



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UNA VIVIENDA: ENFOQUE TÉCNICO Y ECONÓMICO- FINANCIERO

Autor: Diego García Cuenca

Director: David Trebolle Trebolle

Madrid

agosto de 2018

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Diego García Cuenca

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: ”Análisis Energético de una vivienda: enfoque técnico y económico-financiero”, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a ...20.... deAgosto..... de2018....

ACEPTA

Fdo.....Diego García Cuenca.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título:
“Análisis Energetico de una vivienda: enfoque técnico y económico-financiero”
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico ...2017/2018.... es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro,
ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Diego García Cuenca Fecha: ...20.../ ...08.../ ...18...

Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'David Trebolle Trebolle', is written over a faint, circular stamp or watermark.

Fdo.: David Trebolle Trebolle Fecha: 26/ 08/2018

RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto consiste en un exhaustivo análisis energético de una vivienda particular, el análisis tendrá un primer enfoque técnico y un segundo enfoque, complementario, económico y financiero. El trabajo busca responder a si un proyecto de eficiencia energética en el sector residencial es a día de hoy viable, rentable y beneficioso para la sociedad y el propietario de la vivienda.

En el reciente contexto de progresivo aumento de la conciencia medioambiental surge en la Unión Europea los objetivos energéticos a cumplir para los años 2020 y 2030, donde la eficiencia energética es un pilar fundamental, formando parte de uno de los tres hitos a lograr por los países miembros. Es por ello, que este proyecto busca la forma de explotar este potencial latente e inaprovechado de eficiencia energética en el sector residencial para lograr así los objetivos energéticos y medioambientales necesarios para los próximos años.

El proyecto estará formado por una primera parte de revisión del estado del arte de la eficiencia energética en el sector residencial.

La segunda parte del proyecto consistirá en la caracterización de la vivienda a estudiar, donde se definirán las demandas y consumos de la casa, así como su equipamiento y los gastos asociados al suministro energético anual. Se distinguirá entre energía eléctrica y energía térmica, siendo la energía térmica la suministrada por la caldera de gas natural y la energía eléctrica la suministrada a través de la red eléctrica de la vivienda.

Una vez caracterizada energéticamente la vivienda se estudiarán distintas medidas energéticas, tanto del lado del suministro como del lado de la demanda y se analizará como llevar a cabo la posible implementación de estas medidas. Se calculará el ahorro energético que cada medida tendrá de manera individual sobre la vivienda para definir distintos escenarios de ahorro energético.

La cuarta parte del proyecto consiste en el análisis económico de las medidas. Se tomarán los escenarios de ahorro energética de las medidas obtenidos en la sección 3 y se calcularán los ahorros económicos asociados a cada medida. Se estimarán los costes de inversión necesarios para implementar cada medida y con los ahorros se calcularán los periodos de retorno de cada inversión, así como el Valor Actual Neto en diez años. Se

utilizarán estos resultados para decidir la viabilidad económica de cada medida, suponiendo una medida económicamente viable aquella que tenga un VAN positivo en diez años o, por el contrario, durante la vida útil de la medida.

Una vez decididas las medidas que son económicamente viables se procederá a estudiar el impacto económico y energético de un proyecto de eficiencia energética global, formado por las medidas escogidas. Se estimará el VAN y el periodo de retorno de esta inversión para decidir si es rentable y viable.

La quinta parte del proyecto es el análisis financiero. En esta parte se estudiarán distintas formas de financiación para tratar de averiguar la forma óptima de financiar un proyecto de estas características. Se usará el cálculo del WACC ante diferentes supuestos para hallar la mejor forma de financiación.

Finalmente, se recogerán los resultados obtenidos y se harán conclusiones que traten de responder a varios de los interrogantes acerca de la eficiencia energética en el sector residencial.

ABSTRACT

This project consists of a complete energy analysis of a home, the analysis will have a first technical approach and a second, complementary, economic and financial approach. The work seeks to answer whether an energy efficiency project in the residential sector is currently viable, profitable and beneficial for the society and the owner of the home.

In the recent context of progressive increase in environmental awareness, the European Union, has created the energy objectives to be met for the years 2020 and 2030, where energy efficiency is a fundamental point, forming part of one of the three milestones to be achieved by the countries members. That is why this project pursues to exploit this latent and unused potential for energy efficiency in the residential sector to achieve the energy and environmental objectives necessary for the coming years.

The project will consist of a first part of the review of the state of the art of energy efficiency in the residential sector.

The second part of the project will consist in the characterization of the house to be studied, where the demands and consumptions of the house will be defined, as well as its equipment and the expenses associated with the annual energy supply. A distinction will be made between electric energy and thermal energy, with thermal energy being supplied by the natural gas boiler and electric power supplied by the electric grid.

Once the house has been energetically characterized, different energy measures will be studied, both on the supply side and on the demand side. The energy savings that each measure will have individually on the house will be calculated to define different scenarios of energy savings.

The fourth part of the project consists on the economic analysis of the measures. The energy saving scenarios of the measures obtained in section 3 will be taken into consideration to calculate the economic savings associates to each measure. The investment costs necessary to implement each measure will be estimated and with the savings the return periods of each investment will be calculated, as well as the Net Present Value in ten years. These results will be used to decide the economic viability of each measure, assuming an economically viable measure the one that has a positive NPV in ten years or, on the contrary, during the useful life of the measure.

Once the measures that are economically viable have been decided, the economic and energy impact of a global energy efficiency project, formed by the chosen measures, will be studied. The NPV and the return period of this investment will be estimated to decide if it is profitable and viable.

The fifth part of the project is financial analysis. In this part different forms of financing will be studied to try to find out the optimal way to finance a project of these characteristics. The calculation of the WACC will be used in different cases to find the best form of financing.

Finally, the results obtained will be collected and conclusions will be made that try to answer several of the questions about energy efficiency in the residential sector



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UNA VIVIENDA: ENFOQUE TÉCNICO Y ECONÓMICO- FINANCIERO

Autor: Diego García Cuenca

Director: David Trebolle Trebolle

Madrid

agosto de 2018

Contenido

1.	Introducción:.....	15
1.1	Consumo y eficiencia energética en edificios y en el sector residencial.	18
1.2	Motivación	22
1.3	Objetivos	23
1.4	Metodología	24
2.	Caracterización de la vivienda:.....	27
2.1	Descripción de las características energéticas de la vivienda:	28
2.2	Caracterización de la demanda:	31
2.2.1	Caracterización de la demanda térmica:.....	31
2.2.2	Caracterización de la demanda eléctrica:	33
2.2.3	Caracterización de la demanda energética total:	38
2.3	Caracterización de los consumos del edificio:.....	39
2.4	Caracterización del gasto de energía:	43
2.4.1	Factura de gas:.....	43
2.4.2	Factura de electricidad:	44
3.	Análisis técnico de medidas de ahorro y eficiencia energética (MAEs):	46
3.1	Introducción:	46
3.2	Medidas “demand-side” y ahorros energéticos asociados:.....	49
3.2.1	Medidas “demand-side” de tipo eléctrico:.....	49
3.2.2	Medidas “demand-side” de tipo térmico:	53
3.3	Medidas supply-side y ahorros energéticos asociados:	66
3.3.1	Medidas supply-side de tipo eléctrico:	66
3.3.2	Medidas supply-side de tipo térmico:.....	70
3.4	Análisis de factibilidad de las alternativas y selección:.....	74
4.	Análisis económico-financiero de las alternativas	77
4.1.	Introducción	77
4.2.	Cálculo de ahorros y payback	78
4.2.1	Análisis económico-financiero de la Iluminación.	79
4.2.2	Análisis económico-financiero del cambio de electrodomésticos.....	81
4.2.3	Análisis económico-financiero de la mejora de estanqueidad de la vivienda:	83
4.2.4	Análisis económico-financiero de la mejora del aislamiento térmico de la vivienda.	85
4.2.5	Análisis económico-financiero de la mejora de ventanas.	87

4.2.6 Análisis económico-financiero de la instalación de paneles fotovoltaicos. ...	90
4.2.7 Análisis económico-financiero del cambio de caldera.	93
4.2.8 Análisis económico-financiero de la instalación de colectores solares.	96
4.3. Análisis de factibilidad económico de las alternativas y selección	97
4.4. Marco de Financiación e Incentivos a la Eficiencia Energética	102
4.5. Financiación de las Medidas:.....	105
4.5.1 Alternativas financieras disponibles:.....	106
4.6. Modelo financiero: flujo de caja libre y cálculo de WACC	111
5. Resumen y conclusiones:.....	115
6. Referencias:	122
7. Anexos:.....	125
Anexo 1:.....	125
Anexo 2:.....	126
Anexo 3:.....	128
Anexo 4:.....	129
Anexo 5:.....	¡Error! Marcador no definido.

1. Introducción:

En los últimos años ha surgido una toma de conciencia global que pide urgentemente transformar el modo en el que usamos la energía. La preocupación por el desarrollo sostenible, la seguridad energética, los impactos socioeconómicos del precio de la energía y el casi completo reconocimiento del cambio climático han llevado a muchos países a poner en desarrollo políticas que aseguren un mejor uso de los recursos energéticos.

En este contexto, tiene lugar en diciembre de 2015, El Acuerdo de París y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, donde se destacó la importancia que tiene para el futuro de la humanidad y del desarrollo sostenible contener el aumento de la temperatura media global por debajo de 2°C. Para conseguir esto, la Comisión Europea puso en marcha una serie de políticas energéticas y estableció unos objetivos a alcanzar para los años 2020 y 2030. Tanto en los objetivos, que proponen alcanzar un 20% de eficiencia energética para el 2020 y un 27% para el 2030, como en la nueva legislación existente quedó reflejado que la eficiencia energética se convertía en un elemento clave en la política energética de la Unión Europea y en un pilar para asegurar un mejor uso de los recursos energéticos.

La Agencia Internacional de Energía (AIE), destacó que la mejora de la eficiencia energética es una pieza fundamental que debe estar absolutamente en todos los posibles escenarios energéticos que cumplan el límite de los dos grados. En cuanto al aspecto económico, La AIE estima que para 2035, las inversiones en eficiencia energética deben representar casi la mitad de todas las inversiones energéticas mundiales para cumplir estos objetivos medioambientales. Todo esto hizo que la Comisión Europea definiese a la eficiencia energética como “La manera más efectiva de mejorar la seguridad de suministro, reducir las emisiones de carbono, aumentar la competitividad y estimular el desarrollo de mercados para nuevas tecnologías energéticamente eficientes”.

Numerosos estudios han destacado que el potencial económico y técnico detrás de la eficiencia energética es enorme, lo que implica que muchas medidas fácilmente disponibles podrían generar ahorros significativos, tanto en términos económicos como energéticos. A pesar de este énfasis en la eficiencia energética, tanto de los expertos internacionales como de los responsables políticos, las medidas adoptadas por la UE para aumentar la eficiencia energética no han permitido alcanzar los objetivos deseados. Entre

los principales motivos que han llevado a no cumplir las expectativas se pueden encontrar los siguientes: el potencial de ahorro energético es difuso, con muchos actores diferentes involucrados; la inversión en esta materia no es particularmente atractiva desde una perspectiva financiera, ya que los periodos de retorno son largos y hay cierta incertidumbre en el retorno de las inversiones. Mientras que la crisis económica y la volatilidad de los precios de la energía no han sido el mejor contexto para impulsar medidas e inversiones más ambiciosas.

Antes de empezar a clasificar y cuantificar la eficiencia energética es necesario definir correctamente este concepto, que es muchas veces confundido con la conservación de la energía, y explicar la necesidad de indicadores reales para cada país para medirla adecuadamente.

La eficiencia energética es usar la energía de manera eficiente para de esta forma optimizar los procesos productivos y con la misma o menos energía poder producir un mejor servicio o más bienes. Dicho de otra forma, producir más con menos energía. Por otro lado, la conservación de la energía es algo que radica más en el comportamiento humano ya que consiste en reducir el consumo energético mediante cambios en el estilo de vida o comportamiento de las personas. Por ejemplo, a nivel doméstico, apagar las luces de las habitaciones vacías es una conducta de conservación o ahorro de la energía, mientras que utilizar bombillas fluorescentes de bajo consumo sería una medida de eficiencia energética. Este aspecto humano explica la posible brecha que existe entre la capacidad potencial y el verdadero nivel de eficiencia real, y es vital para poder comprender y acortar la distancia incluso mayor que hay entre la actitud de los consumidores y su comportamiento. Paradójicamente, el ahorro de energía alcanzado por medio de mejoras tecnológicas en la eficiencia energética puede ser neutralizado por factores de comportamiento humano negativo.

Se estima que aproximadamente el 22% del consumo de energía en los hogares de Estados Unidos (en torno a 9,1 exajulios [EJ]) podría ser potencialmente evitado si la gente adoptara comportamientos rentables de eficiencia y conservación de energía [LAIT10].

Esto muestra que para aumentar la eficiencia energética en los domicilios es necesario que existan mejoras técnicas más eficientes, pero también que los consumidores decidan adoptarlas. Numerosos estudios sobre las etiquetas de eficiencia energética muestran que cuando se facilita información respecto a la eficiencia de los equipos, las personas

adoptan rápidamente la tecnología más eficiente. Esto ocurre, sobre todo, cuando el vínculo entre el ahorro energético y ahorro económico es explícito.

