



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

## OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD EN VIVIENDAS: UN ENFOQUE PRÁCTICO EN LA RENOVACIÓN DE EDIFICACIONES ANTIGUAS

Autor: Jorge Garcia-Parreño Veguillas

Director: Íñigo Sanz Fernández

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título:  
**Optimización energética y sostenibilidad en viviendas: un enfoque práctico en la renovación de edificaciones antiguas**  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico **2023/2024** 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.: Jorge Garcia-Parreño Veguillas

Fecha: 04/06/2024



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Íñigo Sanz Fernández

Fecha: 04/06/2024

**SANZ  
FERNANDEZ  
IÑIGO  
52367115W**

Firmado digitalmente por  
SANZ FERNANDEZ  
IÑIGO - 52367115W  
Fecha: 2024.06.04  
22:20:47 +02'00'



# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

## OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD EN VIVIENDAS: UN ENFOQUE PRÁCTICO EN LA RENOVACIÓN DE EDIFICACIONES ANTIGUAS

Autor: Jorge Garcia-Parreño Veguillas

Director: Íñigo Sanz Fernández

Madrid

# **OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD EN VIVIENDAS: UN ENFOQUE PRÁCTICO EN LA RENOVACIÓN DE EDIFICACIONES ANTIGUAS**

**Autor:** Garcia-Parreño Veguillas, Jorge

**Director:** Sanz Fernández, Íñigo

**Entidad colaboradora:** ICAI - Universidad Pontificia Comillas

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

El presente trabajo se enfoca en la optimización energética de una vivienda unifamiliar ubicada en Madrid, España, con el objetivo de mejorar la eficiencia energética implementando tecnologías de aprovechamiento de energías renovables, en concreto la energía solar. Se realizó un análisis exhaustivo de la demanda y el consumo de la vivienda, identificando los principales elementos que contribuyen al consumo energético. Se propuso un sistema combinado de paneles solares fotovoltaicos y térmicos, un sistema de acumulación de ACS y una caldera de condensación. Los resultados indicaron un ahorro anual energético estimado de 10704 kWh en energía eléctrica y 383 kWh en energía térmica, con un ahorro económico de 1325 € anuales.

**Palabras clave:** Optimización Energética, Sostenibilidad, Renovación, Edificaciones Antiguas

### **1. Introducción**

En los últimos años ha crecido la preocupación por la sostenibilidad energética en todos los ámbitos. Desde la escala más grande como las fábricas y plantas de producción, hasta el uso por particulares en viviendas. La Unión Europea ha promovido diversas iniciativas para fomentar la sostenibilidad, destacando la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios, la Estrategia sobre la Renovación de Edificios, y la Certificación Energética de Edificios.

### **2. Definición del proyecto**

Este trabajo se enfoca en la optimización energética de una vivienda unifamiliar en Madrid, España, con el objetivo de mejorar la eficiencia energética mediante la implementación de tecnologías de energías renovables, principalmente la energía solar. Se realizó un análisis exhaustivo tanto de la demanda como del consumo energético de la vivienda.

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

Se propuso un sistema combinado de paneles solares fotovoltaicos y térmicos, un sistema de acumulación de ACS y una caldera de condensación. La implementación de estos sistemas se diseñó para maximizar el aprovechamiento de la energía solar disponible en Madrid.

### 4. Resultados

Los resultados del estudio indicaron un ahorro anual energético estimado de 10704 kWh en energía eléctrica y 383 kWh en energía térmica. Esto se traduce en un ahorro económico anual de 1325 €. Además, se calculó el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto en 558.91 € y un periodo de retorno de 24 años.

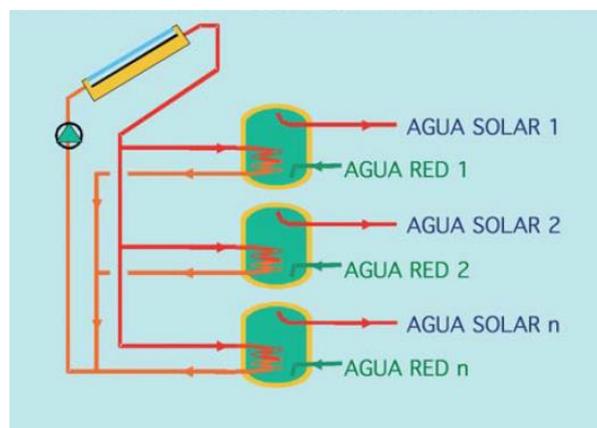


Figure 1: ACS con Energía Solar y acumulación distribuida en viviendas (Zorraquino et al., 2005)

### 5. Conclusiones

A pesar de que el periodo de retorno de la inversión puede ser alto, la vida útil de los elementos instalados asegura beneficios económicos a largo plazo. La implementación de tecnologías de energía solar en viviendas antiguas puede resultar en ahorros significativos y contribuir a la sostenibilidad energética.

### 6. Referencias

Zorraquino, J. M., García San José, R., López de Subijana, R., & Casado, J. M. (2005).

Integración de calderas individuales en las instalaciones de ACS con energía solar. En DYNA: Vol. LXXX–LXXX (pp. 32-36).

# **ENERGY OPTIMIZATION AND SUSTAINABILITY IN HOUSING: A PRACTICAL APPROACH TO RENOVATING OLD BUILDINGS**

**Author:** Garcia-Parreño Veguillas, Jorge

**Director:** Sanz Fernández, Íñigo

**Collaborating Entity:** ICAI - Universidad Pontificia Comillas

## **ABSTRACT**

The present work focuses on the energy optimization of a single-family home located in Madrid, Spain, aiming to improve energy efficiency by implementing renewable energy technologies, specifically solar energy. An exhaustive analysis of the home's demand and energy consumption was performed, identifying the main elements contributing to energy usage. A combined system of photovoltaic and thermal solar panels, a domestic hot water storage system, and a condensing boiler were proposed. The results indicated an estimated annual energy saving of 10,704 kWh in electrical energy and 383 kWh in thermal energy, with an economic saving of €1,325 per year.

**Keywords:** Energy Optimization, Sustainability, Renovation, Old Buildings

### **1. Introduction**

In recent years, concern for energy sustainability has grown in all areas, from large-scale facilities like factories and production plants to individual use in homes. The European Union has promoted various initiatives to foster sustainability, notably the Energy Efficiency Directive for Buildings, the Building Renovation Strategy, and the Energy Performance Certification of Buildings.

### **2. Project Definition**

This work focuses on the energy optimization of a single-family home in Madrid, Spain, aiming to improve energy efficiency through the implementation of renewable energy technologies, mainly solar energy. An exhaustive analysis of both the demand and energy consumption of the home was carried out.

### 3. Description of the Model/System/Tool

A combined system of photovoltaic and thermal solar panels, a domestic hot water storage system, and a condensing boiler was proposed. The implementation of these systems was designed to maximize the use of available solar energy in Madrid.

### 4. Results

The results of the study indicated an estimated annual energy saving of 10,704 kWh in electrical energy and 383 kWh in thermal energy. This translates into an annual economic saving of €1,325. Additionally, the Net Present Value (NPV) of the project was calculated at €558.91, with a payback period of 24 years.

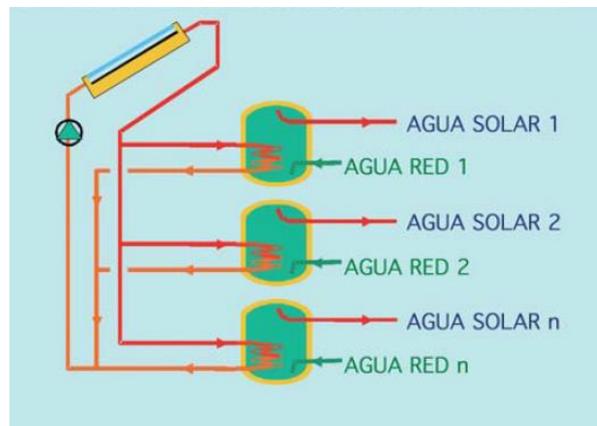


Figure 2: ACS con Energía Solar y acumulación distribuida en viviendas (Zorraquino et al., 2005)

### 5. Conclusions

Although the payback period for the investment may be long, the lifespan of the installed elements ensures long-term economic benefits. The implementation of solar energy technologies in old homes can result in significant savings and contribute to energy sustainability.

### 6. References

Zorraquino, J. M., García San José, R., López de Subijana, R., & Casado, J. M. (2005).

Integración de calderas individuales en las instalaciones de ACS con energía solar. En DYNA: Vol. LXXX–LXXX (pp. 32-36).

# Índice de contenidos

RESUMEN DEL PROYECTO.....	3
ABSTRACT.....	5
Introducción .....	8
1.1.    Motivación .....	9
1.2.    Objetivos .....	11
1.3.    Metodología .....	12
2.    Caracterización de la vivienda .....	13
2.1.    Descripción de las características energéticas de la vivienda.....	15
2.2.    Caracterización de la demanda .....	16
2.2.1.    Caracterización de la demanda térmica .....	16
2.2.2.    Caracterización de la demanda eléctrica.....	18
2.2.3.    Caracterización de la demanda total .....	23
2.3.    Caracterización del consumo .....	24
3.    Análisis técnico: Optimización energética de la instalación.....	27
3.1.    Viabilidad de los distintos tipos de energía renovable para la vivienda de estudio.....	28
3.1.1.    Viabilidad de la energía solar .....	28
3.1.2.    Viabilidad de la biomasa.....	29
3.1.3.    Viabilidad de otras fuentes de energía .....	30
3.2.    Implementación de energía solar .....	31
3.2.1.    Elementos necesarios .....	32
3.2.2.    Implementación del nuevo sistema.....	35
3.3.    Alternativas energéticas y tecnológicas .....	42
4.    Propuesta para la instalación.....	44
4.1.    Viabilidad económica .....	44
5.    Conclusiones .....	48
6.    Referencias.....	50
7.    Anexo.....	55
7.1.    Datos de cerramientos.....	55
7.2.    Datos de huecos y lucernarios.....	58
7.3.    Análisis de las facturas de la vivienda (año 2023).....	61
7.4.    Cálculos de viabilidad financiera.....	64

## **Introducción**

En los últimos años ha crecido la preocupación por la sostenibilidad energética en todos los ámbitos, desde la escala más grande como las fábricas y las plantas de producción tanto de energía como de productos al consumidor, hasta el uso por particulares de calefacción y energía, por ejemplo, en viviendas. Con cada edificación nueva que se lleva a cabo, cada vez son más los edificios que tienen en cuenta el consumo de energía de forma sostenible, y las tecnologías cuyo objetivo es aprovechar al máximo el uso de energía (calefacción, electricidad, etc.) están cada vez más presentes en ellos.

En concreto, desde hace ya varios años la Unión Europea ha fomentado iniciativas para promover la sostenibilidad en todos los sectores mencionados anteriormente, y en concreto refiriéndose tanto a la construcción como a la reforma de viviendas. Entre otras, las más destacadas son la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios (DEEE), Estrategia sobre la Renovación de Edificios, o la Certificación Energética de Edificios. Todas ellas tienen como objetivo principal mejorar la eficiencia de los edificios mediante el uso de energías renovables y concienciar a la población tanto de los beneficios económicos que pueden conllevar estas iniciativas como de los beneficios para el medio ambiente.

De las muchas tecnologías renovables que se han desarrollado en los últimos años destacan las que aprovechan la energía solar, cuyos principales componentes son las placas solares, debido a la inagotable fuente de energía solar, facilidad de implementación de dichos paneles, así como su bajo impacto en el medio ambiente. Existen dos tipos principales de paneles que pueden ser usados con este fin, paneles solares fotovoltaicos y paneles solares térmicos. El primer tipo convierte la energía solar en electricidad, mientras que los otros contienen agua en su interior que se calienta gracias a la energía solar; esta agua luego puede emplearse para abastecer las necesidades de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) de la vivienda.

## **1.1. Motivación**

El trasfondo de este proyecto, que busca optimizar la energía en la vivienda estudiada, resulta muy relevante en el contexto actual debido a varios factores cruciales que impactan a nivel local y global. Entre ellos destacan el cambio climático y la sostenibilidad, nuevas leyes y regulaciones energéticas a nivel nacional e internacional, avances tecnológicos en el sector energético, y un aumento de la conciencia ciudadana y la demanda por viviendas sostenibles.

En este trabajo se aborda el problema de la optimización energética en viviendas particulares, destacando su relevancia en el contexto actual marcado por el cambio climático, la sostenibilidad energética impulsada por organismos nacionales e internacionales.

Según el informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el cambio climático es un hecho innegable y las actividades humanas, incluyendo la generación de energía, son una de las principales causas de este fenómeno (IPCC, 2021). La optimización energética en viviendas contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al uso de energías convencionales, ayudando así a mitigar el cambio climático.

En España, la normativa clave en materia de eficiencia energética en edificaciones es el Código Técnico de la Edificación (CTE), que establece requisitos mínimos de eficiencia energética en nuevos edificios y en reformas importantes de edificios existentes (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, s.f.). Estas regulaciones impulsan la adopción de prácticas más sostenibles en el sector de la construcción y la vivienda. En el ámbito internacional, el Acuerdo de París es un acuerdo clave que establece medidas para la mitigación del cambio climático a nivel global. Dentro de este marco, el capítulo VI del Acuerdo de París aborda específicamente la necesidad de promover acciones para aumentar la resiliencia climática y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector de la construcción y las edificaciones (Acuerdo de París, 2015).

De acuerdo con el informe "Tecnologías de energía limpia para el cambio climático" de la Agencia Internacional de Energía (AIE), los avances tecnológicos en energías renovables, almacenamiento de energía y eficiencia energética están transformando rápidamente el panorama energético global (AIE, 2020). Estas tecnologías ofrecen oportunidades concretas para mejorar la eficiencia energética en viviendas y reducir su huella ambiental.

Con el respaldo de normativas nacionales e internacionales y el avance continuo de las tecnologías energéticas, es posible crear hogares más eficientes y sostenibles. Este proyecto pretende aportar soluciones prácticas, efectivas y sostenibles que puedan ser replicadas por viviendas similares, contribuyendo de manera significativa a la reducción del impacto ambiental de las viviendas.

Si nos enfocamos en el sector de las viviendas particulares, en España un 21 % de los hogares se abastecen de fuentes de energía renovables para sus necesidades energéticas, dato que comparte con muchos de los países miembros de la Unión Europea (Eurostat, 2023). Esta cifra abarca desde calefacción hasta el uso de agua caliente sanitaria, en cuya optimización se va a centrar este trabajo. En el contexto español, el uso de energía solar fotovoltaica y térmica en viviendas ha crecido debido a la reducción de costos y a políticas de incentivos. La International Renewable Energy Agency (IRENA) también destaca que España ha sido un líder en la adopción de energías renovables, con un enfoque particular en la energía solar y eólica, lo que ha facilitado la integración de estas tecnologías en el sector residencial.

El uso de la energía solar, en particular, se ha visto favorecido gracias a la investigación y a una reducción de costes de los paneles solares, ya sean térmicos o fotovoltaicos. De hecho, del uso total de estos paneles en el país, un 32 % corresponde al uso por parte de viviendas particulares (Williamson & Williamson, 2022). Factores como las políticas gubernamentales de apoyo, reducción de costes, reformas en las regulaciones energéticas, así como una mayor conciencia ambiental entre los consumidores han favorecido el aumento en el uso de estas tecnologías en los últimos años.

