

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Estudio de viabilidad de la rehabilitación energética de una vivienda unifamiliar para conseguir el estándar PassivHaus

MEMORIA

Autor: Ana Naranjo Maestre
Director: Gaspar Martín Sánchez
Ponente: Alejandro García Mónaco
Convocatoria: Abril 2023



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resumen

El objetivo de este proyecto es comprobar la viabilidad de la rehabilitación de una vivienda existente situada en la localidad de Sant Andreu de la Barca, en la provincia de Barcelona. Concretamente, el estudio se centrará en el aspecto del confort térmico, de manera que el objetivo es conseguir que la vivienda cumpla con los requisitos especificados para obtener la certificación PassivHaus. El estudio se realizará mediante simulaciones de la vivienda para observar la evolución de la demanda térmica de la misma y así poder comparar los resultados. En último lugar, se llevará a cabo un estudio sobre el impacto ambiental y social del proyecto, así como la valoración de su viabilidad económica.

Resum

L'objectiu d'aquest projecte és comprovar la viabilitat de la rehabilitació d'un habitatge existent situada al municipi de Sant Andreu de la Barca, a la provincial de Barcelona. Concretament, l'estudi se centrarà a l'aspecte del confort tèrmic, de manera que l'objectiu és aconseguir que l'habitatge compleixi els requisits especificats per a obtenir la certificació PassivHaus. L'estudi es realitzarà mitjançant simulacions de l'habitatge per a observar l'evolució de la demanda tèrmica de la mateixa i així poder comparar els resultats. En darrer lloc, es durà a terme un estudi sobre l'impacte ambiental i social, així com la valoració de la seva viabilitat econòmica.

Abstract

The aim of this project is to verify the viability of the rehabilitation of an existing house located in Sant Andreu de la Barca, in Barcelona. Specifically, the focus will be on the thermal comfort aspect, so that the objective is to ensure that the house meets the specified requirements to obtain the PassivHaus certification. The study will be carried out through simulations of the building to observe the evolution of its thermal demand and thus be able to compare the results. Lastly, a study will be carried out on the environmental and social impact of the project, as well as its economic viability.



Sumario

LISTA DE ABREVIATURAS	9
GLOSARIO DE CONCEPTOS	11
ÍNDICE DE FIGURAS	13
ÍNDICE DE TABLAS	17
1. INTRODUCCIÓN	21
1.1. Origen del proyecto y motivación	21
1.2. Objetivo	22
1.3. Alcance	23
2. ESTADO DEL ARTE	25
2.1. Marco normativo	25
2.2. Energía renovable	27
2.3. Aerotermia	30
3. EL ESTÁNDAR PASSIVHAUS	33
3.1. Concepto	33
3.2. Tipos de calificación y aplicabilidad	34
3.2.1. PassivHaus	34
3.2.1.1. Aplicación	34
3.2.1.2. Valores característicos	35
3.2.2. EnerPHit	36
3.2.2.1. Aplicación	36
3.2.2.2. Valores característicos	39
4. ESTADO INICIAL DEL EDIFICIO	41
4.1. Descripción de la vivienda	41
4.2. Elementos constructivos	42
4.3. Instalaciones actuales	44
4.3.1. Instalación de climatización	44
4.3.2. Instalación de Agua Caliente Sanitaria	44
4.3.3. Ventilación	44
4.4. Consumo actual	44

4.5. Estado energético actual	47
4.5.1. Datos generales.....	47
4.5.2. Geometría.....	47
4.5.3. Demanda energética.....	48
4.6. Aplicación estándar PassivHaus sobre la vivienda de referencia.....	53
5. PRIMERA ETAPA: REDUCCIÓN DE LA DEMANDA MEDIANTE ELEMENTOS PASIVOS	55
5.1. Exploración de las posibles medidas.....	55
5.1.1. Insuflado de aislamiento térmico en cámara de aire	58
5.1.2. Instalación de planchas de espuma en las cajoneras	62
5.1.3. Sustitución del acristalamiento.....	65
5.1.4. Adición de aislamiento térmico por el exterior (sistema SATE).....	68
5.1.4.1. Adición de SATE con EPS de alta densidad	71
5.1.4.2. Adición de SATE con EPS de baja densidad	73
5.2. Aplicación de las medidas escogidas	76
6. SEGUNDA ETAPA: SATISFACCIÓN DE LA DEMANDA MEDIANTE ELEMENTOS ACTIVOS	81
6.1. Definición de las demandas a cubrir	81
6.2. Sustitución de la caldera atmosférica por caldera de condensación	82
6.3. Sustitución de la caldera atmosférica por bomba de calor aerotérmica	83
6.3.1. Calefacción	88
6.3.2. Agua Caliente Sanitaria	90
7. ANÁLISIS ECONÓMICO	95
7.1. Materiales	95
7.2. Mano de obra y medios auxiliares	96
7.3. Subvenciones	97
7.4. Resultados	98
8. IMPACTO AMBIENTAL	105
8.1. Emisiones de CO ₂	106
8.2. Consumo de energía primaria no renovable.....	106
8.3. Reducción impacto ambiental.....	107
9. IMPACTO SOCIAL Y DE IGUALDAD DE GÉNERO	109
10. COSTE DEL PROYECTO	111

10.1. Materiales y licencias	111
10.2. Mano de obra	112
10.3. Coste total	112
11. PLANIFICACIÓN	113
CONCLUSIONES	115
AGRADECIMIENTOS	117
BIBLIOGRAFÍA	119
Referencias bibliográficas	119
A ANEXOS	125
A.1 Ficha técnica bomba de calor.....	125



Lista de abreviaturas

ACS: Agua Caliente Sanitaria

AFEC: Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización

COP: Coefficient Of Performance/Coeficiente de rendimiento

CTE: Código Técnico de la Edificación

ERES: Energía Renovable

EPS: Expanded PolyStyrene

IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

INE: Instituto Nacional de Estadística

RITE: Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios

SATE: Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior

SCOP: Seasonal Coefficient Of Performance

SPF: Factor de rendimiento medio estacional estimativo

XPS: Extruded Polystyrene



Glosario de conceptos

Balance energético: Es la relación entre la energía total que entra en un sistema y la que sale de él.

Balance térmico: Se trata del balance energético de un sistema teniendo en cuenta la energía únicamente en forma de calor.

Calificación energética: Índice que aporta información acerca de la eficiencia energética de una vivienda.

Carga térmica: Es un concepto utilizado en el sector de la climatización. Hace referencia a la potencia térmica que una vivienda u otro espacio cerrado intercambia con el exterior.

Confort térmico: Se define como la ausencia de incomodidad en relación con las condiciones higrotérmicas de un espacio cerrado. Es un aspecto subjetivo y sucede cuando el cuerpo no necesita activar procesos termorreguladores.

Demanda energética: Se trata de la energía requerida para satisfacer unas condiciones específicas de confort en un lugar habitable.

Eficiencia energética: Se refiere a la optimización del uso de energía para conseguir el confort y las condiciones de servicio requeridas. De esta manera se consigue reducir la cantidad de energía necesaria para realizar un actividad, sin alterar su calidad o eficacia.

Energía primaria (renovable/no renovable): Hace referencia a la energía que se encuentra disponible en la naturaleza antes de ser procesada. Ésta es de carácter renovable o no renovable en función del carácter de la fuente de la que procede.

Huella de carbono: Se refiere a la cantidad total de gases de efecto invernadero, especialmente dióxido de carbono (CO₂), que se emiten directa o indirectamente a la atmosfera como resultado de la actividad humana.

Pérdidas energéticas: Se refiere a la cantidad de energía que se disipa o se pierde en un sistema durante su funcionamiento. Éstas pueden afectar significativamente a la eficiencia energética del sistema.

Rehabilitación energética: Proceso que tiene como fin la mejora de las condiciones de eficiencia energética de un edificio, mejorando principalmente los aislamientos y minimizando así las pérdidas y, como consecuencia, la demanda energética.

Rendimiento de una bomba de calor: Valor indicativo de la eficiencia de un generador (en este caso una bomba de calor). Relacionando la energía térmica generada con el consumo eléctrico del equipo. La forma más habitual de representarlo es mediante el COP, el cual es el resultado del cociente entre la aportación térmica y el consumo eléctrico.

Zona climática: Extensión de territorio que se caracteriza por unas características climáticas similares, considerando la temperatura, humedad, precipitaciones y viento principalmente.

Lista de figuras

Figura 1.1. Viviendas construidas por décadas en España. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

Figura 2.1. Ciclo termodinámico de una bomba de calor. Fuente: Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización (AFEC).

Figura 2.2. Gráfica de presiones-entalpías del ciclo termodinámico. Fuente: AFEC.

Figura 4.1. Croquis y fachada de la vivienda. Fuente: Sede Electrónica del Catastro.

Figura 4.2. Composición por capas de la fachada de la vivienda en la situación inicial. Fuente: DesignBuilder.

Figura 4.3. Consumo mensual de gas en la vivienda. Fuente: elaboración propia.

Figura 4.4. Escala de calificación energética según el indicador parcial de demanda energética de calefacción. Fuente: IDAE.

Figura 4.5. Demanda de calefacción en la situación inicial. Fuente: DesignBuilder.

Figura 4.6. Balance térmico en la situación inicial. Fuente: DesignBuilder.

Figura 4.7. Calificación energética parcial inicial según demanda de calefacción.

Figura 5.1. Ilustración de la fachada antes y después de insuflar la cámara de aire con PES. Fuente: Google Imágenes.

Figura 5.2. Composición por capas de la fachada de la vivienda tras la inserción del EPS. Fuente: DesignBuilder.

Figura 5.3. Demanda de calefacción tras la aplicación de la medida. Fuente: DesignBuilder.

Figura 5.4. Balance térmico tras la aplicación de la medida. Fuente: DesignBuilder.

Figura 5.5. *Plancha de espuma para cajonera. Fuente: Google Imágenes.*

Figura 5.6. *Demanda de calefacción tras la aplicación de la medida. Fuente: DesignBuilder.*

Figura 5.7. *Balance térmico tras la aplicación de la medida. Fuente: DesignBuilder.*

Figura 5.8. *Demanda de calefacción tras la aplicación de la medida. Fuente: DesignBuilder.*

Figura 5.9. *Balance térmico tras la aplicación de la medida. Fuente: DesignBuilder.*

Figura 5.10. *Aplicación de SATE sobre una vivienda. Fuente: Google Imágenes.*

Figura 5.11. *Vivienda con aplicación de SATE con acabado en dos texturas. Fuente: Google Imágenes.*

Figura 5.12. *Composición por capas de la fachada de la vivienda tras la incorporación del SATE con EPS de alta densidad. Fuente: DesignBuilder.*

Figura 5.13. *Demanda de calefacción tras la aplicación de la medida. Fuente: DesignBuilder.*

Figura 5.14. *Balance térmico tras la aplicación de la medida. Fuente: DesignBuilder.*

Figura 5.15. *Composición por capas de la fachada de la vivienda tras la incorporación del SATE con EPS de baja densidad. Fuente: DesignBuilder.*

Figura 5.16 *Demanda de calefacción tras la aplicación de la medida. Fuente: DesignBuilder.*

Figura 5.17. *Composición por capas de la fachada de la vivienda tras la adición del SATE. Fuente: DesignBuilder.*

Figura 5.18. *Composición por capas de la fachada de la vivienda tras aplicación de todas las medidas. Fuente: DesignBuilder.*

Figura 5.19. Balance térmico tras la aplicación de todas las medidas. Fuente: DesignBuilder.

Figura 5.20. Balance térmico tras la aplicación de todas las medidas. Fuente: DesignBuilder.

Figura 5.21. Calificación energética parcial final según demanda de calefacción. Fuente: elaboración propia.

Figura 6.1. Esquema hidráulico de la instalación. Fuente: elaboración propia.

Figura 6.2. Representación potencia demandada VS potencia generada. Fuente: elaboración propia.

Figura 7.1. Evolución diaria del precio de la luz en España en el último año. Fuente: Epdata.

Figura 7.2. Evolución diaria del precio del gas en España en el último año. Fuente: Epdata.

Figura 11.1. Diagrama de Gantt del proyecto. Fuente: elaboración propia.

Figura A.1. Ficha técnica de la bomba de calor (1/2). Fuente: Thermor.

Figura A.2. Ficha técnica de la bomba de calor (2/2). Fuente: Thermor.



Lista de tablas

Tabla 2.1. Estructura media del consumo energético total de una vivienda. Fuente: IDAE.

Tabla 3.1. Criterios PassivHaus. Fuente: Passive House Institute.

Tabla 3.2. Certificación EnerPHit en base a los requisitos de componentes individuales del edificio. Fuente: Passive House Institute.

Tabla 3.3. Certificación EnerPHit en base al requisito de demanda de calefacción (como alternativa a la Tabla 3.2). Fuente: Passive House Institute.

Tabla 3.4. Criterios generales EnerPHit. Fuente: Passive House Institute.

Tabla 4.1. Datos descriptivos del inmueble. Fuente: Sede Electrónica del Catastro.

Tabla 4.2. Consumo mensual de gas en la vivienda. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.3. Consumo medio mensual actual de energía para calefacción y ACS en la vivienda. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.4. Distribución de la vivienda y superficies. Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.1. Resumen de las medidas consideradas para reducir la demanda energética de la vivienda. Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.2. Resumen comparativo antes y después de la aplicación de la medida seleccionada. Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.3. Resumen comparativo antes y después de la aplicación de la medida seleccionada. Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.4. Resumen comparativo antes y después de la aplicación de la medida seleccionada. Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.5. Resumen comparativo antes y después de la aplicación de la medida seleccionada. Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.6. Resumen comparativo antes y después de la aplicación de la medida seleccionada. Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.7. Resumen de las medidas seleccionadas y su impacto sobre la vivienda en el estado inicial. Fuente: elaboración propia.

Tabla 6.1. Resultados de consumo para cada tipo de caldera. Fuente: elaboración propia.

Tabla 6.2. Características técnicas en calefacción de la bomba de calor Alféa Extensa Duo Ai 5 R32. Fuente: Thermor.

Tabla 6.3. Características técnicas en producción de ACS de la bomba de calor Alféa Extensa Duo Ai 5 R32. Fuente: Thermor.

Tabla 6.4. Volumen mínimo de agua libre en la instalación. Fuente: Thermor.

Tabla 6.5. Datos de partida para el estudio de calefacción. Fuente: elaboración propia.

Tabla 6.6. Comparativo consumos caldera atmosférica y bomba de calor. Fuente: elaboración propia.

Tabla 6.7. Estimación de la demanda y consumo mensual en la producción de ACS. Fuente: elaboración propia.

Tabla 7.1. Presupuesto acciones reducción de consumo. Fuente: elaboración propia.

Tabla 7.2. Presupuesto instalación térmica. Fuente: elaboración propia.

Tabla 7.3. Precios estimados energía. Fuente: Epdata.

Tabla 7.4. Flujo de caja del proyecto. Fuente: elaboración propia.

Tabla 7.5. VAN, TIR y PR. Fuente: elaboración propia.

Tabla 8.1. Factores de conversión de energía final a primaria y factores de emisiones de CO₂. Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo y Ministerio de Fomento.

Tabla 8.2. Resumen de emisiones de CO₂ y de consumo de EPNR del sistema. Fuente: elaboración propia.

Tabla 10.1. Resumen costes asociados los materiales y licencias. Fuente: elaboración propia.

Tabla 10.2. Resumen costes asociados a la realización del proyecto. Fuente: elaboración propia.

Tabla 11.1. Resumen diagrama de Gantt del proyecto. Fuente: elaboración propia.



1. Introducción

1.1. Origen del proyecto y motivación

La sociedad actual requiere de un elevado consumo energético para mantener el nivel de vida deseado. El principal desafío radica en lograr un desarrollo sostenible, el cual no interfiera en la actividad, transformación y progreso de la sociedad, de manera que dichas necesidades se adapten a los recursos disponibles, eludiendo así los consumos energéticos que no sean imprescindibles.

La motivación para la realización de este proyecto surge de la necesidad de actuación sobre el estado energético del parque inmobiliario existente nacional. Un elevado porcentaje de las viviendas en España fueron construidas hace más de 40 años. Esto implica que la edificación no se realizó en base a ninguna normativa reguladora que garantice unos mínimos de calidad en cuanto a cerramientos y aislamientos, con el desaprovechamiento energético que ello conlleva.

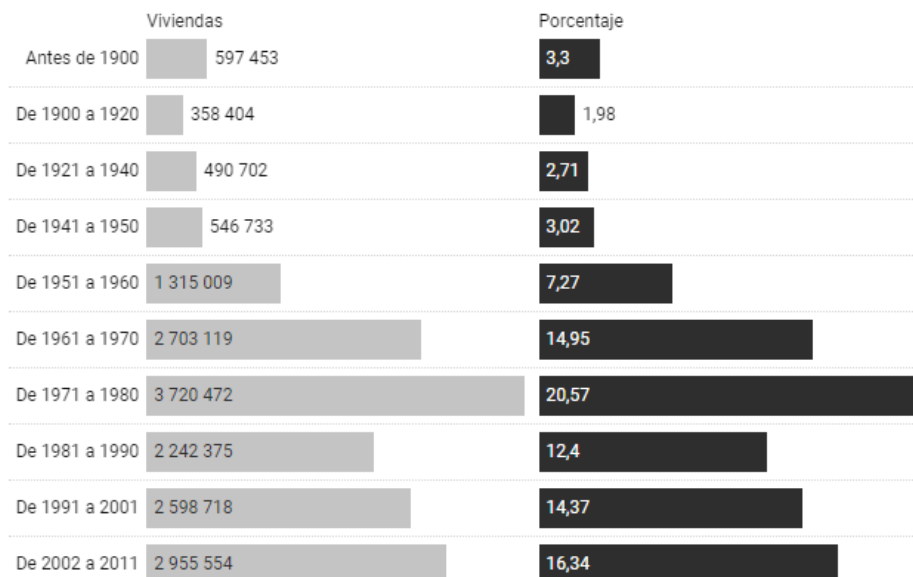


Figura 1.1. Viviendas construidas por décadas en España. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

La pérdida energética que se produce en las viviendas descritas anteriormente influye sobre diferentes aspectos:

- El medio ambiente. Las fuentes energéticas que habitualmente son empleadas en las viviendas antiguas generan contaminación, además de un consumo energético elevado y consumo de recursos y energía primaria no renovable, conceptos que son de especial interés en el proyecto y los cuales serán definidos en los siguientes apartados.
- Facturas energéticas elevadas. El desaprovechamiento energético ocasionado en la vivienda implica un añadido en el recibo para satisfacer las mayores demandas energéticas.
- Bajo nivel de confort. En numerosos casos no llega a cubrirse de forma satisfactoria la demanda energética de la vivienda.

Es a causa de los motivos indicados anteriormente que surge el interés por la realización del actual proyecto. En él no sólo se busca dar una solución a todos los propietarios e inquilinos que residen en viviendas antiguas, sino también ofrecer una solución global para toda la sociedad, dada la limitación de recursos existentes y el malbaratamiento que se está haciendo con ellos.

1.2. Objetivo

En el proyecto se planteará la rehabilitación energética de una vivienda unifamiliar de acuerdo con el estándar PassivHaus, concretamente EnerPHit. El objetivo principal es estudiar la viabilidad de dicha acción, teniendo en cuenta los aspectos técnicos y económicos de las medidas a realizar con el fin de obtener el certificado.

Una vez cumplido el objetivo principal, se pretende en el proyecto realizar el estudio de la instalación térmica completa mediante energía renovable, concretamente aerotermia, para así conseguir la máxima sostenibilidad posible en la vivienda.

1.3. Alcance

Para la realización del proyecto se valorarán las acciones frecuentemente realizadas en el tipo de rehabilitación objeto de estudio en el ámbito del confort térmico. Se pretende con ello estudiar el impacto de las obras más interesantes a nivel técnico y económico, para posteriormente obtener una visión conjunta sobre las obras necesarias para cumplir el objetivo.

Como se ha comentado, el proyecto se limita a una vivienda tipo y, según las conclusiones obtenidas, se espera conseguir un documento que pudiera modificarse y adecuarse a otros tipos de vivienda, quedando éstos fuera del alcance de este proyecto. Asimismo, el proyecto se limita al conocimiento técnico y los estudios de viabilidad sin tener inicialmente la intención de llevar a cabo las acciones sobre la vivienda estudiada.



2. Estado del arte

2.1. Marco normativo

Antes de proceder al estudio, es importante conocer el marco normativo que corresponde al proyecto. Para ello, se dará a conocer en este apartado el reglamento aplicable a las acciones relacionadas con los edificios habitables, así como a las instalaciones de aerotermia.