A la hora de estimar la eficiencia energética de un país, hay numerosos factores como el clima, la riqueza, o las costumbres sociales que influyen enormemente en los indicadores. Cada sector está influenciado por una variedad de factores subyacentes, por lo que se necesitan datos explicativos dependiendo del sector analizado. Frecuentemente, estos datos no se incluyen en los balances energéticos, y esto complica la tarea de hacer buenas estimaciones de eficiencia energética, ya que se requiere información detallada para los sectores de uso final. Por ejemplo, es lógico pensar que los edificios con mejor aislamiento térmico tendrán un menor consumo energético por metro cuadrado, sin embargo, en la figura 1 podemos ver como en la UE esto no es así. En los países del norte de Europa, a pesar de tener edificios con un aislamiento térmico muy bueno, su consumo final de energía por metro cuadrado [kWh/m²] es mucho mayor que el de los edificios de los países del sur de Europa. Esto se explica por la climatología de las distintas regiones.

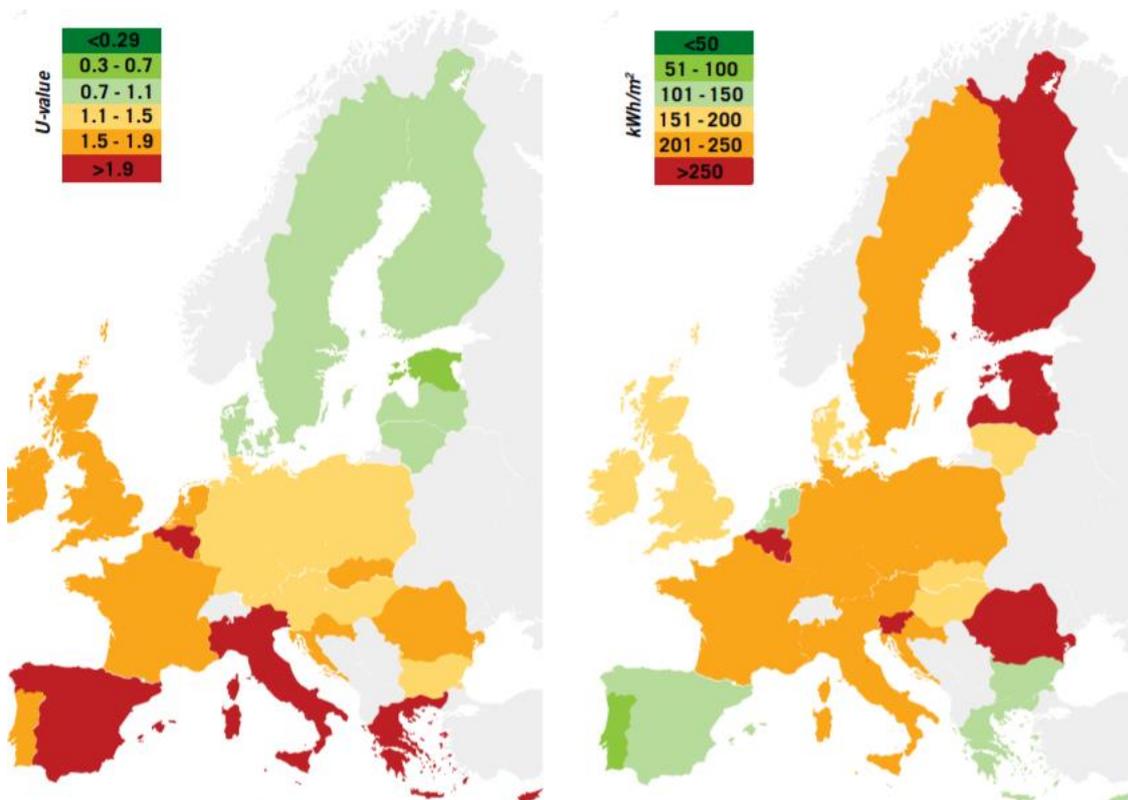


Figura 1. Aislamiento en edificios vs Consumo de energía final por metro cuadrado [kWh/m²].

Fuente: Buildings Performance Institute Europe (BPIE), "Is Europe ready for the smart buildings revolution?", Feb. 2017.

Esto explica que es necesario tener en cuenta diversos factores a la hora de medir la eficiencia energética, en España, por ejemplo, se hace una distinción entre la zona Atlántica, la zona Continental y la zona Mediterránea, donde, como es lógico en las zonas Atlántica y Continental se consume más energía para calefactar las viviendas ya que hace más frío que en la región Mediterránea.

1.1 Consumo y eficiencia energética en edificios y en el sector residencial.

Un estudio realizado por Deloitte junto con la AIE sobre eficiencia energética en la Unión Europea (“Energy efficiency in Europe. The levers to deliver the potential”) trató de identificar las principales claves para que tanto autoridades públicas, empresas privadas y hogares pudieran conocer y liberar el potencial técnico y económico que hay detrás de la eficiencia energética. En esta sección, se estudiará el potencial de eficiencia energética por desarrollar para edificios y para el sector residencial en la UE, que es el sector que acontece en este proyecto.

El potencial por desarrollar en eficiencia energética es enorme en todos los sectores, sin embargo, y como puede verse en la figura 2, es en los edificios donde más margen de mejora hay.

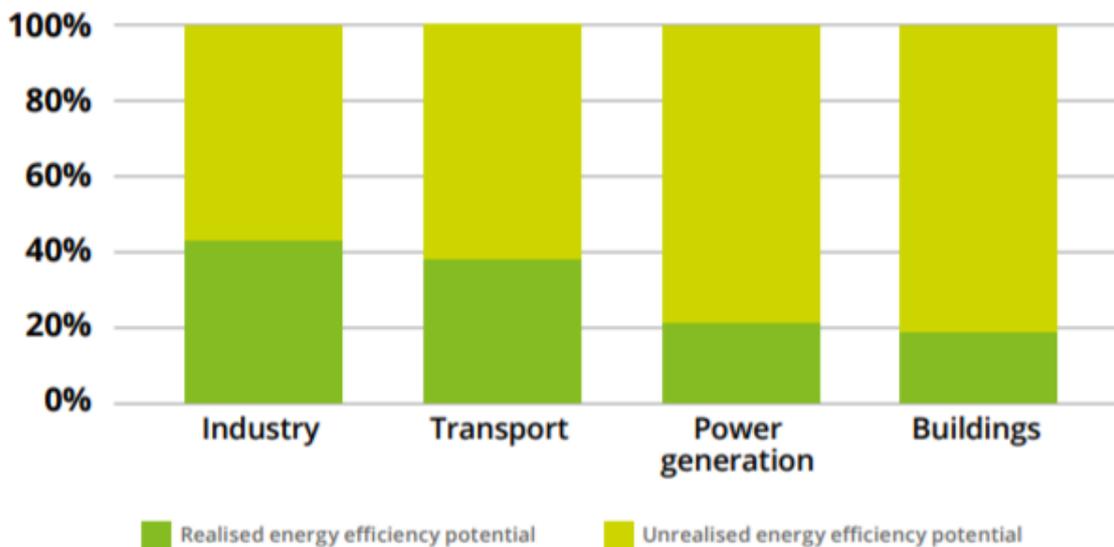


Figura 2. Potencial de eficiencia energética desarrollado y por desarrollar en cada sector en la UE.

Fuente: Deloitte, “Energy efficiency in Europe. The levers to deliver the potential”, 2016

Apenas se ha logrado el 20% del potencial de eficiencia energética en edificios, siendo estos los responsables del 40% del uso final de la energía y del 36% de las emisiones de CO₂ en la UE, debido a estos datos, Los edificios se convierten en un pilar básico donde acometer reformas para lograr los objetivos de la UE en materia energética, como bien puede verse en la reciente legislación de renovación de edificios del sector residencial (Comisión Europea de Decisión C(2017)7124 a 27 de Octubre de 2017) y el plan PAREER II.

Dos tercios de la energía consumida por edificios en la UE corresponde al sector residencial, existiendo un parque inmobiliario extremadamente ineficiente (más del 75% de las viviendas son ineficientes en la UE). En el caso concreto de España más de un 50% de las viviendas tienen más de 30 años y lo que es aún más grave, solo el 5% de las viviendas españolas ha obtenido una calificación A, B, C o D en cuanto a eficiencia, lo que convierte el parque inmobiliario español en uno de los más ineficientes de Europa.

El artículo 11 de la nueva versión de la directiva de eficiencia energética en edificios (EPBD), estipula que los edificios residenciales deben tener un certificado de rendimiento energético para ser vendidos, alquilados o construidos. Los certificados de rendimiento energético tienen el siguiente formato, donde la calificación va desde A (muy eficiente) hasta G (muy ineficiente). La siguiente imagen muestra un ejemplo de una vivienda en España.

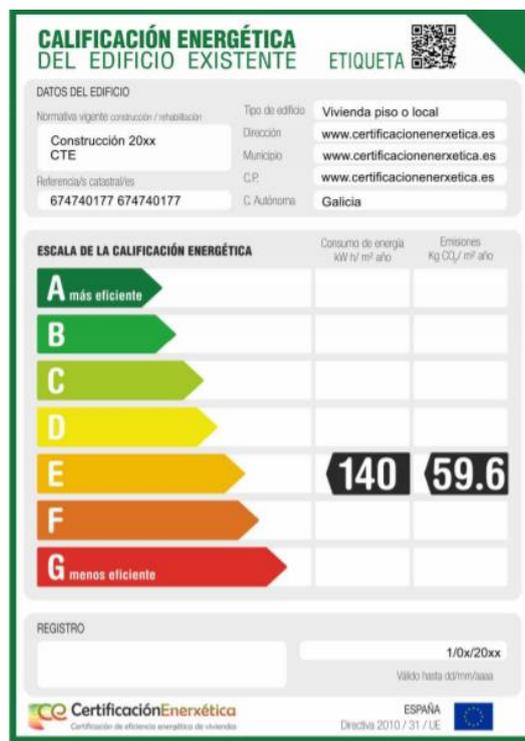


Figura 3. Etiqueta de desempeño energético.

La sociedad de tasación Tinsa, a través de su programa Certify, un sello que acredita la certificación energética de las viviendas, Analizó más de 40.000 hogares en España con unos resultados bastante negativos. El 43% de las viviendas obtuvo la calificación más baja, la letra G, el 14% la F y el 37% la E.

En Este proyecto se analizará como cambia la calificación energética de una vivienda en Madrid con la adopción de medidas técnicas de eficiencia energética.

El siguiente gráfico muestra el consumo energético porcentual por uso en el sector residencial, con datos de la UE y de España, se puede observar claramente que el uso que más energía consume es el calentamiento del espacio (calefacción) siendo mayor el de la UE que el de España por el ya mencionado factor climático. Seguido del calentamiento de agua para la UE y de los electrodomésticos en España.

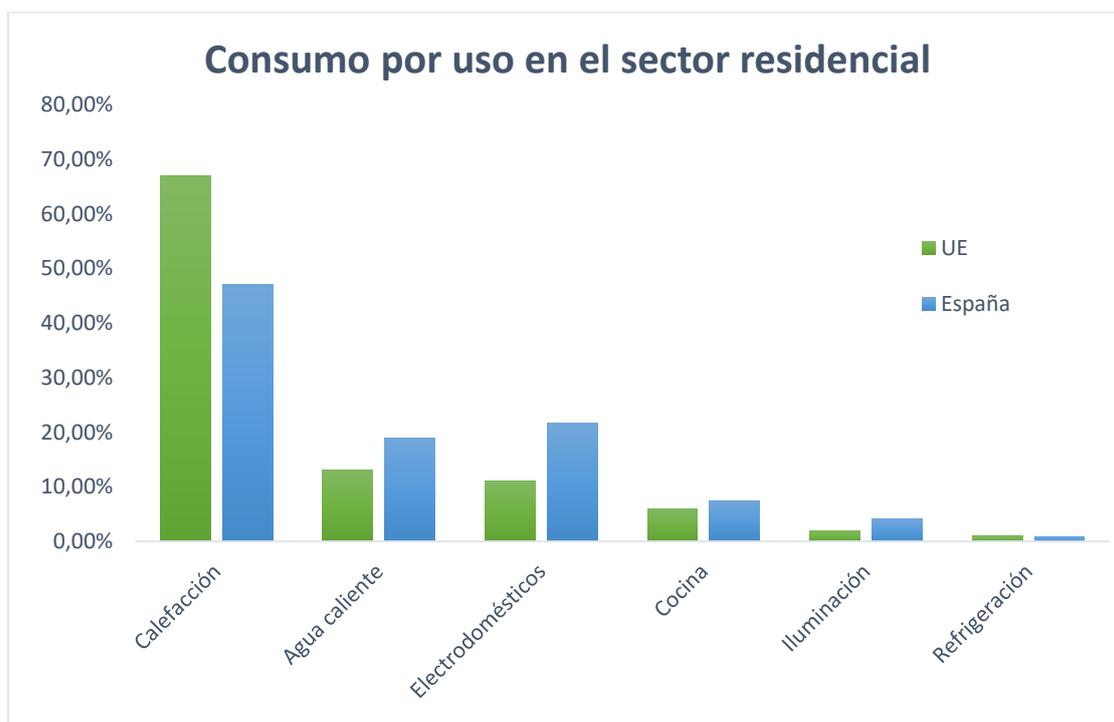


Figura 4. Usos finales de la energía en el sector residencial en UE y España.

Si se analizase el consumo eléctrico en el sector residencial el mix sería muy distinto ya que para el calentamiento tanto de agua como del espacio muchas veces se usan fuentes energéticas no eléctricas como el gas natural o la biomasa.

