				

Generadores de refrigeración

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

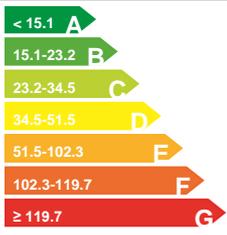
Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Demanda diaria de ACS a 60° (litros/día)		120.0			
Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
Calefacción y ACS	Caldera Estándar	27.0	77.4	Gasóleo-C	Estimado
TOTALES	ACS				

ANEXO I.II CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	E1	Uso	Residencial
----------------	----	-----	-------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

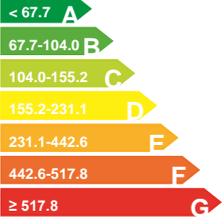
INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
		CALEFACCIÓN		ACS	
		<i>Emisiones calefacción [kgCO₂/m² año]</i>	E	<i>Emisiones ACS [kgCO₂/m² año]</i>	F
		50.68		7.26	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
<i>Emisiones globales [kgCO₂/m² año]</i>		<i>Emisiones refrigeración [kgCO₂/m² año]</i>	-	<i>Emisiones iluminación [kgCO₂/m² año]</i>	-
		0.52		-	

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

	kgCO ₂ /m ² año	kgCO ₂ /año
<i>Emisiones CO₂ por consumo eléctrico</i>	0.52	123.60
<i>Emisiones CO₂ por otros combustibles</i>	57.94	13674.69

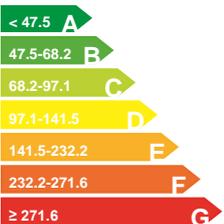
2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

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

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
	<p style="text-align: center;">222.8 D</p>	CALEFACCIÓN		ACS	
		<i>Energía primaria calefacción [kWh/m²año]</i>	D	<i>Energía primaria ACS [kWh/m² año]</i>	E
		192.13		27.54	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
<i>Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m² año]</i>		<i>Energía primaria refrigeración [kWh/m² año]</i>	-	<i>Energía primaria iluminación [kWh/m²año]</i>	-
		3.09		-	

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

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

DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN	
	<p style="text-align: center;">126.1 D</p>	No calificable	
<i>Demanda de calefacción [kWh/m² año]</i>		<i>Demanda de refrigeración [kWh/m² año]</i>	

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

ANEXO I.III RECOMENDACIONES PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Apartado no definido

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

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

Fecha de realización de la visita del técnico certificador	01/05/2023
---	------------

COMENTARIOS

ANEXO II INFORME DE SIMULACIÓN EN PVSYS



Version 7.3.4

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: Estructura psfv los lirios

Variant: simulacion 10 placas 550

No 3D scene defined, no shadings

System power: 5.50 kWp

Estructura psfv rio moro - España

| Author



Project: Estructura psfv los lirios

Variant: simulacion 10 placas 550

PVsyst V7.3.4

VC3, Simulation date:
23/06/23 12:02
with v7.3.4

Project summary

Geographical Site Estructura psfv rio moro España	Situation Latitude 42.62 °N Longitude -5.59 °W Altitude 846 m Time zone UTC+1	Project settings Albedo 0.20
Meteo data Estructura psfv rio moro PVGIS api TMY		

System summary

Grid-Connected System Simulation for year no 1	No 3D scene defined, no shadings		
PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 40 / -20 °	Near Shadings No Shadings	User's needs Monthly values	
System information PV Array Nb. of modules 10 units Pnom total 5.50 kWp	Inverters Nb. of units 1 unit Pnom total 7.50 kWac Pnom ratio 0.733		

Results summary

Produced Energy 9585.93 kWh/year	Specific production 1743 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 88.41 %
Used Energy 2444.36 kWh/year		Solar Fraction SF 43.92 %

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Horizon definition	4
Main results	5
Loss diagram	6
Predef. graphs	7
Single-line diagram	8



Project: Estructura psfv los lirios

Variant: simulacion 10 placas 550

PVsyst V7.3.4

VC3, Simulation date:
23/06/23 12:02
with v7.3.4

General parameters

Grid-Connected System				No 3D scene defined, no shadings											
PV Field Orientation				Sheds configuration											
Orientation				No 3D scene defined											
Fixed plane				Models used											
Tilt/Azimuth				40 / -20 *		Transposition		Perez							
						Diffuse		Imported							
						Circumsolar		separate							
Horizon				Near Shadings				User's needs							
Average Height				2.2 *				No Shadings				Monthly values			
Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year			
316	251	284	193	150	84.0	209	282	192	170	141	171	2443	kWh/mth		