En cuanto a normativa aplicable a las acciones realizadas sobre edificios, el documento más importante que se debe tener en cuenta es el Código Técnico de la Edificación, en adelante CTE.

El CTE es el marco normativo que determina las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad. Se encuentra ordenado en dos partes: la primera describe las condiciones generales de aplicación del marco completo y sus exigencias básicas, y la segunda se compone de seis Documentos Básicos (en adelante DB), los cuales se introducen a continuación:

- DB SE: Documento Básico de Seguridad Estructural. Su objetivo principal es garantizar que la edificación cumple con las medidas necesarias para que sea segura frente a eventos potenciales que puedan amenazar la estructura, tanto en su construcción como uso habitual.
- DB SI: Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio. Este documento tiene como objetivo reducir el riesgo de sufrir daños en los usuarios del edificio debido a posibles incendios accidentales.
- DB SUA: Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad. Tiene por objeto reducir el riesgo de daño directo a los usuarios en el uso previsto del edificio debido a las peculiaridades de su diseño, construcción y uso, al mínimo posible. También pretende garantizar el uso del edificio de manera igualitaria respecto a las personas con discapacidad.

-
- DB HE: Documento Básico de Ahorro de Energía. La intención de este documento es garantizar un correcto uso de la energía para satisfacer las diferentes demandas que surgen en el uso del mismo por parte de los usuarios, lo cual implica a su vez reducir el consumo energético hasta un límite sostenible incluyendo en la medida de lo posible fuentes renovables. Se estructura en siete requisitos principales:
 - Exigencia básica HE 0: Limitación del consumo energético
 - Exigencia básica HE 1: Condiciones para el control de la demanda energética
 - Exigencia básica HE 2: Condiciones de las instalaciones térmicas
 - Exigencia básica HE 3: Condiciones de las instalaciones de iluminación
 - Exigencia básica HE 4: Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de Agua Caliente Sanitaria, en adelante ACS.
 - Exigencia básica HE 5: Generación mínima de energía eléctrica procedente de fuentes renovables
 - Exigencia básica HE 6: Dotaciones mínimas para la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos
 - DB HR: Documento Básico de Protección frente al Ruido. El objetivo de este requisito es reducir el riesgo de afectaciones de carácter acústico en los usuarios del edificio.
 - DB HS: Documento Básico de Salubridad. Este documento hace referencia a la higiene, salud y protección del medio ambiente principalmente. Pretende así garantizar que los usuarios no sufran afectaciones debido al deterioro del edificio, siempre y cuando el uso del mismo sea el adecuado, además de evitar que este deterioro influya de manera negativa en el entorno del edificio.

Dentro del CTE, concretamente en la exigencia básica HE 2 del Documento Básico de Ahorro de Energía, se encuentra el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios, RITE. El objetivo del RITE es determinar las exigencias en cuanto a eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios. Las instalaciones térmicas sujetas al RITE son las de

climatización, incluyendo calefacción, refrigeración y ACS. En concreto, la última actualización del documento tiene como propósito impulsar las instalaciones eficientes, fomentar la edificación inteligente y renovar el sistema de medición del ACS en redes urbanas:

- Instalaciones eficientes: la intención del RITE en este ámbito es incidir de forma que los sistemas sean lo más eficientes y sostenibles posible, lo que supone la utilización de energías renovables. Además, es de obligado cumplimiento que se realice una evaluación de la eficiencia energética de aquellas instalaciones de los edificios que vayan a ser incorporadas o modificadas.
- Edificios inteligentes: en este sentido, la modificación del documento aplica a instalaciones realizadas en edificios terciarios, es decir, no residenciales, tales como hoteles, centros comerciales y hospitales. Se pretende convertir estos edificios en modelos inteligentes de modo que el consumo se vea reducido al máximo posible, lo cual influye directamente sobre las emisiones de CO₂ al ambiente.
- Medición de ACS: en relación con este punto, el nuevo RITE impone que se incluya en las edificaciones un sistema de lectura remota para la monitorización del consumo y costes asociados al ACS.

Es necesario para el proyecto tener en consideración los documentos mencionados anteriormente, ya que su objetivo es velar por la salud del usuario y la optimización de las instalaciones.

2.2. Energía renovable

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, “las energías renovables son recursos limpios y casi inagotables que proporciona la naturaleza”. El concepto hace referencia a la energía que proviene de fuentes que se renuevan de forma más rápida de lo que se consumen; por el contrario, los combustibles fósiles, entre los cuales se encuentran el petróleo, el carbón y el gas, son fuentes energéticas

denominadas no renovables, puesto que el tiempo que tardan en regenerarse es muy elevado. Además, estos ceden su energía al quemarse, proceso que genera emisiones de gases de efecto invernadero a la atmosfera, principalmente dióxido de carbono, lo cual es considerado uno de los principales aceleradores del cambio climático.

Además del aspecto medioambiental, las energías renovables generan hasta tres veces más empleo que los combustibles fósiles, y su precio es más económico.

El principal inconveniente en el uso de energías renovables es debido precisamente a su carácter natural, lo cual supone que su producción no está controlada al depender de fenómenos de la naturaleza. Además, se debe considerar el posible impacto arquitectónico asociado a su implementación en las ciudades.

Entre las principales fuentes energéticas con carácter renovable se encuentran las siguientes, en función de su procedencia:

- Energía solar. Se obtiene a partir de la radiación electromagnética emitida por el sol. En función del uso destinado, podemos encontrar dos tipos:
 - Energía solar fotovoltaica. Es generada mediante módulos solares fotovoltaicos, a partir de los cuales se obtiene energía eléctrica.
 - Energía solar térmica. Es generada mediante captadores solares térmicos, a partir de los cuales se obtiene calor, cuyo principal uso es el de proporcionar agua caliente.
- Energía eólica. Aprovecha la energía cinética del viento para generar electricidad mediante el movimiento de turbinas eólicas.
- Energía geotérmica. Se utiliza el calor contenido bajo la superficie terrestre para obtener energía térmica.
- Energía hidroeléctrica. Es la energía eléctrica que se genera a partir de la energía potencial del agua en movimiento, mediante el agua que fluye en ríos, embalses o presas que mueven turbinas las cuales generan electricidad.

- Bioenergía. Se consigue a partir de la combustión de residuos orgánicos, ya sean de origen vegetal o animal. El producto final es el biogás, el cual se puede utilizar para producir energía eléctrica o térmica en función de su finalidad.
- Energía aerotérmica. Se trata de la energía almacenada en forma de calor en el aire del ambiente. Sus características se describen con mayor detalle en el apartado 2.3, debido a que es de especial interés su conocimiento para el desarrollo del proyecto actual.

Es importante para la comprensión del proyecto conocer el término de energía primaria. El CTE la define como *«energía suministrada al edificio procedente de fuentes renovables y no renovables, que no ha sufrido ningún proceso previo de conversión o transformación. Es la energía contenida en los combustibles y otras fuentes de energía e incluye la energía necesaria para generar la energía final consumida, incluyendo las pérdidas por su transporte hasta el edificio, almacenamiento, etc.»*.

A continuación, se muestra la distribución del consumo de energía en las viviendas en España durante el año 2020 en función del uso final para el que se requiere dicha energía, según se indica en el documento “Consumos del Sector Residencial en España”. Estos datos han sido obtenidos mediante estudios realizados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

Uso	Volumen (%)
Calefacción	47
ACS	18,9
Cocina	7,4
Refrigeración	0,8
Iluminación	4,1
Electrodomésticos	19,4
Standby	2,4

Tabla 2.1. Estructura media del consumo energético total de una vivienda. Fuente: IDAE.

En la tabla anterior se puede observar que el mayor consumo energético en una vivienda tiene como origen el uso de calefacción, seguido por los consumos derivados del uso de electrodomésticos y la producción de ACS. Esto resulta interesante para el proyecto, pues uno de los aspectos principales que se estudiará es el consumo ocasionado en la vivienda destinado al confort térmico, lo cual incluye tanto el uso de calefacción como de ACS.

2.3. Aerotermia

Tal y como se describe en la Directiva 2009/28/CE, que hace referencia a la promoción del uso de energía renovable, *la energía aerotérmica es aquella energía almacenada en forma de calor en el aire ambiente*. La aerotermia se basa en la tecnología capaz de extraer esta energía contenida en el aire y permite aprovecharla para diversas finalidades, permitiendo cubrir la demanda de energía para climatización y producción de ACS en los edificios. Se trata de uno de los sistemas más utilizados recientemente en Europa.

Los equipos que funcionan mediante aerotermia son conocidos como bombas de calor aerotérmicas, las cuales son capaces de recuperar hasta un 80% del calor contenido en el aire exterior, con lo cual se trata de equipos altamente eficientes en cuanto a la generación de energía. Esto se consigue mediante un ciclo termodinámico cerrado realizado por un gas refrigerante. En él se transfiere energía térmica de un foco a otro en función de la finalidad del ciclo (si se requiere la producción de calor o de frío). El ciclo termodinámico implicado, conocido como el ciclo de compresión de vapor, sigue las siguientes etapas:

- **Compresión:** en esta etapa, el refrigerante en estado gaseoso es presurizado mediante un compresor. Además de aumentar la presión, también aumenta la temperatura del gas. Es la única etapa de requiere de aportación de trabajo, el realizado por el compresor.

- Condensación: en esta etapa, el gas presurizado a alta temperatura se condensa (licua) cediendo calor al aire ambiente mediante un intercambiador de calor, el condensador.
- Expansión: el ciclo continúa con una válvula de expansión dónde se reduce la presión del refrigerante líquido. En esta etapa el refrigerante reduce notablemente su temperatura.
- Evaporación: en esta etapa el refrigerante en estado de líquido a baja presión y temperatura se evapora absorbiendo calor del aire del ambiente. A la salida obtenemos vapor saturado.

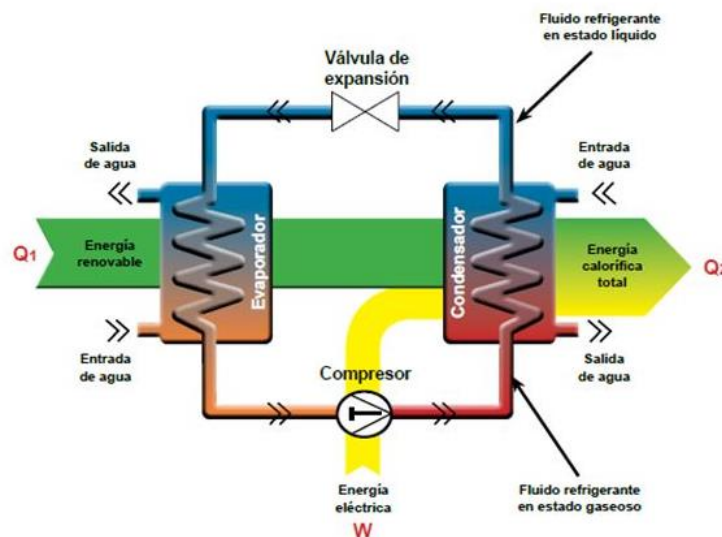


Figura 2.1. Ciclo termodinámico de una bomba de calor. Fuente: Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización (AFEC).

Para la producción de ACS, el ciclo es el mismo exactamente, la diferencia radica en que el calor generado se transfiere al volumen de ACS acumulado en lugar de a la instalación de calefacción. En el caso de destinar la producción de la bomba de calor a la generación de frío en una vivienda, el ciclo termodinámico se invierte, de manera que se extrae energía térmica de la vivienda para cederla al exterior y así conseguir reducir la temperatura en verano.

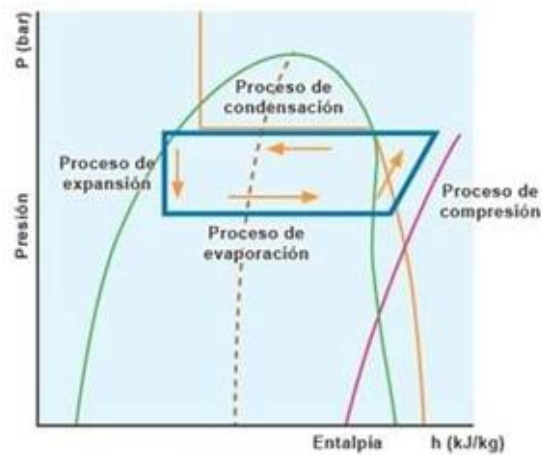


Figura 2.2. Gráfica de presiones-entalpías del ciclo termodinámico. Fuente: AFEC.

En resumen, en el actual proyecto se pretende dar un importante valor a la aerotermia como fuente energética principal para mantener el confort térmico de los usuarios, ya que se considera una tecnología especialmente interesante debido a su carácter renovable, eficiencia y versatilidad.

3. El estándar PassivHaus

3.1. Concepto

El concepto PassivHaus o Casa Pasiva hace referencia a edificios de consumo energético casi nulo (nZEB). Se trata de edificios, generalmente para uso residencial, los cuales pretenden conseguir un excelente confort mediante demanda energética muy baja, de forma que su consumo energético neto se vea reducido de forma radical.

El estándar PassivHaus es una metodología de construcción originaria de Alemania. Fue definida en mayo de 1988 por los profesores Bo Adamson y Wolfgang Feist. Según Wolfgang Feist: *«El estándar PassivHaus es un método de diseño del edificio de manera que tenga tan poca necesidad de energía que no necesite un sistema específico y tradicional para la calefacción y la refrigeración»*. Es decir, consiste en edificar viviendas que cumplan una serie de características pasivas concretas con el fin de conseguir que dichas viviendas requieran un consumo energético muy reducido, el cual además se cubre preferiblemente mediante energías renovables, a la vez que sea capaz de garantizar un elevado confort térmico a los usuarios de éstas.

El desarrollo de esta rehabilitación aporta numerosos beneficios a la vivienda, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Nivel elevado de confort para los usuarios, gracias a una temperatura adecuada en el interior en todo momento, así como mejora en la calidad del aire interior y regulación de la humedad relativa.
- Ahorro en las facturas energéticas ya que ocasiona una reducción en el consumo energético por una reducción de la demanda, siendo esta mayormente cubierta por energías renovables.
- Revalorización de la vivienda debido a la mejora de la calificación energética, lo cual supone un valor añadido para la misma.

- Sostenibilidad en el uso de la vivienda, ya que se reducen las emisiones de CO₂.

Se puede observar que la realización de una rehabilitación energética en una vivienda supone ganancias para el usuario a distintos niveles, tanto económico como en calidad de vida.

3.2. Tipos de calificación y aplicabilidad

La realización de una rehabilitación energética con carácter PassivHaus ha demostrado otorgar numerosos beneficios tanto al usuario individual de la vivienda como a la sostenibilidad del planeta. A pesar de que gran parte de estos beneficios se obtendría una vez realizada la rehabilitación, independientemente de que la vivienda obtenga la calificación o no, certificar la edificación supone un añadido en cuanto a las ventajas que supone la obra. Se trata de un certificado reconocido internacionalmente, lo cual cobra especial interés cuando se habla de tasar o peritar el edificio, ya que se tiene documentación verificada sobre las características de la vivienda. Es por ello por lo que obtener la certificación PassivHaus aumenta notablemente el valor comercial de un inmueble. Además, existen diversas entidades bancarias que, con el objetivo de promover la eficiencia energética, ofrecen condiciones especiales a la hora de tramitar una hipoteca para una vivienda de estas características.

A continuación, se introducen los dos tipos de certificación que ofrece el estándar PassivHaus.

3.2.1. PassivHaus

3.2.1.1. Aplicación

Se trata de la calificación más conocida dentro del estándar PassivHaus. Dentro de su ámbito de aplicación se encuentran las viviendas de nueva construcción, aunque una rehabilitación que cumpla con todos los requisitos puede ser calificada como

PassivHaus. Existen distintas categorías que se obtienen en función de la demanda de energía primaria renovable y de la generación de energía renovable: PassivHaus Classic, Plus o Premium. Todas ellas garantizan una rentabilidad excelente.

				Criterios ¹			Criterios alternativos ²
Calefacción							
Demanda de calefacción	[kWh/(m ² a)]	≤	15			-	
Carga de calefacción ³	[W/m ²]	≤	-			10	
Refrigeración							
Demanda refrigeración + deshum.	[kWh/(m ² a)]	≤	15 + contribución deshumidificación ⁴			valor límite variable ⁵	
Carga de refrigeración ⁶	[W/m ²]	≤	-			10	
Hermeticidad							
Resultado ensayo de presión n ₅₀	[1/h]	≤	0,6				
Energía Primaria Renovable (PER)⁷							
			Classic	Plus	Premium		
Demanda PER ⁸	[kWh/(m ² a)]	≤	60	45	30	±15 kWh/(m ² a) desviación respecto a los criterios... ...con compensación de la desviación mostrada arriba mediante diferentes valores de generación	
Generación de energía renovable ⁹ (con referencia a la huella proyectada del edificio)	[kWh/(m ² a)]	≥	-	60	120		

Tabla 3.1. Criterios PassivHaus. Fuente: Passive House Institute.

3.2.1.2. Valores característicos

- Demanda de calefacción ≤ 15 kWh/m²a

La demanda de calefacción es la energía requerida por un edificio para mantener el confort térmico deseado en el interior de la vivienda. Esta se expresa en kWh por superficie durante un año.

El valor indicado es el resultado de la suma de pérdidas y ganancias de calor del edificio. Esta suma recibe el nombre de balance energético, un concepto que será utilizado en numerosas ocasiones a lo largo del proyecto.

Las pérdidas energéticas son ocasionadas principalmente por transmisión (a

través de la envolvente térmica, puentes térmicos, etc.) y por infiltración (a través de rendijas, ventilación, cajones persiana, etc.). Las ganancias hacen referencia a la energía obtenida a través de fuentes de calor internas y externas a partir de la radiación solar.

- Demanda de refrigeración $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

De la misma manera que la demanda de calefacción, el término de demanda de refrigeración hace referencia a la energía que es necesaria para garantizar el confort térmico, esta vez relacionado con la reducción de la temperatura en el interior de la vivienda.

- Alternativas. Carga para frío y calor $< 10 \text{ W/m}^2$

Se pretende, con esta alternativa, conseguir las mismas condiciones de confort en las edificaciones con calefacción o refrigeración mediante aire caliente que las que garantiza la otra opción del estándar. En lugar de hacer referencia a la demanda energética, esta opción se centra en limitar la carga térmica del edificio, es decir, la potencia en W demandada en función de la superficie.

- Consumo energía primaria $\leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

Debido a que la producción de calor a partir de la electricidad es un proceso bastante ineficiente, se limita su uso a $120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

3.2.2. EnerPHit

3.2.2.1. Aplicación

El certificado EnerPHit es aplicado en edificios existentes rehabilitados. Se emplean componentes PassivHaus en los elementos estructurales más relevantes, lo cual conduce a considerables mejoras en el confort térmico, la durabilidad de la estructura, la rentabilidad y reducción de la demanda energética.

En las rehabilitaciones también es posible conseguir un elevado confort interior y un

consumo muy bajo de energía, a pesar de que es más complicado que en obra nueva ya que existen elementos no modificables, sea por imposibilidad física o económica, como pueden ser las cimentaciones, apoyos, balcones, o puentes térmicos irresolubles.

El certificado EnerPHit puede lograrse mediante cumplimiento de uno de los dos métodos propuestos por el Instituto Passivhaus. El método de componentes (Tabla 3.2), el cual tiene en cuenta los requisitos de componentes individuales del edificio por separado, o el método la demanda energética (Tabla 3.3). Los criterios generales de la Tabla 3.4 son de aplicación independientemente del método elegido.

Zona climática de acuerdo al PHPP	Envolvente opaca ¹ respecto al...				Ventanas (incluyendo puertas exteriores)			Ventilación			
	...terreno	...aire exterior			En conjunto ⁴					Acrilamiento ⁵	Carga solar ⁶
	Aislamiento	Aislam. exterior	Aislam. interior ²	Pintura exterior ³	Coeficiente de transmitancia térmica máxima (U _{PW, instalada})			Coeficiente de ganancias solares (valor-g)	Carga solar específica máxima durante el periodo de refrigeración	Índice recup. de calor mínimo ⁷	Índice recup. de humedad mínimo ⁸
	Coeficiente de transmitancia térmica máximo (valor-U)										
		[W/(m²K)]				[W/(m²K)]			[kWh/m²a]	%	
Polar	Determinado específicamente en el PHPP para cada proyecto mediante los grados-día para calefacción y refrigeración respecto al terreno.	0,09	0,25	-	0,45	0,50	0,60	U _g - g*0,7 ≤ 0	100	80%	-
Frio		0,12	0,30	-	0,65	0,70	0,80	U _g - g*1,0 ≤ 0		80%	-
Frio - templado		0,15	0,35	-	0,85	1,00	1,10	U _g - g*1,6 ≤ 0		75%	-
Cálido - templado		0,30	0,50	-	1,05	1,10	1,20	U _g - g*2,8 ≤ -1		75%	-
Cálido		0,50	0,75	-	1,25	1,30	1,40	-		-	-
Caluroso		0,50	0,75	sí	1,25	1,30	1,40	-		-	60 % (climas húmedos)
Muy caluroso		0,25	0,45	sí	1,05	1,10	1,20	-		-	60 % (climas húmedos)

Tabla 3.2. Certificación EnerPHit en base a los requisitos de componentes individuales del edificio.