En la figura 5 se puede observar el mix de consumo eléctrico en el sector residencial para España:

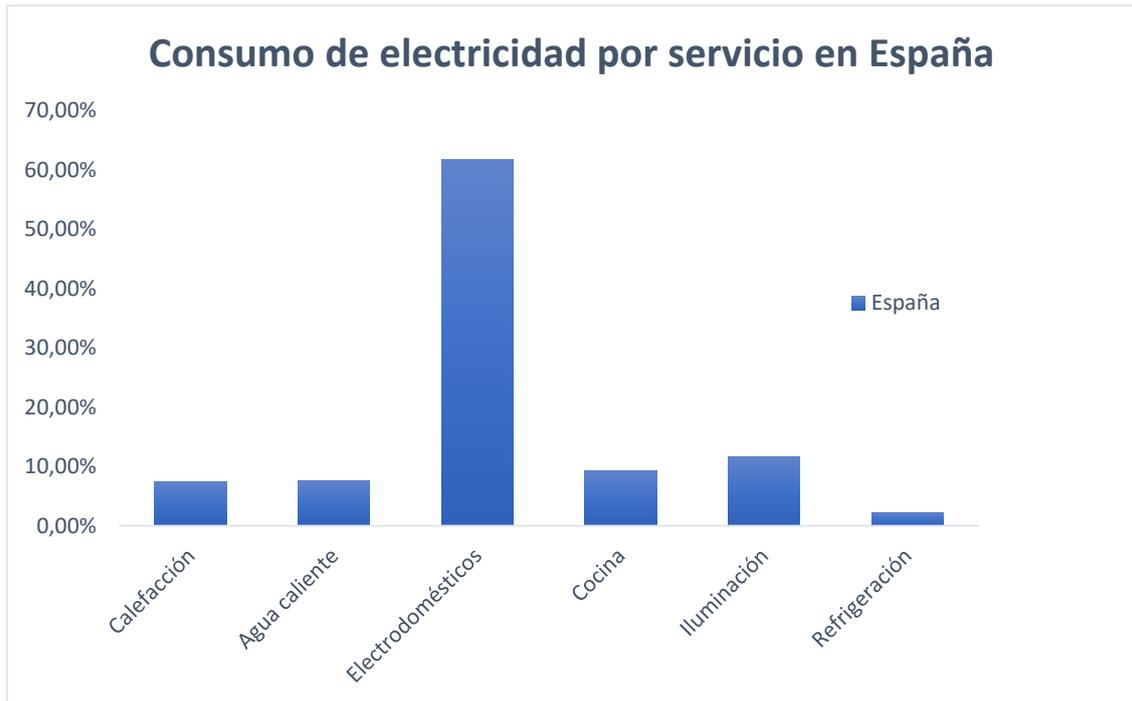


Figura 5. Mix de consumo eléctrico por servicio en el sector residencial en España.

El mayor consumo eléctrico es debido a los electrodomésticos (62%) donde los frigoríficos significan casi un 20% del consumo eléctrico total, siendo los electrodomésticos de mayor consumo en los hogares españoles.

1.2 Motivación

Como se ha visto en la introducción, la eficiencia energética tiene un gran potencial aún por desarrollar y el aprovechamiento de este potencial es vital para la consecución de los objetivos energéticos y medioambientales de la Unión Europea.

En los edificios, y concretamente en el sector residencial es donde más margen de mejora hay en materia de eficiencia energética y este sector es precisamente extremadamente ineficiente en Europa y sobre todo en España, donde tan solo hay un 5% de viviendas con calificaciones energéticas positivas.

Es por tanto estrictamente necesario que España y los países miembros de la UE comiencen a realizar proyectos de ahorro y eficiencia energética en su sector residencial, y que a través de ayudas y planes de apoyo faciliten que propietarios de viviendas particulares puedan hacer proyectos de eficiencia energética por su cuenta, ya que ambas partes saldrán beneficiadas.

Un proyecto de estas características puede ser muy importante para el sector residencial español ya que se analizará energéticamente una vivienda de Madrid y se propondrán medidas de eficiencia energética, estudiando cómo cambia la calificación energética de la vivienda y que beneficios puede traer al propietario. Por último, Se realizará un estudio económico de la viabilidad de las medidas y se examinarán los modelos de financiación o negocio que puedan facilitar la acogida de estas medidas.

Este proyecto podrá servir como una hoja de ruta para que más viviendas en España puedan adoptar proyectos de ahorro y eficiencia energética con su respectivo ahorro económico y beneficio para el medio ambiente.

1.3 Objetivos

Este proyecto pretende, a través del análisis técnico-económico de una vivienda, extraer datos y conclusiones acerca de la rentabilidad, viabilidad y beneficios que podrían traer al sector residencial español y europeo la adopción de medidas de ahorro y eficiencia energética a nivel doméstico. Los objetivos principales del proyecto son los siguientes:

- Caracterizar energéticamente la casa a estudiar.
- Analizar medidas de ahorro y eficiencia energética desde el lado del suministro.
- Analizar medidas de ahorro y eficiencia energética desde el lado de la demanda.
- Análisis energético de la vivienda y ahorros energéticos y económicos asociados a las medidas.
- Estudiar la viabilidad económica de las medidas y seleccionar las más factibles.
- Encontrar una forma de financiación y un modelo financiero para realizar el proyecto de eficiencia energética.

1.4 Metodología

La metodología que se usará para este proyecto será la siguiente:

La primera sección, la introducción, se realizará a través de un extenso análisis bibliográfico y del estado del arte de la eficiencia energética en España y en la Unión Europea. La introducción se centrará básicamente en la eficiencia energética en el sector residencial.

La metodología para realizar la segunda parte del proyecto, la caracterización de la vivienda se basará básicamente en dos métodos. Un primer método a través de la observación del equipamiento para concretar los diferentes consumos eléctricos. Y un segundo método de estudio y recopilación de documentos para poder definir la arquitectura, la demanda térmica de la vivienda y los gastos energéticos de la misma. Los documentos que se usarán serán las facturas energéticas de la casa, los planos de la vivienda y las hojas de características de la caldera y el equipo de refrigeración.

Se distinguirá entre energía térmica, aquella usada para satisfacer la demanda de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria y energía eléctrica, usada para alimentar los consumos eléctricos de la vivienda, como la iluminación o los electrodomésticos. La diferencia entre el consumo y la demanda de energía eléctrica será nula ya que se supondrá que el rendimiento de los equipos es del 100%. Sin embargo, la diferencia entre la demanda térmica y el consumo térmico vendrá dado por el rendimiento y la pérdida de carga de la caldera de la vivienda.

La tercera parte del proyecto consistirá en estudiar diferentes medidas de ahorro y eficiencia energética y observar los posibles ahorros energéticos asociados. Se distinguirá entre medidas de tipo eléctrico y de tipo térmico y entre medidas del lado de la demanda (“demand-side”) y medidas del lado del suministro (“supply-side”). Se planteará la forma de implementar cada medida y se estimará como cambia la demanda o consumo energético de la vivienda al implementar cada medida, esto se hará comparando los consumos de la segunda parte del proyecto con los nuevos consumos después de implantar la medida.

La cuarta parte del proyecto será el estudio económico financiero de cada medida y la elaboración de una forma de financiación óptima para el proyecto de eficiencia energética. En la tercera parte se estimaron los ahorros energéticos de cada medida, que

ahora, en esta parte, se transformarán en ahorros económicos al calcular como cambiaría la factura energética de la vivienda. Los ahorros económicos junto con el coste de implementación de cada medida se usarán para realizar el análisis económico de las mismas, calculando el Valor Actual Neto (VAN) y el periodo de retorno (“payback period”) de cada medida. Se seleccionarán aquellas medidas que tengan un VAN positivo para diez años como medidas económicamente viables y se estudiará la posible implementación de todas ellas como el proyecto de eficiencia energética final. Se volverá a estudiar la viabilidad económica y técnica de este proyecto conjunto conformado por varias medidas de ahorro y eficiencia energética.

A continuación, se analizará el contenido del BOE, del IDAE y de la comisión europea en busca de un marco de financiación y ayudas e incentivos para la eficiencia energética en el sector residencial. Además, se recopilarán y compararán las diferentes formas de financiación para un proyecto como el que aquí se va a elaborar.

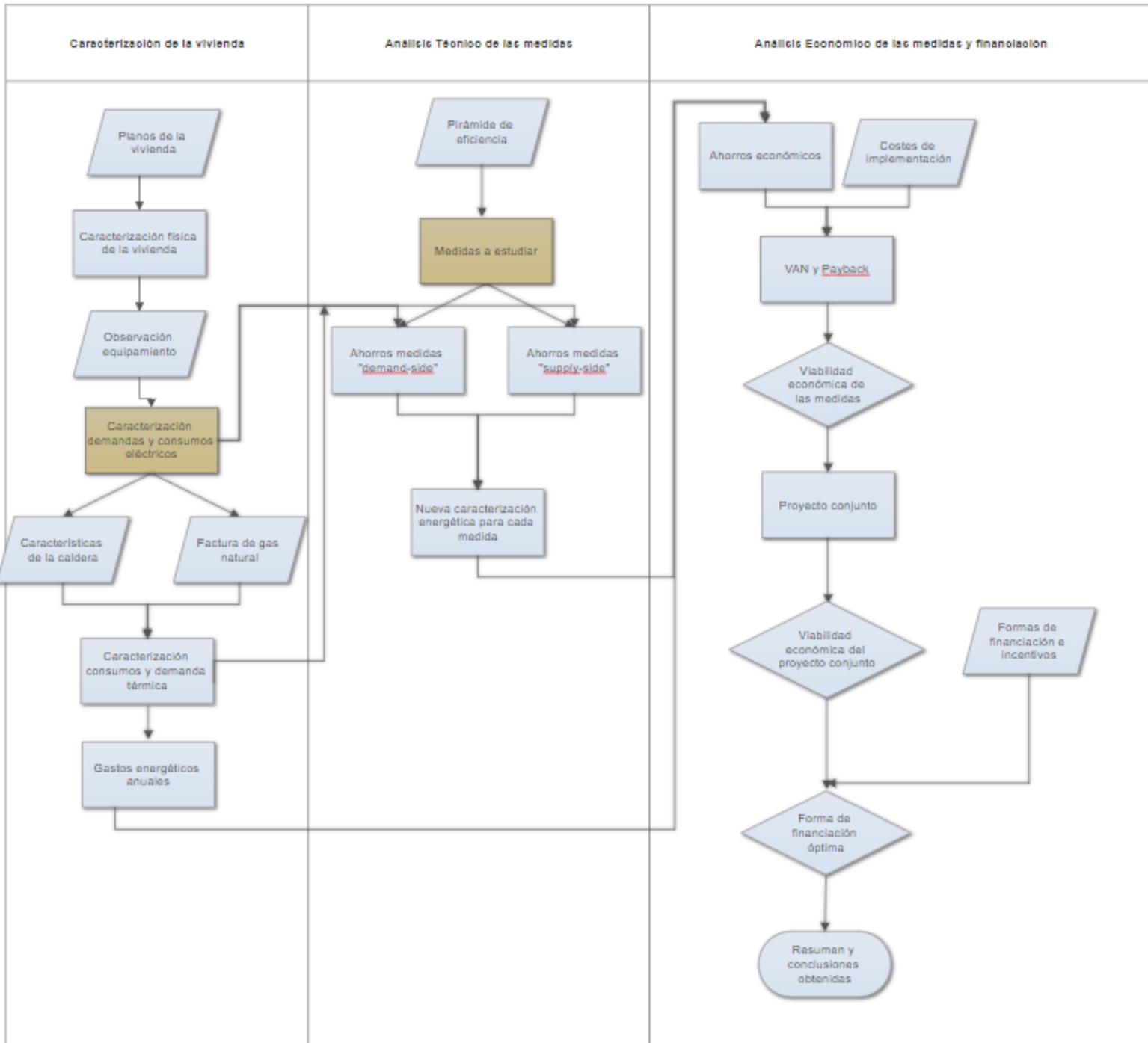
Finalmente se realizará el flujo de caja libre del proyecto y se estudiarán diferentes formas de financiación, calculando el WACC de todas ellas para encontrar la financiación óptima.

Por último, se recopilarán los datos obtenidos durante la realización del proyecto y se realizarán conclusiones al respecto en el ultimo apartado de este trabajo.

A continuación, puede observarse un cronograma del plan de trabajo:

Sección del proyecto	Estado	Duración	Impacto	Esfuerzo
1. Introducción 1	Research	4 Weeks	Medium	★★★★★
2. Caracterización de la vivienda	Research	4 Weeks	Medium	★★★★★
3. Análisis técnico de las medidas	Design	8 Weeks	High	★★★★★
4. Análisis económico y financiero	Planning	8 Weeks	High	★★★★★
5. Resumen y conclusiones	Planning	3 Weeks	High	★★★★★

Metodología del proyecto



2. Caracterización de la vivienda:

La vivienda que se va a estudiar fue construida en 1989 y está situada a las afueras de la comunidad de Madrid, concretamente en Fuente el Saz del Jarama. A continuación, se incluye una vista aérea y una imagen del edificio.



Figura 6. Imagen de la vivienda a estudiar.

El edificio es una vivienda unifamiliar adosada de tres plantas, la planta sótano tiene 64,50 m², la planta baja tiene 66,40 m², y la primera planta tiene 65,15 m². La superficie total construida es de 196,05 m² y la parcela se sitúa sobre una superficie de 214,40 m². Finalmente, la superficie habitable es de 140 m².

Las fachadas Noroeste y Sureste no tienen obstáculo alguno que impidan el aporte solar. Sin embargo, las fachadas Suroeste y Noreste colindan con las viviendas adyacentes por

lo que no se considerará ganancia solar por estas fachadas. En la vista aérea (figura 7) se puede ver la orientación de la vivienda.