## **1.2. Objetivos**

El objetivo principal de este trabajo es realizar un estudio de sostenibilidad energética de una vivienda unifamiliar con el objetivo de optimizar uno o varios elementos singulares de la misma, para así mejorar la eficiencia energética de la vivienda en su conjunto. La instalación que será objeto de estudio es mi casa (vivienda particular), y además de pertenecer a un edificio antiguo, no ha sido reformada nunca en términos de elementos de consumo de energía.

Más allá del estudio de sostenibilidad podemos definir objetivos adicionales dentro de la magnitud general del trabajo. Entre ellos destacan:

- Caracterizar la vivienda desde el punto de vista energético para tener un punto de partida en el estudio
- Analizar nuevas tecnologías energéticas desarrolladas para viviendas unifamiliares
- Estudiar fuentes de energía alternativas a la empleada en la instalación actual
- Evaluar el uso de esta(s) fuente(s) de energía en compenetración con tecnologías viables en la vivienda estudiada
- Estudiar la viabilidad económica de las nuevas medidas y tecnologías, y seleccionar las más factibles

### **1.3. Metodología**

La metodología que se empleará en este proyecto se estructura de la siguiente manera:

La primera parte abordará un análisis de la literatura existente en cuanto a tecnologías de uso de energía en viviendas, del estado actual de la eficiencia energética en España y la Unión Europea, enfocándose específicamente en el sector residencial. También se investigará el uso de distintos tipos de energía, y como está evolucionando el panorama energético a medida que se lleva a cabo una transición a fuentes de energías renovables, como la solar o la geotermia, en contraste con fuentes de energía tradicionales como la eléctrica y el gas natural, que son las que se emplean actualmente en la vivienda de estudio.

Para llevar a cabo la caracterización de la vivienda se utilizarán dos métodos principales. El primer método consistirá en una observación detallada del equipamiento para determinar los distintos consumos eléctricos. El segundo método incluirá el estudio y la recopilación de documentos necesarios para definir la arquitectura, la demanda térmica y los gastos energéticos de la vivienda. Los documentos pertinentes incluirán las facturas energéticas, los planos de la vivienda y las especificaciones técnicas de la caldera y el sistema de refrigeración, así como el resto de los electrodomésticos y aparatos de uso diario.

La tercera parte del trabajo consistirá en estudiar diferentes alternativas a uno o varios elementos del sistema energético de la vivienda con el objetivo de sustituir los aparatos que estén obsoletos. Esto necesita del previo análisis de consumos y gasto energético para determinar cuáles son las mejores alternativas que proporcionen mayor ahorro energético y económico. Se estudiará la disposición física de la vivienda, así como los planos de esta, para conseguir la localización óptima de los nuevos elementos. Para asegurarse de que la instalación de los nuevos elementos sea posible llevarla a cabo se contactará con la dirección de la comunidad de propietarios, solicitando autorización formal para la instalación y así garantizar el cumplimiento de normativas y regulaciones vigentes.

La cuarta parte del trabajo consistirá en el estudio económico-financiero de las nuevas medidas y elementos instalados, centrándose específicamente en el ahorro incurrido en la factura energética. Este estudio tendrá en cuenta los costes de instalación, los ahorros energéticos y económicos, y se compararán dichos costes con los beneficios obtenidos para determinar la viabilidad económica de cada medida. Se utilizarán indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN) y el periodo de retorno para este fin.

## 2. Caracterización de la vivienda

La vivienda que será objeto de estudio se encuentra en el municipio de Moncloa-Aravaca, Madrid. Se trata de un piso dentro de una urbanización (C.P. Uriasol), formada por seis bloques de edificios, y en concreto se encuentra en un bajo. El edificio en el que se encuentra la vivienda se construyó en el año 1984, y la vivienda en cuestión ha sufrido muy pocas reformas desde su construcción. Se incluyen a continuación una vista aérea y una imagen del edificio:



*Figura 1: Vista aérea de la vivienda (Google Maps, 2024)*



*Figura 1: Plano frontal de la vivienda (Guijarro Ramón, 2023)*

El edificio es una vivienda de 205.5 m<sup>2</sup>, de los cuales 156 son habitables y 49.5 componen la terraza. En este trabajo solo se tendrán en cuenta los metros cuadrados habitables, tanto desde el punto de vista térmico como el punto de vista eléctrico.

Las paredes de la vivienda están orientadas en dirección sur y oeste. Esto implica una serie de cosas, como por ejemplo que las paredes orientadas al sur (el salón en este caso) reciben más luz solar durante el día. Además, al estar una de las paredes orientadas hacia el este dicha pared, a la cual dan todas las habitaciones de la vivienda, va a recibir mayor iluminación durante la mañana. Estas características de la vivienda puede que haya que tenerlas en cuenta para el estudio energético que implica este trabajo. La latitud y longitud de la vivienda son: 40.456671079552606, -3.780532329544317.

La vivienda está ubicada en Madrid, ciudad cuya zona climática está clasificada como D3. Presenta clima continental, caracterizado por temperaturas bajas en invierno y altas en verano, con un nivel de precipitación medio. Esto también podría ser un punto para considerar en el análisis junto con la información de la orientación mencionada anteriormente.

## 2.1. Descripción de las características energéticas de la vivienda

A continuación, se describirán las características energéticas principales de la vivienda, entendiéndose como tal a las propiedades y sistemas relacionados con el consumo, la eficiencia y la generación de energía en la vivienda. Un aspecto importante es la envolvente térmica de la vivienda, en concreto los cerramientos opacos y los huecos y lucernarios, ya que de estos dependen las pérdidas térmicas que pueda tener la vivienda, aumentando los costes energéticos si son muy elevadas. En el Anexo se incluyen las tablas de cerramientos y de los huecos y lucernarios de la vivienda.

En lo que respecta a los generadores de calefacción, se sabe que la vivienda estudiada (así como el resto de las viviendas del edificio) se abastece de una caldera estándar de gas natural para sus necesidades de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS). La caldera estándar tiene un rendimiento estacional de 70.9 % y una potencia nominal de 30 kW.

<b>Tipo</b>	<b>Potencia nominal [kWh]</b>	<b>Rendimiento estacional [%]</b>	<b>Tipo de energía</b>
<b>Caldera Estándar</b>	30	70.9	Gas Natural

*Tabla 1: Características técnicas de la caldera de la urbanización (Guijarro Ramón, 2023)*

Gracias a estas especificaciones tenemos una caracterización energética completa de la vivienda a estudiar, y podremos partir de esta base para calcular los valores necesarios para realizar la auditoría energética.

## 2.2. Caracterización de la demanda

A continuación, se llevará a cabo una caracterización de la demanda actual de la vivienda, tanto térmica como eléctrica, para posteriormente poder implementar medidas que la reduzcan.

### 2.2.1. Caracterización de la demanda térmica

En general, la demanda térmica está compuesta de la calefacción, el agua caliente sanitaria (ACS), y del sistema de refrigeración. Se mide en kWh/m<sup>2</sup> anuales. Depende principalmente de factores como el tamaño de la vivienda, los dispositivos eléctricos presentes, los electrodomésticos que se utilicen diariamente, y los hábitos de consumo de los residentes. También puede depender del clima, y en este caso concreto lo consideraremos relevante porque en Madrid, ciudad en la que se localiza la vivienda, durante la época de verano las temperaturas pueden llegar a ser muy elevadas (en torno a 40°C) y en invierno muy bajas (por debajo de 0°C habitualmente).

Una estimación de la demanda actual de la vivienda se puede obtener de la calificación energética del edificio (Guijarro Ramón, 2023) que en este caso es una E, con un consumo de energía anual de 147 kWh/m<sup>2</sup>. Esta cifra la componen los consumos de energía primaria de calefacción (119.06 kWh/m<sup>2</sup>), energía primaria de ACS (16.61 kWh/m<sup>2</sup>) y energía primaria de refrigeración (11.39 kWh/m<sup>2</sup>).

La caldera eléctrica que se utiliza en la vivienda suministra energía tanto para la calefacción y para el ACS, sumando un total de 135.67 kWh/m<sup>2</sup>.

Para calcular la demanda térmica final utilizaremos los datos de consumo calculados junto con el rendimiento de la caldera. Conociendo el rendimiento de la caldera (70.9 %), podemos calcular la demanda anual de calefacción multiplicando este dato y el de energía consumida:

$$E_{dem\ calef} = \eta * E_{consumida} = 0.709 * 2.16 = 84.41 \text{ kWh/m}^2 \quad (1)$$

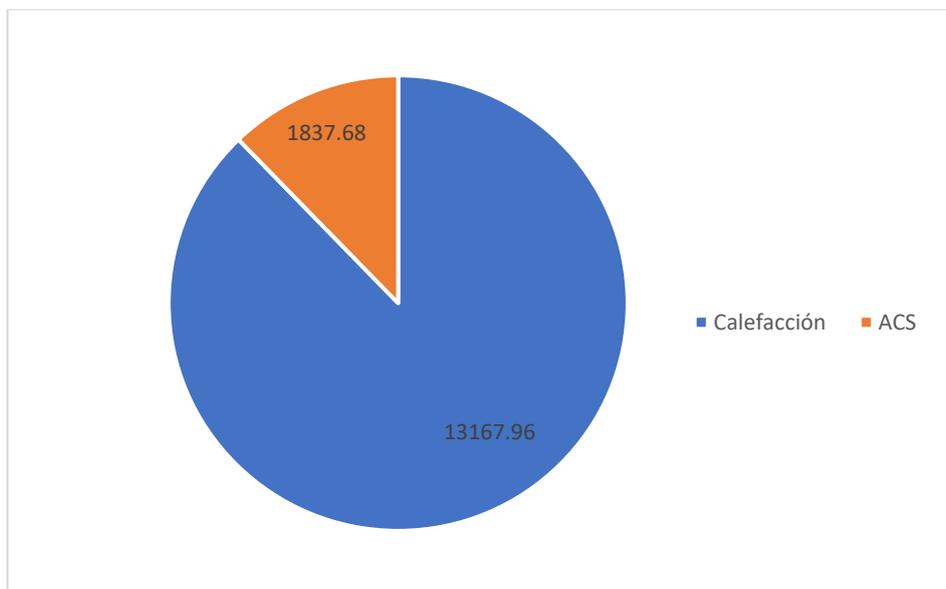
Finalmente, la demanda térmica anual de ACS a 60°C se puede calcular de la misma manera que la demanda térmica por calefacción gracias al rendimiento de la caldera y al consumo de energía por ACS:

$$E_{dem\ ACS} = \eta * E_{consumida} = 0.709 * 16.61 = 11.78 \text{ kWh/m}^2 \quad (2)$$

Una vez calculados los datos de demanda térmica podemos recopilarlos en una tabla, para facilitar su análisis, obteniendo los kWh consumidos anualmente multiplicando la demanda en kWh/m<sup>2</sup> por los metros cuadrados de la vivienda (156 m<sup>2</sup>):

	<b>Demanda anual [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Demanda anual [kWh]</b>	<b>Porcentaje de la demanda térmica total [%]</b>
<b>Calefacción</b>	84.41	13,168	87.75
<b>ACS</b>	11.78	1,838	12.25
<b>Total</b>	96.19	15,006	100

*Tabla 2: Demanda térmica anual (elaboración propia)*



*Figura 2: Demanda térmica anual (elaboración propia)*

### 2.2.2. Caracterización de la demanda eléctrica

La demanda eléctrica de la vivienda viene determinada principalmente por tres variables: los electrodomésticos, la iluminación y el aire acondicionado. Es decir, los aparatos eléctricos que estén funcionando y conectados a la red de la casa.

De las tres variables mencionadas, la más importante quizás son los electrodomésticos ya que es lo que más consume en su conjunto (engloba todos los aparatos eléctricos que se utilizan de manera diaria en la vivienda). Para estudiar su consumo total se creará una tabla que incluya los electrodomésticos principales con sus especificaciones principales, en concreto potencia, tiempo de uso y su demanda anual y mensual.

No se aplicarán correcciones en cuanto a rendimiento porque consideraremos que para los electrodomésticos comunes es del 100 %, algo que se aproxima con bastante exactitud a la realidad.

Para calcular la energía consumida (en kWh) anual se usará la siguiente fórmula:

$$E_{consumida} = Potencia * t_{utilización} \quad (3)$$

A continuación, se incluye la tabla con los electrodomésticos de la vivienda, cuya información ha sido obtenida de las páginas web de los fabricantes, así como un gráfico que facilita el análisis de los datos.

Nombre	Potencia [kW]	Tiempo de uso diario [h]	Tiempo de uso mensual [h]	Tiempo de uso anual [h]	Demanda mensual [kWh]	Demanda anual [kWh]
Televisión	0.12	3	90	1080	10.8	129.6
Aspiradora	0.8	0.5	15	180	12	144
Campana extractora	0.4	1	30	360	12	144
Lavavajillas	1.1	1.5	45	540	49.5	594
Vitrocerámica	6.6	1	30	360	198	2376
Horno	3.5	1	30	360	315	1260
Frigorífico + Congelador	0.3	24	720	8760	212.5	850
Plancha	2.8	1	30	360	252	1008
Lavadora	1.2	1.5	45	540	54	648
Microondas AEG	0.8	0.3	9	108	7.2	86.4
<b>TOTAL</b>	17.62				603.33	7240

Tabla 3: Demanda eléctrica de los electrodomésticos de la vivienda (elaboración propia)

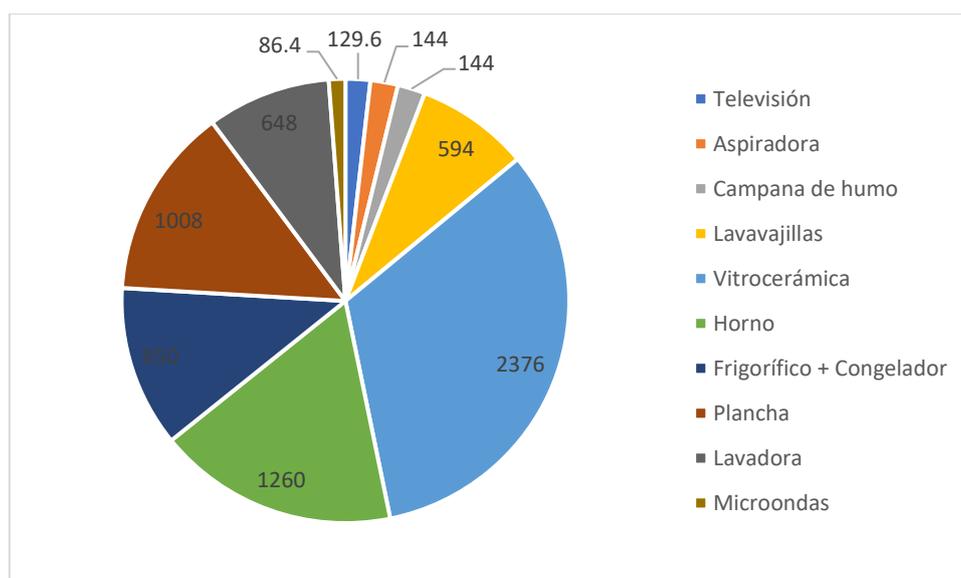


Figura 3: Demanda anual de los electrodomésticos (elaboración propia)

Aplicando la fórmula indicada arriba, la demanda anual de los electrodomésticos es 7240 kWh y como ya se ha mencionado antes, coincide con la demanda ya que el rendimiento de estos lo consideramos prácticamente del 100 % y las pérdidas de energía las consideramos despreciables. Una vez determinada la demanda por electrodomésticos estudiaremos la iluminación y el aire acondicionado. Cabe mencionar que para el cálculo del consumo del frigorífico (junto con el congelador) no se ha empleado la fórmula convencional porque este tipo de equipos, al necesitar enchufados las 24h del día, tienen un modo de bajo consumo que se obtiene directamente de la ficha de características. Si usásemos la fórmula de  $E_{consumida}$  el consumo de estos electrodomésticos sería desorbitado:

$$E_{consumida} = 0.3 \text{ kW} * 8760 \frac{h}{\text{año}} = 2628 \text{ kWh} \quad (4)$$

Por tanto, sólo se incluye el consumo real, que es el de bajo consumo.