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	CS6W-550MS 1500V	Model	7.5 kWac Inverter
(Original PVsyst database)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power	550 Wp	Unit Nom. Power	7.50 kWac
Number of PV modules	10 units	Number of Inverters	1 unit
Nominal (STC)	5.50 kWp	Total power	7.5 kWac
Modules	1 String x 10 In series	Operating voltage	150-750 V
At operating cond. (50°C)		Max. power (~>25°C)	8.00 kWac
Pmpp	5.04 kWp	Pnom ratio (DC:AC)	0.73
U mpp	376 V	Power sharing within this inverter	
I mpp	13 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	6 kWp	Total power	7.5 kWac
Total	10 modules	Max. power	8 kWac
Module area	25.6 m ²	Number of Inverters	1 unit
		Pnom ratio	0.73

Array losses

Array Soiling Losses		Thermal Loss factor		DC wiring losses				
Loss Fraction	2.0 %	Module temperature according to Irradiance		Global array res.	463 mΩ			
		Uc (const)	29.0 W/m ² K	Loss Fraction	1.5 % at STC			
		Uv (wind)	0.0 W/m ² K/m/s					
Module Quality Loss		Module mismatch losses		Module average degradation				
Loss Fraction	-0.5 %	Loss Fraction	2.0 % at MPP	Year no	1			
				Loss factor	0.46 %/year			
				Mismatch due to degradation				
				Imp RMS dispersion	0 %/year			
				Vmp RMS dispersion	0 %/year			
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): User defined profile								
10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0.998	0.998	0.995	0.992	0.986	0.970	0.917	0.763	0.000



Project: Estructura psfv los lirios

Variant: simulacion 10 placas 550

PVsyst V7.3.4

VC3, Simulation date:
23/06/23 12:02
with v7.3.4

Horizon definition

Horizon from PVGIS website API, Lat=42°37'2", Long=-5°35'34", Alt=846m

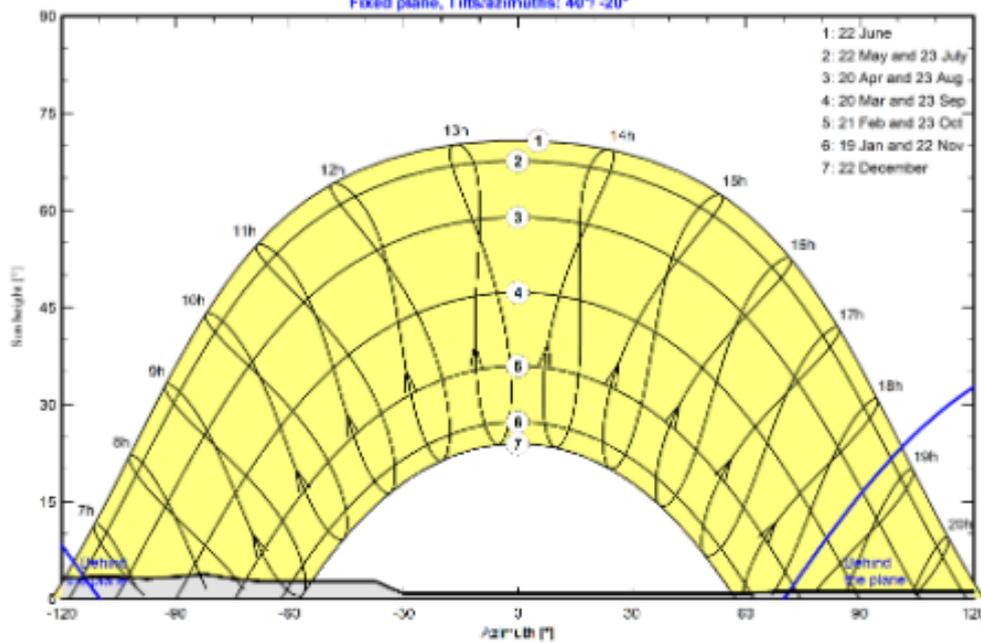
Average Height	2.2 *	Albedo Factor	0.92
Diffuse Factor	0.99	Albedo Fraction	100 %

Horizon profile

Azimuth [°]	-180	-173	-165	-158	-150	-128	-120	-113	-105	-98	-90
Height [°]	3.1	4.6	5.3	4.6	3.8	3.8	3.1	3.4	3.4	3.1	3.4
Azimuth [°]	-83	-75	-68	-38	-30	60	68	143	150	180	
Height [°]	3.8	3.1	2.7	2.7	0.8	0.8	1.1	1.1	3.1	3.1	

Sun Paths (Height / Azimuth diagram)