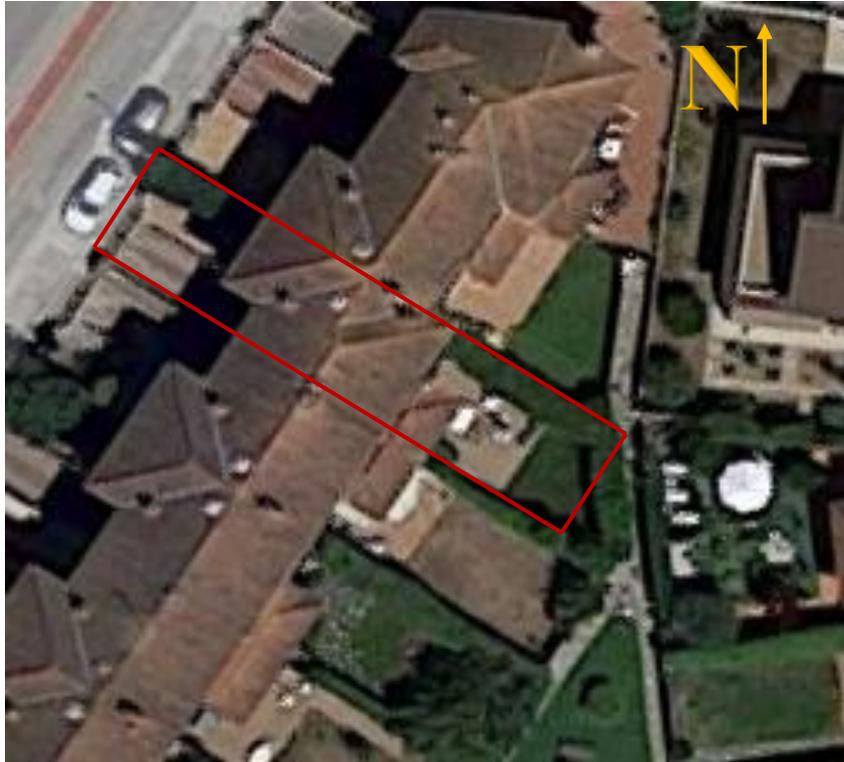


Figura 7. Vista aérea de la vivienda a estudiar.

Al estar situada en Madrid, región de clima continental, la vivienda se verá sometida a temperaturas bajas en invierno y altas en verano; con un nivel de precipitación medio.

2.1 Descripción de las características energéticas de la vivienda:

En este apartado se estudiará y describirán las características físicas y energéticas del edificio, es decir, la envolvente térmica y las instalaciones y su funcionamiento para poder calcular la demanda térmica de la vivienda, así como su calificación energética.

Según los requerimientos del CTE se establece que Madrid es una zona climática D3 (esto establece que ningún cerramiento puede tener una transmitancia térmica superior a $3,50 \text{ W/m}^2\text{K}$).

La siguiente tabla muestra los cerramientos opacos, con su superficie, material y su transmitancia.

Nombre	Tipo	Código	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² K]	Modo de obtención
Muro sureste 1	Fachada	1.2.G.B.A2.1 + aislamiento	11,74	1,40	Anexo 1
Muro sureste 2	Fachada	1.2.G.B.A2.1 + aislamiento	12,19	1,40	Anexo 1
Muro sureste 3	Fachada	1.2.G.B.A2.1 + aislamiento	4,64	1,40	Anexo 1
Muro suroeste 1	Fachada	1.2.G.B.A2.1 + aislamiento	2,89	1,40	Anexo 1
Muro suroeste 2	Fachada	1.2.G.B.A2.1 + aislamiento	6,43	1,40	Anexo 1
Muro suroeste 3	Fachada	1.2.G.B.A2.1 + aislamiento	5,11	1,40	Anexo 1
Muro noroeste 1	Fachada	1.2.G.B.A2.1 + aislamiento	15,6	1,40	Anexo 1
Muro noroeste 2	Fachada	1.2.G.B.A2.1 + aislamiento	11,64	1,40	Anexo 1
Muro con terreno	Fachada	1.2.G.B.A2.1 + terreno	1,13	2,00	Anexo 1
Cubierta con aire	Cubierta	1.1.M.A1	4,26	0,90	Anexo 2
Suelo con aire	suelo	1.2.M.C24.29+aire	3,2	0,80	Anexo 3
Partición vertical	Partición Interior	-	24,96	1,44	-
Partición superior	Partición Interior	-	60,0	0,96	-
Partición inferior	Partición Interior	-	33,0	1,20	-
Suelo con terreno	Suelo	1.2.M.C24.29+terreno	24,0	1,00	Anexo 3

Tabla 1. Características de los cerramientos.

En referente a los huecos y lucernarios, se sabe que las ventanas instaladas tienen un doble acristalamiento con una cámara de aire intermedia. El factor solar, que corresponde a la transmitividad más la absorptividad también es conocido, y oscila entre (0,46 y 0,64).

La siguiente tabla muestra las características de los huecos y lucernarios.

Nombre	Tipo	Material	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² K]	Factor solar	Modo de obtención
Hueco 1	Ventana	Vidrio aislante (doble) (4-6-4)	1,8	3,3	0,48	Anexo 4
Hueco 2	Ventana	Vidrio aislante (doble) (4-6-4)	3,36	3,3	0,52	Anexo 4
Hueco 3	Ventana	Vidrio aislante (doble) (4-6-4)	1,44	3,3	0,48	Anexo 4
Hueco 4	Ventana	Vidrio aislante (doble) (4-6-4)	2,88	3,3	0,52	Anexo 4
Hueco 5	Ventana	Vidrio aislante (doble) (4-6-4)	1,6	3,3	0,46	Anexo 4
Hueco 6	Ventana	Vidrio aislante (doble) (4-6-4)	1,3	3,3	0,64	Anexo 4
Hueco 7	Ventana	Vidrio aislante (doble) (4-6-4)	1,0	3,3	0,48	Anexo 4
Hueco 8	Ventana	Vidrio aislante (doble) (4-6-4)	1,13	3,3	0,64	Anexo 4
Hueco 9	Ventana	Vidrio aislante (doble) (4-6-4)	1,44	3,3	0,64	Anexo 4
Hueco 10	Ventana	Vidrio aislante (doble) de baja emisividad (4-8-4) 2,1	0,4	2,1	0,51	Anexo 4
Hueco 11	Puerta	-	1,9	1,58	0,06	-

Tabla 2. Características huecos y lucernarios.

En cuanto al equipo de calefacción, se sabe que esta vivienda satisface su necesidad de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) mediante una caldera estándar de gas natural con una potencia nominal de 30 kW y un rendimiento estacional del 72,6%.

Equipo	Combustible	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]
Caldera Estándar	Gas natural	30	72,6

Tabla 3. Características de la caldera.

El equipo de climatización usado en la vivienda tiene las siguientes características técnicas.

Equipo	Marca	Modelo	Potencia	EER
Aire acondicionado	Hisense	AST-12UW4SVETG10	3500	3,3

Tabla 4. Características equipo de aire acondicionado.

De esta forma queda definida la vivienda a estudiar, habiendo caracterizado sus propiedades físicas y el sistema de producción que posee para cubrir la demanda energética.

2.2 Caracterización de la demanda:

En este apartado se analizará la demanda energética de la vivienda. Se estudiará por separado la demanda térmica y la demanda eléctrica.

2.2.1 Caracterización de la demanda térmica:

La demanda energética térmica es intrínseca a la vivienda y depende mayoritariamente de las características físicas de la misma. Es la energía necesaria para satisfacer las necesidades de agua caliente sanitaria, refrigeración y calefacción y se mide en kWh/m² anuales.

La transmitancia (U) es la característica más importante de la vivienda para caracterizar la demanda térmica por calefacción y refrigeración, ya que explica la cantidad de energía que atraviesa una superficie cuando hay un gradiente de temperatura, dicho de otra forma, las pérdidas energéticas de la vivienda. Cuanto más baja es la transmitancia de una superficie, mayor es su resistencia térmica y menor será la energía que atravesará esa superficie, reduciendo así las pérdidas de calor. Es importante tener esto en cuenta ya que a la hora de buscar soluciones para reducir la demanda térmica se tratará de mejorar el aislamiento reduciendo la transmitancia de las superficies, por ejemplo, de las fachadas o ventanas.

La calificación energética del edificio es de una E, con un consumo de energía primaria térmica de 349,4 kWh/m² anuales. Repartido entre 46,36 kWh/m² al año para ACS, 289,76 kWh/m² anuales para calefacción y 13,22 kWh/m² al año para la refrigeración.

La energía que suministra la caldera de gas natural es la suma de la calefacción y el ACS, lo que hace 336,12 kWh/m² anuales. Mientras que los 13,22 kWh/m² anuales de

refrigeración son suministrados por el equipo de aire acondicionado alimentado con energía eléctrica.

La demanda de calefacción es la energía necesaria para satisfacer las necesidades de confort y se calcula como muestra la siguiente ecuación, Sabiendo que la caldera tiene un rendimiento del 72,6% (Tabla 3) se cumple que la demanda es el consumo multiplicado por el rendimiento.

$$E_{DemCal} = \eta \times E_{con} \quad [1]$$

$$E_{DemCal} = 0,726 \times 289,76 = 210,36 \frac{kWh}{m^2} \text{ anuales}$$

En cuanto a la demanda de energía térmica de refrigeración, se sabe que es 13,22 kWh/m² que se transformará en una demanda de energía eléctrica en el siguiente apartado a través del EER del equipo de aire acondicionado.

Por último, se conoce la demanda diaria de Agua Caliente Sanitaria a 60°, que es de 112 litros al día, lo que es un consumo de energía por parte de la caldera de 46,36 kWh/m² anuales, esto se transforma en una demanda anual de energía por parte de la caldera de:

$$E_{DemACS} = \eta \times E_{con} \quad [2]$$

$$E_{DemACS} = 0,726 \times 46,36 = 33,657 \frac{kWh}{m^2} \text{ anuales}$$

La demanda térmica final queda caracterizada de la siguiente forma:

	Demanda anual por m ² [kWh/m ²]	Porcentaje demanda térmica total
Calefacción	210,36	81,77%
ACS	33,65	13,08%
Refrigeración	13,22	5,15%
Total	257,23	100%

Tabla 4. Demanda térmica anual

Distribución de la demanda térmica total

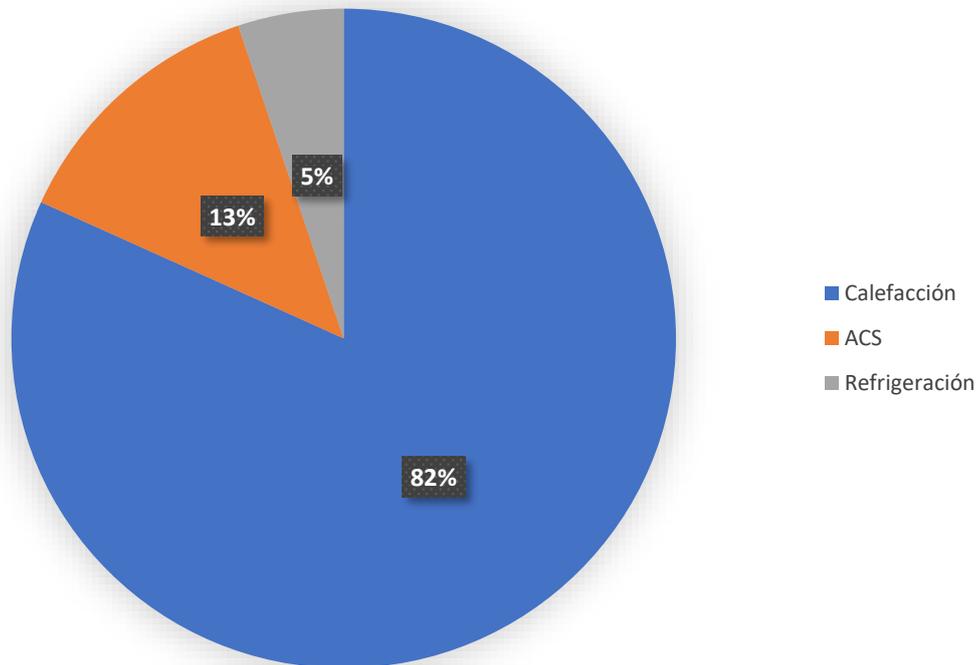


Figura 8. Distribución de la demanda térmica total

2.2.2 Caracterización de la demanda eléctrica:

La demanda energética eléctrica se refiere a la energía consumida por los equipos y aparatos eléctricos de la vivienda.

Para estimar la demanda; primero se caracterizará el consumo eléctrico del equipamiento y después se aplicará un factor de rendimiento (que en los aparatos eléctricos prácticamente es del 100%) y así se obtendrá un valor real de la demanda eléctrica de la vivienda.

A continuación, se mostrará en distintas tablas el equipamiento de la vivienda, con su tiempo de utilización estimado, su potencia y su consumo de energía eléctrica.