Fuente: Passive House Institute.

Zona climática de acuerdo al PHPP	Calefacción	Refrigeración
	Demanda de calefacción máxima	Demanda de refrigeración + deshumidificación máxima
	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]
Polar	35	igual al requerimiento para Casa Pasiva
Frío	30	
Frío - templado	25	
Cálido - templado	20	
Cálido	15	
Caluroso	-	
Muy caluroso	-	

Tabla 3.3. Certificación EnerPHit en base al requisito de demanda de calefacción (como alternativa a la Tabla 3.2). Fuente: Passive House Institute.

Hermeticidad			Criterios ¹			Criterios alternativos ²
Resultado ensayo de presión n ₅₀	[1/h]	≤	1,0			
Energía primaria renovable (PER) ³			Classic	Plus	Premium	±15 kWh/(m²a) desviación respecto a los criterios... ...con compensación de la desviación mostrada arriba mediante diferentes valores de generación
Demanda PER ⁴	[kWh/(m²a)]	≤	60 + (Q _H - Q _{H,PH}) • f _{PER,H} + (Q _C - Q _{C,PH}) • 1/2	45 + (Q _H - Q _{H,PH}) + (Q _C - Q _{C,PH}) • 1/2	30 + (Q _H - Q _{H,PH}) + (Q _C - Q _{C,PH}) • 1/2	
Generación de energía renovable (con referencia la huella proyectada del edificio) ⁵	[kWh/(m²a)]	≥	-	60	120	

Tabla 3.4. Criterios generales EnerPHit. Fuente: Passive House Institute.

De la misma manera que para el certificado PassivHaus, el EnerPHit cuenta con tres categorías en función de la demanda de energía primaria renovable y la generación de energía renovable: EnerPHit Classic, Plus o Premium.

3.2.2.2. Valores característicos

En función del método escogido para llevar a cabo la certificación, aparecen distintas limitaciones. El proyecto actual se centrará en las exigencias del método de la demanda energética de calefacción. A pesar de que se realizará una valoración de la energía primaria final demandada, este valor no se utilizará para aplicar los criterios generales de la Tabla 3.4 ya que los que aparecen en la misma hacen referencia a la demanda energética total de la vivienda, lo cual queda fuera del alcance de este proyecto. Es por ello por lo que el valor característico de interés para el proyecto es la limitación de la demanda energética de calefacción a 15 kWh/m²a. A pesar de ello, se considera de especial interés para el proyecto la utilización de energía renovable como fuente energética principal, por lo que se valorará la incorporación de generadores con estas características dentro del ámbito de estudio.



4. Estado inicial del edificio

Debido a que el proyecto parte del estudio de una vivienda existente, los datos de partida serán lo más cercanos a la realidad posible, incluyendo entre algunos de ellos los facilitados por los usuarios del inmueble. Los parámetros de los que no sea posible disponer para la realización del estudio serán interpretados de manera que se correspondan a la realidad en la medida de lo posible, teniendo en cuenta el año de construcción de la vivienda y las posibles actuaciones que se hayan realizado sobre ella.

4.1. Descripción de la vivienda

El edificio objeto de este estudio es una vivienda unifamiliar adosada que se encuentra en Sant Andreu de la Barca, un municipio perteneciente a la provincia de Barcelona. A continuación, se especifican los datos descriptivos del inmueble, así como la parcela según referencia catastral.

DATOS DESCRIPTIVOS DEL INMUEBLE

Localización	Calle Santiago Rusiñol, 36 08740 Sant Andreu de la Barca, Barcelona
Clase	Urbano
Uso principal	Residencial
Superficie construida	110 m ²
Año de construcción	1985
Tipo parcela	Parcela construida sin división horizontal
Superficie gráfica	138 m ²

Tabla 4.1. Datos descriptivos del inmueble. Fuente: Sede Electrónica del Catastro.

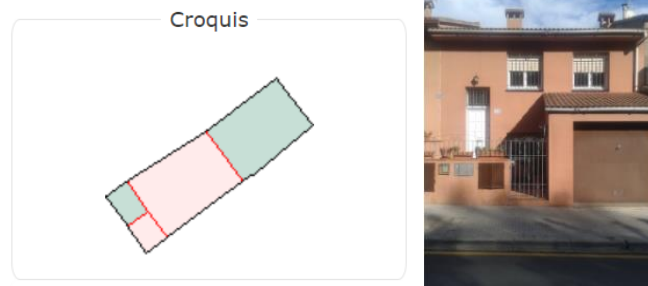


Figura 4.1. Croquis y fachada de la vivienda. Fuente: Sede Electrónica del Catastro.

4.2. Elementos constructivos

En los inicios de los años 70 y a raíz de la crisis del petróleo, se consolidaron distintas normativas con el fin de conseguir una mejora en la utilización de la energía. En España, el documento más relevante que se desarrolló en la época son las Normas Básicas de Edificación, en el Código Técnico 1979 (NBE-CT 79). Esta normativa tuvo obligatoriedad entre los años 1979 y 2006, en el cual se realizó la siguiente y relevante modificación del Código Técnico de la Edificación. Así, las viviendas construidas en ese periodo cuentan con ciertos mecanismos aislantes que para entonces eran considerados suficientes, pero son ineficaces si se tratan de equiparar con las exigencias actuales, por lo que encontramos un amplio margen de mejora en los edificios construidos en ese período.

El aspecto más importante a tener en cuenta cuando se plantea la rehabilitación energética mediante elementos pasivos es la envolvente térmica. La vivienda de referencia fue construida en el año 1985. Es por ello por lo que las características de la fachada se han definido de acuerdo con el estilo de construcción propio de la fecha y lugar en que se edificó la vivienda.

La fachada cuenta con un espesor real de 320 mm, los cuales se componen de diferentes capas de material. De fuera hacia adentro, en primer lugar, encontramos una capa de 15 mm de espesor de enfoscado de mortero de cemento, seguida por

una hoja exterior de ladrillo perforado de 140 mm. A continuación, una tercera capa de embarrado de mortero de cemento de 30 mm, una cámara de aire de 70 mm, un tabique de ladrillo hueco sencillo de 50 mm, y por último una capa de enlucido interior de yeso de unos 15 mm. A continuación, se muestra un esquema representativo de la composición de la fachada:

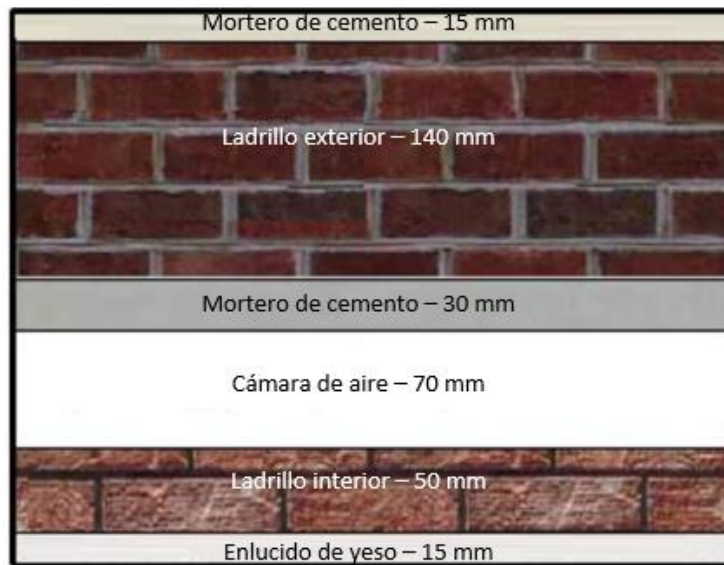


Figura 4.2. Composición por capas de la fachada de la vivienda en la situación inicial. Fuente: DesignBuilder.

Debido a que se trata de una vivienda unifamiliar adosada, los muros que la separan de las viviendas contiguas se consideran adiabáticos, por lo que únicamente se valorarán pérdidas por los muros frontal y trasero y a través del techo.

Por otro lado, un aspecto importante de la envolvente térmica son las ventanas, tanto el marco como el tipo de acristalamiento. En la situación inicial, se encuentran instaladas ventanas de carpintería de aluminio con acristalamiento sencillo.

En la estructura encontramos diversos puntos por los que se transmite fácilmente el calor a causa de una discontinuidad en la resistencia térmica, lo que ocasiona un mal aislamiento de la zona considerada. Estos puntos reciben el nombre de puentes

térmicos. Los puentes térmicos en una vivienda habitualmente se encuentran en las puertas, ventanas y las cajoneras de las persianas.

Debido a que se trata de una vivienda suficientemente antigua, para el cálculo y la posterior comparativa se consideran sólo las pérdidas por conducción, desestimando así las de radiación y convección, ya que, en comparación a las primeras, éstas son negligibles. Si por el contrario se tratase de una vivienda de nueva edificación, se debería estudiar la viabilidad de la simplificación propuesta, ya que no existiría una diferencia de magnitud tan importante entre las pérdidas mencionadas.

4.3. Instalaciones actuales

4.3.1. Instalación de climatización.

En la situación de partida, la vivienda se encuentra calefactada mediante una caldera atmosférica con un rendimiento máximo del 90% en el momento de su adquisición, la cual cubre la demanda de calefacción utilizando como emisores radiadores de aluminio.

4.3.2. Instalación de Agua Caliente Sanitaria.

El ACS de la vivienda se produce de forma instantánea, es decir, sin acumulación, mediante la caldera atmosférica mencionada anteriormente.

4.3.3. Ventilación.

La vivienda no cuenta con un sistema de ventilación mecánico, sino que ésta se realiza de forma natural y no controlada.

4.4. Consumo actual

A continuación, se procede a analizar el consumo energético actual de la vivienda objeto de estudio. Los datos son reales y se han obtenido a partir de la media de las facturas de los últimos tres años. Es por ello por lo que se considera que los datos

son representativos, ya que en el período mencionado la vivienda tuvo una ocupación regular de la familia completa. Dado que el generador actual para la calefacción y el ACS es una caldera de gas, el consumo que se considera es el de este vector energético.

MES	CONSUMO (kWh)	PRECIO (€)
ENE	1582,49	77,29
FEB	1307,54	63,86
MAR	993,00	48,50
ABR	713,61	34,85
MAY	578,97	28,28
JUN	463,47	22,63
JUL	310,50	15,91
AGO	214,42	10,99
SEP	230,17	18,55
OCT	258,81	26,28
NOV	1298,84	70,04
DIC	2064,35	103,10
TOTAL	10016,17	520,28

Tabla 4.2. Consumo mensual de gas en la vivienda. Fuente: elaboración propia.

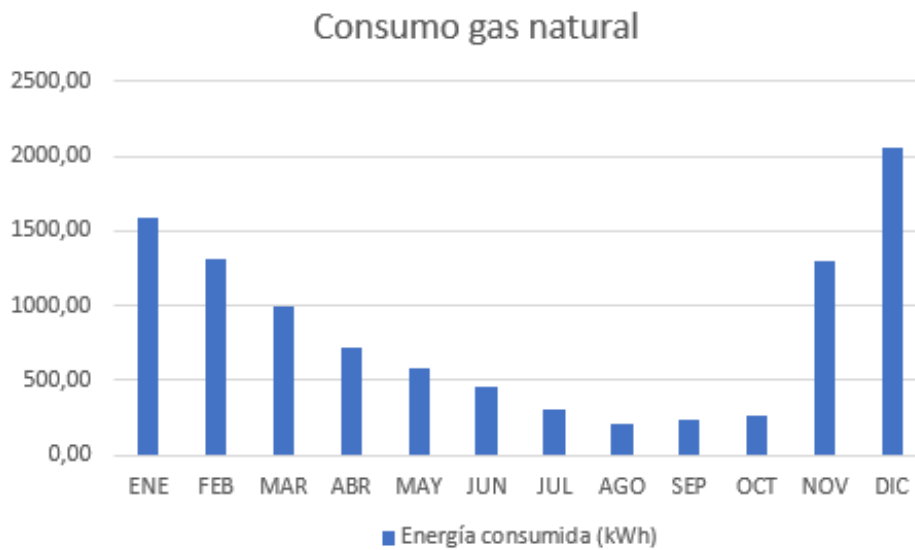


Figura 4.3. Consumo mensual de gas en la vivienda. Fuente: elaboración propia

Aplicando a los datos de consumo de la vivienda la distribución mostrada en la Tabla 2.1., donde se podían observar los resultados del estudio publicado por IDAE en cuanto a la distribución de uso de energía final en las viviendas en España, se puede extraer que el consumo en concepto de calefacción añadiendo el de ACS supone un 65,9% del total.

Considerando los consumos de gas para la vivienda antes comentados, la calefacción supone un 71,32% mientras que el ACS un 28,68%. El resto de los consumos de la Tabla 2.1. se encuentran alimentados mediante energía eléctrica. De esta manera y haciendo un cálculo ponderado según el vector energético, obtenemos los siguientes consumos de energía para los servicios de calefacción y ACS:

Mes	Consumo calefacción (kWh)	Consumo ACS (kWh)
ENE	1128,63	453,86
FEB	932,54	375,00
MAR	708,21	284,79
ABR	508,95	204,66
MAY	412,92	166,05
JUN	330,55	132,92
JUL	221,45	89,05
AGO	152,92	61,50
SEP	164,16	66,01
OCT	184,58	74,23
NOV	926,33	372,51
DIC	1472,29	592,06
TOTAL	7143,53	2872,64

Tabla 4.3. Consumo medio mensual actual de energía para calefacción y ACS en la vivienda. Fuente: elaboración propia.

4.5. Estado energético actual

4.5.1. Datos generales

La vivienda tiene una superficie construida total de 110 m², de los cuales 102,65 m² son útiles. Del total de la superficie útil de la vivienda, 90,60 m² son calefactados. La distribución de espacios se detalla en el siguiente apartado.

4.5.2. Geometría

En este apartado se procede a mostrar la estructuración de la vivienda según las estancias en que se encuentra dividida, y la superficie de cada una de ellas.

Estancia	Superficie (m ²)
Primera planta	
Cocina	7,03
Baño 1	3,18
Salón - comedor	20,53
Zonas comunes	8,03
Segunda planta	
Dormitorio principal	12,11
Dormitorio 2	12,11
Dormitorio 3	10,02
Dormitorio 4	5,76
Baño 2	3,18
Zonas comunes	8,65
Garaje	12,05

Tabla 4.4. Distribución de la vivienda y superficies. Fuente: elaboración propia.

4.5.3. Demanda energética

Para realizar el estudio de simulación de la demanda energética de la vivienda, se ha utilizado el motor de cálculo EnergyPlus. Es uno de los programas de simulación energética de los edificios más avanzado que existe, desarrollado por el USDoE (Departamento de Energía de Estados Unidos). El aplicativo permite realizar cálculos de la demanda y el consumo energético de los edificios. Concretamente, los parámetros que se utilizarán para la valoración de la evolución de la vivienda a medida que se realizan cambios de la misma se encuentran relacionados con dos aspectos:

- Demanda de calefacción. Este concepto hace referencia a la energía requerida para mantener las condiciones internas de confort de la vivienda. El programa permite simular la demanda a lo largo de un año.

- Balance energético. Se trata de una representación de la potencia demandada para calefacción frente a las pérdidas que se obtienen debido a diferentes características del edificio. Esta simulación nos permitirá dimensionar de manera adecuada el equipo que debe satisfacer la demanda de calefacción, de manera que éste sea capaz de ofrecer la potencia máxima requerida en las condiciones más desfavorables. Este punto es de especial interés para el proyecto por lo que se desarrollará con mayor detalle más adelante.

Para facilitar el seguimiento de la evolución de la vivienda a medida que se aplican las diversas acciones propuestas en el proyecto, cada vez que se modifique la demanda energética de la misma, lo cual es el principal foco del proyecto para conseguir los objetivos propuestos, se identificará la calificación energética obtenida. La calificación energética se determina mediante distintos indicadores, los cuales pretenden informar al usuario sobre el comportamiento del edificio en función del área a la que hacen referencia. En este caso, el indicador energético adecuado es el indicador parcial de demanda energética anual de calefacción, el cual clasifica el edificio objeto de estudio en tramos que van de la A, siendo esta la categoría de carácter más eficiente, hasta la G, siendo esta última la menos eficiente.

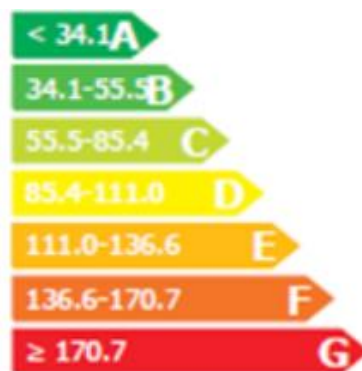


Figura 4.4. Escala de calificación energética según el indicador parcial de demanda energética de calefacción. Fuente: IDAE.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la simulación de la vivienda en el estado inicial. Cabe mencionar que en todas las simulaciones realizadas mediante el programa se ha aplicado un factor de seguridad de 1,25 con el objetivo de obtener unos resultados suficientemente conservadores como para poder extraer conclusiones de los mismos con fiabilidad.

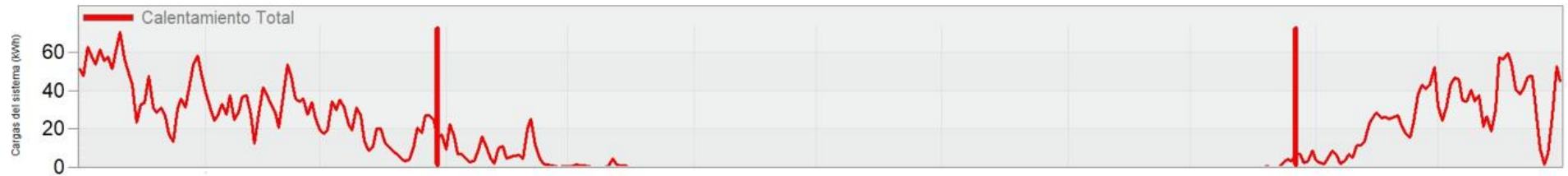


Figura 4.5. Demanda de calefacción en la situación inicial. Fuente: DesignBuilder.



Figura 4.6. Balance térmico en la situación inicial. Fuente: DesignBuilder.

En los gráficos de las Figuras 4.5 y 4.6 se muestran las situaciones más desfavorables para la vivienda en cuanto a demanda térmica se refiere, es decir, la demanda máxima que se deberá cubrir en la instalación. Para determinar la potencia necesaria que se debe suministrar para garantizar el confort térmico, debe cubrirse esta demanda y compensar las pérdidas energéticas que puedan surgir debido a diferentes puntos que se explicarán más adelante. Para realizar el cálculo, el software utilizado valora, además de las características del edificio, las condiciones climáticas de la localidad en la que se encuentra, tales como la temperatura del aire exterior a lo largo del año, la humedad, etcétera. Por lo tanto, de las figuras anteriores se obtiene que la demanda correspondiente a la situación inicial de la vivienda es de 7892,51 kWh anuales. El balance térmico muestra una demanda máxima de calefacción de 6,10 kW y unas pérdidas totales de 5,62 kW. Teniendo en cuenta que la superficie calefactada de la vivienda es de 90,60 m², se obtiene una demanda de calefacción de 87,11 kWh/m² anuales en el punto de partida, lo que sitúa a la vivienda en una calificación parcial de calefacción de categoría D.



Figura 4.7. Calificación energética parcial inicial según demanda de calefacción. Fuente: elaboración propia.

4.6. Aplicación estándar PassivHaus sobre la vivienda de referencia

El objetivo del estudio es comprobar la viabilidad de la rehabilitación energética de la vivienda hasta cumplir con los criterios del certificado EnerPHit. Se aplicarán los criterios de la Tabla 3.3, de manera que se estudia la demanda de calefacción que se requiere en la vivienda. Una demanda de 15 kWh/m²a supone una demanda total para calefacción de 1.359 kWh/a para la vivienda analizada, teniendo en cuenta la superficie calefactada. Se desestima la demanda de refrigeración a pesar de estar contemplada en el criterio de certificación EnerPHit escogido, ya que hasta el momento la vivienda no contaba con ningún medio para cubrir dicha demanda de confort. De esta manera la comparativa en cuanto a ahorro energético será más realista.