La iluminación de la vivienda está formada en su totalidad por bombillas de tipo LED y fluorescentes, sumando un total de 39 bombillas. Al igual que hemos hecho con los electrodomésticos haremos una tabla, con la potencia, el tiempo de uso y la demanda total para facilitar el análisis:

	Número de Bombillas	Potencia [W]	Tiempo de uso al día [h]	Tiempo de uso al mes [h]	Tiempo de uso al año [h]	Consumo mensual [kWh]	Consumo anual [kWh]
<b>LED</b>	36	11	8	240	2880	95.04	1140.48
<b>Fluorescente</b>	3	36	8	240	2880	25.92	311.04
<b>TOTAL</b>	39	504				120.96	1451.52

Tabla 4: Consumos e información técnica de las bombillas (elaboración propia)

El tiempo de uso de las bombillas se ha considerado entre las 07.00 y las 11.00, entre las 14.00 y las 16.00, y entre las 20.00 y las 22.00, lo cual suma un total de 8 horas diarias. Quizás es un número bastante elevado, y podría mejorarse el hábito de tener las luces de la vivienda encendidas para reducir el consumo en iluminación.

Por último, en cuanto a la caracterización del consumo, analizaremos el consumo del aire acondicionado. El aire acondicionado que se emplea en la vivienda dispone de dos modos, caliente y frío, así que en teoría podría usarse tanto en verano como en invierno, pero en la vivienda solo se emplea durante el verano en su modalidad de enfriamiento entre los meses de mayo y agosto.

Para calcular el consumo eléctrico del aire acondicionado utilizaremos el EER del propio aparato, que obtendremos de su ficha técnica, así como la demanda térmica del mismo, que ya fue indicada antes y son 11.39 kWh/m<sup>2</sup> anuales. Para poder calcular la demanda eléctrica necesitamos la demanda térmica total, así que multiplicando los kWh/m<sup>2</sup> por la superficie de la vivienda obtenemos:

$$Pot_{térmica\ total} = 11.39 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 156 \text{ m}^2 = 1776.84 \text{ kWh anuales} \quad (5)$$

Conociendo el modelo del aire acondicionado y su EER calculamos la energía eléctrica total consumida. Se adjuntan los datos del aparato, obtenidos de su ficha técnica, y los consumos, en forma de tabla:

Equipo	Marca	Modelo	Potencia <sup>1</sup> [kW]	EER	Demanda térmica anual [kWh]	Consumo eléctrico anual [kWh]
Aire acondicionado	Mitsubishi Electric	MXZ-3F54VF	5.4	4.3	1776.84	413.22

Tabla 5: Consumo y características del equipo de AA (Mitsubishi Electric, n.d.)

El consumo eléctrico se obtiene dividiendo el consumo térmico entre el EER del aparato. Consideramos, como hemos venido haciendo hasta ahora, que el consumo eléctrico del AA coincide con la demanda eléctrica porque su rendimiento eléctrico es prácticamente del 100 %:

$$E_{consumo\ eléctrico} = \frac{E_{demanda\ térm}}{EER_{AA}} \quad (6)$$

---


$$\quad (7)$$

<sup>1</sup> Potencia correspondiente al modo enfriar, ya que solamente se emplea con ese fin.

$$E_{\text{consumo eléctrico}} = \frac{1776.84 \text{ kWh}}{4.3} = 413.22 \text{ kWh anuales}$$

La demanda eléctrica por tanto queda caracterizada por el consumo de los electrodomésticos, la iluminación y el aire acondicionado. La información recopilada de la demanda eléctrica puede verse detallada en la siguiente tabla, en la cual se ha tomado la decisión de dividir la demanda eléctrica del AA en 12 meses para facilitar los cálculos, aunque hay que seguir teniendo en cuenta que en realidad corresponde a tres meses:

	<b>Potencia [kW]</b>	<b>Demanda mensual [kWh]</b>	<b>Demanda anual [kWh]</b>	<b>Porcentaje de la demanda eléctrica total [%]</b>
<b>Electrodomésticos</b>	17.62	603.33	7240	79.5
<b>Iluminación</b>	0.50	120.96	1451.52	15.94
<b>Aire acondicionado</b>	5.4	34.44	413.22	4.54
<b>TOTAL</b>	23.52	758.73	9104	100

Tabla 6: Demanda eléctrica de la vivienda (elaboración propia)

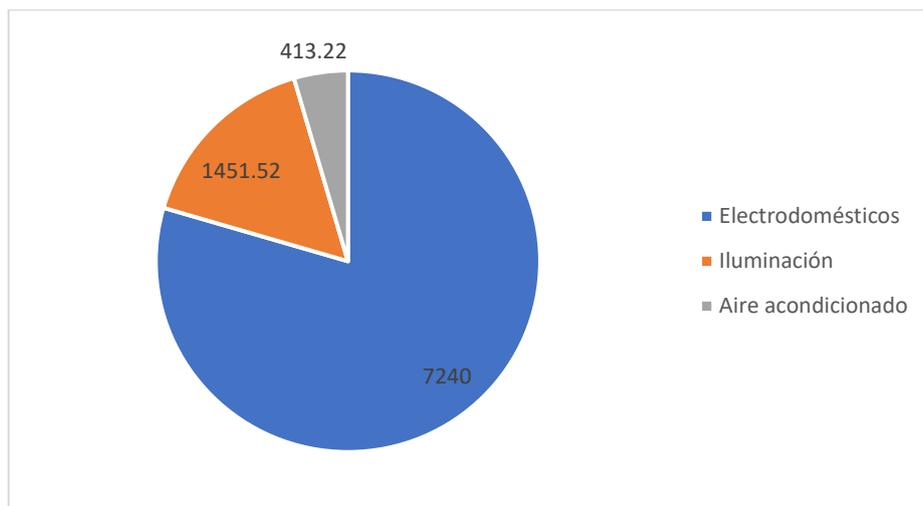


Figura 4: Demanda eléctrica anual (elaboración propia)

Los resultados demuestran que, en lo que corresponde a demanda eléctrica, lo que más consume son los electrodomésticos, seguido de la iluminación y el aire acondicionado. Esto nos indica que cualquier tipo de optimización que se quiera llevar a cabo en este aspecto deberá centrarse en su mayor medida en los electrodomésticos, y en menor medida en la iluminación. Sin embargo, considerando que prácticamente la totalidad de las bombillas de la casa ya son de tipo LED (*Light Emitting Diode*), la cual se considera que es de muy bajo, y en lo que refiere a optimización física no se puede hacer mucho más. Sí que podría cambiarse el hábito de tener las luces encendidas mucho tiempo, eso podría reduciría el consumo de forma considerable.

### 2.2.3. Caracterización de la demanda total

La demanda total está compuesta por la demanda de energía eléctrica y la demanda de energía térmica, que hemos calculado en los apartados anteriores. En la tabla siguiente puede observarse toda la demanda de la vivienda, tanto los datos de demanda mensual como de demanda anual:

<b>Equipo</b>	<b>Demanda mensual [kWh]</b>	<b>Demanda anual [kWh]</b>	<b>Porcentaje de la demanda total [%]</b>
<b>Calefacción</b>	1,097	13,168	54.62
<b>ACS</b>	153	1,838	7.62
<b>Electrodomésticos</b>	603.33	7240	30.03
<b>Iluminación</b>	120.96	1452	6.02
<b>Aire acondicionado</b>	34.435	413	1.71
<b>TOTAL</b>	2,009	24,110	100

*Tabla 7: Demanda energética total de la vivienda (elaboración propia)*

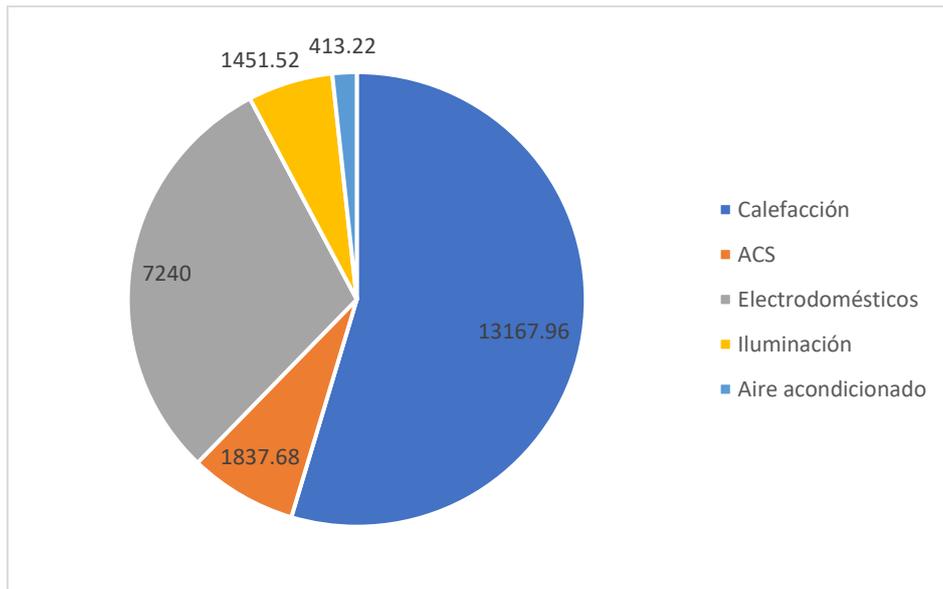


Figura 5: Demanda total anual, en kWh (elaboración propia)

### 2.3. Caracterización del consumo

Ahora calcularemos los consumos del inmueble, distinguiendo entre consumo térmico y consumo eléctrico. Debido a que despreciamos las pérdidas de la casa y de los aparatos eléctricos el consumo eléctrico coincidirá con la demanda eléctrica, pero el consumo térmico será distinto a la demanda térmica por las pérdidas de carga y el rendimiento de la caldera. Se ha tenido en cuenta que el consumo eléctrico del aire acondicionado satisface la demanda térmica de refrigeración.

La caracterización del consumo térmico es el siguiente:

Equipo	Demanda anual por m <sup>2</sup> [kWh/m <sup>2</sup> ]	Consumo anual por m <sup>2</sup> [kWh/m <sup>2</sup> ] <sup>2</sup>	Consumo anual [kWh]	Porcentaje del consumo térmico total [%]
<b>Calefacción</b>	84.41	119.06	18,573	87.76
<b>ACS</b>	11.78	16.61	2,591	12.24

Tabla 8: Consumo térmico (elaboración propia)

<sup>2</sup> Para calcular el consumo dividimos la demanda por el rendimiento estacional de la caldera

El consumo eléctrico es:

<b>Equipo</b>	<b>Potencia [kW]</b>	<b>Consumo anual [kWh]</b>	<b>Consumo anual por m<sup>2</sup> [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Porcentaje del consumo eléctrico total [%]</b>
<b>Electrodomésticos</b>	17.62	7240	46.41	79.5
<b>Iluminación</b>	0.50	1451.52	9.31	15.94
<b>Aire acondicionado</b>	5.40	413.22	2.65	4.54

*Tabla 9: Consumo eléctrico (elaboración propia)*

Por último, recopilaremos los datos de consumo totales de la vivienda:

<b>Equipo</b>	<b>Consumo anual por m<sup>2</sup> [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Consumo anual [kWh]</b>	<b>Porcentaje de la demanda total [%]</b>
<b>Calefacción</b>	119.06	18,573	61.36
<b>ACS</b>	16.61	2,591	8.56
<b>Electrodomésticos</b>	17.62	7240	23.92
<b>Iluminación</b>	0.50	1452	4.80
<b>Aire acondicionado</b>	5.40	413	1.36
<b>TOTAL</b>	159.19	30,269	100

*Tabla 10: Consumo energético total (elaboración propia)*

Y se expone el desglose del consumo eléctrico y consumo térmico en las figuras 6 y 7, respectivamente:

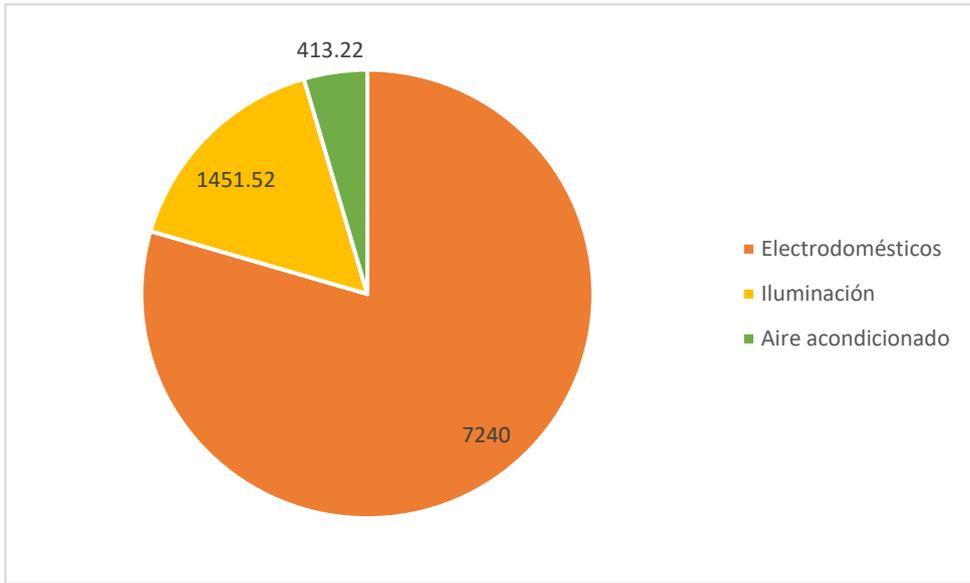


Figura 6: Consumo eléctrico anual, en kWh (elaboración propia)

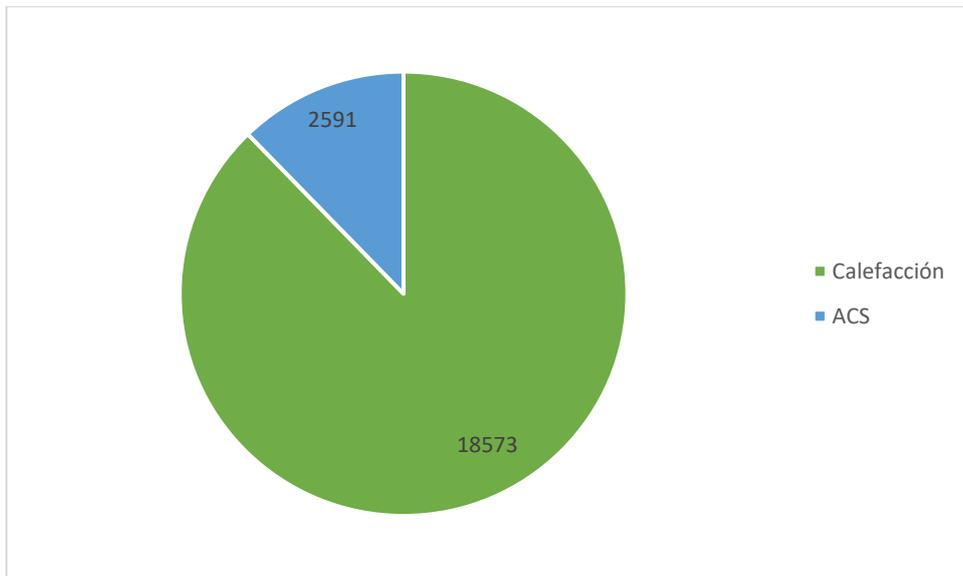


Figura 7: Consumo térmico anual, en kWh (elaboración propia)

### **3. Análisis técnico: Optimización energética de la instalación**

Tras haber realizado la caracterización energética de la vivienda disponemos de los datos y la información necesaria para empezar a buscar alternativas a las tecnologías energéticas que presenta actualmente la vivienda. Como ya se ha mencionado, el objetivo de este trabajo es buscar maneras de optimizar energéticamente la vivienda. Esto puede conllevar una remodelación entera de la vivienda, lo cual sería la solución más eficiente en su conjunto. Sin embargo, llevar eso a cabo supondría un coste económico muy elevado, y no es una opción que se contemple en este estudio. Por tanto, lo que se pretende es tratar de optimizar aspectos concretos de la vivienda, dejando el resto de la instalación como está.