La forma de obtener el consumo de cada aparato es muy sencilla una vez conocida la potencia y el tiempo de utilización se usa la fórmula siguiente:

$$Energía_{cons} = Potencia \times Tiempo_{utiliz} \quad [3]$$

En la siguiente tabla se muestran los electrodomésticos y equipamiento de cocina de la vivienda:

Nombre	Potencia [kW]	Tiempo de utilización al día [h]	Tiempo de utilización al mes [h]	Tiempo de utilización al año [h]	Demanda mensual [kWh]	Demanda anual [kWh]
Aspiradora	0,7	0,42	12,6	153,3	8,82	107,31
Vitrocerámica	1,2	0,5	15	182,5	18	219
Televisión	0,15	4	120	1460	18	219
Microondas	1,2	0,18	5,4	65,7	6,48	78,84
Ordenador	0,01	8	240	2920	2,4	29,2
Plancha	1	0,42	12,6	153,3	12,6	153,3
Horno	0,8	0,25	7,5	91,25	6	73
Lavadora	1,1	0,42	12,6	153,3	13,86	168,63
Secadora	3,1	0,2	6	73	18,6	226,3
Friegaplatos	1	0,5	15	182,5	15	182,5
Congelador*	0,11	24	720	8760	33,35	400
Frigorífico*	0,19	24	720	8760	41,25	495,4
Total	10,56	-	-	-	194,4	2332,8

Tabla 5. Demanda eléctrica de los electrodomésticos de la vivienda.

** Nótese que el frigorífico y el congelador a pesar de estar funcionando 24 horas al día su consumo es menor que el que se obtendría aplicando la fórmula 3, ya que en casi todo momento se encuentran en estado de stand-by, donde su consumo se reduce enormemente.*

El consumo de energía eléctrica de los electrodomésticos de la vivienda es de 194,4 kWh al mes, que se corresponde con la demanda ya que las pérdidas de energía son despreciables, a esta cifra habrá que añadir el consumo de la iluminación y del aire acondicionado.

La iluminación de la vivienda está formada por un sistema de 30 bombillas, en la siguiente tabla se muestran sus características y consumo:

Tipo de bombilla	Número de bombillas	Potencia [W]	Tiempo de utilización al día [h]	Tiempo de utilización al mes [h]	Tiempo de utilización al año [h]	Consumo mensual [kWh]	Consumo anual [kWh]
LFC	16	9	6	180	2190	25,92	311,04
Incandescentes	4	40	6	180	2190	28,80	345,60
Halógenas	10	30	6	180	2190	54	648
LED	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	30	604	-	-	-	108,72	1304,64

Tabla 6. Características y consumos de la iluminación de la casa.

Se ha supuesto que el tiempo de utilización de las bombillas es de aproximadamente 6 horas al día, de 7 a 9 de la mañana y de 7 a 11 de la noche, y como puede verse en la tabla, hay seis bombillas de bajo consumo, veinticuatro incandescentes o convencionales y no hay ninguna bombilla LED o halógena instalada en la casa, lo que quizá sea una opción interesante para reducir el consumo en un futuro.

El consumo mensual en iluminación en la vivienda es de 108,72 kWh, y el anual de 1304,64 kWh, que como ya sucedía con los electrodomésticos, se considera que es idéntica que la demanda.

Finalmente se analizará el consumo eléctrico del equipo de aire acondicionado usado para satisfacer una demanda de refrigeración en los meses más calurosos del año. Se sabe que la demanda térmica del aire acondicionado es de 13.22 kWh/m² anuales. Multiplicando esta cantidad por los metros cuadrados habitables de la casa se obtiene la energía térmica que genera el aire acondicionado, y conociendo su modelo y su EER se podrá calcular la energía eléctrica que consume.

La siguiente tabla muestra las características del equipo:

Equipo	Marca	Modelo	Potencia	EER	Demanda térmica anual [kWh]	Consumo eléctrico anual [kWh]
Aire acondicionado	Hisense	AST-12UW4SVETG10	3500	3,3	1850,8	560,84

Tabla 7. Características y consumo del equipo de aire acondicionado.

La demanda térmica del equipo se convierte en su consumo eléctrico dividiéndola por el EER del aparato, que al ser mayor que la unidad garantiza que el consumo eléctrico sea menor que la energía térmica generada.

$$E_{conElect} = \frac{E_{demTer}}{EER} \quad [4]$$

$$E_{conElec} = \frac{13.22}{3.3} = 4.006 \frac{kWh}{m^2} \text{ anuales}$$

El consumo eléctrico anual del aire acondicionado es de 4 kWh/m² anuales, lo que multiplicado por la superficie habitable (140m²) hace un consumo de 560,84 kWh al año. Este consumo se corresponde con la demanda eléctrica del aire acondicionado, ya que su rendimiento eléctrico es prácticamente del 100%.

La demanda de refrigeración ocurre solamente 3 meses al año, lo que hace que en esos meses haya un pico de consumo de alrededor de 190kWh, lo que es casi lo mismo que consumen mensualmente los electrodomésticos, por lo que, en verano, la demanda de energía eléctrica prácticamente se dobla.

A continuación, la demanda mensual de energía eléctrica se considerará uniforme mes tras mes, por lo que se distribuirá la demanda de refrigeración uniformemente en todos los meses. La demanda eléctrica de la vivienda queda caracterizada de la siguiente forma:

Equipamiento	Potencia [kW]	Demanda mensual [kWh]	Demanda anual [kWh]	Demanda mensual por m ² [kWh/m ²]	Demanda anual por m ² [kWh/m ²]	Porcentaje de la demanda eléctrica total
Electrodomésticos	10,56	194,4	2332,8	1,38	16,66	55,65%
Iluminación	0,604	108,72	1304,64	0,77	9,24	31,04%
Aire acondicionado	3,5	46,73	560,84	0,33	4,00	13,31%
Total	14,66	349,85	4198,28	2,48	29,9	100%

Tabla 8. Demanda de energía eléctrica de la vivienda.

En la figura 9. se puede observar la distribución de la demanda eléctrica de la vivienda:

Mix de demanda eléctrica por servicio

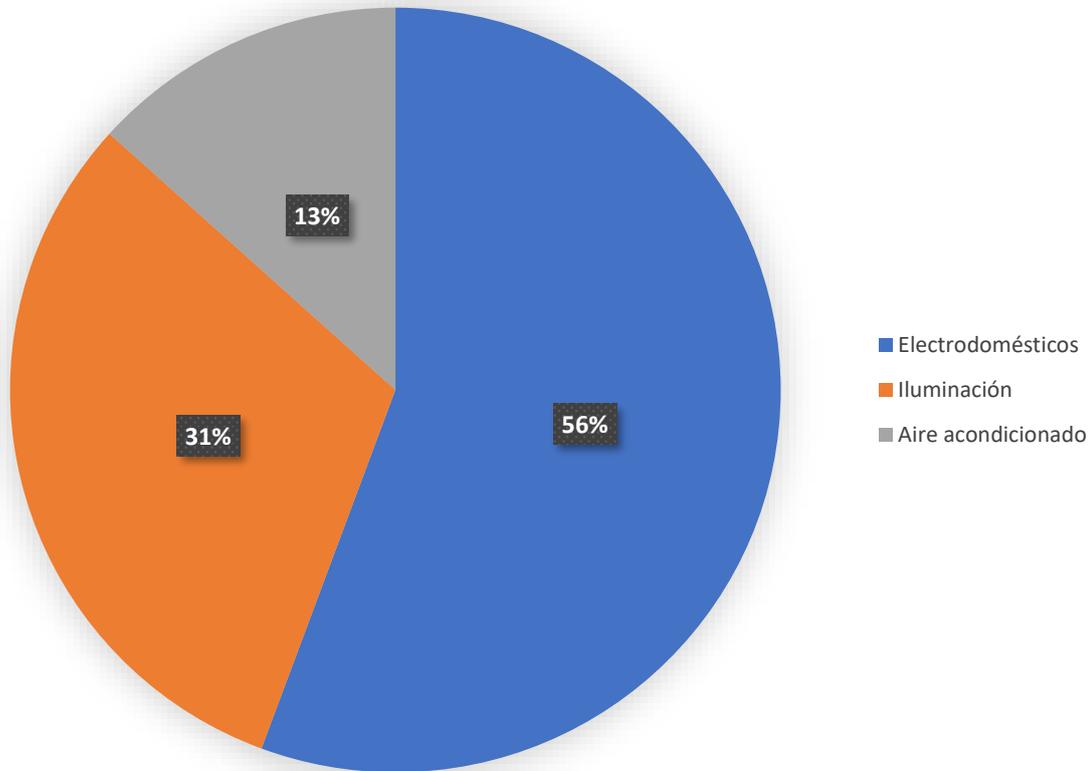


Figura 9. Distribución de la demanda eléctrica.

Los electrodomésticos suponen un 56% de la energía eléctrica que la casa demanda, seguidos de la Iluminación con un 31% y el aire acondicionado con un 13%. Estos datos muestran que, si se desearan aplicar medidas de ahorro o de eficiencia energética sería interesante aplicarlas sobre los electrodomésticos y la iluminación, ya que suponen un consumo energético muy considerable. En el siguiente gráfico se puede observar como es el reparto de demanda por cada electrodoméstico, los resultados son los esperados ya que la nevera y el congelador son el 45% de la demanda total de los electrodomésticos. El ordenador tiene una demanda insignificante del 2% y el resto del equipamiento tiene una demanda muy similar que oscila entre el 5% y el 11%.

Mix de la demanda eléctrica de los electrodomésticos

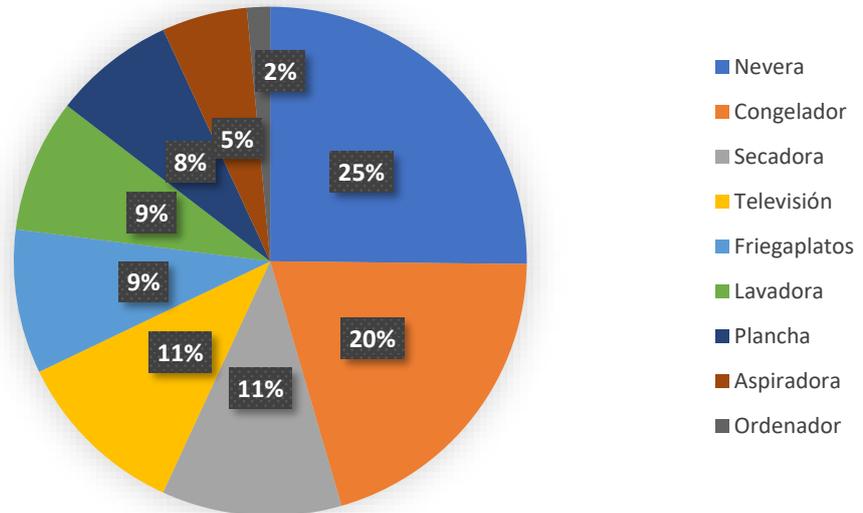


Figura 10. Distribución de la demanda eléctrica de electrodomésticos.

2.2.3 Caracterización de la demanda energética total:

La demanda energética total de la vivienda será la suma de la demanda de energía térmica y de la demanda de energía eléctrica.

En la siguiente tabla se puede observar todas las demandas de la casa, así como la demanda total.

Equipamiento	Demanda mensual [kWh]	Demanda anual [kWh]	Demanda mensual por m ² [kWh/m ²]	Demanda anual por m ² [kWh/m ²]	Porcentaje de la demanda total
Calefacción	2454,2	29450,4	17,53	210,36	73,26%
ACS	392	4711	2,80	33,65	11,71%
Refrigeración	154,23	1850,8	1,10	13,22	4,60%
Electrodomésticos	194,4	2332,8	1,38	16,66	5,80%
Iluminación	108,72	1304,64	0,77	9,24	3,21%
Aire acondicionado	46,73	560,84	0,33	4,00	1,39%
Total	3350,28	40210,48	23,91	287,13	100%

Tabla 9. Demanda energética de la vivienda.

Nótese que la demanda térmica de refrigeración es la demanda eléctrica de aire acondicionado multiplicada por el EER del equipo (3,3).

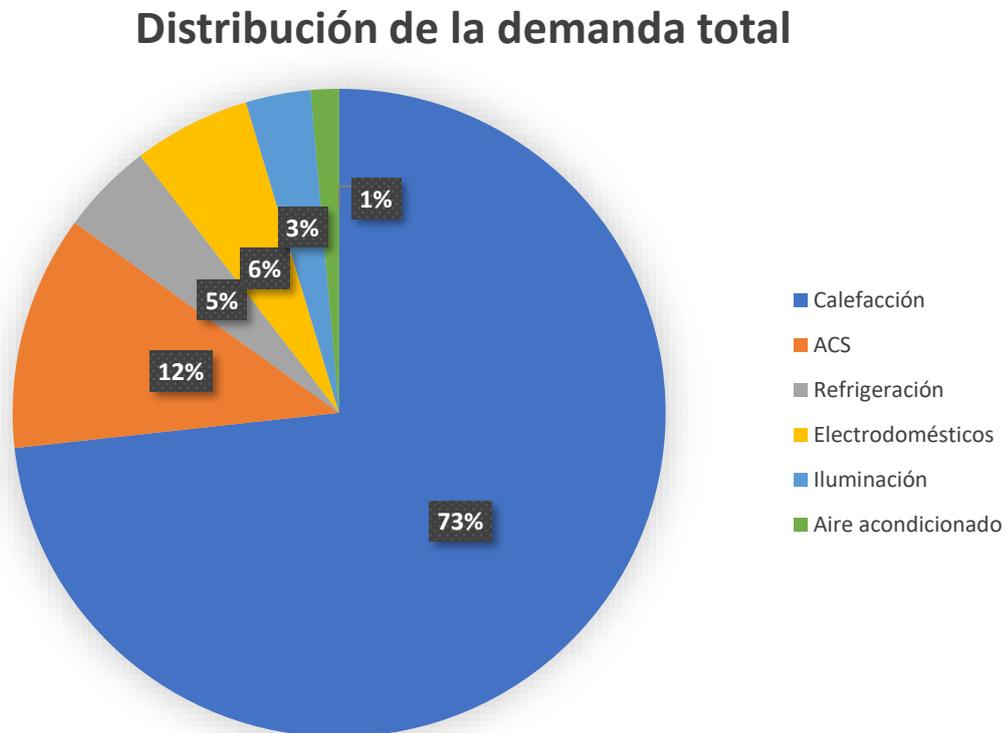


Figura 11. Distribución de la demanda energética total.