La zona climática correspondiente a la ubicación de la vivienda, de acuerdo con el criterio PHPP, corresponde a la categoría *Cálido*.



5. Primera etapa: reducción de la demanda mediante elementos pasivos

Para el estudio de rehabilitación energética de la vivienda se definen dos etapas principales. En primer lugar, se tratará de reducir la demanda. Esto debe realizarse mediante la modificación de los elementos pasivos, de manera que en este punto fundamentalmente se trabajará sobre la envolvente térmica.

5.1. Exploración de las posibles medidas

Durante la primera etapa de la rehabilitación energética de la vivienda, el principal ámbito de trabajo será la envolvente. Al tratarse de un edificio relativamente antiguo, hay un amplio margen de mejora en este aspecto.

Se exploran las posibles medidas de mejora del comportamiento térmico de la vivienda y su impacto sobre la misma, de manera que se pueda llegar a una conclusión sobre su viabilidad para reducir la demanda térmica del edificio.

Elemento mejorado	Tipo de medida	Ventajas	Inconvenientes	Coste	Facilidad aplicación	Impacto previsto
Aislamiento térmico	Insuflado de aislamiento térmico en cámara de aire	Mejora aislamiento, económico, instalación rápida, no reduce la superficie útil del espacio interior	Necesidad de contratación de una empresa externa para la realización, no elimina puentes térmicos pequeños desperfectos en la pared	✓✓	✓	✓✓
Huecos	Instalación de planchas de espuma en las cajoneras de las persianas	Mejora considerable de puentes térmicos, económico, fácil instalación por parte el usuario	Impacto previsto no muy elevado	✓✓	✓✓	✓
Huecos	Sustitución del acristalamiento	Mejora puentes térmicos	Precio en función de la gama y características	✓	✓✓	✓✓
Huecos	Sustitución puerta exterior y puerta trasera	Mejora puentes térmicos	Precio elevado, margen de mejora reducido	✓	✓	X
Aislamiento térmico	Adición de aislamiento térmico por el interior (SATI)	Mejora notablemente el aislamiento, reduce puentes térmicos	Necesidad de contratación de una empresa externa para la realización, pérdida de superficie útil interior, obra molesta para los inquilinos, precio en función del aislante	✓	X	✓✓

Aislamiento térmico	Adición de aislamiento térmico por el exterior (SATE)	Mejora notablemente el aislamiento, reduce puentes térmicos, única medida que disminuye radiación solar, conserva inercia térmica del edificio, protección frente a humedades y condensaciones (es transpirable), mejora estética en caso de edificios antiguos	En ocasiones requiere licencia de obra, modificación de la estética exterior, precio en función del aislante	✓	✓	✓✓
Aislamiento térmico	Adición de aislamiento térmico en el techo	Mejora aislamiento	Obra molesta para los inquilinos y dificultosa, cara, poco impacto en comparación con la fachada	✓	X	X

Tabla 5.1. Resumen de las medidas consideradas para reducir la demanda energética de la vivienda. Fuente: elaboración propia.

X Malo

✓ Bueno

✓✓ Muy bueno

Una vez realizado el comparativo mediante la Tabla 5.1, se seleccionan aquellas propuestas que puedan resultar más favorables globalmente en la rehabilitación, teniendo en cuenta el coste económico, la simplicidad de aplicación y el impacto esperado una vez realizada la operación. Las medidas consideradas más atractivas teniendo en cuenta estos tres aspectos son:

- Insuflado de aislamiento térmico en cámara de aire
- Instalación de planchas de espuma en las cajoneras de las persianas
- Sustitución del acristalamiento
- Adición de aislamiento térmico por el exterior (SATE)

Una vez escogidas las medidas más interesantes para el estudio de la rehabilitación, se procede a estudiar más en detalle cada una de las mismas, así como el impacto parcial que tiene cada una en cuanto al requerimiento energético de la vivienda.

5.1.1. Insuflado de aislamiento térmico en cámara de aire

Uno de los puntos donde se pierde más energía a través de la fachada es en la cámara de aire interior. A pesar de que el aire es un buen aislante térmico, esta capa en la fachada facilita las corrientes de aire frío en su interior, resultando en un mal aislamiento térmico global en comparación con otras opciones. Es por ello por lo que se propone rellenarla de material aislante para minimizar al máximo posible estas pérdidas, ya que es una medida que no supone demasiadas complicaciones para su ejecución, pero sí genera un gran impacto en cuanto a ahorro energético. En este caso se plantea rellenar la cámara de aire con perlas de poliestireno expandido (EPS por sus siglas en inglés), que permite obtener un aislamiento duradero y de máxima calidad.

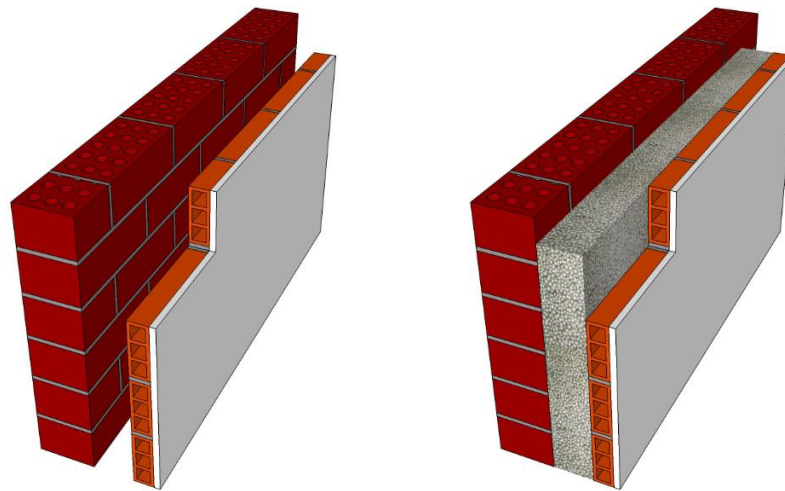


Figura 5.1. Ilustración de la fachada antes y después de insuflar la cámara de aire con PES. Fuente: Google Imágenes.

A continuación, se detallan algunas de las características del material seleccionado para rellenar la cámara de aire, las cuales lo hacen interesante para su aplicación:

- $\Lambda = 0,034 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$.
- Reduce transmitancia térmica de los materiales entre un 63% y un 86%.
- Homologado en DAU (Documento de Adecuación al Uso emitido por el Instituto de Tecnología de la Construcción).
- Elimina condensaciones y problemas de humedad.
- No requiere mantenimiento periódico.

El insuflado de EPS en la cámara de aire es una operación que se realiza en pocas horas, resultando en una solución muy atractiva para la mejora del aislamiento térmico debido a la comodidad que supone para los usuarios la realización de la obra. Las perlas de EPS se inyectan mediante pequeños orificios realizados en las paredes, situados de manera estratégica para ocasionar el mínimo impacto en la vivienda.

Una vez aplicada la medida, la fachada queda distribuida de la manera siguiente:

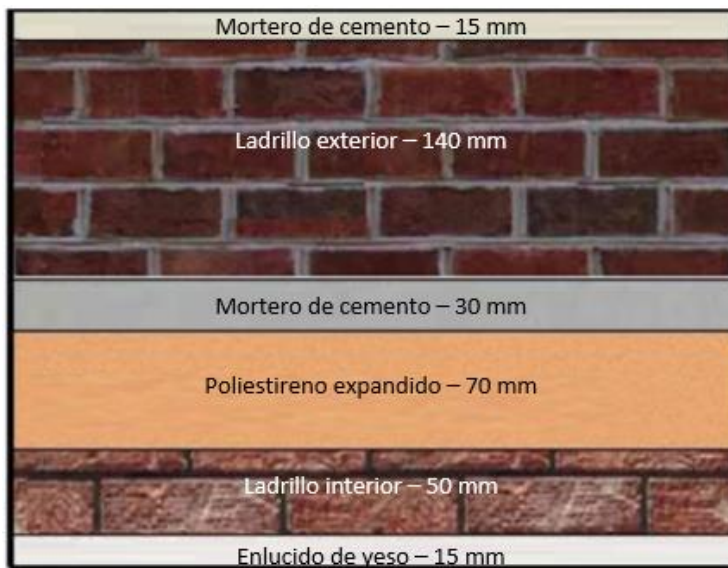


Figura 5.2. Composición por capas de la fachada de la vivienda tras la inserción del EPS. Fuente: DesignBuilder.

A continuación, se muestran los resultados de la simulación energética de la vivienda una vez realizado el insuflado de EPS en la cámara de aire.

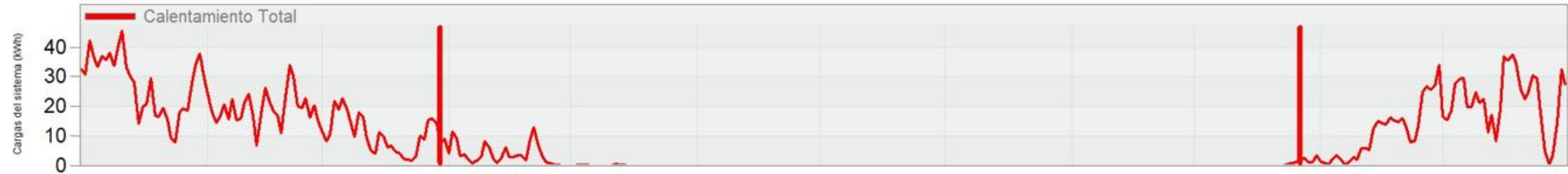


Figura 5.3. Demanda de calefacción tras la aplicación de la medida. Fuente: DesignBuilder.

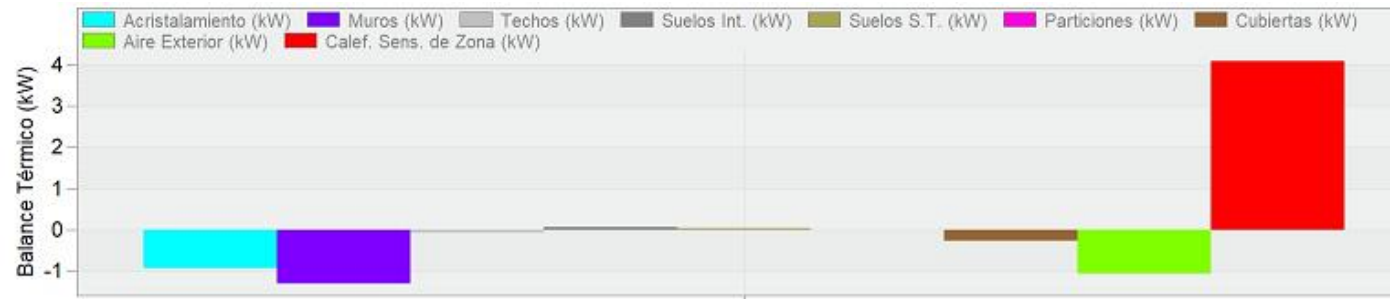


Figura 5.4. Balance térmico tras la aplicación de la medida. Fuente: DesignBuilder.

Una vez realizada la operación sobre la vivienda, la demanda final sería de 5643,83 kWh anuales, con una demanda máxima de calefacción de 4,1 kW y unas pérdidas de 3,59 kW.

En la siguiente tabla se puede observar el impacto de la medida seleccionada en la vivienda, comparando la demanda de calefacción de la misma antes y después de su implementación.

		Situación inicial	Medida aplicada	Mejora VS situación inicial
Demanda energética	kWh	7892,51	5643,83	28,49%
Potencia demandada	kW	6,10	4,10	32,79%
Pérdidas	kW	5,62	3,59	36,12%

Tabla 5.2. Resumen comparativo antes y después de la aplicación de la medida seleccionada.

Fuente: elaboración propia.

De la Tabla 5.2 se puede concluir que la aplicación de la medida seleccionada es favorable debido al gran impacto que supone en cuanto a la mejora de las características térmicas de la vivienda.

5.1.2. Instalación de planchas de espuma en las cajoneras

La segunda medida seleccionada para la mejora de la envolvente tratará de reducir los puentes térmicos existentes en la vivienda. El puente térmico más importante se presenta en las cajoneras de las persianas de la vivienda. Para solventar este punto se propone la instalación de planchas de espuma en este elemento constructivo. Su instalación aporta diferentes ventajas, tales como:

- Aislamiento térmico: la espuma es un buen aislante térmico, lo que se traduce en un buen mantenimiento del confort en el interior de las habitaciones.
- Aislamiento acústico: mediante la instalación de las planchas de espuma se puede lograr reducir el ruido exterior que se percibe en el interior de la vivienda, que se transmite a través de los huecos y rendijas alrededor de las ventanas.
- Reducción de corrientes de aire: las corrientes de aire pueden ser incómodas y aumentar la cantidad de polvo y otros contaminantes que entran a una habitación. La colocación de la espuma en las cajoneras de las ventanas puede reducir la cantidad de estas corrientes que acceden a las habitaciones, lo cual supone una estancia más cómoda y saludable.
- Ahorro energético: al reducir la cantidad de aire frío que entra en una habitación a través de las ventanas, se puede reducir la cantidad de energía necesaria para calentar la estancia en los meses de invierno. Esto supondrá un notable ahorro en las facturas energéticas, además de la reducción de la huella de carbono de la vivienda.

En resumen, la colocación de planchas de espuma en las cajoneras de las ventanas puede ser una forma efectiva y económica de mejorar el aislamiento térmico, acústico y reducir la entrada de corrientes de aire en una habitación. Además, resulta una medida especialmente fácil de instalar ya que puede ser realizada por el usuario de la vivienda.



Figura 5.5. Plancha de espuma para cajonera. Fuente: Google Imágenes.

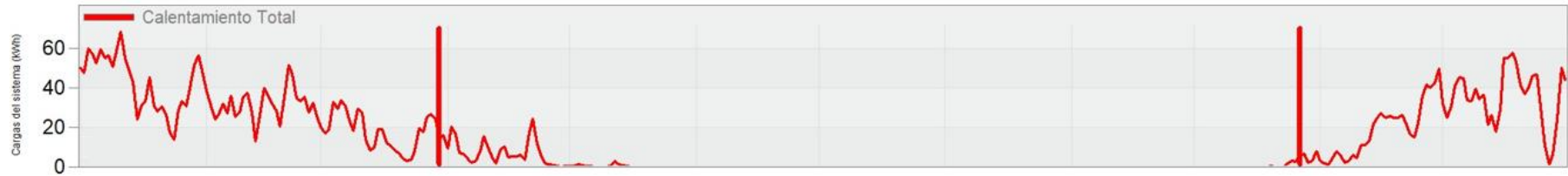


Figura 5.6. Demanda de calefacción tras la aplicación de la medida. Fuente: DesignBuilder.



Figura 5.7. Balance térmico tras la aplicación de la medida. Fuente: DesignBuilder.

Tras la aplicación de la medida, la demanda resultante sería de 7400,79 kWh anuales, con una demanda máxima de calefacción de 5,93 kW y unas pérdidas de 5,43 kW.

En la siguiente tabla se observa el impacto que supone la aplicación de las planchas de espuma en la vivienda, comparando la demanda de calefacción de la vivienda antes y después de su implementación.

		Situación inicial	Medida aplicada	Mejora VS situación inicial
Demanda energética	kWh	7892,51	7400,79	6,23%
Potencia demandada	kW	6,10	5,93	2,79%
Pérdidas	kW	5,62	5,43	3,38%

Tabla 5.3. Resumen comparativo antes y después de la aplicación de la medida seleccionada.

Fuente: elaboración propia.

A pesar de que la implementación de la medida no resulte en una mejora radical de las características de la vivienda en cuanto a la demanda de calefacción, se trata de una acción económica y de fácil instalación que contribuye a conseguir el objetivo final, además del resto de ventajas anteriormente mencionadas que aportará, por lo cual se decide aplicar la medida.

5.1.3. Sustitución del acristalamiento

Otra de las medidas que se consideran interesantes en la mejora de la eficiencia energética de la vivienda es la sustitución del acristalamiento. Es una acción que puede proporcionar numerosas ventajas, principalmente el ahorro energético, ya que

los vidrios mal aislados permiten que el aire caliente o frío escape de la casa, lo cual puede aumentar significativamente el consumo de energía. Al cambiar el acristalamiento actual por uno más eficiente energéticamente, se puede reducir el consumo de energía. Además, con los vidrios adecuados se puede conseguir una reducción de ruido exterior en el interior de la vivienda, lo que mejoraría la calidad de vida de los usuarios.

Actualmente las ventanas son de acristalamiento simple con marco de aluminio. La transmitancia térmica genérica obtenida para este tipo de vidrios es $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Esto genera un puente térmico en la vivienda de gran importancia ya que existen $14,2 \text{ m}^2$ de superficie que corresponde a estas ventanas. Para solventar este punto, se propone sustituir las ventanas por unas con doble acristalamiento con cámara de gas. Esta cámara contiene un gas inerte que permite obtener un aislamiento óptimo en toda la superficie del vidrio. El valor de transmitancia del vidrio seleccionado es de $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Una vez sustituido todo el acristalamiento de la vivienda, la demanda quedaría definida de la siguiente manera:

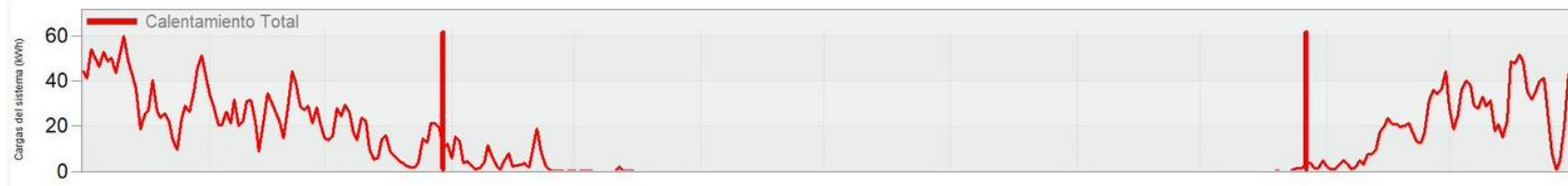


Figura 5.8. Demanda de calefacción tras la aplicación de la medida. Fuente: DesignBuilder.



Figura 5.9. Balance térmico tras la aplicación de la medida. Fuente: DesignBuilder.

Tras la aplicación de la medida, la demanda resultante sería de 6672,13 kWh anuales, con una demanda máxima de calefacción de 5,58 kW y unas pérdidas de 5,07 kW.

En la siguiente tabla se observa el impacto que supone la aplicación de las planchas de espuma en la vivienda, comparando la demanda de calefacción de la vivienda antes y después de su implementación.

		Situación inicial	Medida aplicada	Mejora VS situación inicial
Demanda energética	kWh	7892,51	6672,13	15,46%
Potencia demandada	kW	6,10	5,58	8,52%
Pérdidas	kW	5,62	5,07	9,79%

Tabla 5.4. Resumen comparativo antes y después de la aplicación de la medida seleccionada.

Fuente: elaboración propia.

En la tabla se observa el resultado tras realizar la aplicación de la medida, en este caso la sustitución del acristalamiento, de nuevo comparando esta situación respecto la inicial. Aunque la medida por sí sola ya tiene un impacto notable en la demanda de la vivienda, este mejorará exponencialmente una vez que se apliquen el resto de las medidas seleccionadas.

5.1.4. Adición de aislamiento térmico por el exterior (sistema SATE)

La última de las actuaciones propuestas consiste en añadir un Sistema de Aislamiento Térmico Exterior, en adelante SATE. Antes de realizar esta modificación es necesario consultar si la vivienda se encuentra sujeta a alguna ordenanza municipal respecto a la protección arquitectónica de la fachada. En el caso de la vivienda del proyecto, se puede realizar la obra sin que genere ninguna complicación en este sentido, ya que,

a pesar de aumentar el grosor de la fachada, ésta no se encuentra en contacto en la vía pública, por lo que es decisión del usuario realizar la modificación.



Figura 5.10. Aplicación de SATE sobre una vivienda. Fuente: Google Imágenes.

El sistema en cuestión se compone de diversas capas:

- Perfil de arranque: se atornillan a la pared con el objetivo de fijar y sujetar la primera capa de material aislante, dejando un margen mínimo de 15 cm para evitar la humedad del suelo.
- Adhesivo de fijación y anclajes para el aislamiento.
- Paneles de aislamiento. Se trata de la capa aportará el carácter aislante a la fachada. Según el material utilizado, el SATE proporcionará diferentes características a la vivienda:
 - Poliestireno expandido (EPS): económico y ligero, aislamiento en función de la densidad.
 - Poliestireno extruido (XPS): mayor capacidad de aislamiento que el poliestireno expandido, aunque menos económico. Más resistente que el EPS.
 - Lanas minerales de roca o vidrio. Menor poder impermeabilizante, pero cuenta con grandes propiedades acústicas, por lo que son capaces de proporcionar un confort acústico excelente. Indicado sobre todo para edificios situados en ciudades con gran contaminación acústica.