Los principales aspectos en los que se van a investigar una posible optimización son el sistema de calefacción y el sistema de agua caliente sanitaria (ACS), ya que como se ha discutido anteriormente, ambos van ligados a la caldera de la vivienda, la cual es muy antigua, y ambos sistemas se beneficiarían enormemente de una nueva implementación. Sin embargo, estos no son los únicos aspectos de la vivienda que podrían optimizarse, y otras alternativas también serán discutidas, aunque en menor medida.

Actualmente, la principal fuente de energía de la vivienda es la energía eléctrica gracias a la caldera eléctrica que hay instalada. De hecho, esto no es lo convencional en las viviendas ya que utilizar únicamente electricidad como abastecimiento no suele ser económicamente viable debido al alto coste de la luz, especialmente en los últimos años en los que se ha disparado el precio del kWh. Solamente se contempla esta opción si se cuenta con subvenciones por parte de las distribuidoras eléctricas a sus trabajadores, el cual es el caso de la vivienda estudiada. Se van a estudiar por tanto otras fuentes de energía capaces de abastecer a la vivienda, y se exponen las más relevantes a continuación.

### **3.1. Viabilidad de los distintos tipos de energía renovable para la vivienda de estudio**

#### **3.1.1. Viabilidad de la energía solar**

Para empezar, antes de discutir e implementar alternativas tecnológicas para la vivienda es preciso determinar qué fuentes de energía se van a emplear, a ser posible renovables. La más interesante desde el punto de vista de la localización de la vivienda es la energía solar, ya que, al estar el edificio situado en Madrid, dispone de una ubicación privilegiada en el continente europeo, con un clima mediterráneo que brinda abundantes horas de sol al año.

Madrid recibe de media al año 2691 horas de sol, por encima de la media nacional que son 2500 horas. Esto implica una Hora Solar Pico (HSP) de 5.74 MJ/m<sup>2</sup>, parámetro que mide la irradiancia solar en una superficie. Este dato es importante tenerlo en cuenta porque de ello va a depender en gran parte la decisión de usar energía solar frente a otras alternativas. Se recomienda que el lugar de instalación de paneles solares reciba como mínimo 4 o 5 horas de sol al día, requisito que la vivienda cumple sin problemas, con una media de 7.37 horas diarias de sol.

El procedimiento de usar energía solar para abastecer a la vivienda de energía implicaría instalar paneles solares fotovoltaicos, que generen electricidad, y térmicos, que utilicen el calor residual de los paneles fotovoltaicos para calentar agua.

Otro aspecto importante que considerar cuando se pretende utilizar energía solar como fuente primaria de energía es la superficie disponible para la instalación de paneles solares. Dicha superficie no debe estar obstruida por árboles ni por otros edificios ya que esto reduciría la cantidad de luz solar recibida, y en el caso de la vivienda estudiada no supone un problema. La superficie disponible en este caso se trata del tejado de la vivienda, rectangular de tamaño 5 m x10 m, lo que nos da una superficie de 50 m<sup>2</sup>.

### **3.1.2. Viabilidad de la biomasa**

Si bien las fuentes de energía más frecuentes son la eléctrica, el gas natural, y en mayor medida la energía solar hoy en día, una alternativa muy prometedora es el uso de biomasa como combustible capaz de abastecer una vivienda. En los últimos años se ha investigado esta fuente de energía por las numerosas ventajas que conlleva, entre las que podemos destacar emisiones neutras de CO<sub>2</sub>, independencia energética en áreas de difícil acceso y la posibilidad de utilizar material de desecho, entre otras.

La biomasa puede definirse como cualquier material de origen biológico, excepto aquellos que han experimentado procesos de mineralización, como los derivados del petróleo, el carbón y el gas natural. Se trata de un tipo de energía altamente renovable porque se basa en la combustión de, por ejemplo, materia orgánica renovable como residuos forestales, desechos agrícolas, pellets de madera, astillas de madera, cáscaras de frutas o biomasa residual de procesos industriales.

Una de las razones por las cuales el uso de biomasa no está tan extendido a pesar de sus abundantes beneficios es la idea preconcebida de la incomodidad de la biomasa, la cual no es del todo cierta. Para emplear este tipo de energía es necesario disponer de un lugar de almacenamiento para el combustible, así como un sistema de recolección y aprovechamiento de los residuos. Esto, aunque pueda parecer laborioso e incómodo, no tiene por qué serlo si se instalan los dispositivos necesarios. También es necesario contar con un abastecimiento constante de combustible para la combustión, ya sea con una empresa contratada o con un suministro propio de dicho combustible.

El uso de biomasa como fuente de energía en las viviendas es un enfoque considerablemente distinto a las fuentes de energía convencionales principalmente porque requiere de una labor adicional por parte del usuario de transporte del propio combustible, algo que con el gas natural o la electricidad no sucede. Sin embargo, si se adopta como fuente principal de energía puede llevar a considerables ahorros a largo plazo.

En el caso concreto de la vivienda que se va a estudiar, en principio el uso de biomasa no supone mayor problema que el de instalar el almacenamiento adecuado ya mencionado para el combustible, así como acceso comercial a combustible.

### **3.1.3. Viabilidad de otras fuentes de energía**

Si bien la energía solar térmica y la biomasa son fuentes de energía muy interesantes para implementar en una vivienda, no son las únicas alternativas renovables a las fuentes convencionales.

En los últimos años el uso de la geotermia ha visto un alto nivel de interés por parte de la comunidad investigadora en cuestiones de energía gracias a que ofrecen una potencial solución para frenar el cambio climático y facilitar la transición a una sociedad libre de emisiones de carbono. Tecnologías que aprovechan la energía geotérmica suponen una solución intrigante al problema de la contaminación ya que proporcionan una fuente de combustible térmico de bajo impacto, libre de emisiones y rentable para la producción de energía base.

Ya ha habido estudios en los que se plantea la posibilidad de sustituir la caldera convencional de una vivienda unifamiliar por una caldera geotérmica, y los resultados estiman que la fase de excavación del pozo necesario para instalar este tipo de calderas es un proceso con un alto impacto medioambiental y supone la mayor parte del coste de la instalación. A pesar de que los resultados de este estudio son favorables en el largo plazo, para nuestro caso rechazaremos esta opción debido al complejo proceso de excavación de pozos y los conductos necesarios para circular el calor obtenido de la tierra. Otras alternativas no requieren tanta instalación previa, y creemos que los resultados obtenidos serán parecidos.

Nuestra situación supone remodelar una vivienda ya existente, y sería preferible reducir la magnitud del proceso de instalación, de ahí que se prefiera estudiar fuentes de energía como la biomasa o la solar fotovoltaica. Sin embargo, si en lugar de una remodelación estuviéramos construyendo una nueva vivienda desde el cero, la instalación de una caldera geotérmica sería menos compleja ya que podría integrarse desde el principio en la estructura de la vivienda. Esto nos permitiría diseñar la disposición de los pozos o sondas geotérmicas de manera óptima, considerando factores como la ubicación, profundidad y distribución para maximizar la eficiencia energética del sistema. Además, al incorporar la caldera geotérmica desde el principio, se pueden planificar las conexiones eléctricas y de cañerías de manera más eficiente, evitando modificaciones estructurales posteriores y reduciendo costes. La instalación de una caldera geotérmica en una nueva construcción ofrece mayores ventajas en términos de diseño, eficiencia y costos en comparación con una remodelación en una estructura existente.

### **3.2. Implementación de energía solar**

Para esta parte del trabajo se va a llevar a cabo un estudio de viabilidad que consistirá en reemplazar la caldera eléctrica de la vivienda, encargada de proporcionar calefacción y ACS, por un sistema de paneles solares, captadores térmicos y acumuladores de ACS que hagan la función de la antigua caldera. Al tratarse de una vivienda situada en el bajo de un edificio de tres plantas, una implementación que podría ser interesante es la instalación de paneles solares colectivos con acumuladores distribuidos por viviendas. Para facilitar el análisis solo consideraremos el coste que supondría para la vivienda que estamos estudiando, pero esta implementación podría ampliarse para ser adoptada en todas las viviendas del edificio.

Un estudio realizado por Kalogirou y Tripanagnostopoulos (2006) llegó a la conclusión de que un sistema que combine paneles solares fotovoltaicos y captadores térmicos puede producir una cantidad considerable de energía térmica y eléctrica, mejorando la viabilidad económica de los sistemas tradicionales de PV. Otro estudio más reciente, como el llevado a cabo por Ramos et al. (2017) analiza los desafíos tecno-económicos de los sistemas PV-T para la provisión combinada de calefacción, refrigeración y energía en entornos urbanos, mostrando que estos sistemas pueden cubrir más del 60% de las demandas de calefacción y aproximadamente el 50% de las necesidades de refrigeración de las viviendas urbanas.

La instalación de un sistema de estas características supondría instalar, entre otras cosas, los paneles y captadores solares en la fachada del edificio, el acumulador de agua caliente, así como posiblemente modificar la instalación de las tuberías de la vivienda. Además, para mantener una temperatura de ACS cómoda para su uso diario, habría que modificar la caldera existente, o posiblemente instalar una nueva, para aumentar la temperatura del agua precalentada en caso de que no sea suficiente para las necesidades del día a día.

En este apartado del trabajo en primer lugar se va a hacer un análisis de los elementos necesarios para poder instalar el sistema descrito anteriormente, desde el punto de vista técnico y desde el punto de vista económico. Además, se va a detallar el funcionamiento de la nueva instalación, buscando maneras de implementarla en el conjunto energético de la vivienda actual.

### 3.2.1. Elementos necesarios

#### 3.2.1.1. Paneles solares

Como ya se ha descrito anteriormente, este nuevo sistema requiere fundamentalmente de 3 componentes además de la modificación del sistema de tuberías: paneles solares fotovoltaicos en la fachada del edificio, el acumulador de ACS precalentada, y la caldera. Se adjunta en la Figura 3 un esquema del conjunto paneles solares y acumuladores, aunque se trata del caso para todo el edificio, pero la idea es la misma para todas las viviendas.

La superficie disponible para la instalación de paneles solares es de 50 m<sup>2</sup>, y suministrarían de energía solar a todas las viviendas del edificio, compuesto de 6 pisos unifamiliares.

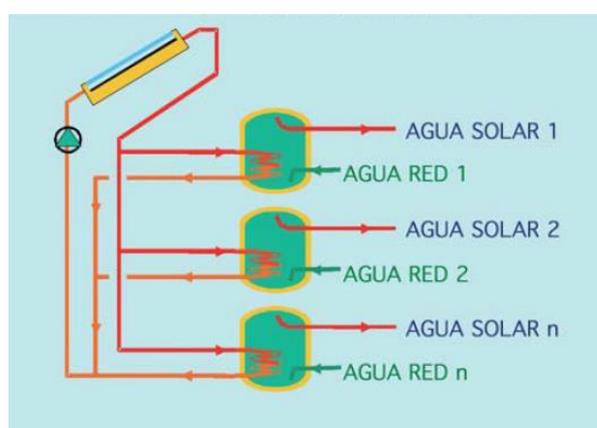


Figura 8: ACS con Energía Solar y acumulación distribuida en viviendas (Zorraquino et al., 2005)

La parte más importante del nuevo sistema son los paneles solares que sería necesario instalar en la fachada del edificio. Al ser una tecnología a la que se le está dedicando muchos fondos para investigación, está en constante desarrollo, y con el tiempo van mejorando las características de estos en cuanto a capacidad de producción energética y rendimiento. Actualmente las características de un panel solar estándar, con un balance aceptable entre calidad y precio, serían las siguientes:

	Medidas (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Potencia nominal (W)	Precio (€)
<b>Panel solar</b>	1 x 1.7	1.7	250-350	170

Tabla 11: Características y dimensiones de un panel solar estándar (elaboración propia)

Teniendo esto en cuenta, como máximo se podrían instalar 29 paneles fotovoltaicos, aunque probablemente hagan falta muchos menos teniendo en cuenta los requisitos energéticos de la vivienda.

### **3.2.1.2. Colectores solares**

El sistema de paneles solares fotovoltaicos hay que complementarlo con colectores solares térmicos que permitan aprovechar el calor residual y así calentar el agua para uso doméstico. Existen dos tipos de colectores solares, planos y de tubo de vacío.

Los colectores planos están compuestos por una placa absorbente, generalmente de metal, que captura la radiación solar y la convierte en calor. La placa absorbente está cubierta por un vidrio transparente que permite pasar la radiación solar, pero retiene el calor generado. Debajo de la placa absorbente, hay canales o tuberías por donde circula un fluido (agua o una mezcla de agua y anticongelante), que se calienta al pasar por estos canales (Zambolin et al., 2010)

Generalmente los colectores de tubo de vacío son más eficientes, teniendo menos pérdidas gracias a que utilizan tubos cilíndricos con un vacío entre el tubo exterior e interior, minimizando la pérdida de calor por conducción y convección. Son más versátiles en cuanto a en que tipo de clima se pueden instalar, ya que aún en climas más fríos son capaces de dar un rendimiento más elevado que los colectores planos. Las desventajas de instalar colectores de tubo es su alto coste de instalación, la fragilidad de sus componentes, y la complejidad de la instalación. Los colectores planos, por otra parte, son más baratos, con menor probabilidad de roturas, y más fáciles de instalar, si bien su eficacia es menor. Sin embargo, el menor rendimiento no debería suponer un problema ya que la vivienda está situada en Madrid, y al año recibe muchas horas de sol, compensando en cierta manera esta desventaja.