Con estos resultados queda definida la demanda energética total de la vivienda. Los resultados obtenidos son los esperados, donde, como es habitual, la demanda térmica es muy superior a la demanda eléctrica.

Será interesante analizar como posibles medidas de ahorro y eficiencia energética reducen la demanda térmica y eléctrica de la vivienda.

2.3 Caracterización de los consumos del edificio:

En cuanto a los consumos del edificio habrá que distinguir entre el consumo de energía térmica, y el consumo de energía eléctrica. El consumo eléctrico coincidirá con la demanda ya que las pérdidas en la casa y en los aparatos eléctricos serán despreciables. Por otro lado, el consumo térmico será distinto de la demanda ya que habrá que tener en cuenta las pérdidas de carga y por rendimiento de la caldera.

El consumo para satisfacer la demanda térmica de refrigeración es un consumo de energía eléctrica por parte del aire acondicionado.

La caracterización del consumo de gas natural por parte de la caldera es el siguiente:

Equipo	Demanda anual por m ² [kWh/m ²]	Consumo anual por m ² [kWh/m ²]	Consumo anual [kWh]	Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² año]	Porcentaje consumo térmico total
Calefacción	210.36	289.73	40562,2	61.36	81.77%
ACS	33.65	46.36	6490,4	9.82	13.08%

Tabla 10. Consumo de gas natural de la vivienda.

Las emisiones se han calculado aplicado el factor de conversión de 0.211[KgCO₂/kWh] para el gas natural. (Fondo Europeo de desarrollo regional).

El consumo es la demanda dividida por el rendimiento estacional de la caldera, por lo que se podría reducir mucho el consumo energético con una caldera con un mejor rendimiento, por ejemplo, una caldera de biomasa.

El consumo eléctrico es:

Equipamiento	Potencia [kW]	Demanda anual [kWh]	Demanda mensual por m ² [kWh/m ²]	Demanda anual por m ² [kWh/m ²]	Porcentaje del consumo eléctrico total
Electrodomésticos	10,56	2332,8	1,38	16,66	55,65%
Iluminación	0,604	1304,64	0,77	9,24	31,04%
Aire acondicionado	3,5	560,84	0,33	4,00	13,31%

Tabla 11. Consumo eléctrico de la vivienda.

El consumo energético total de la casa será:

Equipamiento	Consumo mensual [kWh]	Consumo anual [kWh]	Consumo mensual por m ² [kWh/m ²]	Consumo anual por m ² [kWh/m ²]	Porcentaje del consumo total
Calefacción	3380,18	40562,2	24,14	289,73	79,16%
ACS	540,86	6490,4	3,86	46,36	12,66%
Electrodomésticos	194,4	2332,8	1,38	16,66	4,55%
Iluminación	108,72	1304,64	0,77	9,24	2,52%
Aire acondicionado	46,73	560,84	0,33	4,00	1,09%
Total	4270,89	51250,88	30,48	365,99	100%

Tabla 12. Consumo energético total de la vivienda.

A continuación, se comparará el consumo energético de la vivienda con el consumo energético de la UE y de España en el sector residencial.

Consumo por uso en el sector residencial

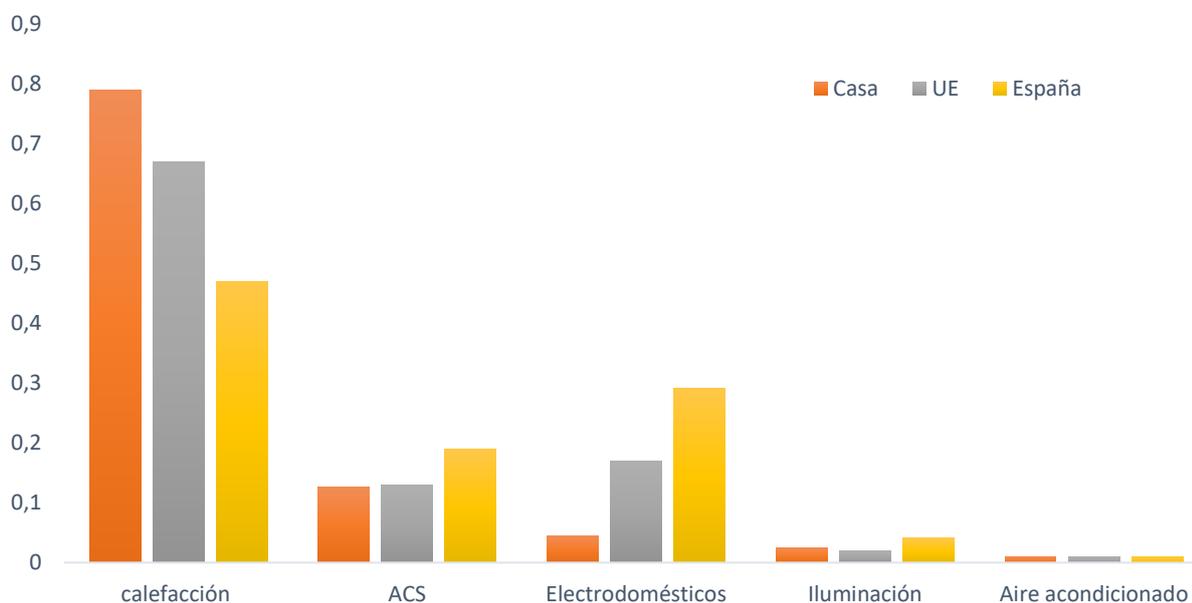


Figura 12. Comparativa del consumo en el sector residencial

En la figura 12. puede verse que el consumo por calefacción de la casa de estudio es muy superior a la media española e incluso a la media europea. Mientras que el consumo por electrodomésticos es inferior a ambas medias. Esto se explica porque la vivienda es grande, su aislamiento es malo y tal y como está orientada respecto a las viviendas colindantes la ganancia solar es muy pequeña, esto provoca que durante los meses fríos del clima continental madrileño el consumo de calefacción sea desmesurado. Un consumo de calefacción tan grande provoca que los porcentajes de los demás consumos se reduzcan considerablemente, aun así, el consumo de los electrodomésticos y de la iluminación son bajos porque esta vivienda está vacía prácticamente todo el día a excepción de las primeras horas de la mañana y las últimas horas de la tarde.

En las siguientes imágenes obtenidas a través de un software arquitectónico (vitaloft), se puede observar la trayectoria y los rayos del sol en invierno y en verano respecto a la vivienda de estudio.

Las fachadas no colindantes de la casa son las únicas que podrían recibir los rayos del sol, sin embargo, están orientadas hacia el noroeste y sureste, lo que hace que en invierno no reciban luz directa del sol y en verano lo hagan solo durante las primeras y últimas horas del día. Este es uno de los principales motivos del elevado gasto de calefacción de la casa, ya que, con una orientación diferente, o sin viviendas colindantes, la demanda térmica de la casa se reduciría considerablemente.

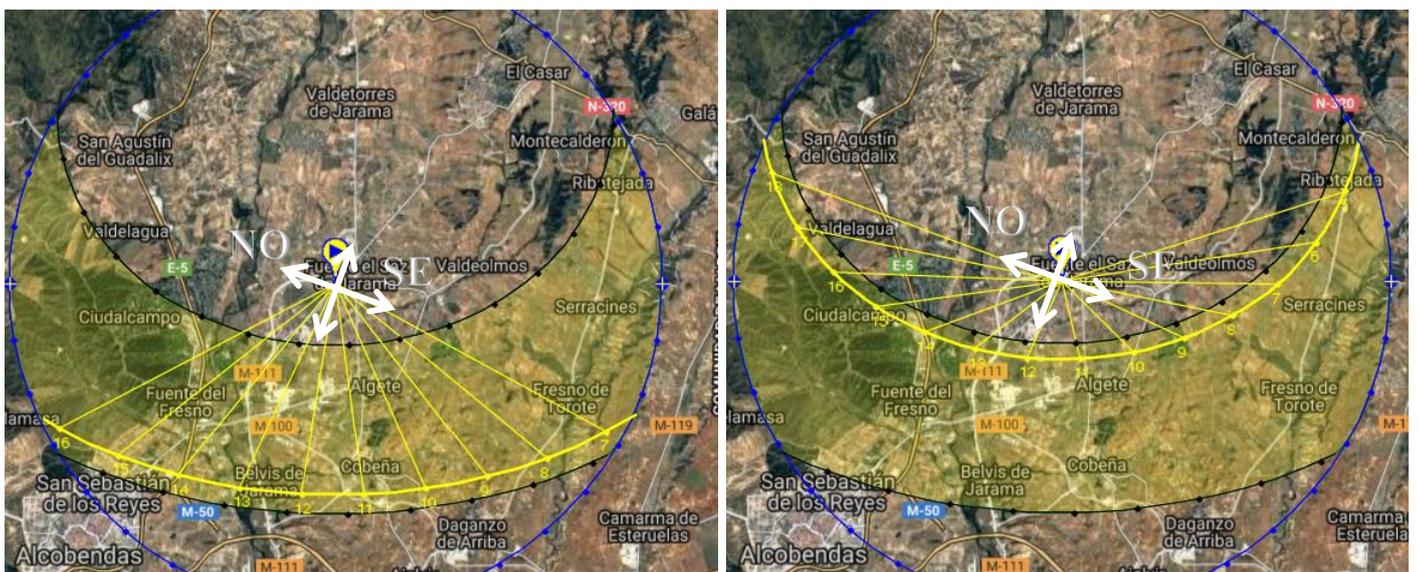


Figura 13. Distribución de los rayos del sol. (Izda. Invierno), (Dcha. Verano)

2.4 Caracterización del gasto de energía:

En esta sección se estudiará el coste económico asociado a los consumos energéticos para satisfacer la demanda de la vivienda:

2.4.1 Factura de gas:

La factura de gas es lo que hay que pagar para satisfacer la demanda de ACS y de calefacción de la vivienda, es decir, el consumo de la caldera.

Una factura de gas se divide en los siguientes conceptos:

- Consumo: consumo de gas realizado por la vivienda durante el lapso de facturación. Medido en kWh.
 - El factor aplicado por la compañía contratada es de: 0,04746 €/kWh
- Término fijo o disponibilidad: representa el coste por el derecho del usuario de disponer de una cantidad determinada de gas. Varía con la tarifa contratada.
 - El factor aplicado por la compañía es de: 0,27747 €/día
- Alquiler de equipos: coste a pagar por usar el equipo de la compañía.
 - La compañía carga un coste de: 0,04109 €/día
- Impuesto sobre hidrocarburos: impuesto a pagar por el consumo del gas natural. Es una medida que entró en vigor el uno de enero de 2013 buscando actuar de manera más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.
 - El impuesto es de 0,65 €/Gj o lo que es lo mismo, de 0,00234 €/kWh.
- IVA: a todo el coste final se le añade el impuesto sobre el valor añadido que actualmente es del 21%.

El consumo energético de gas natural de la vivienda es de 47052,6 kWh anuales, lo que acarrea un coste al año de:

$$\text{Consumo:} \quad 47052,6 \text{ kWh} \times 0,04746 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 2233,11 \text{ €}$$

$$\text{Disponibilidad:} \quad 0,277479 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 101,27 \text{ €}$$

$$\text{Alquiler equipo:} \quad 0,04109 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 14,99 \text{ €}$$

$$\text{Impuesto HC:} \quad 47052,6 \text{ kWh} \times 0,00234 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 110,10 \text{ €}$$

Base Imponible:	<u>2459,47 €</u>
IVA (21%)	<u>$0,21 \times 2459,47 \text{ €} = 516,48 \text{ €}$</u>
Total a pagar:	2975,95 €

El coste total que hay que pagar para satisfacer la demanda térmica de gas natural de la vivienda es de 2975,95 € al año, una cifra bastante alta debido al excesivo consumo de la casa. El término fijo y el alquiler del equipo van a permanecer constantes cada año, sin embargo, una reducción del consumo puede reducir el coste de la factura considerablemente ya que de la base imponible el 95% del total es debido al consumo.

2.4.2 Factura de electricidad:

La factura de electricidad es el precio a pagar para satisfacer la demanda eléctrica de la vivienda, es decir, el consumo de los electrodomésticos y el aire acondicionado.

La factura eléctrica es similar a la del gas, y tiene los siguientes términos:

- Consumo: consumo de potencia eléctrica realizado por la vivienda durante el periodo de facturación. Medido en kWh.
 - El factor aplicado por la compañía contratada es variable, ya que cambia con el precio de la energía, un valor lógico para este factor es de 0,1350 €/kWh. Este factor incluye ya el peaje de acceso de 2,0A.
- Potencia contratada: representa un coste al usuario por disponer de una potencia determinada de electricidad. Varía con la potencia contratada.
 - La casa dispone de una potencia contratada de 5,5 kW, el factor usado por la compañía es de 0,1151 €/kW al día.
- Alquiler de equipos: coste a pagar por usar los equipos de medida de la compañía.
 - La compañía carga un coste de: 0,02663 €/día
- Impuesto sobre electricidad:
 - El impuesto es del 5,1126% sobre el precio de la factura antes de añadir el IVA.
- IVA: a todo el coste final se le añade el impuesto sobre el valor añadido que actualmente es del 21%.