- Malla y morteros de acabado. En la capa más exterior se aplica una malla, que protege la capa aislante de la intemperie, y el mortero de acabado, lo cual ofrece la posibilidad al propietario de la vivienda de elegir el aspecto de la fachada de la misma. Esto es especialmente interesante en la rehabilitación de viviendas antiguas, las cuales habitualmente presentan una fachada notablemente deteriorada debido al paso del tiempo.



Figura 5.11. Vivienda con aplicación de SATE con acabado en dos texturas. Fuente: Google Imágenes.

A continuación, se realiza la simulación de la demanda de la vivienda aplicando una capa de SATE de 80 mm, ya que es uno de los grosores estándar más utilizados en España a pesar de que el mismo varía en función de las características de la vivienda y el requerimiento de los usuarios. Teniendo en cuenta las ventajas e inconvenientes de cada tipo de material, se decide realizar el aislamiento con paneles de poliestireno expandido debido a su versatilidad y la posibilidad que ofrece de conseguir un buen aislamiento a un bajo coste. En este caso, se considerará el aislamiento con paneles de dos niveles distintos de densidad y se escogerá el más interesante en función de los resultados.

5.1.4.1. Adición de SATE con EPS de alta densidad

En primer lugar, se realiza la simulación incorporando la capa de SATE de 80 mm utilizando como material aislante EPS de alta densidad.

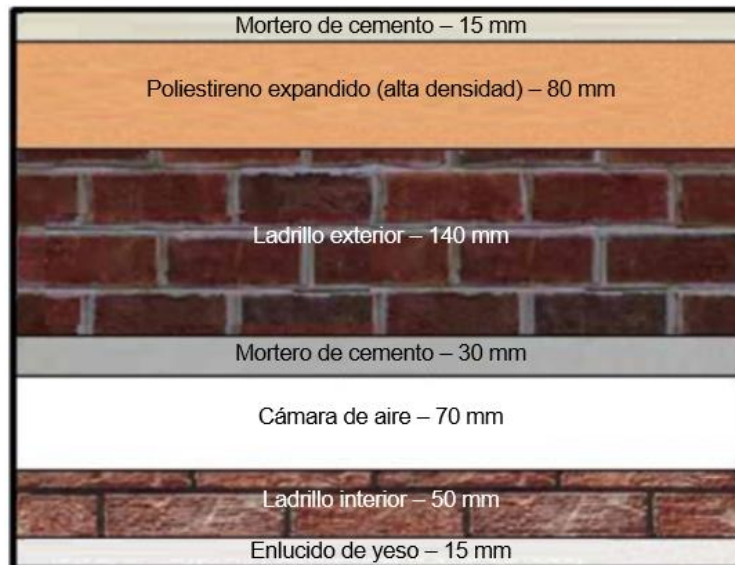


Figura 5.12. Composición por capas de la fachada de la vivienda tras la incorporación del SATE con EPS de alta densidad. Fuente: DesignBuilder.

Los resultados tras la incorporación del SATE se muestran a continuación.

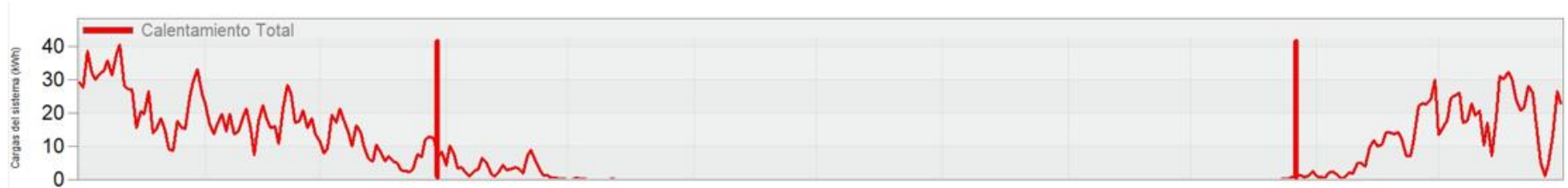


Figura 5.13. Demanda de calefacción tras la aplicación de la medida. Fuente: DesignBuilder.



Figura 5.14. Balance térmico tras la aplicación de la medida. Fuente: DesignBuilder.

En el caso de aplicar el SATE con EPS de alta densidad, se obtendría una demanda de 5212,47 kWh anuales y una demanda máxima de calefacción de 3,76 kW, con unas pérdidas de 3,25 kW. A continuación, se muestra la tabla resumen:

		Situación inicial	Medida aplicada	Mejora VS situación inicial
Demanda energética	kWh	7892,51	5212,47	33,96%
Potencia demandada	kW	6,10	3,76	38,36%
Pérdidas	kW	5,62	3,25	42,17%

Tabla 5.5. Resumen comparativo antes y después de la aplicación de la medida seleccionada.

Fuente: elaboración propia.

Se puede concluir observando la tabla de resultados que la adición del sistema aislante exterior es una medida eficiente en cuanto a la mejora de la eficiencia energética del edificio, por lo que se corrobora que es una acción interesante para la rehabilitación del proyecto.

5.1.4.2. Adición de SATE con EPS de baja densidad

En segundo lugar, se realiza la simulación incorporando la capa de SATE de 80 mm utilizando como material aislante EPS de baja densidad, con el fin de comparar los resultados obtenidos con ambos materiales.

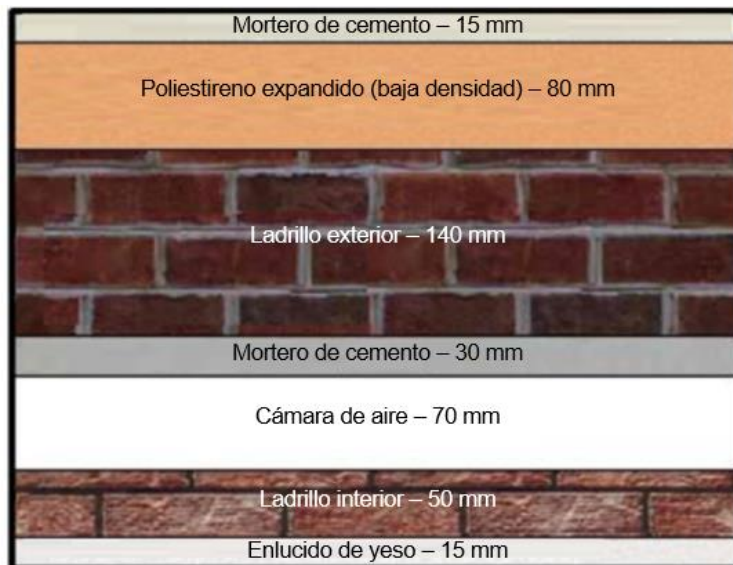


Figura 5.15. Composición por capas de la fachada de la vivienda tras la incorporación del SATE con EPS de baja densidad. Fuente: DesignBuilder.

A continuación, se muestran los resultados de la simulación con el segundo tipo de SATE aplicado.

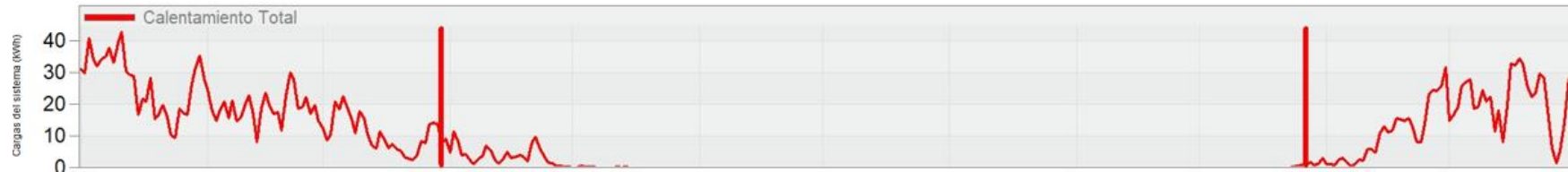


Figura 5.16 Demanda de calefacción tras la aplicación de la medida. Fuente: DesignBuilder.

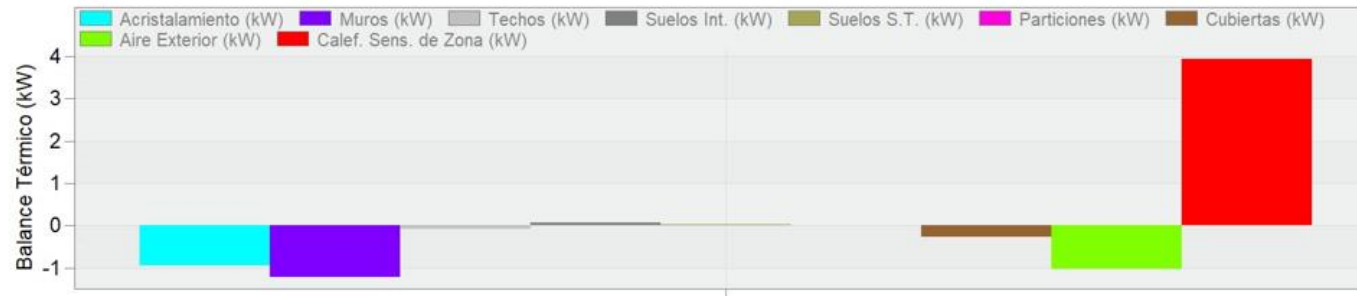


Figura 5.17. Composición por capas de la fachada de la vivienda tras la adición del SATE. Fuente: DesignBuilder.

En el caso de aplicar el SATE con EPS de baja densidad, se obtendría una demanda de 5405,45 kWh anuales y una demanda máxima de calefacción de 3,94 kW, con unas pérdidas de 3,43 kW. A continuación, se muestra la tabla resumen:

		Situación inicial	Medida aplicada	Mejora VS situación inicial
Demanda energética	kWh	7892,51	5405,45	31,51%
Potencia demandada	kW	6,10	3,94	35,41%
Pérdidas	kW	5,62	3,43	38,97%

Tabla 5.6. Resumen comparativo antes y después de la aplicación de la medida seleccionada.

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar en los resultados que este sistema no es tan eficaz en cuanto a la reducción de la demanda como lo es el sistema de alta densidad. Se considera oportuno incluir en el proyecto el sistema de alta densidad, ya que, a pesar de no ofrecer unos resultados muy superiores en cuanto a eficiencia respecto al sistema de baja densidad, se trata de una estructura más resistente y que ofrece mejores prestaciones a largo plazo.

5.2. Aplicación de las medidas escogidas

En este apartado se pretende presentar la configuración final de la vivienda tras la aplicación de las medidas estudiadas. A continuación, se muestra a modo de resumen una tabla comparativa de las características de la vivienda en función de las actuaciones realizadas sobre la misma.

Medida	Mejora respecto al estado inicial
Insuflado de aislamiento térmico en la cámara de aire	Demanda energética calefacción: 28,49% Carga térmica calefacción: 32,79%
Instalación de planchas de espuma en las cajoneras	Demanda energética calefacción: 6,23% Carga térmica calefacción: 2,79%
Sustitución del acristalamiento	Demanda energética calefacción: 15,46% Carga térmica calefacción: 8,52%
Adición de SATE con EPS de alta densidad	Demanda energética calefacción: 33,96% Carga térmica calefacción: 38,36%

Tabla 5.7. Resumen de las medidas seleccionadas y su impacto sobre la vivienda en el estado inicial.
Fuente: elaboración propia.

Una vez aplicadas las medidas seleccionadas en conjunto, la sección de la fachada queda distribuida de la manera siguiente:

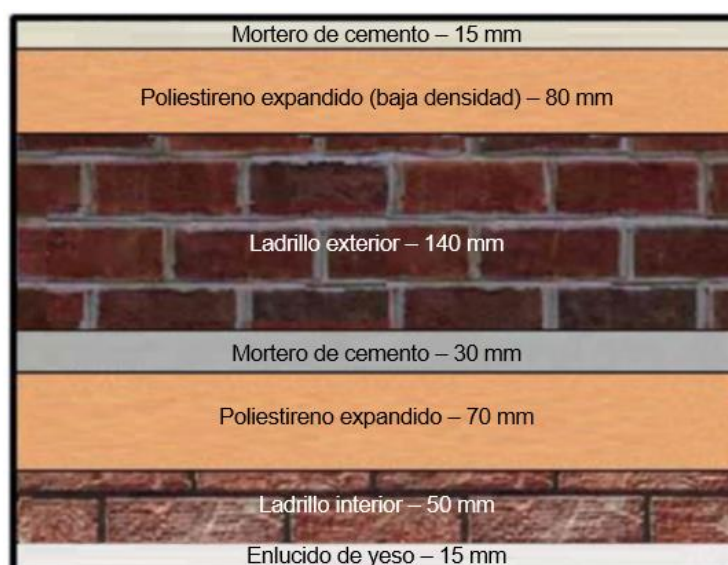


Figura 5.18. Composición por capas de la fachada de la vivienda tras aplicación de todas las medidas. Fuente: DesignBuilder.

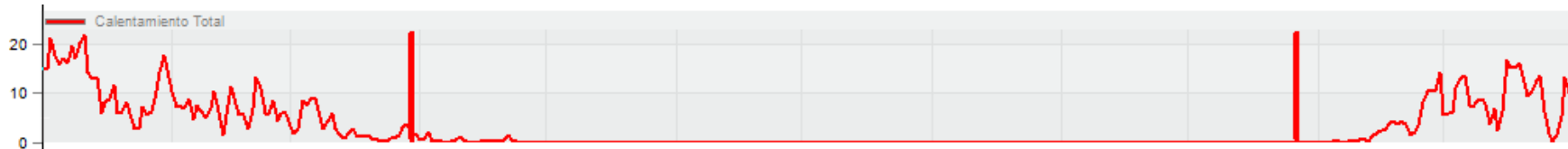


Figura 5.19. Balance térmico tras la aplicación de todas las medidas. Fuente: DesignBuilder.

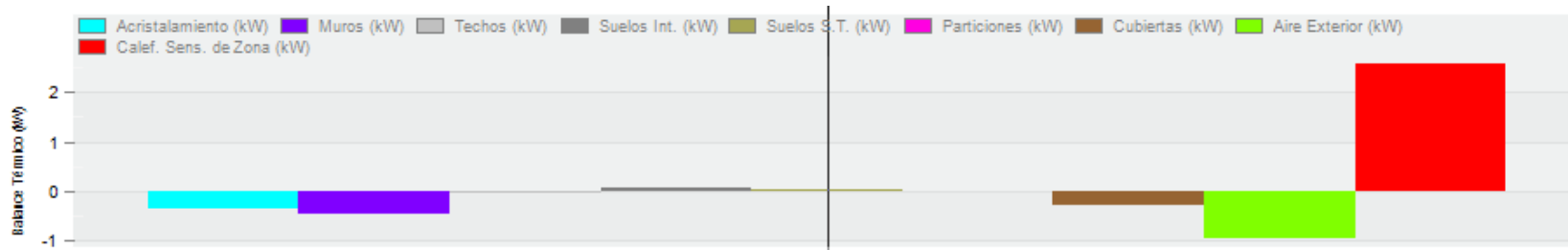


Figura 5.20. Balance térmico tras la aplicación de todas las medidas. Fuente: DesignBuilder.

En la situación final, la vivienda cuenta con una demanda energética de calefacción anual de 1272,02 kWh. En el balance térmico se observa que la demanda máxima de calefacción resulta en 2,56 kW y las pérdidas totales son 0,85 kW.



Figura 5.21. Calificación energética parcial final según demanda de calefacción. Fuente: elaboración propia.

En este escenario, la demanda energética de la vivienda para calefacción es de 14,04 kWh/m²a, lo cual supone una calificación energética parcial de calefacción de categoría A. De esta primera etapa se concluye, por tanto, que ha sido posible reducir la demanda energética para calefacción hasta cumplir con el objetivo establecido por los criterios PassivHaus, de manera que la vivienda cumple con este requerimiento del certificado EnerPHit.



6. Segunda etapa: satisfacción de la demanda mediante elementos activos

Una vez que la demanda energética se haya visto suficientemente reducida, se procederá a cubrir esta demanda mediante energías principalmente de origen renovable. Se realizará el estudio y dimensionamiento de los equipos adecuados para cubrir las necesidades de ACS y calefacción de la vivienda. El objetivo de esta segunda etapa es cubrir la demanda, ya reducida por las medidas de la primera etapa, de la manera más sostenible posible, y poniendo especial atención a las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

A pesar de que la utilización de la energía solar fotovoltaica se considera una buena oportunidad para incrementar el uso de energía renovable, la instalación de captadores solares en la cubierta del edificio queda desestimada debido a que no existe un espacio óptimo para su incorporación. Además de que la cubierta cuenta con una chimenea en el centro, lo cual reduce el espacio disponible para la instalación de los paneles fotovoltaicos, la inclinación del plano superior de la vivienda se encuentra orientada hacia el norte, lo cual influye negativamente en el rendimiento de la instalación solar, resultando en pérdidas energéticas. Además, en las viviendas adyacentes existen diversos elementos que generan sombras sobre la cubierta del edificio de estudio, aspecto que se debe tener en cuenta ya que reduce considerablemente la viabilidad de la producción de energía eléctrica mediante radiación solar.

6.1. Definición de las demandas a cubrir

Para la vivienda objeto de estudio, las demandas que se deben satisfacer mediante los equipos planteados a continuación son la calefacción y el ACS.

6.2. Sustitución de la caldera atmosférica por caldera de condensación

En la situación inicial, la vivienda cuenta con una caldera atmosférica para satisfacer las necesidades de calefacción y ACS de la vivienda. Esta caldera, en su origen, tenía un rendimiento del 90%. Se debe tener en cuenta que el rendimiento de los equipos disminuye con el uso, debido a que tienen una vida útil de en torno a 15 años. Estas pérdidas de rendimiento se deben a la acumulación de residuos de combustión en el interior además de otros factores que tienen lugar con el paso del tiempo. Es por este motivo por el que se considera apropiado aplicar una reducción en el rendimiento del equipo. Se toma por tanto como valor de referencia un rendimiento de la caldera de la situación inicial de la vivienda de un 88%, valor suficientemente conservador teniendo en cuenta que el equipo tiene más de 13 años de uso.

En primer lugar, se estudia la opción de sustituir la caldera atmosférica por una caldera de condensación. El RITE prohibió la instalación de calderas atmosféricas en 2010, debido a que se consideró que la cámara donde se realiza la combustión no se encuentra suficientemente aislada por lo que supone un peligro potencial para los usuarios de la misma. Las calderas de condensación presentan un rendimiento mucho más elevado, llegando a ser éste de un 97% en muchos casos, por lo que potencialmente favorecen el ahorro energético. Estas calderas funcionan de manera que son capaces de recuperar el calor del vapor de agua que se encuentra en los humos generados en la combustión. Este calor recuperado se utiliza para calentar el agua del circuito de calefacción, lo que supone un menor consumo de gas frente a otro tipo de calderas que no cuentan con esta característica.

A continuación, se muestran los resultados de consumo energético para calefacción obtenidos para cada equipo.

	Demanda (kWh)	Rendimiento	Consumo (kWh)
Caldera atmosférica	1272,02	88%	1445,48
Caldera de condensación	1272,02	97%	1311,36

Tabla 6.1. Resultados de consumo para cada tipo de caldera. Fuente: elaboración propia

A pesar de que se observa una mejora en cuanto al consumo energético procedente de la demanda de calefacción, la caldera de condensación sigue siendo una opción no renovable, siendo uno de los objetivos del proyecto conseguir la sostenibilidad mediante las instalaciones en la medida de lo posible. Es por ello por lo que se considera oportuno realizar una segunda propuesta para sustituir la caldera inicial.

6.3. Sustitución de la caldera atmosférica por bomba de calor aerotérmica

Teniendo en cuenta que todavía existe un amplio margen de mejora en cuanto al ahorro energético de la vivienda, se considera incluir fuentes energéticas renovables. Con este fin se propone incorporar una bomba de calor aerotérmica. Se trata de una tecnología con alta eficiencia que utiliza la energía contenida en el aire del ambiente para ofrecer confort térmico en la vivienda. De esta manera, se propone sustituir la actual caldera por una bomba de calor de doble servicio, la cual satisfará la demanda de calefacción y ACS de los usuarios de la vivienda.