Cabe destacar que la diferencia económica entre ambos tipos puede llegar a ser considerable. Un estudio realizado en 2014 llegó a la conclusión de que decidir escoger colectores de tubo de vacío puede suponer hasta un 104.4% más de inversión económica respecto a si decidiéramos emplear colectores planos (Hoffman et al., 2014).

Esta diferencia de precio refleja no solo las diferencias en la eficiencia y tecnología entre los dos tipos de colectores, sino también en cómo estos factores influyen en la decisión de inversión inicial. El estudio sugiere que la elección entre los dos tipos de colectores debería basarse no

solo en consideraciones económicas, sino también en las ventajas ambientales y de rendimiento que ofrece cada tipo.

### **3.2.1.3. Acumuladores de ACS**

La implementación de un sistema de Agua Caliente Sanitaria (ACS) en la vivienda implica la incorporación de acumuladores, que cumplen un papel esencial en el almacenamiento y suministro de agua caliente para el consumo doméstico. A continuación, se describe el funcionamiento, las ventajas y las consideraciones técnicas para la implementación de estos acumuladores en la vivienda de estudio.

Estos dispositivos están diseñados para almacenar agua caliente, calentada por los paneles solares fotovoltaicos. En el caso de la vivienda, la instalación actual cuenta con una caldera que produce agua caliente tanto para la calefacción como para el ACS. Los acumuladores, situados en una ubicación estratégica dentro de la vivienda, permiten mantener el agua a una temperatura constante, lista para su uso en duchas, lavabos y otros puntos de consumo.

Otras consideraciones que hay que tener en cuenta es la localización del tanque de ACS. Debe integrarse adecuadamente con la infraestructura de la vivienda, permitiendo una transición suave entre la generación de energía por los paneles solares y el suministro de agua caliente a diferentes puntos de consumo. Más adelante se estudiará la localización óptima.

### **3.2.1.4. Caldera**

Por último, la caldera será la responsable de asegurar un suministro constante de ACS y en maximizar el aprovechamiento de la energía solar.

La caldera juega un papel de respaldo en caso de que la energía solar no sea suficiente para calentar el agua a la temperatura deseada o para cubrir la demanda de ACS. La caldera se activa para elevar la temperatura del agua precalentada por los captadores solares a los niveles de confort requeridos por el usuario.

La integración de la caldera en este sistema permite controlar de manera precisa la temperatura del ACS. Esto puede lograrse mediante varias configuraciones, como la derivación del agua precalentada a la caldera solo cuando la temperatura es inferior a la temperatura de consigna, o mediante una válvula mezcladora termostática a la salida de la caldera para evitar sobrecalentamiento.

En cuanto a qué tipo de caldera podríamos instalar, la elección dependerá de la eficiencia, la capacidad de asegurar un respaldo fiable, así como la integración con el resto del sistema de paneles y acumuladores. La opción que mejor se adaptaría a este caso sería una caldera de condensación, permitiendo un respaldo eficiente si la energía solar no fuera suficiente. Ofrecen un control preciso de la temperatura del agua, permitiendo una transición eficaz entre el agua precalentada solar y la que aporta la caldera. Además, este tipo de calderas son muy eficientes debido a su capacidad de aprovechar el calor de los gases de combustión para precalentar el agua de retorno antes expulsarlos.

### **3.2.2. Implementación del nuevo sistema**

Una vez identificados los elementos que compondrán el nuevo sistema, podemos implementar los aparatos en la vivienda. Primero, es necesario determinar las dimensiones de cada componente a instalar: en particular, los paneles solares, el acumulador de ACS y la caldera. Los siguientes apartados del trabajo abordarán en detalle el dimensionamiento de cada uno de estos elementos.

#### **3.2.2.1. Dimensionamiento de la instalación solar**

Para llevar a cabo un dimensionamiento coherente de los paneles solares se ha recurrido a la empresa Avenir Energía, que ha proporcionado un presupuesto para la instalación. El dimensionamiento se ha realizado en función del consumo anual. El sistema tiene los siguientes elementos (Avenir Energía, 2024):

- **Placas solares:** Se propone la instalación de 12 paneles solares LONGi de 535 W cada uno, que proporcionan una potencia total instalada de 6.42 kW, suficiente para cubrir el consumo anual de la vivienda.
- **Inversor:** Se incluye también un inversor HUAWEI SUN2000 6KTL-L1 Monofásico, que convierte la corriente continua generada por los paneles solares en corriente alterna, adecuada para el uso doméstico.
- **Protecciones:** Un kit de protecciones fotovoltaicas monofásicas de menos de 8 kW, con 2 strings, para asegurar la integridad del sistema y protegerlo contra sobrecargas eléctricas.
- **Estructura de montaje:** Los paneles solares se instalarán en una estructura de aluminio coplanar para tejas, con capacidad para 4 módulos, garantizando una instalación segura y duradera en el techo de la vivienda.

- **Legalización:** La empresa se encargará de la legalización de la instalación, incluyendo la solicitud de licencia de obra en el Ayuntamiento, el registro de la instalación en el Ministerio de Industria, y la emisión de un Certificado de Instalación Eléctrica (CIE).

La instalación de todos los elementos mencionados supone un coste total de 8132 €, incluyendo otros costes añadidos como la mano de obra o los portes. A continuación, se incluye una tabla que recoge los costes totales:

<b>Concepto</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio unitario (€)</b>	<b>Subtotal (€)</b>
Panel Solar LONGi 535W	12	112.70	1,352.40
Inversor HUAWEI SUN2000 6KTL-L1 Monofásico	1	1126	1126
Mano de obra	12	173.33	2,079.96
Kit Protecciones FV Monofásica <8KW 2 Strings	1	427.35	427.35
Portes fotovoltaica	1	106.67	106.67
Legalización PV	1	300	300
Monitorización Huawei Smart Power Sensor	1	102	102
Trabajos de Grúa y Andamio	1	350	350
Estructura Aluminio Coplanar Teja Vertical	3	135.66	406.98
Pequeño material fotovoltaica mayor a 5kW	1	470	470
<b>SUBTOTAL</b>			<b>6721.36</b>
<b>IVA</b>			<b>1411.49</b>
<b>PRECIO TOTAL</b>			<b>8132.85</b>

*Tabla 12: Costes de instalación de los paneles solares (Avenir Instalaciones S.L., 2024)*

Ya se ha especificado que la superficie total del tejado son 50 m<sup>2</sup>, habiendo espacio para como máximo 29 paneles, así que para la instalación de los 12 paneles no debería haber ningún problema de espacio. Cada panel tiene unas dimensiones de:

	Ancho (m)	Largo (m)	Área (m <sup>2</sup> )
Panel Solar LONGi 535W	2.26	1.13	2.56

Tabla 13: Dimensiones de los paneles fotovoltaicos (Mitchell, n.d.)

La superficie de los 12 paneles será por tanto de 30.65 m<sup>2</sup>. La producción anual estimada de los paneles se puede calcular con la capacidad máxima de los paneles (6.42 kW) y el número de horas solares pico (HSP) en la ubicación de la vivienda. En Madrid, el HSP es en torno a 4.7/día, y multiplicado por los 365 días del año y la capacidad de los paneles, nos da una producción anual de:

$$P_{anual} = 4.5 \frac{W}{día} * 6420 W * 365 días = 11013 kW anuales \quad (8)$$

lo cual es suficiente para abastecer toda la demanda anual de 10704 kW.

Además de los paneles fotovoltaicos hay que instalar y dimensionar los colectores térmicos, que ya se ha discutido que pueden ser de tipo plano o de tubo de vacío. Ambos tienen ventajas y desventajas, y se estudiará la viabilidad económica y técnica de ambos tipos.

El mercado ofrece gran variedad de colectores solares térmicos, y de tipo plano escogeremos el modelo VITOSOL 200-FM, y de tipo tubos de vacío el modelo VITOSOL 300-TM. Ambos son de la misma familia de productos y de la misma marca, y como vamos a hacer una comparación económica entre ambos tipos, el hecho de que sean de la misma marca hace el análisis más homogéneo.

- **Colector plano VITOSOL 200-FM:** Teniendo en cuenta la superficie de este tipo de colectores, 2.31 m<sup>2</sup>, y que tienen un rendimiento de 400 kWh/m<sup>2</sup> al año (Vitosol - Colectores De Energía Solar Térmica | Viessmann ES, 2023), cada colector producirá al año:

$$2.31 m^2 * 400 \frac{kWh}{m^2} = 924 kWh \quad (9)$$

Teniendo en cuenta que la demanda anual de calefacción y ACS de la vivienda son 275 kWh anuales, el número de colectores será:

$$N^{\circ} \text{ colectores} = \frac{305 kWh}{924 kWh} = 0.33 \text{ colectores} \quad (10)$$

Así que con un colector plano de este tipo cubrimos la demanda de la vivienda, con un precio de 3.500,00 €, el cual incluye la instalación necesaria.

- **Colector tubos de vacío VITOSOL 200-FM:** Teniendo en cuenta la superficie de este tipo de colectores,  $3.03 \text{ m}^2$ , y que tienen un rendimiento de  $600 \text{ kWh/m}^2$  al año (Vitosol - Colectores De Energía Solar Térmica | Viessmann ES, 2023), cada colector producirá al año:

$$3.03 \text{ m}^2 * 600 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} = 1818 \text{ kWh} \quad (11)$$

Teniendo en cuenta que la demanda anual de calefacción y ACS de la vivienda son  $15006 \text{ kWh}$  anuales, el número de colectores será:

$$N^{\circ} \text{ colectores} = \frac{15006 \text{ kWh}}{1818 \text{ kWh}} = 8.25 \text{ colectores} \quad (12)$$

Así que con 9 colectores plano de este tipo sería suficiente para satisfacer la demanda anual de energía térmica de la vivienda. El precio de cada colector es de  $1.000,00 \text{ €}$ , incluyendo la instalación necesaria.

Esta información es suficiente para determinar que para las condiciones de funcionamiento habituales de la vivienda podemos utilizar colectores planos en lugar de colectores de vacío, ya que la diferencia económica es considerable, y la mayor eficiencia de los tubos de vacío no es suficientemente notable como para justificar el suplemento económico que conllevan.

### 3.2.2.2. Dimensionamiento del sistema de acumulación de ACS

Por otro lado, hay que realizar la instalación y dimensionamiento del sistema de acumulación de ACS, calentada gracias a los colectores solares.

La capacidad de los acumuladores de ACS varía en función de la demanda de agua caliente de la vivienda. En este caso, es importante elegir un acumulador que sea compatible con la infraestructura actual y que ofrezca suficiente capacidad para cubrir las necesidades diarias de ACS. La demanda anual de ACS de 32.78 kWh/m<sup>2</sup> se puede dividir por 365 días para obtener la demanda diaria en kWh/m<sup>2</sup>. Luego, multiplicando por el área habitable de la vivienda (156 m<sup>2</sup>), obtenemos la demanda diaria total en kWh. Para convertir la demanda energética en litros de agua caliente, podemos usar la relación de:

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal} \quad (13)$$

y el hecho de que 1 kcal calienta 1 litro de agua en 1°C. Si asumimos que el agua necesita ser calentada a una temperatura objetivo de 60°C desde una temperatura de entrada (por ejemplo, 15°C), la diferencia de temperatura es de 45°C. Por lo tanto, se necesita 45 kcal (o 0.0523 kWh) para calentar 1 litro de agua a 45°C. La capacidad del tanque necesaria para cubrir la demanda diaria se puede calcular dividiendo la demanda diaria en kWh por 0.0523 kWh/litro, obteniendo una capacidad de 268 litros.

El mercado ofrece una amplia gama de acumuladores de ACS, pero para hacer el estudio económico más homogéneo, escogeremos un modelo de la misma marca que los colectores (Viessman), y teniendo en cuenta la capacidad mínima calculada de 268 litros, el acumulador VITOCCELL 100-V, Tipo CVAB (300 litros) se adapta a nuestras necesidades de acumulación de ACS. El precio de este acumulador es de 2,312.31 € según Viessman (2024), con unos gastos de instalación de 450.00 € (Viessman, 2024).

### 3.2.2.3. Dimensionamiento de la caldera

Ya se ha discutido el papel de la caldera en el sistema que queremos implementar en la vivienda, en conjunto con los colectores térmicos y paneles solares, y el acumulador de ACS. También se ha determinado que una alternativa que se adapta muy bien como respaldo a nuestro sistema es una caldera de condensación. Ésta va a sustituir a la caldera eléctrica que hay actualmente en la vivienda. La caldera de condensación se encargará tanto de calentar el agua caliente como de la calefacción de la vivienda.

Antes de escoger el tipo de caldera que vamos a usar es necesario calcular la potencia térmica de calentamiento de ACS que debería tener la caldera, teniendo en cuenta la demanda diaria de agua que esperamos utilizar, así como la temperatura de entrada del agua desde el acumulador, y la temperatura deseada de salida a los usuarios. Para ello utilizaremos la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V * \rho_{H2O} * c_p * (T_{deseada} - T_{entrada})}{3600} * f_{seg} \quad (14)$$

Esta fórmula tiene también en cuenta la densidad y calor específico del agua, así como un factor de seguridad, necesario para compensar las posibles pérdidas térmicas y asegurar capacidad adicional. En la ficha técnica del acumulador de ACS que se va a utilizar se establece que la temperatura máxima de salida, que a su vez es la temperatura de entrada en la caldera, serán 25°C, así que tomaremos este dato para el análisis.

Por otro lado, debemos determinar la demanda diaria de agua que la caldera tendrá que calentar hasta la temperatura de confort requerida por el usuario. En la vivienda estudiada residen 3 personas, y podemos estimar que cada persona consume diariamente aproximadamente entre 40 y 50 litros de agua. Sin embargo, el agua realmente solo se calienta durante un periodo de 4h a lo largo de cada día, así que calcularemos el volumen de agua por segundo basado en 4h. Para compensar los días de pico de demanda de agua caliente se utilizará un factor de seguridad de 1.1, asegurando así que la caldera podrá abastecer la demanda incluso en días de consumo elevado:

$$V = 3 * 50 \frac{l}{día} * 1.1 = 165 \frac{l}{día} \quad (15)$$

$$V_{l/h} = \frac{165}{4} = 41.25 \text{ l/hora} \quad (16)$$

Finalmente, podemos calcular la potencia térmica de calentamiento de ACS requerida por la caldera:

$$Q = \frac{41.25 \frac{l}{hora} * 1 \frac{kg}{l} * 4.18 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} * (40^\circ C - 25^\circ C)}{3600} * 1.1 = 0.718 kW \quad (17)$$

La caldera también se encargará de la calefacción de la vivienda, así que hay que tener en cuenta la potencia de calefacción que tiene que aportar la caldera para suplir las necesidades de la vivienda. Esto ya se ha determinado en la caracterización energética de la vivienda. Podemos escoger una caldera de condensación con una potencia total alrededor de 30 kW, de potencia similar a la antigua. Ya que el resto de los elementos son de la marca Viessman, para facilitar la comunicación entre los distintos aparatos podemos escoger una caldera de condensación de la misma marca, el modelo Vitodens B1KF 32 kW. El precio de la caldera y de su instalación son 2,289.00 €.