El consumo de energía eléctrica por la vivienda es de 4198,28 kWh anuales, lo que supone un coste al año de:

$$\text{Consumo:} \quad 4198,28 \text{ kWh} \times 0,1350 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 566,76 \text{ €}$$

$$\text{Potencia:} \quad 5,5 \text{ kW} \times 0,1151 \frac{\text{€}}{\text{kWh Día}} \times 365 \text{ días} = 231,06 \text{ €}$$

$$\text{Alquiler equipo:} \quad 0,02663 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 9,72 \text{ €}$$

$$\text{Impuesto electricidad:} \quad 0,051126 \times 807,54 \text{ €} = 41,28 \text{ €}$$

$$\text{Base Imponible:} \quad \underline{\hspace{10em} 848,82 \text{ €}}$$

$$\text{IVA (21\%)} \quad \underline{\hspace{10em} 0,21 \times 848,82 \text{ €} = 178,25 \text{ €}}$$

$$\text{Total a pagar:} \quad 1027,07 \text{ €}$$

El coste anual por satisfacer la demanda eléctrica de la vivienda es de 1027,07 €, en este caso el término del consumo corresponde al 55,1% del total, el término fijo del alquiler del equipo y de la potencia es el 23,44% de la factura, finalmente el 21,46% restante son impuestos.

El coste económico para satisfacer la demanda energética de la vivienda es la suma de ambas facturas, lo que hace un importe de 4003,02 € al año. Será muy interesante analizar más adelante en el proyecto como posibles medidas de eficiencia energética reducen este valor.

3. Análisis técnico de medidas de ahorro y eficiencia energética (MAEs):

En esta sección del proyecto se analizarán diferentes medidas de ahorro y eficiencia energética (MAEs) en el sector residencial. Estas medidas se clasificarán en medidas del lado de la demanda y en medidas del lado del suministro.

Se estudiarán los ahorros energéticos asociados a estas medidas en el supuesto de instalarlas en la vivienda ya caracterizada.

Finalmente, se analizará la factibilidad de las alternativas propuestas y se seleccionarán las más apropiadas para este caso concreto. En el siguiente punto del proyecto se estudiará la viabilidad económica de las medidas aquí estudiadas.

3.1 Introducción:

Como ya se explicó en este proyecto la eficiencia energética consiste en optimizar el uso de la energía para así producir más o mejores servicios con menos energía. Por otro lado, el ahorro o conservación de la energía radica en consumir menos energía mediante cambios en el estilo de vida o conducta de las personas.

Las medidas que se analizarán en este proyecto buscarán reducir el consumo de energía mientras que a la vez mejoran la eficiencia energética. Por ejemplo, mejoras en la envolvente térmica de la casa reducirán el consumo de energía térmica para calefactar la casa, pero a la vez aumentarán la eficiencia energética de la vivienda al necesitar menos energía para alcanzar la temperatura de confort deseada. Como puede verse el ahorro y la eficiencia energética están ligados y por eso hablaremos de medidas de ahorro y eficiencia energética (MAEs).

Las medidas de ahorro y eficiencia energética pueden clasificarse en dos grupos dependiendo de si buscan reducir la demanda (“demand-side”) o el suministro (“supply-side”).

La gestión de la energía “demand-side” es esencial para desarrollar el potencial de eficiencia energética latente en el sector residencial. Una correcta gestión de la demanda de las viviendas permitirá ahorrar energía, dinero, reducir la contaminación atmosférica y disminuir la huella de carbono de las viviendas.

La gestión de la demanda (medidas “demand side”) consiste básicamente en reducir la demanda de energía de diferentes formas, ya sea a través de mejoras del equipamiento (electrodomésticos, iluminación, etc.) mejoras de la envolvente térmica (mejor aislamiento de paredes, huecos y techos...) o en una gestión energética más eficiente a través del monitoreo, automatización y control de los consumos.

En la gestión de la energía desde el lado de la demanda se encuentra la “demand response” o respuesta de la demanda que consiste en cambiar el patrón de consumo habitual de electricidad para contribuir al equilibrio entre la oferta y la demanda a cambio de un incentivo económico como puede ser una reducción del precio de la electricidad.

La respuesta de la demanda puede aparecer de dos formas; implícita y explícita. La gestión implícita ocurre cuando los consumidores ajustan voluntariamente su patrón de consumo para consumir menos electricidad en las horas más caras del día, y así obtener como incentivo una electricidad media más barata. Para llevar a cabo esta acción es necesario contar con la facturación por horas. Por otro lado, la gestión explícita consiste en que los consumidores reciben incentivos a cambio de comprometerse a ajustar sus consumos ante los requerimientos del operador del sistema. Este tipo de respuesta de la demanda se da más en grandes consumidores del sector industrial.

En definitiva, la respuesta de la demanda es un tipo de gestión de la energía desde el lado de la demanda muy interesante y necesario para ajustar la oferta y la demanda, sin embargo, ahora mismo, la respuesta de la demanda en el sector residencial es mínima y necesita del desarrollo de redes inteligentes (Smart grids), de las que la casa a estudiar carece, por lo que no se analizarán los posibles ahorros económicos que una respuesta de la demanda implícita podría traer a la vivienda de estudio. Además, la respuesta de la demanda básicamente obtiene un ahorro económico y no energético, por lo que no aumenta la eficiencia energética de la vivienda.

Este proyecto se centrará más en analizar posibles soluciones técnicas de reducción de la demanda que puedan aumentar la eficiencia energética del inmueble propuesto.

Por otro lado, la gestión de la energía desde el lado del suministro (“supply-side”) consiste en utilizar las fuentes de energía de la forma más eficiente y rentable posible. La gestión de la energía de este tipo requiere de una visión a largo plazo ya que una posible solución puede ser buscar otros contratos de suministro energético que se adapten más a las

necesidades de cada particular y sean más baratos, o incluso cambiar un equipo de gasoil por uno de gas natural u otro combustible más económico y sostenible. Siguiendo el ejemplo de una hipotética caldera de gasoil, una medida de “supply-side” sería aumentar el rendimiento de esta caldera, o cambiar la caldera de gasoil por un equipo de otro combustible más eficiente y barato en el largo plazo.

Entre las medidas a destacar desde el lado del suministro podemos encontrar la de las comunidades o cooperativas energéticas, donde varias viviendas se juntan a la hora de comprar energía y obtener así precios más bajos, la micro-generación renovable, ya sea eólica, solar o de biomasa, y la instalación de sistemas de almacenamiento energético.

La siguiente figura muestra la pirámide de eficiencia energética, esta pirámide puede verse como una guía de que medidas adoptar y en qué orden, ya que las medidas más sencillas y rentables se sitúan en la base y las medidas que requieren un mayor coste de inversión y son más complejas se sitúan en la cúspide.

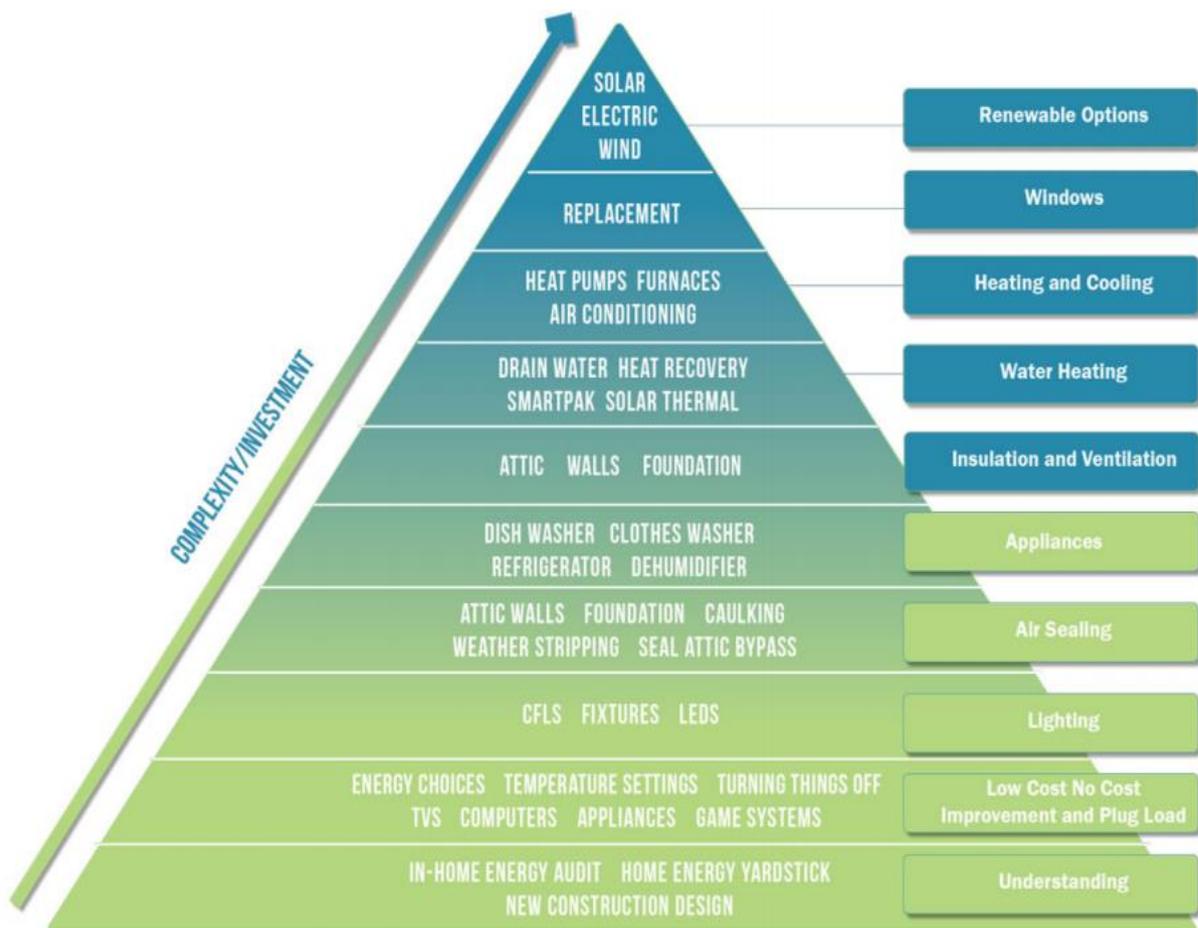


Figura 14. Pirámide de eficiencia energética

Fuente: Holland Energy Fund, “Holland home energy retrofit program”

La estrategia más recomendable a la hora de adoptar medidas de eficiencia energética en una vivienda es empezar por debajo de la pirámide, ya que estas medidas son muy baratas o incluso gratis y, por lo tanto, proporcionarán un ahorro energético muy rentable. Para después ir subiendo en la pirámide e ir realizando medidas más costosas y complejas, pero con un mayor ahorro e incremento de la eficiencia energética.

Los dos primeros niveles de la pirámide (empezando por la base) hacen referencia a conductas sociales y comportamientos humanos, como, por ejemplo; entender tu consumo energético y reducirlo a través de cambiar los ajustes de temperatura de tu vivienda o apagar las luces cuando te vas, etc. Estos dos niveles no se analizarán en profundidad en este proyecto ya que no consisten en medidas técnicas y su enfoque se basa más en los hábitos de vida de las personas, aunque es importante destacar que se podría ahorrar una gran cantidad de energía con comportamientos y conductas energéticamente eficientes.

Se utilizará la pirámide de la figura 14 como una guía de qué medidas estudiar, sin embargo, el orden de estudio será diferente al que marca la pirámide. Se analizarán primero medidas de “demand-side” de tipo eléctrico, a continuación, medidas de “demand-side” de tipo térmico, y, por último, medidas de “supply-side”, de tipo eléctrico y finalmente de tipo térmico.

3.2 Medidas “demand-side” y ahorros energéticos asociados:

En esta sección se propondrán y explicarán diferentes MAEs del lado de la demanda, que como ya se ha explicado en el epígrafe anterior buscan reducir la demanda energética total de la casa, y se calcularán los ahorros energéticos asociado a estas medidas.

3.2.1 Medidas “demand-side” de tipo eléctrico:

A continuación, se estudiarán las MAEs de “demand-side” de naturaleza eléctrica. Estas serán posibles mejoras en la iluminación y en los electrodomésticos de la vivienda.

3.2.1.1 MAEs de iluminación y ahorros energéticos asociados:

Las medidas de ahorro y eficiencia energética de iluminación consisten en sustituir las bombillas de la vivienda por bombillas de menor consumo. Actualmente la casa cuenta con 30 bombillas; 4 incandescentes, 16 fluorescentes compactas y 10 halógenas (Tabla 6).

En el mercado existe una gran variedad bombillas, pero básicamente se pueden agrupar en cuatro grupos principales: bombillas incandescentes, halógenas, fluorescentes o LED.

La siguiente tabla muestra las características medias de los distintos tipos de bombillas:

Tipo de bombilla	Lúmenes [Lm]	Potencia [W]	Vida útil [h]
Incandescentes	249	25	1.200
	470	40	1.200
	806	60	1.200
Halógenas	217	18	3.000
	410	30	3.000
	702	46	3.000
Fluorescentes	229	7	15.000
	432	9	15.000
	741	12	15.000
LED	249	4	50.000-100.000
	470	6	50.000-100.000
	806	9	50.000-100.000

Tabla 13. Características de las bombillas.

Las bombillas incandescentes dejaron de fabricarse en la UE en 2012, por lo que las soluciones que se analizarán consistirán en sustituir las bombillas incandescentes de la casa por algunas de los otros tres tipos de menor consumo.

Se estudiarán 3 distribuciones de bombillas diferentes, analizando en cada caso los ahorros energéticos asociados a estas medidas. El estudio económico de qué iluminación será la más rentable para la vivienda se analizará en la siguiente sección del proyecto.