Para un correcto dimensionamiento del equipo, se tienen en cuenta las características particulares de la instalación, asociadas a la localidad donde se encuentra y a la demanda de la vivienda. La bomba de calor seleccionada debe ser capaz de generar la potencia máxima demandada para calefacción, teniendo en cuenta las pérdidas, bajo las condiciones más desfavorables de la localidad. Estas condiciones se

obtienen a partir del software de diseño Cheq4, elaborado por el IDAE. La temperatura que nos ofrece el programa para el municipio en cuestión corresponde a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por lo tanto, el equipo seleccionado debe ofrecer, como mínimo, 3,41 kW de calefacción con una temperatura exterior de $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e impulsando a $55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las características del equipo que cumple con las especificaciones descritas son las siguientes:

Características técnicas calefacción

Clase energética 35°C/55°C		A+++/A++
Eficiencia energética nominal 35°C/55°C	%	175/125
Potencia calorífica +7°C/+55°C	kW	4,5
Potencia absorbida +7°C/+55°C	kW	1,7
COP +7°C/+55°C		2,6
Temperatura máxima de impulsión	°C	55
Rango de funcionamiento (Tª exterior mínima)	°C	-20

Tabla 6.2. Características técnicas en calefacción de la bomba de calor Alféa Extensa Duo Ai 5 R32.

Fuente: Thermor.

Características técnicas ACS

Clase energética		A+
Perfil de consumo		L
Eficiencia energética	%	130
SCOP 2°C/7°C/14°C		2,98/3,42/3,76
Capacidad depósito ACS	L	190

Tabla 6.3. Características técnicas en producción de ACS de la bomba de calor Alféa Extensa Duo Ai

5 R32. Fuente: Thermor.

El equipo seleccionado es una bomba de calor de doble servicio, lo que implica que puede satisfacer la demanda de calefacción y ACS, con volumen para la acumulación del ACS integrado. Esto elimina la necesidad de un acumulador externo, lo cual supone una ventaja para los usuarios ya que pueden ahorrar espacio.

Debido a que la aerotermia requiere de una gran inercia para funcionar correctamente, se debe asegurar un volumen mínimo de agua libre en el circuito hidráulico. Esto protegerá al compresor de posibles puestas en marcha y paradas debido a las fluctuaciones en la demanda, lo cual es perjudicial para el equipo y acorta considerablemente su vida útil y rendimiento. Según el fabricante, el volumen mínimo de agua libre recomendado en la instalación es de 12 L, tal y como se observa en la Tabla 6.4.

BC	Obligación Ventilconvectores	Recomendación Radiadores	Recomendación Suelo radiante-refrigerante
Modelo 3, 5, 6	23	12	2
Modelo 8	36	33	15
Modelo 10	49	44	22

Tabla 6.4. Volumen mínimo de agua libre en la instalación Fuente: Thermor.

En la vivienda se tienen aproximadamente 120 metros de tubería de una pulgada de diámetro, por lo que se obtienen cerca de 60 litros de agua en el circuito de calefacción. Por lo tanto, no es necesario instalar un depósito adicional de agua en la instalación para garantizar su correcto funcionamiento.

Otro aspecto importante a tener en cuenta cuando se plantea la sustitución de la caldera por un equipo aerotérmico es el sistema emisor. En la vivienda del estudio se dispone actualmente de 98 elementos de radiador con un poder emisor aproximado de 76,7 W por elemento con una impulsión de 80 °C. Esto supone 7,5 kW de poder emisor total en la instalación inicial funcionando con la caldera de gas.

En el caso de la aerotermia, la temperatura de impulsión en el equipo será de 55 °C.

Esto resulta en una potencia de calefacción transmitida mediante los emisores inferior. Según el fabricante de los radiadores, con una temperatura de agua de 55 °C el poder emisivo de cada elemento se reduce a 29,5 W. De esta manera se obtiene un poder calorífico total de 2,9 kW. En la situación inicial habría sido inviable realizar esta instalación, puesto que el poder emisivo conjunto en la vivienda es demasiado bajo para satisfacer la demanda térmica que se tenía en ese momento. En cambio, tras realizar las modificaciones indicadas a lo largo del proyecto, se ha conseguido reducir la demanda máxima de calefacción a 2,56 kW. Por lo tanto, los elementos de radiador existentes son suficientes para garantizar el confort térmico en la vivienda impulsando a una temperatura de 55 °C.

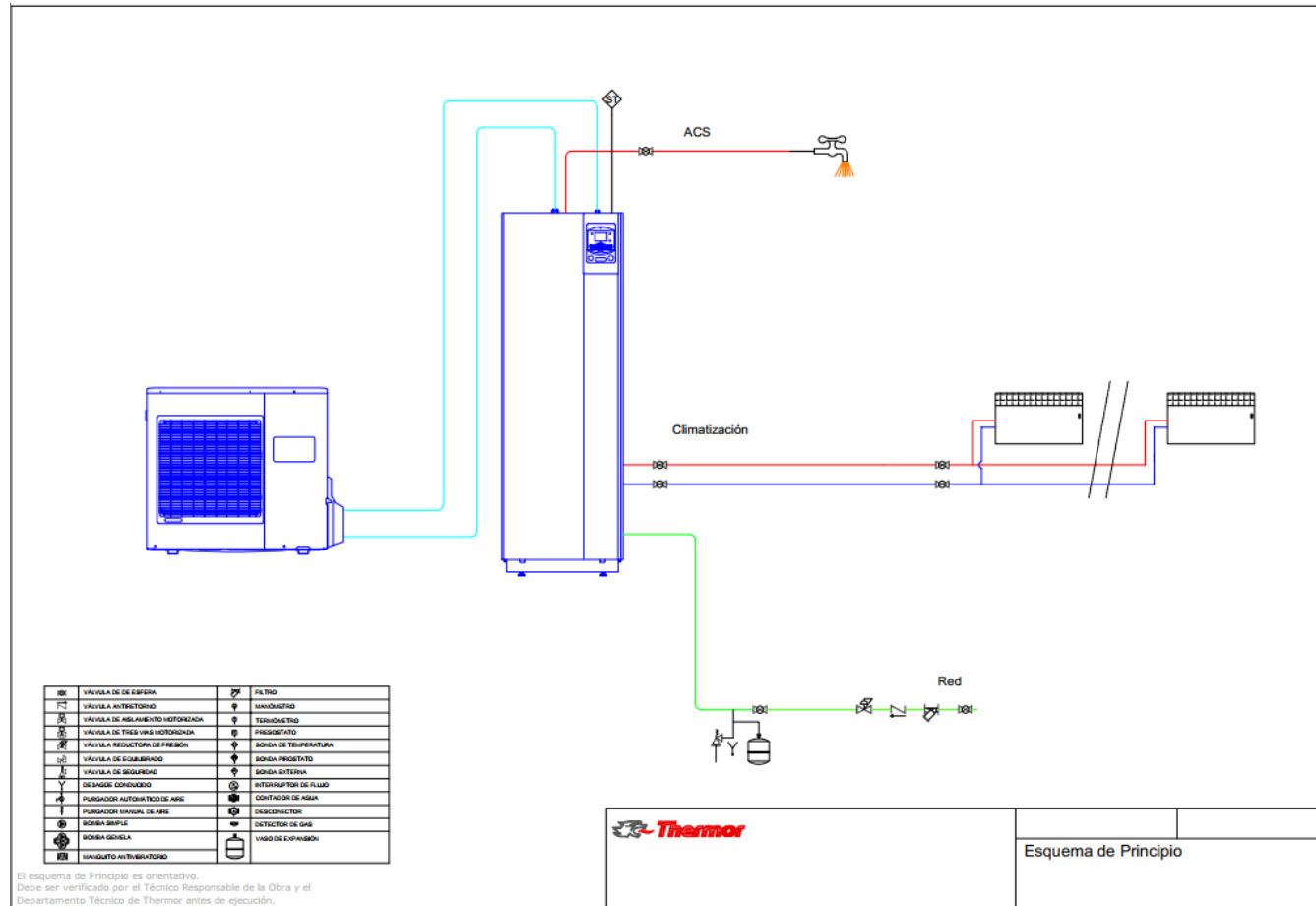


Figura 6.1. Esquema hidráulico de la instalación. Fuente: elaboración propia.



6.3.1. Calefacción

Para el cálculo de calefacción se tiene en cuenta el balance energético del apartado 5.2, a partir del cual se obtiene una carga térmica a cubrir de 3,41 kW, lo que corresponde a una carga térmica de 37,64 W/m². Para el diseño de calefacción se toma como referencia la temperatura exterior seca mínima indicada según el IDAE. Los datos de partida para el estudio de calefacción son los siguientes:

Datos de partida		
Provincia		Barcelona
Localidad		Sant Andreu de la Barca
Zona climática		III
Superficie	m ²	100,65
Temperatura diseño calefacción	°C	-3
Temperatura confort	°C	24°C
Tipo de instalación		Radiadores
Temperatura máxima de impulsión	°C	55
Equipo seleccionado		Alféa Extensa Duo Ai 5 R32
Número de equipos		1

Tabla 6.5. Datos de partida para el estudio de calefacción. Fuente: elaboración propia.

Para obtener una estimación de la energía consumida anualmente en la vivienda para calefacción, se utiliza el COP indicado en la Tabla 6.2, aplicando la expresión siguiente:

$$Q_{cons} = \frac{Q_{req\ cal}}{COP} = \frac{1272,02}{2,6} = 489,24\ kWh/a$$

Consumo caldera atmosférica (kWh/a)	Consumo aerotermia (kWh/a)	Ahorro (%)
1445,48	489,24	66,15

Tabla 6.6. Comparativo consumos caldera atmosférica y bomba de calor. Fuente: elaboración propia.

Como se puede comprobar, el consumo energético de la vivienda se ve reducido de manera considerable tras la incorporación del equipo aerotérmico en lugar de la caldera inicial.

A continuación, se representa la potencia demandada y generada para calefacción en función de la temperatura exterior.

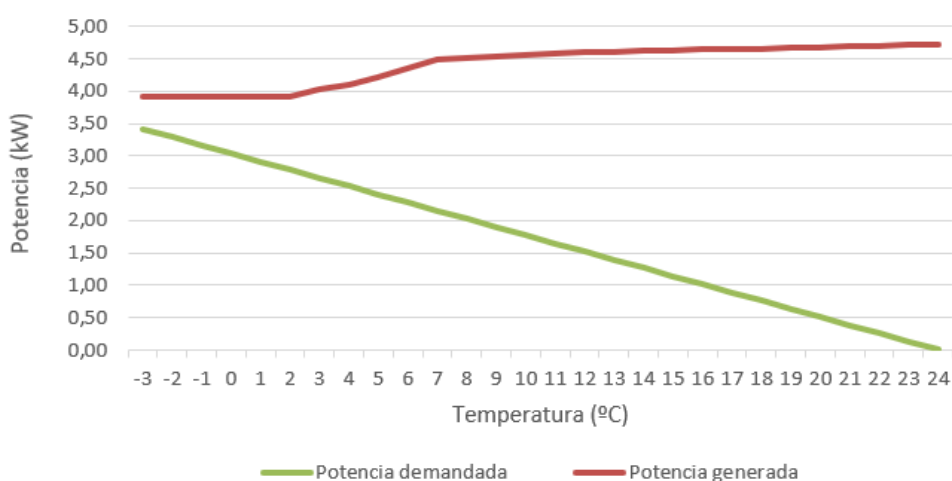


Figura 6.2. Representación potencia demandada VS potencia generada. Fuente: elaboración propia.

Se puede observar en la *Figura 6.2* que la potencia generada por el equipo se mantiene en todo momento por encima de la potencia demandada en la instalación dentro del rango de temperaturas de uso considerado.

6.3.2. Agua Caliente Sanitaria

A continuación, se realiza el cálculo de la demanda de ACS. Según el CTE, en una vivienda de 4 dormitorios deben considerarse 5 usuarios para el cálculo del consumo de ACS. En este caso, dicha consideración normativa es representativa y coincide con la ocupación real de la vivienda, por lo que el estudio se realiza teniendo en cuenta esta condición.

Según el CTE, la demanda diaria de ACS por persona en una vivienda es de 28L (referenciados a una temperatura de 60°C). De esta manera, para una vivienda con 5 usuarios se obtiene una demanda diaria de 140L. Estos litros quedan cubiertos por el equipo aerotérmico seleccionado, que cuenta con una capacidad de acumulación de 190L. Es altamente recomendable en instalaciones de este tipo que el equipo sea capaz de acumular la totalidad de la demanda diaria, ya que la producción de ACS mediante aerotermia no es instantánea.

Para obtener la demanda energética que corresponde a 140 L se realiza el siguiente cálculo:

$$Q_{req ACS} = 5 \text{ usuarios} \cdot 28 \frac{L \cdot \text{día}}{\text{usuario}} \cdot (60 - T_{red \text{ mes}}) \cdot 1,16 \frac{Wh}{\text{día}}$$

$$Q_{cons} = \frac{Q_{req ACS}}{SCOP}$$

Donde:

$Q_{req ACS}$ es la demanda energética de ACS diaria en la vivienda.

$T_{red \text{ mes}}$ es la temperatura del agua de red en función del mes.

Q_{cons} es la energía consumida por el equipo para satisfacer la demanda de ACS.

SCOP es el rendimiento estacional del equipo aerotérmico propuesto

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Demanda a 60°C (L/día)	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	
Demanda a 55°C (L/día)	155,15	155,49	155,84	156,20	156,99	158,32	159,34	159,34	158,32	157,41	156,20	155,49	
Temperatura agua de red (°C)	8,80	9,80	10,80	11,80	13,80	16,80	18,80	18,80	16,80	14,80	11,80	9,80	13,55
Demanda a 55°C (kWh/día)	8,33	8,17	8,01	7,85	7,52	7,03	6,71	6,71	7,03	7,36	7,85	8,17	
Demanda a 55°C (kWh/mes)	258,38	228,82	248,29	235,40	233,15	210,98	207,92	207,92	210,98	228,10	235,40	253,33	2758,65
Temperatura media exterior (°C)	8,49	9,19	10,79	12,49	15,69	19,39	22,59	22,69	20,69	16,79	12,19	9,29	15,02
Rendimiento BC	3,52	3,56	3,64	3,71	3,76	3,76	3,76	3,76	3,76	3,76	3,70	3,57	
ERES (kWh)	184,95	164,54	180,13	171,98	171,14	154,87	152,62	152,62	154,87	167,44	171,80	182,29	2009,23
Consumo (kWh)	73,43	64,27	68,16	63,41	62,01	56,11	55,30	55,30	56,11	60,67	63,60	71,05	749,42

Tabla 6.7. Estimación de la demanda y consumo mensual en la producción de ACS. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en los datos de la Tabla 6.7, la energía consumida anualmente en la vivienda para la producción de ACS es de 749,42 kWh.

Es importante instalar un vaso de expansión en la instalación de ACS debido a distintos factores, principalmente al hecho de que el volumen de agua aumenta proporcionalmente a su temperatura. Si no existe un depósito correctamente dimensionado con el objetivo de amortiguar este aumento de volumen aumentará la presión en la instalación, lo cual puede resultar en daños en la misma. Este hecho corresponde a la ley termodinámica conocida como Ley de Charles y Gay-Lussac, la cual determina que, para una misma masa de gas, a una presión constante, el volumen aumenta cuando se calienta y disminuye cuando se enfría; esta es la primera ley. La segunda indica que a volumen constante, la presión que ejerce el gas es directamente proporcional a su temperatura.

Primera ley de Charles-Gay Lussac:

$$V = K T$$

Segunda ley de Charles-Gay Lussac:

$$P = K T$$

A pesar de que las leyes mencionadas anteriormente sirven para explicar el comportamiento de los gases ideales, en el caso de una instalación de ACS ocurre algo similar. El agua se calienta en el acumulador y su volumen aumenta debido al aumento de temperatura. Debido a que el acumulador y las tuberías tienen un volumen determinado ya que son elementos rígidos, de no haber un elemento que sea capaz de amortiguar estos cambios de volumen, la instalación no sería capaz de soportar las sobrepresiones y podría suponer un riesgo para la propia instalación y los usuarios. El vaso de expansión actúa como un dispositivo de seguridad para absorber la expansión del agua a medida que se calienta, y liberarla nuevamente al

sistema cuando se enfría. De esta manera se obtiene una presión constante en el sistema y se evitan los daños mencionados.

Además, el hecho de añadir un vaso de expansión a la instalación y reducir la presión en la misma da lugar a un consumo menor de energía y una mayor vida útil de la bomba del circuito y el resto de los componentes del mismo.

Según diversos fabricantes del sector, el vaso de expansión debe contener un volumen no inferior al 3% del volumen del depósito de ACS. Por lo tanto, el volumen mínimo del vaso en este caso será de 5,7 L según esta indicación.



7. Análisis económico

En este apartado se pretende realizar una evaluación del presupuesto necesario para realizar las obras necesarias para llevar a cabo la rehabilitación estudiada. Cabe recalcar que la rehabilitación estudiada en el proyecto se ciñe al ámbito de confort térmico, lo cual implica únicamente uno de los aspectos de la rehabilitación necesaria para obtener la certificación Passivhaus.

Para obtener una aproximación de la inversión requerida, se calcula el Presupuesto Ejecución Material de la obra, que se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$PEM \text{ (Presupuesto Ejecución Material)} \\ = \sum \text{Costes obra (materiales, mano de obra y medios auxiliares)}$$

7.1. Materiales

En concepto de materiales se tendrán en cuenta principalmente los materiales requeridos para la aplicación de las medidas detalladas en el proyecto. Se considerará para cada uno de los materiales o productos su PVP.

Concepto	Unidades	Precio unitario	Total
Insuflado cámara de aire	84 m ²	12 €/m ²	1008 €
Planchas de espuma	5 m ²	21 €/m ²	105 €
Acristalamiento	7 u	240 €/u	1680 €
SATE	84 m ²	60 €/m ²	5040 €
Total acciones reducción consumo			7833 €

Tabla 7.1. Presupuesto acciones reducción de consumo. Fuente: elaboración propia.

Concepto	Unidades	Precio unitario	Total
Bomba de calor	1 u	7455 €/u	7455 €
Vaso de expansión	1 u	50 €/u	50 €
Válvula de seguridad	1 u	20 €/u	20 €
Válvula de corte	6 u	10 €/u	60 €
Total instalación térmica			7585 €

Tabla 7.2. Presupuesto instalación térmica. Fuente: elaboración propia.

Para la obtención de los precios de los distintos materiales se han consultado precios que ofrecen los fabricantes para elementos similares a los propuestos en el proyecto. Se desglosa el total de coste de la rehabilitación de la fachada y la instalación de la bomba de calor debido a que es necesario tenerlo por separado para el cálculo de subvenciones aplicables, tal y como se explicará más adelante.

7.2. Mano de obra y medios auxiliares

Dentro del presupuesto total se deben incluir los costes de la mano de obra y los medios auxiliares, donde se incluyen aquellos elementos y equipo técnico asociados a la obra de manera directa e indirecta, tales como andamios, plataformas de carga y descarga, escaleras, etcétera. Existe una gran variabilidad en este punto puesto que deben definirse las horas de trabajo y el precio de la hora establecida por los profesionales. El precio medio de la mano de obra para la construcción en España es de unos 25 €/h. Para estimar el coste de la obra del proyecto, a pesar de que hay varios factores que potencialmente pueden retrasar la obra, tales como imperfecciones encontradas en la edificación, defectos internos en la estructura de la vivienda, etcétera, se tienen en cuenta los datos orientativos obtenidos tras la consulta de profesionales del sector. De esta manera, se consideran dos días para la sustitución del acristalamiento, un día para el insuflado de la cámara de aire, dos días

para la instalación de la bomba de calor, y 10 días para la instalación del SATE. Todo ello supone 120 horas de trabajo a tiempo completo. Considerando una media de dos operarios por actuación, se obtiene un presupuesto de 6000 € para la mano de obra. A este valor se le añaden 1200 € en concepto de licencias, lo cual es el precio medio de la licencia necesaria para llevar a cabo la rehabilitación de la fachada de una vivienda en España. Por lo tanto, la cifra asciende a 7200 € para la mano de obra cualificada y los elementos auxiliares y licencias (de los cuales 6400 € corresponden a la rehabilitación de la fachada y 800 € a la instalación térmica).

7.3. Subvenciones

En la actualidad, existen diversas ayudas económicas disponibles para la financiación de proyectos de rehabilitación. Dentro del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, PRTR, encontramos el proyecto de rehabilitación para la recuperación económica y social en entornos residenciales, concretamente en el Real Decreto 853/2021. Dicho proyecto tiene como objetivo la motivación de la sostenibilidad mediante la rehabilitación de edificios residenciales. Los fondos destinados a este proyecto se engloban bajo el concepto Next Generation, cuyo origen se establece en la Unión Europea, y los cuales se pone a disposición de los beneficiarios finales a través de las distintas comunidades autónomas. El alcance previsto es de más de medio millón de actuaciones a mitad del año 2026. En el caso de las viviendas unifamiliares, agrupadas o aisladas, el límite máximo de la ayuda es de 12000 € o el 40% de la inversión inicial, pudiendo llegar a subvencionar el 75% de la intervención en caso de colectivos vulnerables social y/o económicamente. De esta manera, teniendo en cuenta que el presupuesto calculado para la obra de rehabilitación es de 14233 €, se calcula una subvención económica de 5693,2 €.