<b>Tipo</b>	<b>Potencia nominal [kW]</b>	<b>Rendimiento estacional [%]</b>	<b>Tipo de energía</b>
<b>Caldera antigua</b>	30	70.9	Gas natural
<b>Caldera de condensación (nueva)</b>	32	94	Gas natural y propano

*Tabla 14: Comparación técnica de las calderas antigua y nueva (elaboración propia)*

### 3.3. Alternativas energéticas y tecnológicas

Tras haber presentado una posible solución más sostenible a la instalación inicial podemos plantearnos qué otras alternativas podríamos haber implementado en la vivienda, ya sea otro tipo de soluciones tecnológicas utilizando la energía solar, o emplear otro tipo de fuente de energía completamente diferente.

Si quisiéramos seguir empleando la energía solar como fuente primaria de energía en la vivienda, hay varias alternativas que podríamos estudiar. Una implementación relativamente novedosa, especialmente en España, radica en aprovechar la instalación de aprovechamiento de energía solar, en concreto el almacenamiento de agua caliente sanitaria (ACS) para integrar un ciclo de Rankine orgánico en el sistema. (Rodríguez-Pastor et al., 2023)

Este ciclo orgánico permite la conversión de energía térmica solar en energía eléctrica usando un fluido orgánico como refrigerante en lugar de agua. Este enfoque aprovecha el calor residual y la energía solar, que de otra manera sería desaprovechada, especialmente durante los meses de baja demanda de calefacción. Utilizando los colectores solares que ya se han propuesto implementar en la vivienda, el agua calentada pasa por un evaporador y de ahí inicia el ciclo de Rankine orgánico (ORC) donde el calor se transfiere al fluido orgánico que, al evaporarse, impulsa un turbogenerador para producir electricidad.

Otra alternativa implicaría el uso de baterías de ion de Litio, usándolas para almacenar la energía generada por los paneles solares. Esta energía almacenada puede ser utilizada en momentos en que no hay sol, proporcionando así un suministro de energía constante y reduciendo los cargos por demanda de la red. En el nuevo sistema que se ha propuesto la instalación de baterías no requeriría de excesiva mano de obra, y sería una mejora muy significativa para el rendimiento en épocas de baja radiación solar.

Si quisiéramos utilizar otras fuentes de energía en lugar de la energía solar podríamos hacer uso del reciente desarrollo de las tecnologías de biomasa, que en los últimos años se han desarrollado enormemente y presentan oportunidades energéticas para las viviendas muy interesantes.

Ya se han mencionado anteriormente en este trabajo las ventajas de esta fuente de energía, y una de las mejores implementaciones hoy en día son las calderas de biomasa, que hacen uso de un combustible renovable (*pellets* en inglés) y en consecuencia la contaminación generada es

casi nula. Además, es posible la implementación de este tipo de calderas junto a sistemas solares térmicos como el descrito en este trabajo, lo cual podría ser una posible mejora al nuevo sistema que hemos diseñado, ya que reemplazaría a la caldera de condensación por la de biomasa, consiguiendo así una configuración energética completamente renovable.

Para finalizar, sería recomendable considerar también la geotermia como alternativa al sistema que ha sido diseñado, o incluso como mejora al mismo. Según un estudio realizado por Neves et al. (2021), sería posible integrar paneles fotovoltaicos como los ya diseñados junto con energía geotérmica empleando una bomba de calor geotérmica (GHP, *Geothermal Heat Pump*). Este estudio llega a la conclusión de que un hogar con un sistema de estas características puede generar ahorros significativos en climas con demandas de calefacción altas en invierno. Además, proporciona un período de amortización más corto en comparación con el sistema tradicional con paneles fotovoltaicos. El problema de utilizar energía geotérmica es la necesidad de excavaciones extensas y a veces profundas en el terreno de la vivienda, o puede darse el caso que haya que necesitar mucha superficie de terreno si se quieren evitar excavaciones profundas.

## 4. Propuesta para la instalación

### 4.1. Viabilidad económica

Una vez hemos determinado que medidas tecnológicas vamos a implementar en la vivienda, es necesario estudiar la viabilidad económica de estas ya que, aunque el objetivo principal de este trabajo es optimizar energéticamente la vivienda, esta optimización debe tener sentido desde el punto de vista económicos a largo plazo.

En primer lugar, vamos a recopilar los elementos que pretendemos instalar, así como los costes asociados a cada uno. Estos costes pueden incluir, pero no están limitados a, los costes de adquisición, costes de instalación o costes de mantenimiento. En muchos casos los costes de instalación ya vienen incluidos en el coste de adquisición, pero aunque ese sea el caso, haremos una distinción entre ambos. Se incluye en la tabla inferior un desglose de los gastos incurridos:

	<b>Adquisición</b>	<b>Instalación</b>	<b>Mantenimiento</b>	
<b>Instalación solar</b>				
Fotovoltaica	5,702.89	2,429.96	150.00	
Térmica (planos)	7,200.00	1,800.00	100.00	
<b>ACS</b>	2,312.31	450.00		
<b>Caldera</b>	2,000.00	289.00		
<b>Coste Total</b>	<b>17,215.2</b>	<b>4968.96</b>	<b>250.00</b>	<b>22,184.16 €</b>

Tabla 15: Desglose de gastos de la nueva propuesta (elaboración propia)

Solamente se contemplan gastos anuales de mantenimiento para ambos tipos de paneles ya que, aunque son bajos en comparación con los gastos de instalación o adquisición, su omisión podría resultar en una sobreestimación de los beneficios netos del proyecto.

Todos los cálculos realizados hasta ahora corresponden a la inversión inicial de la instalación, cifra que necesitamos para evaluar económicamente este proyecto.

A continuación, vamos a determinar el ahorro energético, y en consecuencia económico, incurrido gracias a la nueva instalación que hemos propuesto. Primero determinaremos el ahorro energético, y usando el precio medio del kWh podremos calcular cuánto se ahorra en la factura de la luz.

Antes de ello, sin embargo, hay que tener en cuenta que con la nueva reforma que se ha propuesto cambia por completo el perfil energético de la vivienda. Ahora la fuente principal de energía eléctrica viene de los paneles solares fotovoltaicos, no de la red eléctrica. Además, la fuente principal de calefacción ya no depende exclusivamente de la caldera, sino de los paneles solares térmicos que vamos a instalar. Por tanto, debemos calcular de nuevo el consumo de la vivienda con las nuevas implementaciones.

Empezaremos calculando el nuevo consumo eléctrico que, gracias a los paneles solares, será mucho menor que el consumo original porque la mayoría de la demanda eléctrica será satisfecha con éstos. De hecho, los paneles fotovoltaicos se han dimensionado de tal forma que puedan abastecer la demanda anual de la vivienda, así que el nuevo consumo eléctrico es nulo. Esto da un ahorro energético de 10704 kWh anuales, y en términos económicos, teniendo en cuenta el coste del kWh en España es de  $0.1196 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$  de media<sup>3</sup>, este ahorro será de:

$$10704 \text{ kWh} * 0.1196 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 1280.07 \text{ € anuales} \quad (18)$$

Sin embargo, para obtener una estimación más realista de los ahorros económicos derivados de la instalación fotovoltaica, es importante considerar que los paneles solares solo generan electricidad durante las horas de sol y que el consumo eléctrico no siempre coincide con estos periodos. Por tanto, es necesario tener en cuenta la fracción de la energía solar generada que puede ser directamente consumida (autoconsumo) y la que debe vendida a la red.

Suponiendo un 40% de autoconsumo, y teniendo en cuenta la producción de los paneles, el consumo directo o autoconsumo anual es:

$$\text{Consumo directo} = 11,010 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} * 0.40 = 4,404.08 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \quad (19)$$

$$\text{Ahorro por autoconsumo} = 4,404 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} * 0.1196 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 526.49 \frac{\text{€}}{\text{año}} \quad (20)$$

---

<sup>3</sup> Dato tomado a fecha de 21/05/2024

Y la energía vendida a la red, teniendo en cuenta un precio de venta a la red de 0.05 €/kWh:

$$\text{Energía vendida} = 11,010 - 4,04.08 = 6,606.13 \frac{kWh}{\text{año}} \quad (21)$$

$$\text{Beneficios venta a la red} = 6,606.13 \frac{kWh}{\text{año}} * 0.05 \frac{\text{€}}{kWh} = 330.31 \text{ €/año} \quad (22)$$

Por tanto, una estimación más precisa del ahorro anual eléctrico es de 856.8 €.

Por otro lado, el consumo térmico también va a verse influenciado porque los paneles solares térmicos, el acumulador y la caldera de condensación hacen la función de la caldera eléctrica antigua que se encontraba instalada en la vivienda. Igual que antes, los paneles, ya sean planos o de tubos de vacío, han sido dimensionados de tal forma que soporten toda la demanda de calefacción de la vivienda, así que el consumo térmico con el nuevo sistema es nulo. Para el ahorro térmico, al disponer de un acumulador de agua, podemos considerar que el ahorro energético es total, ya que siempre va a haber un suministro de agua disponible.

El ahorro energético es, por tanto, de 15005 kWh anuales, y el ahorro económico, teniendo en cuenta el precio medio del kWh en España, será de 1,794.6 € al año

En consecuencia, el ahorro económico anual total gracias a la nueva instalación será de 2,651.4 €.

Para calcular el VAN (Valor Actual Neto) necesitamos además determinar una tasa de descuento apropiada para las características de nuestro proyecto. La elección va a depender de factores como el coste de capital, el riesgo asociado a la inversión, y las tasas de retorno disponibles en inversiones alternativas. Lo primero que hay que tener en cuenta es la naturaleza del proyecto, centrado en energías renovables. El estudio realizado por Paiano et al. (2023), centrado en proyectos similares en Italia, sugiere utilizar una tasa de descuento del 3%, basada en el rendimiento promedio de los bonos del tesoro a largo plazo en el país, considerado como una inversión de bajo riesgo. Este valor es apropiado para reflejar una inversión con un riesgo relativamente bajo en proyectos de energía renovable en un contexto europeo (Paiano et al., 2023).

En el contexto español se ha demostrado que la energía solar es una opción económicamente viable gracias al estudio realizado por Girard et al. (2016), que concluye que "el análisis financiero muestra que la electricidad fotovoltaica logra la paridad de red con una tasa de

rentabilidad de hasta el 7.26%". La tasa de rentabilidad, equivalente a la tasa de descuento, indica el punto en el que los proyectos de energía solar pueden competir económicamente en igualdad de condiciones con las fuentes de energía convencionales. Por lo tanto, para nuestro proyecto utilizaremos una tasa de descuento del 6%, un valor equilibrado teniendo en cuenta el riesgo de la inversión y el costo de oportunidad del capital.

Para calcular el VAN se ha utilizado Excel para llevar a cabo los cálculos, empleando la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t - M_t}{(1 + r)^t} - C_o \quad (23)$$

Donde  $CF_t$  representa los ahorros anuales en la factura eléctrica,  $M_t$  los gastos anuales de mantenimiento,  $r$  es la tasa de descuento, y  $C_o$  el capital inicial de la inversión. Para llevar a cabo el cálculo usaremos los siguientes parámetros:

$CF_t$	2,651.4 €
$M_t$	250.00 €
$C_o$	22,184.16 €
$r$	0.06
$t$	15 años

Tabla 16: Parámetros utilizados para calcular el VAN (elaboración propia)

Usando estos parámetros obtenemos un VAN de **9874.4**, y un periodo de retorno de la inversión de:

$$Periodo\ de\ retorno = \frac{C_o}{CF_t - M_t} = \frac{22,184.16}{2,641.40 - 250.00} = 11.75\ años \approx 12\ años \quad (24)$$

## 5. Conclusiones

Tras haber finalizado el proyecto de optimización energética de la vivienda, debemos evaluar los resultados obtenidos en el análisis y elaborar conclusiones.

Si volvemos a recordar los objetivos planteados al inicio del trabajo, el objetivo principal consistía en optimizar energéticamente uno o varios elementos de mi vivienda particular a través de un estudio energético de la misma. Tras la realización del trabajo podemos afirmar que este objetivo se ha cumplido, ya que se ha reemplazado la caldera eléctrica antigua, que abastecía de calefacción y ACS a la vivienda, por un sistema de placas solares fotovoltaicas y térmicas, acumulador de ACS y una caldera de condensación, siendo la principal fuente de energía del nuevo sistema la energía solar, completamente renovable. Este nuevo sistema no solo abastece de calefacción y ACS a la vivienda, sino que con la implementación de paneles fotovoltaicos la vivienda es capaz de generar la electricidad necesaria para su consumo.

Se ha llevado a cabo un estudio de las nuevas tecnologías energéticas desarrolladas para viviendas unifamiliares, entre las cuales la solar térmica y fotovoltaica ha sido la candidata más recomendable para la vivienda estudiada. Se ha buscado la manera de combinar la generación de electricidad con la generación de ACS y calefacción, y el sistema de placas que se ha diseñado cumple con esta función con buen rendimiento.

Por último, el nuevo sistema que se quiere implementar tiene que ser una medida económicamente viable, y para ello se ha estudiado la instalación, adquisición y mantenimiento de los nuevos elementos utilizando el Valor Actual Neto (VAN) y el periodo de retorno con este fin. Se ha obtenido un VAN positivo de 558.91, lo cual indica que tenemos una inversión rentable que generará un valor adicional sobre dicha inversión. El proyecto genera un retorno neto positivo, con un periodo de amortización de 12 años.

Un periodo de amortización de 12 años para la inversión en paneles solares fotovoltaicos es altamente favorable, considerando la vida útil del sistema que típicamente se extiende de 25 a 30 años. Esto significa que, tras la recuperación de la inversión inicial, el sistema seguirá generando beneficios netos durante al menos 13 a 18 años adicionales.

El retorno de la inversión (ROI) es excelente, ya que después de 12 años, todos los ahorros en la factura eléctrica se traducen directamente en ganancias. Económicamente, este corto periodo de amortización reduce significativamente la incertidumbre y el riesgo financiero,

proporcionando estabilidad frente a fluctuaciones en los precios de la energía y cambios en las políticas gubernamentales. En comparación con otros proyectos de infraestructura y tecnologías sostenibles, un periodo de amortización de 12 años es competitivo y atractivo, situándose en el rango de 10 a 15 años que muchas inversiones buscan.

Además, con los bajos costos de mantenimiento asociados a los paneles solares, los beneficios netos se maximizan a largo plazo, haciendo de esta una inversión sólida y rentable.

Este análisis financiero se ha hecho teniendo en cuenta los precios actuales de electricidad, pero se espera que los precios sigan subiendo en los próximos años, en torno al 30% y 50% en un futuro próximo debido a diversos factores económicos y de políticas energéticas (Knez, Jereb, Jadraque Gago, Rosak-Szyrocka, & Obrecht, 2021).

El retorno de la inversión depende directamente de los ahorros anuales incurridos por la nueva instalación, por tanto, si aumenta el precio de la luz aumentarán los ahorros anuales. Esto hará que en realidad el periodo de retorno de la inversión sea menor que el inicialmente calculado, lo cual hace todavía más atractivo la financiación de una instalación renovable como esta.