Fixed plane, Tilts/azimuths: 40° -20°





Project: Estructura psfv los lirios

Variant: simulacion 10 placas 550

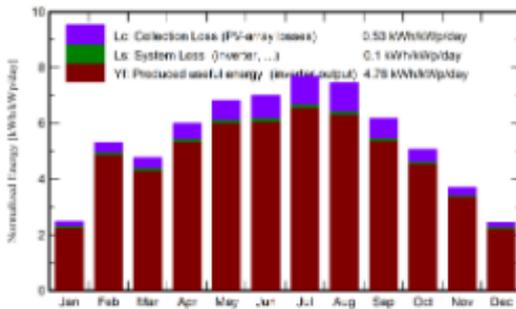
PVsyst V7.3.4

VC3, Simulation date:
23/06/23 12:02
with v7.3.4

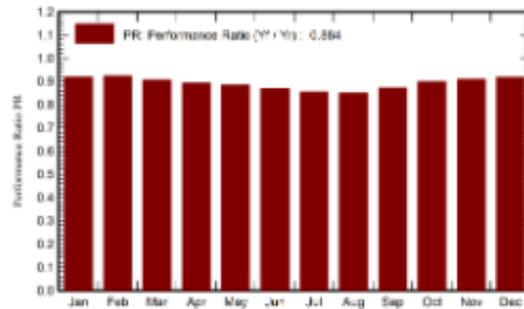
Main results

System Production			
Produced Energy	9585.93 kWh/year	Specific production	1743 kWh/kWp/year
Used Energy	2444.38 kWh/year	Perf. Ratio PR	88.41 %
		Solar Fraction SF	43.92 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
January	46.8	25.42	4.67	76.4	73.2	397	316.2	96.8	289	219.4
February	91.2	29.59	2.57	148.2	142.5	766	251.3	100.0	652	151.3
March	116.6	50.89	5.95	147.6	141.4	751	284.2	124.8	611	159.4
April	163.0	62.61	9.73	179.8	172.2	901	193.0	96.8	786	96.2
May	214.5	71.04	11.92	211.3	202.1	1048	150.3	81.0	946	69.3
June	228.4	71.72	16.57	210.0	200.5	1024	84.2	48.3	954	36.0
July	251.2	57.43	20.87	238.6	228.1	1142	209.1	115.0	1005	94.1
August	218.0	49.98	21.86	230.8	221.2	1100	282.0	142.9	936	139.1
September	151.4	49.26	16.79	185.3	177.8	906	192.2	88.6	800	103.6
October	104.6	36.92	10.37	156.9	151.0	792	169.6	70.0	706	99.6
November	63.2	24.60	8.21	111.1	106.6	567	141.1	51.9	503	89.2
December	42.5	22.87	2.10	75.2	71.7	390	171.1	57.5	322	113.6
Year	1691.3	552.33	11.02	1971.4	1888.4	9783	2444.4	1073.6	8512	1370.8