Por otra parte, el Real Decreto 477/2021 regula las ayudas para la ejecución de diversos programas de incentivos ligados al autoconsumo y al almacenamiento, con fuentes de energía renovable, así como la implantación de sistemas térmicos renovables en el sector residencial en el marco del PRTR, lo cual aplica a la

instalación de aerotermia propuesta en el proyecto. La ayuda a percibir en el sector residencial en este concepto es de 500 € por cada kW de potencia térmica de la bomba de calor, con un valor de ayuda máximo por vivienda de 3000 €. En el caso de la Alféa Extensa Duo Ai 5 R32, el fabricante indica una potencia térmica de 4,7 kW de acuerdo con los ensayos determinados en la norma UNE-EN 14511 tal y como exige el Real Decreto indicado, por lo que la subvención asciende a 2350 €.

Por lo tanto, se considera que la inversión que se espera por parte del usuario una vez aplicadas las subvenciones es de 14574,8 €.

7.4. Resultados

Para analizar la viabilidad económica de la rehabilitación, se calcula el VAN (Valor Actual Neto) y la TIR (Tasa Interna de Retorno) del proyecto. Se trata de dos herramientas financieras utilizadas para determinar si una inversión es viable y rentable.

El VAN permite calcular el valor presente de los flujos de efectivo futuros generados por la inversión, descontando los flujos de efectivo a una tasa de descuento. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{n=1}^N \frac{F_n}{(1+k)^n} - I_0$$

Donde:

VAN es el Valor Actual Neto

F_n es el flujo de caja

k es la tasa de descuento o tipo de interés mínimo esperado

I_0 es la inversión inicial

Si el VAN es positivo, significa que la inversión es rentable y por lo tanto genera beneficios económicos.

La TIR es la tasa de descuento que se obtiene tras igualar el VAN a cero. Es la tasa de rentabilidad que se obtiene sobre la inversión. Si la TIR es mayor que la tasa de descuento utilizada significa que la inversión es rentable y genera beneficios económicos.

Calcular el VAN y la TIR permite conocer el período de tiempo en el que se recuperará la inversión y a partir de cuándo se comenzarán a generar beneficios económicos. Un tiempo de retorno corto permite obtener beneficios económicos y energéticos a corto plazo, lo que puede ser especialmente interesante si se tienen en cuenta los precios crecientes de la energía y los beneficios ambientales que se obtienen al reducir el consumo energético. Además, un tiempo de retorno de la inversión corto significa que se puede obtener una mayor rentabilidad sobre la inversión en comparación con un tiempo de retorno más largo, en cuyo caso podría dificultar la justificación de la inversión.

Para el cálculo de los anteriores indicadores, es necesario conocer el ahorro anual obtenido tras la rehabilitación.

El consumo energético, tal y como se ha visto en apartados anteriores, se ha reducido en 8793,25 kWh anuales, convirtiendo los 10016,17 kWh/año de consumo de gas natural en la situación inicial en 1222,92 kWh/año de consumo eléctrico en la situación final, tras las mejoras aplicadas y la sustitución del generador. El estudio del ahorro es complejo debido a las incertidumbres asociadas a los costes de la energía, es por ello por lo que el cálculo se basa en la evolución del precio energético durante el último

año y hasta la fecha actual, tal y como se muestra en la Figura 7.1.

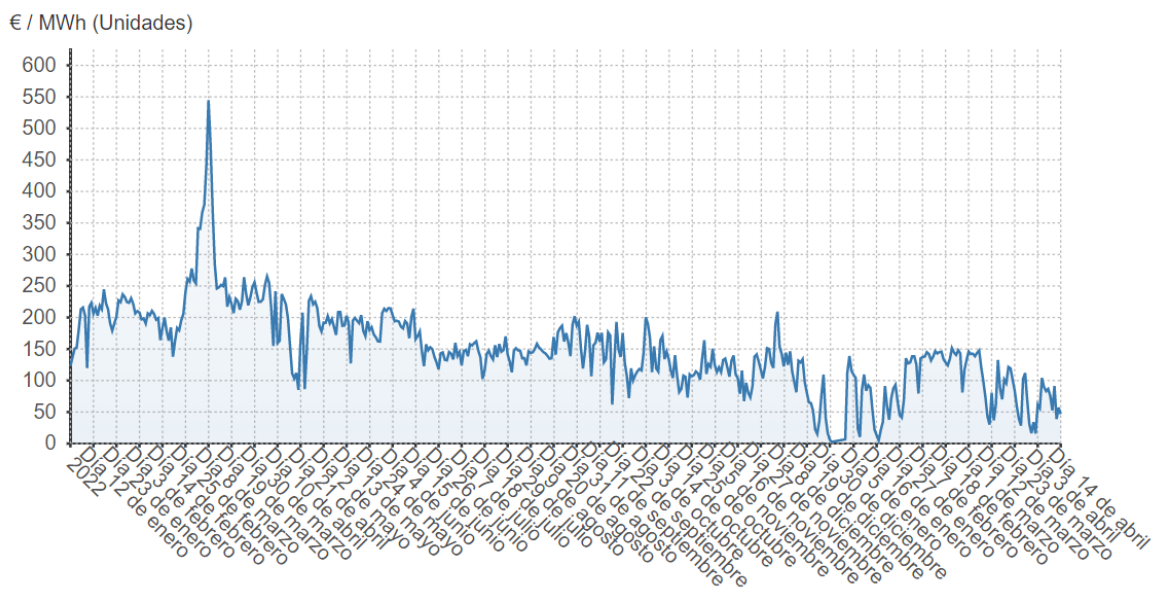


Figura 7.1. Evolución diaria del precio de la luz en España en el último año. Fuente: Epdata.

Si se tiene en cuenta el precio medio diario de la luz en los últimos dos años, se obtiene un promedio de 150,8 €/MWh, y se considera un incremento anual aproximado del 2% según referencias de años anteriores.

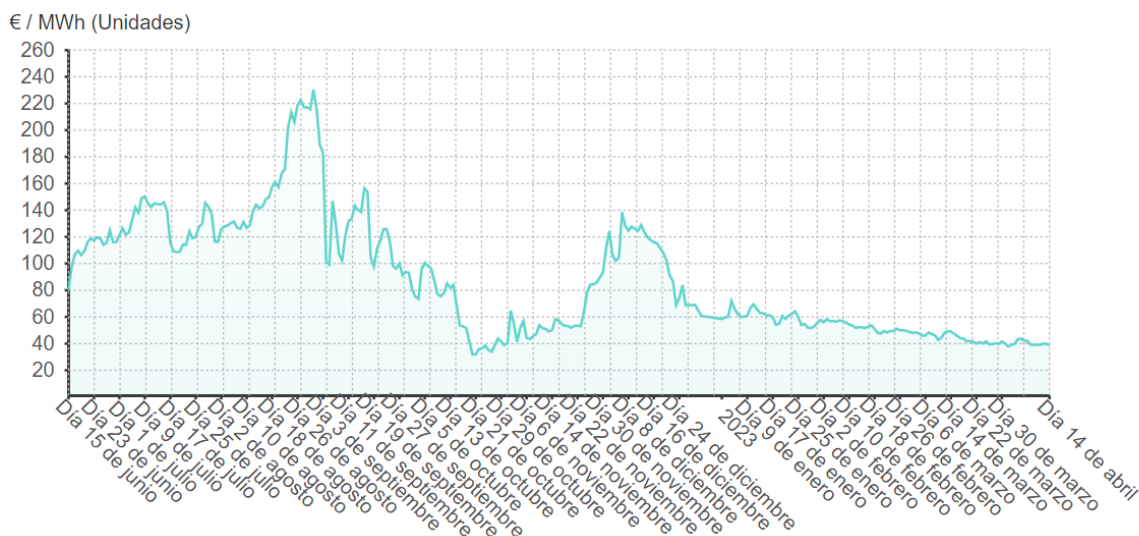


Figura 7.2. Evolución diaria del precio de la luz en España en el último año. Fuente: Epdata.

Aplicando el mismo cálculo para el gas, se obtiene un precio medio de los últimos meses de 88 €/MWh, y se considera un incremento anual del 3%.

	Precio €/MWh	Incremento anual %
Electricidad	150,8	2
Gas natural	88	1,5

Tabla 7.3. Precios estimados energía. Fuente: Epdata.

Para el cálculo del flujo de caja, se considera como ingresos el ahorro anual en euros derivado de las modificaciones realizadas en la vivienda así como en la instalación térmica. Se estima un periodo de proyecto de 25 años debido a la vida útil media de las instalaciones y una tasa de descuento del 4% anual para el cálculo. Además, se considera un coste de mantenimiento de la instalación de 100 € anuales tanto para la caldera como para la aerotermia.

Año	Inversión	Ingresos (€)	FC anual	FC acumulado
0	14574,8	0,0000	-14574,8000	-14574,8000
1	0	715,6563	715,6563	-13859,1437
2	0	738,983979	738,9840	-13120,1597
3	0	763,0486482	763,0486	-12357,1111
4	0	787,8731604	787,8732	-11569,2379
5	0	813,4810691	813,4811	-10755,7568
6	0	839,8966493	839,8966	-9915,8602
7	0	867,1449198	867,1449	-9048,7153
8	0	895,251666	895,2517	-8153,4636
9	0	924,2434624	924,2435	-7229,2201
10	0	954,1476977	954,1477	-6275,0724
11	0	984,9925987	984,9926	-5290,0798
12	0	1016,807256	1016,8073	-4273,2726
13	0	1049,621651	1049,6217	-3223,6509
14	0	1083,466681	1083,4667	-2140,1843
15	0	1118,374189	1118,3742	-1021,8101
16	0	1154,376994	1154,3770	132,5669
17	0	1191,508913	1191,5089	1324,0758
18	0	1229,804803	1229,8048	2553,8806
19	0	1269,300581	1269,3006	3823,1812
20	0	1310,033266	1310,0333	5133,2145
21	0	1352,041005	1352,0410	6485,2555
22	0	1395,36311	1395,3631	7880,6186
23	0	1440,040096	1440,0401	9320,6587
24	0	1486,113714	1486,1137	10806,7724
25	0	1533,626989	1533,6270	12340,3994

Tabla 7.4. Flujo de caja del proyecto. Fuente: elaboración propia.

A partir de los valores de la Tabla 7.4, se calculan mediante Microsoft Excel los indicadores mencionados, los cuales se muestran a continuación:

VAN	TIR	PR
1196,67432	4,66%	15,10

Tabla 7.5. VAN, TIR y PR. Fuente: elaboración propia.

Según los resultados obtenidos, se puede concluir que la inversión inicial es rentable, tal y como demuestra el VAN positivo, a pesar de que el periodo de retorno sea considerablemente largo; éste es de 15,1 años, lo cual es esperado en este tipo de proyectos. Cabe mencionar que los indicadores utilizados son orientativos, ya que no es posible determinar los costes energéticos en un periodo de tiempo tan extenso.



8. Impacto ambiental

Una vez realizado el estudio energético, es importante calcular el impacto ambiental del proyecto. Los factores de mayor impacto son los relacionados con el cambio de generador en la producción de energía térmica. Para valorar este impacto, se tendrán en cuenta las emisiones de CO₂ y el consumo de energía primaria no renovable (EPNR) en la instalación.

Para realizar el cálculo, se aplican los factores indicados en el documento “*Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España*”, resuelto de forma conjunta por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y el Ministerio de Fomento.

A continuación, se muestran los valores descritos en el documento mencionado anteriormente.

Fuente de energía	kWh EPNR / kWh E. final	Kg CO ₂ / kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	2,007	0,357
Electricidad convencional peninsular	1,954	0,331
Electricidad convencional extrapeninsular	2,937	0,833
Electricidad convencional Baleares	2,968	0,932
Electricidad convencional Canarias	2,924	0,776
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	2,718	0,721
Gasóleo calefacción	1,179	0,311
GLP	1,201	0,254
Gas natural	1,190	0,252
Carbón	1,082	0,472
Biomasa no densificada	0,034	0,018
Biomasa densificada (pellets)	0,085	0,018

Tabla 8.1. Factores de conversión de energía final a primaria y factores de emisiones de CO₂. Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo y Ministerio de Fomento.

En el caso de estudio, los valores a aplicar para la aerotermia son los correspondientes a Electricidad convencional peninsular y para el sistema de referencia (caldera), los correspondientes a gas natural.

8.1. Emisiones de CO₂

Considerando que el consumo de gas de la vivienda en la situación inicial era de 10016,17 kWh anuales, calculado en el apartado 4.4, aplicando el factor 0,252 kg CO₂ / kWh E. final se obtienen 2524,07 kg de CO₂ generados cada año en la vivienda debido a producción de ACS y calefacción.

Tras la primera etapa, en la cual se realizan las modificaciones de los elementos pasivos de manera que se reducen las necesidades energéticas del edificio, la vivienda tiene una demanda final de 1272,02 kWh anuales para calefacción y 2758,65 kWh para ACS. Si esta demanda se cubre mediante la caldera de la situación inicial, la cual tiene un rendimiento de 88% tal y como se indica en el apartado 6.2, el consumo total es de 4580,31 kWh. A partir de este valor, aplicando el factor de paso correspondiente de 0,252 se obtiene una generación de 1154,24 kg de CO₂ anuales.

En cambio, si cubrimos esta demanda con aerotermia, la cual tiene un rendimiento de 2,60 en calefacción y 3,76 en ACS, aplicando, se obtiene un consumo total de 1222,92 kWh, lo que supone 404,79 kg de CO₂ anuales tras aplicar el factor de paso correspondiente a la electricidad convencional peninsular de 0,331 252 kg CO₂ / kWh E. final.

8.2. Consumo de energía primaria no renovable.

Es importante valorar el consumo de energía primaria no renovable (EPNR) del sistema, ya que éste tiene un gran impacto sobre el medio ambiente. En la situación de origen, teniendo en cuenta los 10016,17 kWh de consumo de gas, el consumo de

EPNR correspondiente es de 11919,24 kWh tras aplicar el factor de 1,19 kWh EPNR / kWh E. final. En la situación energética final de la vivienda, en caso de haber mantenido la caldera como generador, se obtiene que se consumirían 6139,84 kWh de EPNR. Finalmente, al sustituirla por la bomba de calor, este valor se reduce hasta 2389,59 kWh.

8.3. Reducción impacto ambiental

Este apartado trata de mostrar una visión global de la mejora en el impacto sobre el ambiente que se genera en la vivienda.

	Situación inicial + caldera	Situación final + caldera	Situación final + aeroterminia
Consumo E. final (kWh)	10016,17	4580,31	1222,92
Emisiones CO ₂ (kg)	2524,07	1154,24	404,79
Consumo EPNR (kWh)	11919,24	6139,84	2389,59

Tabla 8.2. Resumen de emisiones de CO₂ y de consumo de EPNR del sistema. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 8.2 se puede observar que el impacto ambiental se ha visto reducido de manera drástica. Además de la reducción en el consumo energético, la vivienda emite un 54,27% menos de CO₂ respecto a la situación inicial tras reducir la demanda energética y un 83,96% al cubrir esta demanda con aeroterminia. En cuanto al consumo de EPNR, el ahorro es de un 48,49% y un 79,95% respectivamente.



9. Impacto social y de igualdad de género

Es importante en cualquier proyecto realizado valorar el impacto sobre la sociedad que surgirá del mismo. En el caso que ocupa el proyecto actual, cabe decir que la rehabilitación energética es un concepto que beneficia especialmente a la sociedad, ya que el objetivo es reducir la demanda energética de las viviendas, lo que ocasiona un menor consumo de energía y, por lo tanto, una potencial reducción en el precio de los suministros. Esto podría garantizar que las familias con menor poder adquisitivo puedan hacer frente a las facturas energéticas.

En cuanto a la igualdad de género, el proyecto realizado promueve la equidad ya que resulta de interés a todo el mundo, sin discriminar a ningún colectivo debido a sus características personales y/o condiciones.



10. Coste del proyecto

Además de la valoración económica llevada a cabo para responder a los objetivos iniciales del proyecto, en este punto se realiza una evaluación de los costes asociados a la realización del mismo.

10.1. Materiales y licencias

Dentro de los materiales necesarios para la realización del proyecto se incluye principalmente un ordenador. En este caso, se ha empleado un ordenador portátil Dell, valorado en 750 €. Teniendo en cuenta que un ordenador portátil tiene una vida útil media de 5 años, se considera un coste asociado al proyecto de 150 €, lo que equivale a un año de amortización del mismo. Además, también se encuentran vinculadas a este apartado las licencias de software, principalmente de DesignBuilder, el programa utilizado para las simulaciones durante todo el proyecto, cuya licencia para el paquete “Ingeniería Básico v7”, que incluye los módulos requeridos, tiene un coste de 1500 \$ anuales, que supone actualmente 1371,75 €. Se debe añadir también la licencia de Microsoft Office ya que se ha utilizado el editor de texto Word y la herramienta de cálculo Excel. El paquete Microsoft 365 Personal tiene un coste de 69 €/año. Todo ello suma un gasto de 1590,75 € en materiales y licencias.

Concepto	Coste
Ordenador portátil	150 €
Licencia DesignBuilder	1371,75 €
Licencia Microsoft Office	69 €
Total material y licencias	1590,75 €

Tabla 10.1. Resumen costes asociados los materiales y licencias. Fuente: elaboración propia.

10.2. Mano de obra

En cuanto a la mano de obra asociada al proyecto, se incluyen principalmente las horas de trabajo dedicadas a su desarrollo. Según el criterio académico establecido por la Universidad Politécnica de Cataluña y, concretamente, definidos en el Plan de Estudios del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, el proyecto actual, que corresponde al Trabajo Final del Grado, contabiliza 12 créditos ECTS de la titulación. Cada crédito representa de media unas 25 horas de trabajo por parte del estudiante (ya sea invertidos en horas de clase presencial, virtual, de prácticas o de aprendizaje autónomo). En este caso, al tratarse de un proyecto la totalidad de horas corresponden al tiempo requerido para su elaboración, incluyendo todas las etapas. Según el portal de empleo *Talentcom*, el salario medio de un ingeniero junior en España es de 12,82 € por hora, lo cual supone 3846 €.

10.3. Coste total

Por último, se realiza el balance económico total de la realización del Trabajo de Fin de Grado.

Concepto	Coste
Materiales y licencias	1590,75 €
Mano de obra	3846 €
Total proyecto	5436,75 €

Tabla 10.2. Resumen costes asociados a la realización del proyecto. Fuente: elaboración propia.

11. Planificación

En este apartado se pretende mostrar la cronología de la realización del proyecto desde su inicio hasta su fin. En la Figura 11.1 se muestra su ilustración y, a continuación, el resumen global en la Tabla 10.1.

En primer lugar, se dedican 9 días a la identificación del problema a resolver. A continuación, durante la siguiente semana, se han tratado de definir los objetivos del proyecto, con el fin de delimitar su alcance y trabajar sobre unos márgenes definidos en la medida de lo posible. Los siguientes 10 días han sido dedicados a la definición del alcance del trabajo. Posteriormente y durante otros 10 días se ha definido el contexto. A continuación se ha estudiado el marco regulatorio que se aplica en el proyecto por 11 días, y durante 9 días más se han estudiado las publicaciones existentes, así como artículos publicados relacionados o de interés, añadiendo 11 días dedicados al análisis de estudios de carácter técnico.

Una vez realizado todo el trabajo previo, se comienza a profundizar en la parte técnica del proyecto. Los estudios técnicos y cálculos han ocupado 38 días en total, teniendo en cuenta la valoración de las distintas alternativas planteadas. Una vez terminado este proceso, se ha tratado de seleccionar la solución óptima, para lo cual se han invertido 16 días. A continuación se han dedicado 9 días al estudio del impacto ambiental, social y de género, para valorar las repercusiones que puedan surgir debido a los procesos planteados en el proyecto. Se ha realizado un análisis económico tanto de la rehabilitación propuesta en el proyecto como de la realización del proyecto en sí, lo cual ha añadido 15 días a la duración del trabajo. Una vez terminada esta etapa, a lo largo de 11 días se han extraído las conclusiones. Cabe destacar que el desarrollo de la memoria se ha ido realizando a medida que el proyecto avanzaba, con una duración total de 86 días, la cual se ha revisado durante dos semanas más para aplicar las mejoras y modificaciones necesarias.