Además, no podemos olvidarnos del impacto medioambiental que supondría llevar a cabo este proyecto, ya que estaríamos sustituyendo el uso de energías no renovables por energía solar como fuente principal de energía de la vivienda, ayudando a reducir la contaminación en el sector residencial. Por tanto, teniendo en cuenta los factores económicos y ambientales mencionados, el proyecto es viable.

## 6. Referencias

AEG España. (s. f.). Microondas | AEG.

[https://www.aeg.com.es/kitchen/cooking/microwaves/?\\_gl=1%2a8md7by%2a\\_up%2aMQ..&gclid=Cj0KCQjw6uWyBhD1ARIsAIMcADpN0klfPpPflEv6hy6lK3FntHqg6K26AWHFW05vPAyYOgiZ-EyhybEaAhcZEALw\\_wcB&gclsrc=aw.ds](https://www.aeg.com.es/kitchen/cooking/microwaves/?_gl=1%2a8md7by%2a_up%2aMQ..&gclid=Cj0KCQjw6uWyBhD1ARIsAIMcADpN0klfPpPflEv6hy6lK3FntHqg6K26AWHFW05vPAyYOgiZ-EyhybEaAhcZEALw_wcB&gclsrc=aw.ds)

Aspiradoras. (s. f.). Dyson España. <https://www.dyson.es/aspiradoras>

Auge de las energías renovables en las ciudades. (2020, 1 octubre).

<https://www.irena.org/publications/2020/Oct/Rise-of-renewables-in-cities-ES>

Avenir Instalaciones S.L. (2024). Presupuesto de instalación solar. En Avenir Energía.

Climate Change 2021: The Physical Science Basis. (s. f.). IPCC.

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

Dksdev. (2024, 9 abril). Vida útil de una placa solar. Dankesol. [https://dankesol.com/cuanto-](https://dankesol.com/cuanto-dura-una-placa-solar/#:~:text=La%20vida%20%C3%BAtil%20de%20unas,unos%2025%20a%C3%B1os%20de%20media.)

[dura-una-placa-](https://dankesol.com/cuanto-dura-una-placa-solar/#:~:text=La%20vida%20%C3%BAtil%20de%20unas,unos%2025%20a%C3%B1os%20de%20media.)

[solar/#:~:text=La%20vida%20%C3%BAtil%20de%20unas,unos%2025%20a%C3%B](https://dankesol.com/cuanto-dura-una-placa-solar/#:~:text=La%20vida%20%C3%BAtil%20de%20unas,unos%2025%20a%C3%B1os%20de%20media.)

[1os%20de%20media.](https://dankesol.com/cuanto-dura-una-placa-solar/#:~:text=La%20vida%20%C3%BAtil%20de%20unas,unos%2025%20a%C3%B1os%20de%20media.)

Energía Solar Térmica | Viessmann ES. (2023, 28 junio).

[https://www.viessmann.es/es/productos/sistemas-de-energia-solar/gama-](https://www.viessmann.es/es/productos/sistemas-de-energia-solar/gama-vitosol.html#product%20range)

[vitosol.html#product%20range](https://www.viessmann.es/es/productos/sistemas-de-energia-solar/gama-vitosol.html#product%20range)

Friderichs, P., Serafini, A., & Foletto, S. (2014). Economic-environmental comparison

between flat-plate and evacuated tube solar collectors. Global NEST Journal, 16(6),

1100-1110. <https://doi.org/10.30955/gnj.001386>

Frigoríficos y congeladores | BOSCH. (s. f.). <https://www.bosch->

[home.es/electrodomesticos/frigorificos-y-congeladores?contentType=products](https://www.bosch-home.es/electrodomesticos/frigorificos-y-congeladores?contentType=products)

García-Sánchez, G., Chacón-Velasco, J., Fuentes-Díaz, D., Jaramillo-Ibarra, J., & Martínez-Morales, J. (2020). CFD modelling of biomass boilers - a review of the state of the art. *Respuestas*, 25(3). <https://doi.org/10.22463/0122820x.2462>

Girard, A., Gago, E., Ordoñez, J., & Muneer, T. (2016). Spain's energy outlook: A review of PV potential and energy export. *Renewable Energy*, 86, 703-715. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.08.074>

Guijarro Ramón, G. (2023). Certificado de Eficiencia Energética en Urbanización Riaza 2. En Esther Bermejo Bravo (Ed.), *Comunidad de Propietarios Uriasol* (pp. 1-12).

Hornos | Miele. (s. f.). <https://www.miele.es/e/hornos-integrables-1022125-c>

Instalaciones, M. A. (2022, 16 febrero). Calderas de condensación - MPAqua. MPAqua.

<https://instalacioncalderasmadrid.com/instalaciones/cuantos-anos-dura-caldera-condensacion/#:~:text=toda%20caldera%20necesita-.Tiempo%20medio%20de%20duraci%C3%B3n,los%2030%20a%C3%B1os%20de%20longevidad.>

Kalogirou, S., & Tripanagnostopoulos, Y. (2006). Hybrid PV/T solar systems for domestic hot water and electricity production. *Energy Conversion And Management*, 47(18-19), 3368-3382. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.01.012>

Knez, M., Jereb, B., Jadraque Gago, E., Rosak-Szyrocka, J., & Obrecht, M. (2021). Features influencing policy recommendations for the promotion of zero-emission vehicles in Slovenia, Spain, and Poland. *Clean technologies and environmental policy*, 23(3), 749–764. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01909-9>

Lavadoras | LG España. (s. f.). LG España. <https://www.lg.com/es/lavadoras>

Lavavajillas | BALAY. (s. f.). <https://www.balay.es/electrodomesticos/lavavajillas>

López-Ochoa, L. M., García-Lozano, C., Juárez-Castelló, M. C., Doménech-Subirán, J., & Universidad de La Rioja. ETSII de Logroño. Grupo de Investigación GI-TENECO. Departamento de Ingeniería Mecánica. C/ Luis de Ulloa, 20. 26004 Logroño (La Rioja). (2011). SOLUCIONES GENERALES EN SITUACIONES ESPECIALES PARA EDIFICIOS DE VIVIENDAS MEDIANTE EL EMPLEO DE CALDERAS DE BIOMASA DE FORMA COMPETITIVA [Journal-article].

Miller, R. A. (2004, 15 febrero). Biomass pellets provide Low-Cost system for home heating | BioCycle. BioCycle. <https://www.biocycle.net/biomass-pellets-provide-low-cost-system-for-home-heating/>

Mitchell, D. M. S. (s. f.). LONGI Solar LR5-72HPH-535M (535W) Solar Panel. SolarDesignTool.com. <http://www.solardesigntool.com/components/module-panel-solar/LONGi-Solar/7182/LR5-72HPH-535M/specification-data-sheet.html>

Mitsubishi Electric. (s. f.). Aire acondicionado MXZ-3F54VF-E2. En Mitsubishi Electric.

Neves, R., Cho, H., & Zhang, J. (2021). Pairing geothermal technology and solar photovoltaics for net-zero energy homes. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 140, 110749. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110749>

Paiano, A., Lagioia, G., & Ingraio, C. (2023). A combined assessment of the energy, economic and environmental performance of a photovoltaic system in the Italian context. *Science Of The Total Environment*, 866, 161329.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161329>

Ramos, A., Chatzopoulou, M.-A., Guarracino, I., Freeman, J., Clean Energy Processes (CEP) Laboratory, Department of Chemical Engineering, Imperial College London, & Centre for Process Systems Engineering (CPSE), Imperial College London. (2017). Hybrid photovoltaic-thermal solar systems for combined heating, cooling and power provision in the urban environment. En Conference Paper [Conference-proceeding].

<https://www.researchgate.net/publication/318378682>

Rodriguez-Pastor, D., Becerra, J., & Chacartegui, R. (2023). Adaptation of residential solar systems for domestic hot water (DHW) to hybrid organic Rankine Cycle (ORC) distributed generation. *Energy*, 263, 125901.

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125901>

Selectra. (2024, 10 abril). Número de horas solares anuales en España por provincia. Selectra.

<https://selectra.es/autoconsumo/info/energia-solar/horas-de-sol>

Taurus. (s. f.). PLANCHAS DE VAPOR. <https://taurus-home.com/collections/planchas-de-vapor>

Teka España. (s. f.-a). Campanas extractoras de cocina | Teka España.

<https://www.teka.com/es-es/cocina/campanas/>

Teka España. (s. f.-b). Placas de inducción, vitrocerámica, gas o mixtas | Teka España.

<https://www.teka.com/es-es/cocina/placas/>

Televisores SMART TV- Panasonic. (s. f.).

<https://www.panasonic.com/es/consumer/televisores.html>

United Nations. (s. f.-a). El acuerdo de París | Naciones Unidas.

<https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>

United Nations. (s. f.-b). Energías renovables: energías para un futuro más seguro | Naciones

Unidas. <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>

Williamson, L., & Williamson, L. (2022, 2 febrero). Number of households with solar panels increased sharply in Spain. InSpain.news. [https://inspain.news/number-of-households-](https://inspain.news/number-of-households-with-solar-panels-increased-sharply-in-spain/)

[with-solar-panels-increased-sharply-in-spain/](https://inspain.news/number-of-households-with-solar-panels-increased-sharply-in-spain/)

Yan, H. L., Zhang, H., & Shao, Q. P. (2013). Comparative studies on the efficiency of solar

Flat-Plate collector and evacuated tube collector. Applied Mechanics And Materials,

291-294, 3-8. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.291-294.3>

Zambolin, E., & Del Col, D. (2010). Experimental analysis of thermal performance of flat

plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions.

Solar Energy, 84(8), 1382-1396. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.04.020>

Zorraquino, J. M., García San José, R., López de Subijana, R., & Casado, J. M. (2005).

Integración de calderas individuales en las instalaciones de ACS con energía solar. En

DYNA: Vol. LXXX–LXXX (pp. 32-36).

## 7. Anexo

### 7.1. Datos de cerramientos

Nombre	Tipo	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K]	Modo de obtención
FACHADA_RIAZA_2E_S_1	Fachada	71.93	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2E_O_1	Fachada	38.92	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2E_E_1	Fachada	34.05	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2E_N_1	Fachada	140.14	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2E_NO_1	Fachada	6.12	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2E_NE_1	Fachada	6.12	0.46	Conocidas
Partición inferior_RIAZA_2E	Partición Interior	343.48	1.20	Por defecto
Cubierta con aire_RIAZA_2E	Cubierta	343.48	1.27	Estimadas
FACHADA_RIAZA_2D_S_1	Fachada	69.79	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2D_O_1	Fachada	38.92	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2D_E_1	Fachada	34.05	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2D_N_1	Fachada	140.14	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2D_NO_1	Fachada	6.12	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2D_NE_1	Fachada	6.12	0.46	Conocidas
Partición inferior_RIAZA_2D	Partición Interior	343.48	1.20	Por defecto
Cubierta con aire_RIAZA_2D	Cubierta	343.48	1.27	Estimadas
FACHADA_RIAZA_2C_S_1	Fachada	27.37	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2C_O_1	Fachada	38.92	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2E_O_2	Fachada	22.08	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2D_O_2	Fachada	22.08	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2C_O_2	Fachada	22.08	0.46	Conocidas

Nombre	Tipo	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K]	Modo de obtención
FACHADA_RIAZA_2E_E_2	Fachada	22.08	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2D_E_2	Fachada	22.08	0.46	Conocidas
Suelo con aire_2C	Suelo	147.37	0.80	Por defecto
FACHADA_RIAZA_2C_N_1	Fachada	110.41	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2C_N_2	Fachada	17.13	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2C_E_1	Fachada	62.43	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2C_NE_1	Fachada	6.53	0.46	Conocidas
Cubierta con aire_RIAZA_2C	Cubierta	367.3	1.27	Estimadas
Partición inferior_RIAZA_2C	Partición Interior	237.44	1.20	Por defecto
FACHADA_RIAZA_2B_SO_1	Fachada	74.93	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2B_SO_2	Fachada	4.45	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2B_SE_1	Fachada	88.24	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2B_NE_1	Fachada	54.73	0.46	Conocidas
Cubierta con aire_RIAZA_2B	Cubierta	304.64	1.27	Estimadas
Suelo con aire_2B	Suelo	69.09	0.80	Por defecto
Partición inferior_RIAZA_2B	Partición Interior	210.35	1.20	Por defecto
FACHADA_RIAZA_2A_SE_1	Fachada	84.92	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2A_NO_1	Fachada	137.69	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2B_NO_1	Fachada	50.68	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2A_NE_1	Fachada	54.73	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2A_SO_1	Fachada	54.73	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2A_SO_2	Fachada	54.73	0.46	Conocidas
Cubierta con aire_RIAZA_2A	Cubierta	351.11	1.27	Estimadas

Partición inferior_RIAZA_2A	Partición Interior	351.11	1.20	Por defecto
FACHADA_RIAZA_2_SE_1	Fachada	77.4	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2_SO_1	Fachada	59.11	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2_NE_1	Fachada	138.43	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2_NE_2	Fachada	68.41	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2_N_1	Fachada	42.01	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2_NO_1	Fachada	33.79	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2_SO_2	Fachada	28.03	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2_SO_3	Fachada	64.68	0.46	Conocidas
FACHADA_RIAZA_2_S_1	Fachada	19.83	0.46	Conocidas
Suelo con aire_2	Suelo	45.0	0.80	Por defecto
Cubierta con aire_RIAZA_2	Cubierta	500.63	1.27	Estimadas
Partición inferior_RIAZA_2	Partición Interior	500.63	1.20	Por defecto
FACHADA_AGUSTIN LARA_7_S_1	Fachada	74.41	0.46	Conocidas
FACHADA_AGUSTIN LARA_7_N_1	Fachada	131.02	0.46	Conocidas
FACHADA_AGUSTIN LARA_7_O_1	Fachada	66.76	0.46	Conocidas
FACHADA_AGUSTIN LARA_7_E_1	Fachada	59.89	0.46	Conocidas
Cubierta con aire_AGUSTIN LARA_7	Cubierta	353.69	1.27	Estimadas
Partición inferior_AGUSTIN LARA_7	Partición Interior	353.69	1.20	Por defecto
FACHADA_AGUSTIN LARA_5_S_1	Fachada	74.41	0.46	Conocidas
FACHADA_AGUSTIN LARA_5_N_1	Fachada	131.02	0.46	Conocidas
FACHADA_AGUSTIN LARA_5_O_1	Fachada	66.76	0.46	Conocidas
FACHADA_AGUSTIN LARA_5_E_1	Fachada	59.89	0.46	Conocidas

Nombre	Tipo	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K]	Modo de obtención
Cubierta con aire_AGUSTIN LARA_5	Cubierta	353.69	1.27	Estimadas
Partición inferior_AGUSTIN LARA_5	Partición Interior	353.69	1.20	Por defecto
FACHADA_AGUSTIN LARA_3_S_1	Fachada	74.41	0.46	Conocidas
FACHADA_AGUSTIN LARA_3_N_1	Fachada	131.02	0.46	Conocidas
FACHADA_AGUSTIN LARA_3_O_1	Fachada	66.76	0.46	Conocidas
FACHADA_AGUSTIN LARA_3_E_1	Fachada	59.89	0.46	Conocidas
Cubierta con aire_AGUSTIN LARA_3	Cubierta	353.69	1.27	Estimadas
Partición inferior_AGUSTIN LARA_3	Partición Interior	353.69	1.20	Por defecto