Legends

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

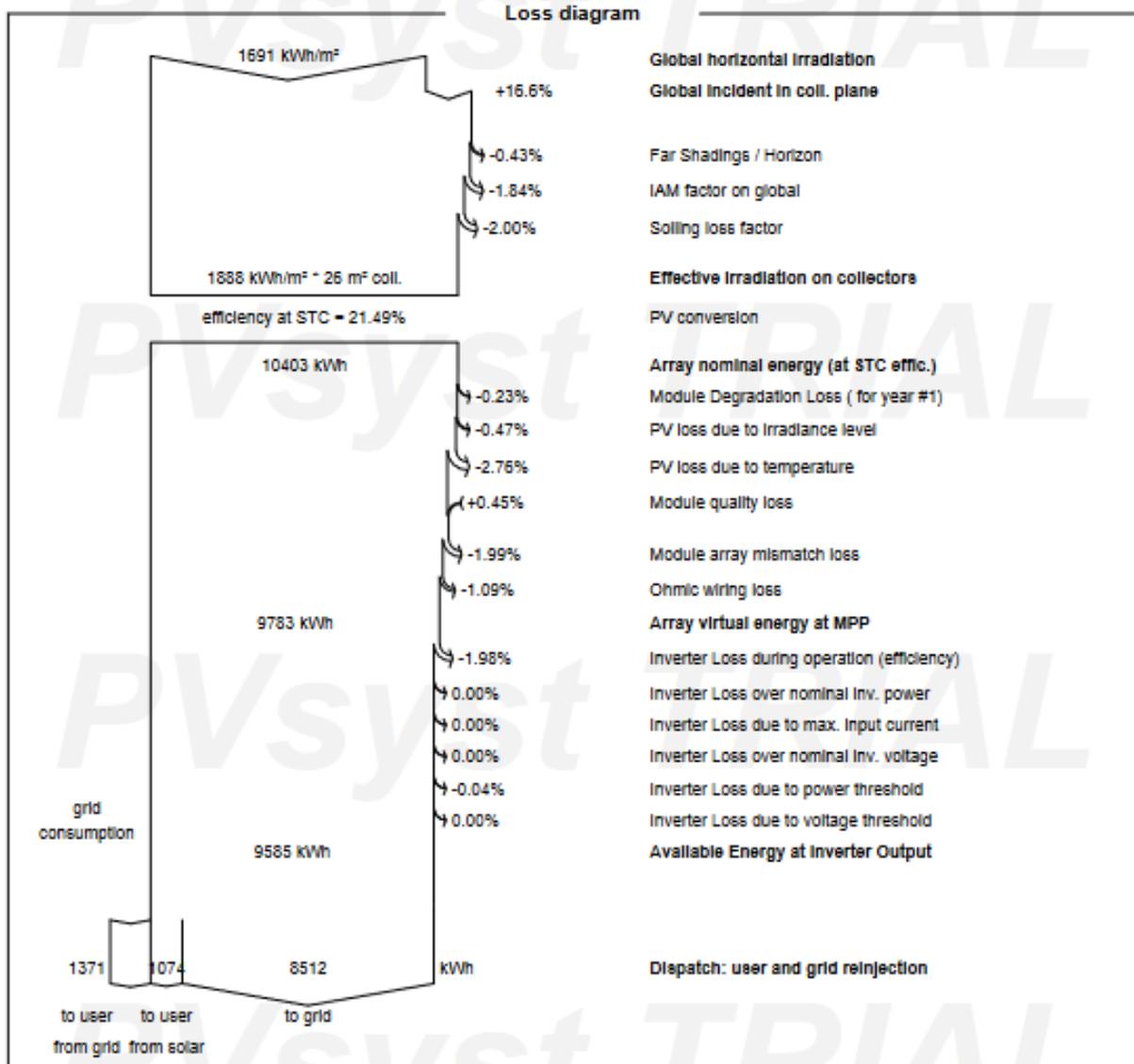


Project: Estructura psfv los lirios

Variant: simulacion 10 placas 550

PVsyst V7.3.4

VC3, Simulation date:
23/06/23 12:02
with v7.3.4





Project: Estructura psfv los lirios

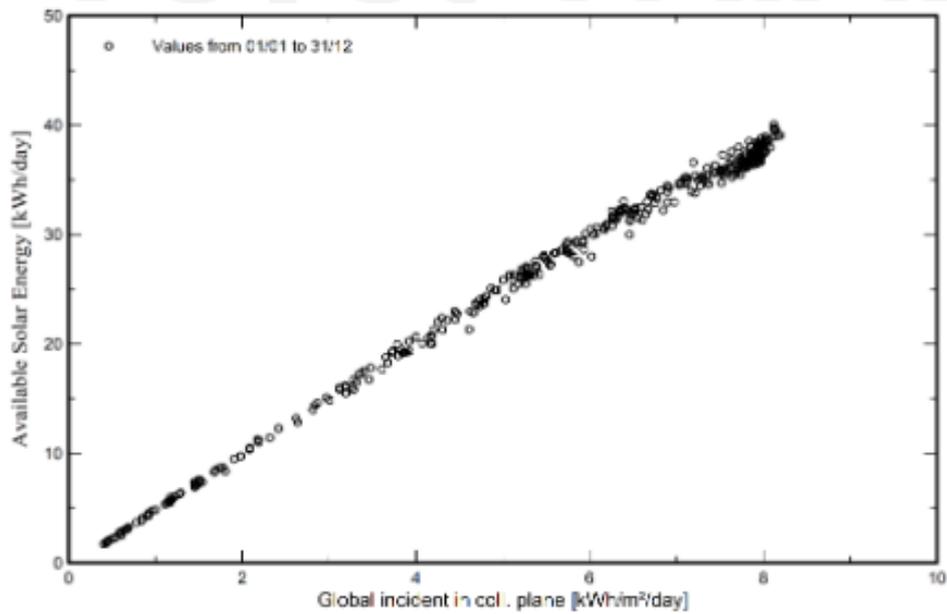
Variant: simulacion 10 placas 550

PVsyst V7.3.4

VC3, Simulation date:
23/06/23 12:02
with v7.3.4

Predef. graphs

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de potencia de salida del sistema