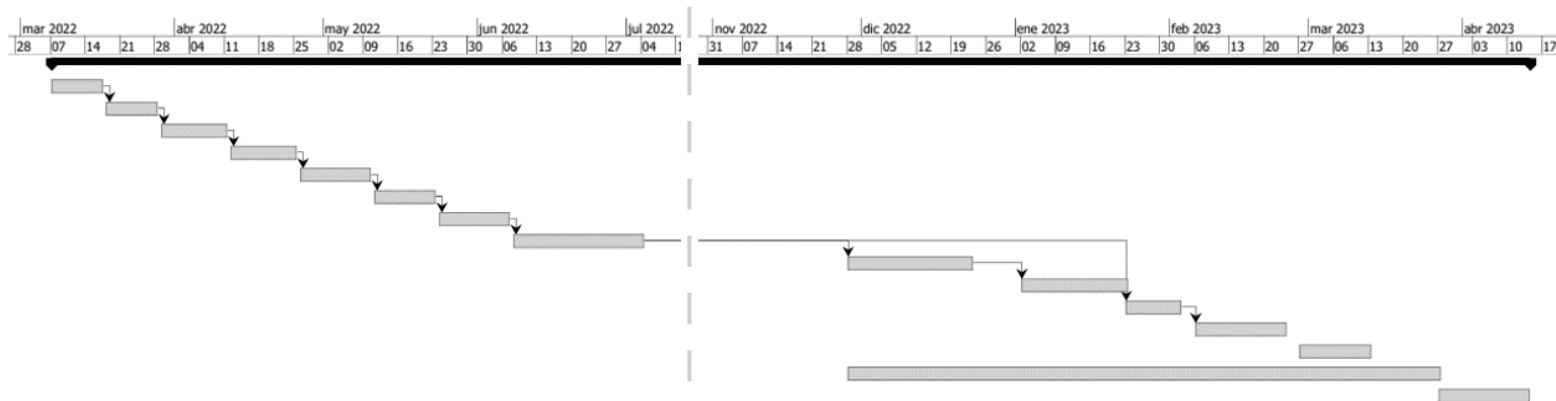


Figura 11.1. Diagrama de Gantt del proyecto. Fuente: elaboración propia.

i	Tarea	Duración	Inicio	Fin	8	9	10	11	12	13	14	15
					Valoración de alternativas	19 días	8/6/22	4/7/22				
1	Identificación del problema	9 días	7/3/22	17/3/22	Realización estudio técnico	19 días	28/11/22	23/12/22				
2	Definición de objetivos	7 días	18/3/22	28/3/22	Selección de la solución	16 días	2/1/23	23/1/23				
3	Definición del alcance	10 días	29/3/22	11/4/22	Estudio del impacto	9 días	23/1/23	3/2/23				
4	Definición del contexto	10 días	12/4/22	25/4/22	Estudio económico	15 días	6/2/23	24/2/23				
5	Estudio marco regulatorio	11 días	26/4/22	10/5/22	Conclusiones	11 días	27/2/23	13/3/23				
6	Análisis estudios existentes	9 días	11/5/22	23/5/22	Redacción de la memoria	86 días	28/11/22	27/3/23				
7	Análisis estudios técnicos	11 días	24/5/22	7/6/22	Revisión y finalización	15 días	27/3/23	14/4/23				

Tabla 11.1. Resumen diagrama de Gantt del proyecto. Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El propósito del proyecto consistía en investigar la viabilidad de la rehabilitación energética de una vivienda unifamiliar siguiendo los parámetros establecidos en el estándar Passivhaus. Además de lograr una vivienda que cumpla con el estándar, el proyecto se enfocó en satisfacer la demanda térmica mediante el uso de aerotermia con el objetivo de alcanzar la mayor eficiencia energética posible.

Para realizar la evaluación de la viabilidad de la rehabilitación energética se han seguido distintos pasos. En primer lugar, se ha realizado un diagnóstico energético de la vivienda, caracterizando el punto de partida lo cual ha permitido identificar las deficiencias y, por lo tanto, oportunidades de mejora en el aislamiento térmico de la vivienda. En segundo lugar, se han establecido unos objetivos, prioridades y limitaciones, lo cual ha permitido poner sobre la mesa distintas medidas de mejora y valorarlas en función a los parámetros considerados. A continuación, se ha realizado un estudio de estas medidas, para escoger las más interesantes y posteriormente calcular su coste, con el fin de determinar la inversión necesaria para llevarlas a cabo. También se ha estimado el ahorro energético que se logrará con la implantación de las medidas de mejora, mediante su simulación. Por último, se ha calculado el tiempo de retorno de la inversión, y se ha realizado una evaluación de la rentabilidad de la rehabilitación, a través del VAN y la TIR, lo que permite determinar si la inversión es viable, además del periodo de retorno para que estimar cuánto tardará el usuario en recuperar su inversión inicial y obtener beneficios.

A lo largo del proyecto, se ha demostrado que la rehabilitación energética ofrece numerosas ventajas tanto para los usuarios como para el medio ambiente en general. El estándar Passivhaus se enfoca en maximizar estas ventajas mediante la creación de edificios de máxima eficiencia energética. Si bien el estudio ha demostrado la viabilidad del proyecto, obteniendo resultados favorables y un análisis económico que evidencia su rentabilidad, no se puede concluir acerca de la viabilidad global del estándar, ya que éste abarca otros ámbitos que escapan al alcance del estudio. Sin

embargo, en lo que respecta al aspecto de eficiencia energética enfocado al confort térmico, los resultados son indudablemente positivos. Es posible lograr los indicadores establecidos en la certificación EnerPHit, la cual se refiere a la rehabilitación de viviendas existentes, mediante acciones asumibles por el usuario en términos de complejidad y costo.

La eficiencia energética y la utilización de fuentes renovables son cruciales en la lucha contra el cambio climático y para la creación de un futuro sostenible. Es alentador ver que la aerotermia está emergiendo como una opción viable y atractiva para satisfacer la demanda energética de las viviendas, y es indudable que su uso se extenderá cada vez más en la sociedad.

En conclusión, las intervenciones de rehabilitación energética, específicamente aquellas diseñadas bajo el estándar Passivhaus, se encuentran en consonancia con una realidad innegable y es evidente que generan un impacto directo en la calidad de vida. Es importante destacar que la rehabilitación energética no puede ser considerada un lujo o una opción adicional, sino que se presenta como una necesidad impostergable en la sociedad contemporánea. En este sentido, es fundamental continuar avanzando hacia una sociedad más responsable y comprometida con la preservación del medio ambiente, y así, evolucionar hacia un futuro más sostenible.

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer la dedicación a mi mentor y tutor del proyecto, Gaspar Martín, por el esfuerzo, la paciencia y el conocimiento compartido durante este tiempo.

También mencionar la especial dedicación por parte del tutor académico del proyecto, Alejandro García, por sus valiosas aportaciones a lo largo de estos meses.

Por último, agradecer a mi familia y amigos más cercanos el apoyo incondicional, la paciencia y la comprensión.



Bibliografía

Referencias bibliográficas

Gobierno de España (2023, 14 de enero). *Sede Electrónica del Catastro*.

<https://www.sedecatastro.gob.es/>

Certicalia. *Normativa y requisitos del proyecto de rehabilitación de edificio*.

<https://www.certicalia.com/proyecto-de-rehabilitacion-de-edificio/normativa-y-requisitos-del-proyecto-de-rehabilitacion-de-edificio>

Boletín Oficial del Estado [BOE]. Art 185. 4 de agosto de 2021 (España)

IDAE. *Guía práctica de la energía para la rehabilitación de edificios. En aislamiento, la mejor solución*.

<https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/aislamiento-en-edificacion/guia-practica-de-la-energia>

Meizoso, Eladio (2019, 23 de agosto). *Solo una de cada 400 viviendas tiene etiqueta energética A en España*. Cadena Ser.

https://cadenaser.com/ser/2019/08/23/economia/1566545358_080028.html

Cadena Ser (2023, 14 de enero). *Ahorro energético*.

https://cadenaser.com/tag/ahorro_energetico/a/

Serrano Yuste, Paula (2015, 28 de enero). *Aspectos normativos en la rehabilitación de fachadas en los edificios (I). Certificados energéticos*.

<https://www.certificadosenergeticos.com/aspectos-normativos-en-la-rehabilitacion-energetica-de-fachadas-en-los-edificios>

GRUPO ACEBO. *Normativa vigente sobre rehabilitación energética*.

<https://www.grupoacebo.es/normativa-rehabilitacion-energetica/>

Serrano Yuste, Paula (2021, 6 de abril). *También se modifica el reglamento RITE que afecta a las instalaciones térmicas. Certificados energéticos*.

<https://www.certificadosenergeticos.com/modifica-reglamento-rite-afecta-instalaciones-termicas>

Vanesa Ezquerro. *Rehabilitación arquitectónica bajo el Estándar Passivhaus*.

<https://www.vanesaezquerro.com/rehabilitacion-passivhaus/>

IPHA. *International Passive House Association*.

<https://passivehouse-international.org/>



WEBER, Saint-Gobain. *SATE – Aislamiento Térmico por el Exterior*.

<https://www.es.weber/sate>

IDAE. *Guías técnicas para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios*.

<https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/aislamiento-edificacion/guias-tecnicas-para-la>

Serrano Yuste, Paula (2014, 6 de marzo). *Mejora de la calificación energética de inmuebles existentes con aislante térmico insuflado. Certificados energéticos*.

<https://www.certificadosenergeticos.com/mejora-calificacion-energetica-inmuebles-existentes-aislante-termico-insuflado>

Serrano Yuste, Paula (2014, 1 de abril). *Cómo mejorar la envolvente térmica en la certificación energética: medidas de mejora CE3X. Certificados energéticos*.

<https://www.certificadosenergeticos.com/como-mejorar-envolvente-termica-certificacion-energetica-medidas-mejora-ce3x>

Iturbe, Mikel (2022, 13 de enero). *Qué es el sistema SATE y cómo se instala (Aislamiento Térmico por el Exterior). Calor y frío*.

<https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/aislamiento-y-humedad/sate-sistema-de-aislamiento-termico-por-el-exterior.html>

Rodriguez Ros. *Aislar una vivienda unifamiliar con Sate.*

<https://rodriguezros.com/aislar-una-vivienda-unifamiliar-con-sate/>

Bricopared (2022, 21 de agosto). *Preguntas frecuentes sobre SATE.* Bricopared.

<https://www.bricopared.com/2022/09/21/preguntas-frecuentes-sobre-sate/>

Sole Bonet, Josep (2021, 19 de octubre). *Fachada ventilada o SATE: ¿Qué aislamiento es mejor? Calor y frío.*

<https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/aislamiento-y-humedad/fachada-ventilada-o-sate-que-aislamiento-es-mejor.html>

IDAE. *Consumo por usos del sector residencial.*

<https://informesweb.idae.es/consumo-usos-residencial/informe.php>

IDAE: *Programa PREE. Rehabilitación energética de edificios.*

<https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-la-rehabilitacion-de-edificios/convocatorias-cerradas/programa-pree>

Arnabat, Idoia (2022, 6 de octubre). *Rehabilitación energética de edificios: ¿Qué pasos debemos seguir? Infografía.*

<https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/rehabilitacion-de-edificios/claves-rehabilitacion-energetica-edificios-infografia.html>

Certicalia (2022, 27 de septiembre). *Aislamiento por insuflado*.

<https://www.certicalia.com/blog/aislamiento-por-insuflado>

Fevymar (2021, 15 de octubre). *Radiadores: ¿Cómo se adaptan a las instalaciones de baja temperatura?*

<https://www.fevymar.com/climaeficiencia/radiadores-emisores-eficientes-a-baja-temperatura/>

Epdata (2023, 3 de enero). *Precio de la factura de la luz, datos y estadísticas*.

<https://www.epdata.es/datos/precio-factura-luz-datos-estadisticas/594>



A Anexos

A.1 Ficha técnica bomba de calor

Alféa Extensa Duo Ai

1/2

Bomba de calor de calefacción y ACS de baja temperatura



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

	EXTENSA DUO AI 5 R32	EXTENSA DUO AI 6 R32	EXTENSA DUO AI 8 R32	EXTENSA DUO AI 10 R32
Código	526681	526682	526683	526684
Potencia calorífica +7°C / +35°C - Suelo radiante	kW 4,5	5,5	7,5	9,5
Potencia absorbida +7°C / +35°C - Suelo radiante	kW 1,0	1,2	1,7	2,1
ODP +7°C / 35°C - Suelo radiante	4,7	4,7	4,4	4,5
Potencia calorífica -7°C / +35°C - Suelo radiante	kW 4,4	5,0	5,7	8,9
Potencia absorbida -7°C / +35°C - Suelo radiante	kW 1,6	1,9	2,1	3,4
ODP -7°C / +35°C - Suelo radiante	2,8	2,6	2,7	2,7
Potencia calorífica +7°C / +45°C - Radiadores baja tª	kW 4,5	5,5	7,3	9,3
Potencia absorbida +7°C / +45°C - Radiadores baja tª	kW 1,3	1,6	2,2	2,7
ODP +7°C / 45°C - Radiadores baja tª	3,4	3,4	3,4	3,4
Potencia calorífica -7°C / +45°C - Radiadores baja tª	kW 4,3	4,8	5,6	8,6
Potencia absorbida -7°C / +45°C - Radiadores baja tª	kW 1,9	2,2	2,6	3,8
ODP -7°C / +45°C - Radiadores baja tª	2,3	2,2	2,2	2,3
Potencia calorífica +7°C / +55°C - Radiadores alta tª	kW 4,5	5,5	7,0	9,0
Potencia absorbida +7°C / +55°C - Radiadores alta tª	kW 1,7	2,1	2,6	3,3
ODP +7°C / +55°C - Radiadores baja tª	2,6	2,7	2,7	2,7
Potencia calorífica -7°C / +55°C - Radiadores alta tª	kW 3,9	4,3	5,3	8,0
Potencia absorbida -7°C / +55°C - Radiadores alta tª	kW 2,11	2,3	2,8	4,1
ODP -7°C / -55°C - Radiadores baja tª	1,9	1,9	1,9	1,95
Potencia apoyos eléctricos (opcional)	kW AJUSTABLE 3 o 6			
POTENCIA FRIGORÍFICA				
Potencia frigorífica +35°C / +18°C	kW 6,5	6,5	8,0	9,6
Potencia absorbida +35°C / +18°C	1,9	1,9	2,7	3,5
EER +35°C / +18°C	3,4	3,4	3,0	2,8
RENDIMIENTO ACS				
2°C	3,0	3,0	3,0	3,0
SCOP _{ACS} 7°C	3,4	3,4	3,4	3,4
14°C	3,8	3,8	3,8	3,7

Datos calefacción según EN 14825. Datos ACS según EN 16147. Datos certificados HP Keymark.

DIMENSIONES

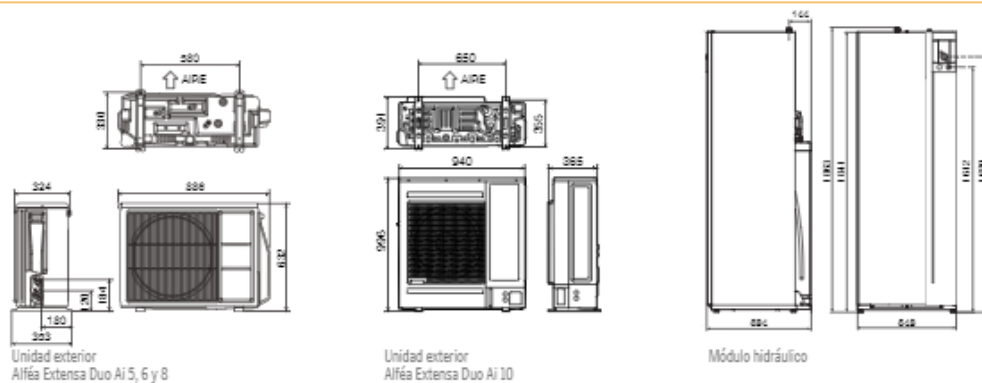


Figura A.1. Ficha técnica de la bomba de calor (1/2). Fuente: Thermor.

Alféa Extensa Duo Ai 2/2

Bomba de calor de calefacción y ACS de baja temperatura



MÓDULO HIDRÁULICO Y UNIDAD EXTERIOR

		EXTENSA DUO AI 5 R32	EXTENSA DUO AI 6 R32	EXTENSA DUO AI 8 R32	EXTENSA DUO AI 10 R32
MÓDULO HIDRÁULICO	Código	526681	526682	526683	526684
	Nivel sonoro**	dB(A) 32	32	32	34
	Dimensiones h x l x p	mm 1863/648/684	1863/648/684	1863/648/684	1863/648/684
	Peso en vacío / con agua	kg 143 / 358	143 / 358	143 / 358	143 / 358
	Volumen depósito intercambiador	L 16	16	16	16
	Volumen vaso expansión	L 8	8	8	8
	Temperatura máxima en producción de ACS	°C 55	55	55	55
	Capacidad depósito ACS	L 190	190	190	190
	Apoyo eléctrico ACS	KW 1,5	1,5	1,5	1,5
	Revestimiento depósito ACS			10	
CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS	Presión máxima servicio depósito ACS	bar 10	10	10	10
	Periodo de calentamiento según EN 16147	h/m 1h 35m	1h 35m	1h 35m	1h 15m
	Temperatura de referencia según EN 16147	°C 54	54	54	54
	Volumen máximo de ACS disponible según EN 16147 L	245	245	245	245
	Alimentación	230 V 50 Hz	230 V 50 Hz	230 V 50 Hz	230 V 50 Hz
	Consumo en reposo	W 10	10	10	10
	Sección de alimentación apoyos	mm ² 306	306	306	306
CONEXIONES HIDRÁULICAS	Diámetros entrada-salida circuito primario (rosca macho)	pulgadas 1	1	1	1
	Rango de funcionamiento aconsejado mín / max - modo calor	°C -20°C / 35°C	-20°C / 35°C	-20°C / 35°C	-20°C / 35°C
UNIDAD EXTERIOR	Nivel sonoro**	dB(A) 35	35	38	40
	Dimensiones h x l x p	mm 632/886/353	632/886/353	716/907/353	996/940/391
	Peso en funcionamiento	kg 39	39	42	62
	Diámetro gas	pulgadas 1/2	1/2	1/2	5/8
	Diámetro líquido	pulgadas 1/4	1/4	1/4	3/8
	Carga de fluido frigorífico	g R32 / 970	R32 / 970	R32 / 1020	R32 / 1630
	Longitud mín. / máx.	m 3/30	3/30	3/30	3/30
	Desnivel máximo	m 20	20	20	20
	Longitud máxima sin carga complementaria	m 15	15	15	20
	Cantidad de gas a añadir por metro suplementario	g 25	25	25	20
CONEXIONES ELECTRICAS	Alimentación	230 V 50 Hz	230 V 50 Hz	230 V 50 Hz	230 V 50 Hz
	Consumo en reposo	W 38	38	38	38
	Intensidad nominal	A 5,3	6,6	8,3	11,2
	Intensidad máxima (sin apoyos)	A 13	13	18	19
	Calibre disyuntor curva C	A 16	16	20	32
	Sección de alimentación	mm ² 361,5	361,5	362,5	364
	Cable de interconexión módulo hidráulico-Ud exterior mm ²	461,5	461,5	461,5	461,5

*Nivel de presión sonora a 1m del aparato, 1,5m del suelo, campo libre directividad 2. **Nivel de presión sonora a 5m del aparato, 1,5m del suelo, campo libre directividad 2.

CURVAS DE PRESIÓN DISPONIBLE

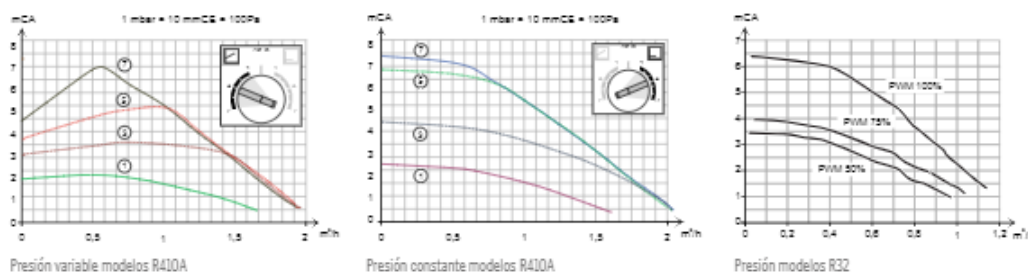


Figura A.2. Ficha técnica de la bomba de calor (2/2). Fuente: Thermor.