## 7.2. Datos de huecos y lucernarios

Nombre	Tipo	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K]	Factor solar	Modo de obtención. Transmitancia	Modo de obtención. Factor solar
V_RIAZA_2E_S_1_2	Hueco	23.04	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2E_S_1_1	Hueco	19.91	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2E_S_1_3	Hueco	5.04	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2E_S_1_4	Hueco	4.2	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2E_S_1_5	Hueco	39.82	3.78	0.32	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2D_S_1_6	Hueco	2.14	5.70	0.34	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2E_O_1_1	Hueco	6.87	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2E_O_2_1	Hueco	4.87	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2E_E_1_1	Hueco	6.87	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2E_E_1_2	Hueco	4.87	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2E_N_1_1	Hueco	10.02	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2E_N_1_2	Hueco	8.32	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2E_N_1_3	Hueco	2.49	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2E_N_1_4	Hueco	2.97	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2E_NO_1_1	Hueco	4.68	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2E_NE_1_1	Hueco	4.68	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2D_S_1_2	Hueco	23.04	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2D_S_1_1	Hueco	19.91	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2D_S_1_3	Hueco	5.04	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2D_S_1_4	Hueco	4.2	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2D_S_1_5	Hueco	39.82	3.78	0.32	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2D_O_1_1	Hueco	6.87	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2D_O_2_1	Hueco	4.87	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2D_E_1_1	Hueco	6.87	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2D_E_1_2	Hueco	4.87	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2D_N_1_1	Hueco	10.02	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2D_N_1_2	Hueco	8.32	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2D_N_1_3	Hueco	2.49	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2D_N_1_4	Hueco	2.97	5.70	0.69	Estimado	Estimado

V_RIAZA_2D_NO_1_1	Hueco	4.68	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2D_NE_1_1	Hueco	4.68	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2C_S_1_1	Hueco	39.82	3.78	0.32	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2C_S_1_2	Hueco	1.65	2.22	0.51	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2C_S_1_3	Hueco	1.65	3.78	0.63	Estimado	Estimado

Nombre	Tipo	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K]	Factor solar	Modo de obtención. Transmitancia	Modo de obtención. Factor solar
V_RIAZA_2C_S_1_4	Hueco	0.9	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2C_S_1_5	Hueco	3.36	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2C_S_1_6	Hueco	8.4	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2C_S_1_7	Hueco	9.95	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2C_O_1_1	Hueco	6.87	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2C_O_2_1	Hueco	4.87	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2E_E_2_1	Hueco	4.87	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2D_E_2_1	Hueco	4.87	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2C_N_1_1	Hueco	2.04	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2C_N_1_2	Hueco	10.02	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2C_N_2_1	Hueco	4.45	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2C_N_2_2	Hueco	2.4	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2C_E_1_1	Hueco	3.25	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2C_E_1_2	Hueco	2.09	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2B_SO_1_1	Hueco	8.24	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2B_SO_1_3	Hueco	2.69	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2B_SO_2_1	Hueco	8.24	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2B_SE_1_1	Hueco	18.22	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2B_SE_1_2	Hueco	9.95	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2B_SE_1_3	Hueco	3.36	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2B_SE_1_4	Hueco	8.4	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2B_SE_1_5	Hueco	9.95	3.78	0.45	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2B_SE_1_6	Hueco	7.68	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2B_NE_1_1	Hueco	6.01	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2B_NE_1_2	Hueco	3.0	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2B_NE_1_3	Hueco	4.87	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2A_SE_1_1	Hueco	6.72	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2A_SE_1_2	Hueco	16.8	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2A_SE_1_3	Hueco	19.91	3.78	0.45	Estimado	Estimado

V_RIAZA_2A_SE_1_4	Hueco	15.36	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2A_SE_1_5	Hueco	19.91	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2B_NO_1_1	Hueco	5.57	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2B_NO_1_2	Hueco	5.6	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2B_NO_1_3	Hueco	3.27	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2A_NO_1_1	Hueco	11.19	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2A_NO_1_2	Hueco	11.3	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2A_NO_1_3	Hueco	3.44	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2A_NE_1_1	Hueco	6.01	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2A_NE_1_2	Hueco	3.0	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2A_NE_1_3	Hueco	4.87	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2A_SO_1_1	Hueco	6.01	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2A_SO_1_2	Hueco	3.0	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2A_SO_1_3	Hueco	4.87	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2A_SO_2_1	Hueco	6.01	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2A_SO_2_2	Hueco	3.0	2.81	0.55	Estimado	Estimado

Nombre	Tipo	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K]	Factor solar	Modo de obtención. Transmitancia	Modo de obtención. Factor solar
V_RIAZA_2A_SO_2_3	Hueco	4.87	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_SE_1_1	Hueco	3.36	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_SE_1_2	Hueco	8.4	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_SE_1_3	Hueco	20.61	5.70	0.69	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_SE_1_4	Hueco	9.95	3.78	0.45	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_SO_1_1	Hueco	4.63	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_SO_1_2	Hueco	4.87	3.78	0.63	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_NE_1_1	Hueco	11.99	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_NE_1_2	Hueco	5.18	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_NE_1_3	Hueco	6.66	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_NE_1_4	Hueco	15.45	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_NE_2_1	Hueco	17.98	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_NE_2_2	Hueco	4.44	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_NE_2_3	Hueco	3.56	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_N_1_1	Hueco	5.99	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_N_1_2	Hueco	2.22	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_NO_1_1	Hueco	2.0	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_NO_1_2	Hueco	5.6	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_SO_2_1	Hueco	8.99	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_SO_3_1	Hueco	8.9	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_SO_3_2	Hueco	13.74	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_SO_3_3	Hueco	3.4	2.81	0.55	Estimado	Estimado
V_RIAZA_2_S_3_1	Hueco	10.3	2.81	0.55	Estimado	Estimado

### 7.3. Análisis de las facturas de la vivienda (año 2023)

Si estudiamos las facturas eléctricas del año 2023, proporcionadas por la empresa comercializadora Naturgy, el consumo anual es de 10704 kWh, y por metro cuadrado salen 68.62 kWh/m<sup>2</sup>. Se asume que este consumo engloba tanto la energía eléctrica como la energía térmica consumida durante todo el año. Más adelante se incluye en forma de tabla el desglose de la energía facturada durante todos los meses del año.

En las facturas también aparece el consumo mensual dividido en consumos en punta, llano y valle. Esta clasificación corresponde a las distintas franjas horarias del día: el periodo de punta corresponde a las franjas entre las 10.00 y las 14.00, y entre las 18.00 y las 22.00; el periodo de llano corresponde a las franjas entre las 08.00 y las 10.00, entre las 14.00 y las 18.00, y entre las 22.00 y las 00.00; finalmente, el periodo de valle corresponde a la franja entre las 00.00 y las 08.00.

La empresa Naturgy es la que se encarga de la distribución eléctrica de la vivienda, y las facturas de todos los meses fueron solicitadas a ellos. Se incluye a continuación un resumen en forma de tablas y gráficos, todos de elaboración propia utilizando Excel, que muestran cuál ha sido el consumo energético de la vivienda a lo largo del año.

	Consumo Punta (kWh)	Consumo Llano (kWh)	Consumo Valle (kWh)	Total / mes
Enero	503	484	619	1606
Febrero	471	392	727	1590
Marzo	423	376	542	1341
Abril	211	150	264	625
Mayo	217	178	356	751
Junio	244	212	340	796
Julio	193	194	370	757
Agosto	122	102	182	406
Septiembre	163	146	251	560
Octubre	136	118	268	522
Noviembre	180	163	311	654
Diciembre	287	295	514	1096
<b>Total anual</b>	<b>3150</b>	<b>2810</b>	<b>4744</b>	<b>10704</b>
<b>Total anual / m2</b>	<b>20,19</b>	<b>18,01</b>	<b>30,41</b>	<b>68,62</b>

Tabla 17: Resumen de facturas año 2023, dividido en consumos punta, llano y valle

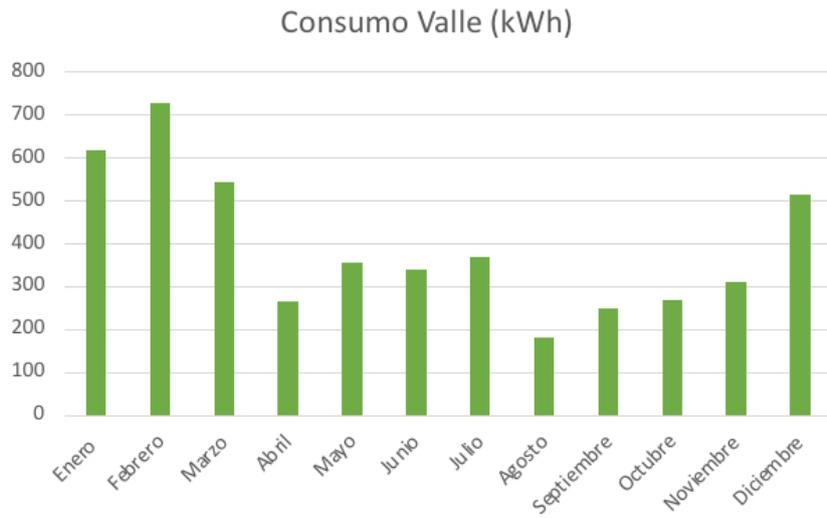


Figura 9: Consumo valle, según facturas año 2023

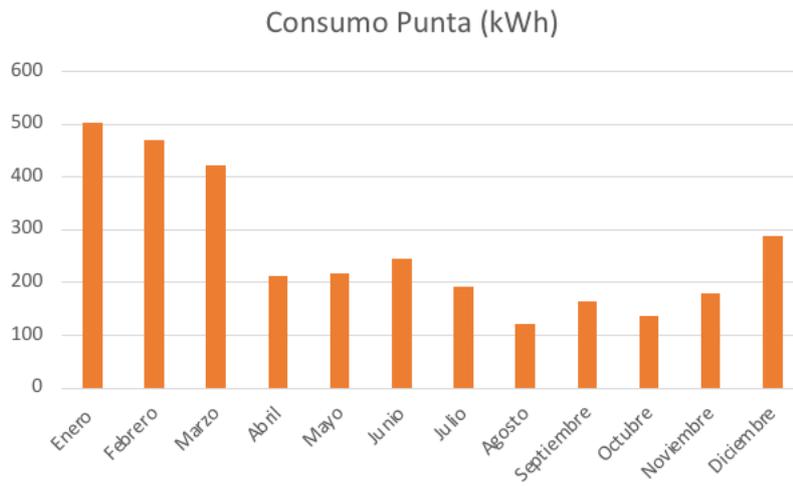


Figura 10: Consumo punta, según facturas año 2023

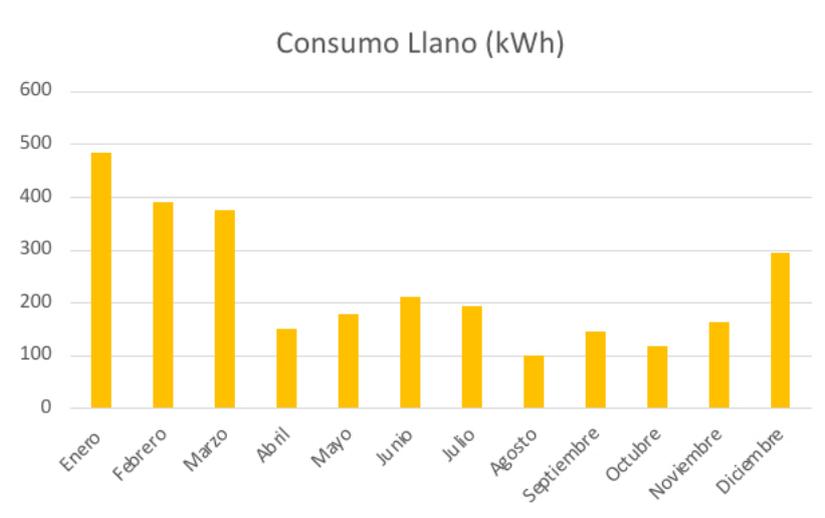


Figura 11: Consumo llano, según facturas año 2023

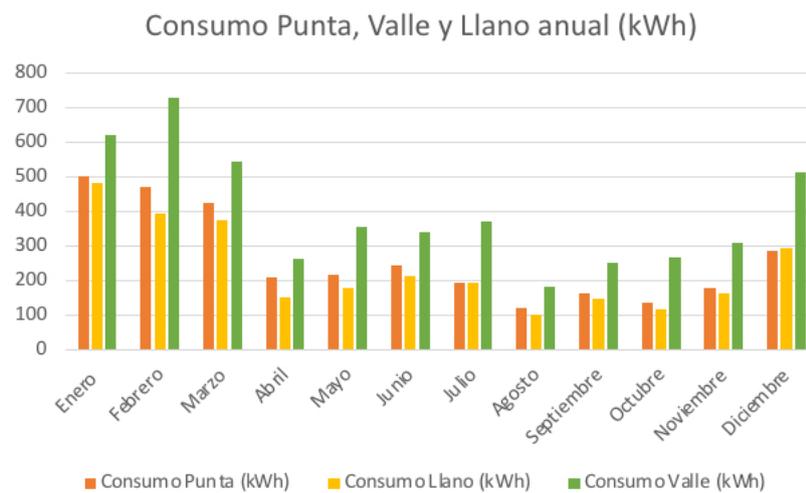


Figura 12: Consumo total, según facturas año 2023

## 7.4. Cálculos de viabilidad financiera

Año	Ahorros anuales	Flujos de caja descontados	Gastos mantenimiento	Tasa de descuento	0.06
1	2651.4	2137.237451	250	Inversión inicial	22184.16
2	2651.4	2137.237451	250		
3	2651.4	2137.237451	250	Ahorros anuales netos	1887.237
4	2651.4	2137.237451	250		
5	2651.4	2137.237451	250	Periodo de retorno (años)	11.75483
6	2651.4	2137.237451	250		
7	2651.4	2137.237451	250		
8	2651.4	2137.237451	250		
9	2651.4	2137.237451	250		
10	2651.4	2137.237451	250		
11	2651.4	2137.237451	250		
12	2651.4	2137.237451	250		
13	2651.4	2137.237451	250		
14	2651.4	2137.237451	250		
15	2651.4	2137.237451	250		
16	2651.4	2137.237451	250		
17	2651.4	2137.237451	250		
18	2651.4	2137.237451	250		
19	2651.4	2137.237451	250		
20	2651.4	2137.237451	250		

Tabla 18: Cálculo de los flujos de caja anuales en Excel (elaboración propia)

Flujo de caja total (15 años)	32058.56177
Flujo de caja total (20 años)	42744.74902
Flujo de caja total (18 años)	38470.27412
<b>VAN (15 años)</b>	<b>9874.401766</b>
<b>VAN (20 años)</b>	<b>20560.58902</b>
<b>VAN (18 años)</b>	<b>16286.11412</b>

Tabla 19: Cálculo del VAN en Excel (elaboración propia)