La opción 1 consiste en sustituir las bombillas incandescentes y halógenas por bombillas fluorescentes y acabar con 30 bombillas fluorescentes compactas, la opción 2 consistirá en sustituir las 14 bombillas no fluorescentes por bombillas led, y finalmente, la opción 3 se basará en cambiar todas las bombillas actualmente instaladas por 30 bombillas LED.

Se escogerán las distribuciones de bombillas que mantengan un nivel de iluminación y confort (lúmenes) similares a los que había anteriormente en la vivienda. El tiempo de utilización de las bombillas se supondrá que tampoco cambia.

La siguiente tabla muestra las características técnicas de cada opción:

Opción	Nº Incandescentes	Nº Halógenas	Nº Fluorescentes	Nº Leds	Potencia [W]
Actual	4	10	16	-	604
1	-	-	30	-	270
2	-	-	16	14	228
3	-	-	-	30	180

Tabla 14. Opciones de iluminación.

Finalmente, la tabla 15 muestra los consumos energéticos asociados a cada opción y los ahorros energéticos que se obtendrían si se adoptasen estas medidas.

Opción	Potencia [W]	Consumo mensual [kWh]	Consumo anual [kWh]	Ahorro energético anual [kWh]	Ahorro porcentual
Actual	604	108,72	1304,64	-	-
1	270	48,60	583,20	721,44	55,3%
2	228	41,04	492,48	812,16	62,25%
3	180	32,40	388,80	915,84	70,2%

Tabla 15. Ahorros energéticos asociados a cada medida de iluminación.

Los resultados obtenidos muestran que adoptando alguna de las medidas propuestas de ahorro energético en la iluminación se podría ahorrar desde 721,44 kWh al año, hasta 915,84 kWh al año. El consumo de electricidad para iluminar la vivienda se puede reducir

hasta un 70,2% con su respectivo ahorro económico que se analizará posteriormente en este proyecto.

Este ahorro energético no supone ningún compromiso de confort, es más, las opciones escogidas tienen una mejor iluminación que la distribución de bombillas actual.

A la hora de elegir la mejor opción habrá que analizar que opción es más viable energética y económicamente, sin embargo, en este apartado no se estudiará la viabilidad económica de ninguna medida, por lo que se escogerá lógicamente la que proporcione un mayor ahorro energético. En este caso, la tercera opción.

3.2.1.2 MAEs en electrodomésticos y ahorros energéticos asociados:

El siguiente nivel donde acometer reformas de eficiencia energética de “demand-side” es en los electrodomésticos. Los electrodomésticos, como ya se vio en la sección 2.3 del proyecto (consumos de la vivienda), suponen un gasto energético de 2332,8 kWh anuales. Siendo responsables de un 55,6% del gasto eléctrico total de la vivienda.

Las medidas técnicas de ahorro y eficiencia energética que se pueden realizar en los electrodomésticos consisten básicamente en sustituirlos por otros más eficientes, con una calificación energética mayor.

El nivel más alto de eficiencia energética actualmente en el mercado es el A+++, teniendo los electrodomésticos que hay en la vivienda una clase energética bastante más baja, y por lo tanto mayor consumo.

La siguiente tabla muestra los consumos energéticos anuales de electrodomésticos de distintas calificaciones energéticas de un catálogo de electrodomésticos de una conocida empresa del sector:

Electrodoméstico	A+++	A++	A+	A	D
Frigorífico y Congelador	273 kWh/año	300 kWh/año	361 kWh/año	418 kWh/año	850 kWh/año
Lavadoras	152 kWh/año	165 kWh/año	181 kWh/año	-	-
Secadoras	-	202 kWh/año	259 kWh/año	-	-
Friegaplatos	156 kWh/año	179 kWh/año	200 kWh/año	-	-

Tabla 16. Consumos energéticos según su calificación.

Fuente: Balay

Solo se analizarán estos electrodomésticos ya que son los que tienen un consumo energético más elevado en la vivienda y su sustitución puede acarrear un ahorro energético considerable, por otro lado, los demás electrodomésticos de la casa como la plancha, el microondas, la televisión, etc. Tienen unos consumos muy similares a los productos más eficientes que hay en el mercado y su sustitución es cara y poco rentable económica y energéticamente hablando.

La tabla 17 muestra los ahorros energéticos asociados a los distintos electrodomésticos escogidos:

Electrodoméstico	Consumo Actual	Ahorro si A+++	Ahorro si A++	Ahorro si A+
Frigorífico y Congelador	895 kWh/año	622 kWh/año	595 kWh/año	477 kWh/año
Lavadoras	168 kWh/año	16 kWh/año	3 kWh/año	-
Secadoras	226 kWh/año	-	24 kWh/año	-
Friegaplatos	182 kWh/año	26 kWh/año	3 kWh/año	-
Total	1471 kWh/año	664 kWh/año	625 kWh/año	477 kWh/año

Tabla 17. Ahorros asociados a diferentes electrodomésticos.

Nótese que se ha dejado en blanco aquellos espacios donde la sustitución del electrodoméstico actual por esa opción no ahorra energía o no se disponían datos sobre electrodomésticos de esas características.

La sustitución de los anteriores electrodomésticos conlleva un ahorro energético asociado que oscila entre los 477 kWh anuales y los 664 kWh anuales. Lo que implicaría ahorrar entre un 20% y un 28% del consumo energético total de los electrodomésticos de la vivienda, que a su vez llevaría implícito un ahorro económico que se analizará en la siguiente sección del proyecto.

3.2.2 Medidas “demand-side” de tipo térmico:

En esta sección se estudiarán las MAEs de “demand-side” de naturaleza térmica. Este estudio consistirá en un análisis de posibles mejoras en las infiltraciones de aire, la envolvente térmica de la vivienda y las ventanas.

3.2.2.1 MAEs de sellado de aire y ahorros energéticos asociados:

El siguiente punto por estudiar es el sellado o estanqueidad de la vivienda, motivo de las infiltraciones de aire. Las infiltraciones de aire están causadas por aire que entra y sale de la vivienda a pesar de pensar que todo está cerrado y estanco. Este aire se cuela por fisuras de la envolvente de la vivienda, provocando un aumento de las renovaciones de aire no deseadas, que, a su vez, implican un aumento de la energía térmica necesaria para mantener la temperatura de confort de la vivienda.

La mayoría de las infiltraciones de aire ocurren en puertas (parte inferior), sellado de ventanas, cajones de persianas, chimeneas e intersecciones entre las fachadas y el tejado.

Las infiltraciones de aire se miden en caudal de aire que entra o sale de la vivienda (m^3/h) y se pueden calcular de diferentes formas. Hay varios métodos experimentales siendo el más conocido el test Blowerdoor, que consiste en crear un gradiente de presiones entre el interior y el exterior de la vivienda usando un ventilador en la puerta principal y varios equipos de medida.



Figura 15. Test BlowerDoor.

Fuente: "Australian National University, Urban energy and energy efficiency".

Los métodos analíticos para calcular el caudal de aire debido a infiltraciones son muy complejos, y existen proyectos enteros solo para calcular las infiltraciones de una

vivienda con alguno de estos métodos. En este proyecto se usará el método de las renovaciones de aire por hora o ACH (de sus siglas en inglés, “air change per hour”) este método es una simplificación para calcular las infiltraciones de aire, sin embargo, es lo suficientemente preciso como para usarse en el cálculo de las infiltraciones en este proyecto. El ACH de un edificio determina cuanto cambia el aire cada hora y sirve para definir la calidad del aire interior de una vivienda. Si las renovaciones de aire por hora son muchas, el gasto energético térmico asociado a las infiltraciones será alto, mientras que si las renovaciones son bajas el gasto energético será menor.

Según la normativa HST3 de calidad del aire interior, el nivel óptimo de ACH está en torno a 0,6 renovaciones por hora, es decir, habrá que intentar que la casa llegue a este nivel de infiltraciones para reducir al máximo los gastos energéticos asociados a la permeabilidad de la envolvente.

El ACH de la casa se ha determinado a través de la inspección de las grietas más significativas y grandes, como por ejemplo la chimenea o la parte inferior de la puerta principal (que carece de burletes). Y estará en torno a 1 renovación por hora.

La siguiente fórmula permite calcular el caudal de aire a través del ACH:

$$Q_{ai} = V [m^3] \times r [h^{-1}]$$

Donde r son las renovaciones por hora y V el volumen de la casa. El volumen de la casa se calcula multiplicando la superficie habitable, que son 140 m² por la altura del techo que es de 2,5 m, siendo el volumen de la vivienda de unos 350 m³.

Aplicando la formula anterior para las renovaciones de la casa y las renovaciones optimas según la normativa se obtienen dos caudales de aire de:

$$Q_{ai-Norm} = \frac{350 \times 0,6}{3600} = 0,0583 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$Q_{ai-vivienda} = \frac{350 \times 1}{3600} = 0,0972 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

El primer término es el caudal de aire recomendado que se debe intentar conseguir, mientras que el segundo es el que actualmente hay.

A continuación, estimaremos las pérdidas energéticas asociadas a estas infiltraciones con la siguiente formula:

$$Perd = Q_{ai} \times Cp \times \rho \times \Delta T$$

Donde Q_{ai} es el caudal ya calculado anteriormente, Cp es el calor específico del aire que es 1.048 [KJ/KgK], ρ es la densidad del aire, que para 1 atm es de 1,2 [Kg/m³], y ΔT es la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de la casa.

Como puede observarse en la ecuación, la diferencia de temperaturas tiene que tenerse en cuenta, por lo que se comparará la temperatura de la casa con la temperatura media de Madrid para el invierno y el verano, se supondrán las temperaturas de confort de la vivienda en 20°C en invierno y en 23°C en verano.

Estación	T int. [°C]	T ext.[°C]	ΔT
Invierno	20	9,2	10,8
Verano	23	24,16	-1,16

Tabla 18. Gradiente de temperaturas.

En invierno el gradiente es positivo, es decir, el caudal de aire saldrá de la vivienda y las pérdidas de calor se tendrán que compensar a través de la calefacción, sin embargo, en verano, el gradiente de temperaturas es negativo, indicando que el aire caliente a más presión entra en la vivienda provocando un gasto de refrigeración.

Con todos los parámetros ya definidos se pueden calcular las pérdidas energéticas debido a la infiltración de aire. Se calcularán las pérdidas actuales en la vivienda y se compararán con las mínimas pérdidas que podría haber según la normativa HST3 y esta diferencia será los máximos ahorros energéticos asociados a posibles medidas de mejora de la estanqueidad que se verán a continuación.

	Invierno [kWh]	Verano [kWh]	Totales [kWh]	Totales al año [kWh/año]
Perd_actuales	1,32	-0,141	1,178	5159,64
Perd_óptimas	0,791	-0,085	0,706	3092,28
Ahorro	1,849	0,1985	1,65	2067,36

Tabla 19. Pérdidas asociadas a infiltraciones de aire.

Como puede verse en la tabla 19, las pérdidas actuales de la casa son de 5159,64 kWh al año y con mejoras de estanqueidad se podrían reducir estas pérdidas en 2067,36 kWh al año llegando a tener solamente 3092,28 kWh de pérdidas anuales por infiltraciones aproximadamente.

Las mejoras de estanqueidad para viviendas ya construidas son sencillas y se centran en colocar materiales aislantes en las zonas donde se infiltra más el aire, como son, por ejemplo; puertas, ventanas y cajetines de persianas.

La solución más típica para aplicar en cajones de persianas es introducir un material aislante como por ejemplo TERMO-FLEX. Un material aislante y flexible que impide la filtración del aire.

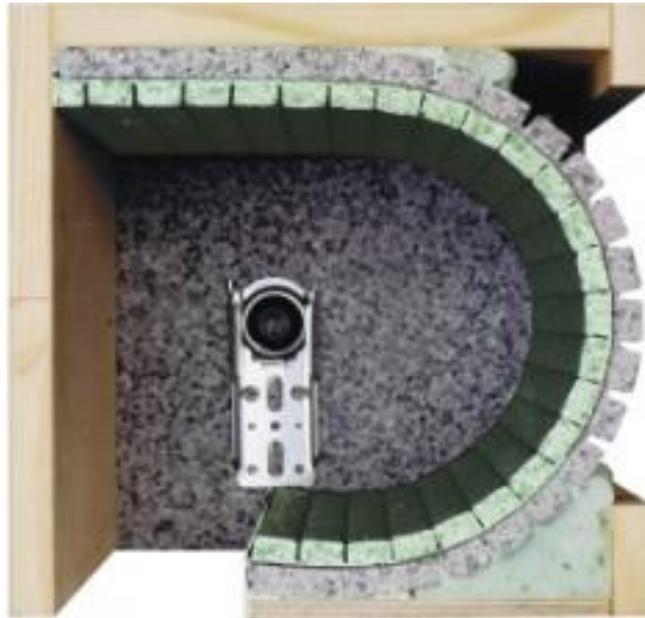


Figura 16. Aplicación de TERMO-FLEX.

Fuente: Certificados energéticos, Beck & Heun.

La solución para puertas y ventanas es muy similar, consiste en colocar juntas, burletes y materiales aislantes que aíslen las grietas y fisuras.



Figura 17. Sellado de una ventana con silicona.

Fuente: Carpintería de aluminio. Sellado de silicona neutra en puertas y ventanas.

En la siguiente sección del proyecto se calcularán los factores económicos asociados a estas medidas.

3.2.2.2 MAEs en el aislamiento térmico de la vivienda y ahorros energéticos asociados:

El siguiente objeto de estudio corresponde al aislamiento térmico de la vivienda. Las medidas ya comienzan a ser complejas y caras, y es que, en este caso en concreto, es más difícil aplicar este tipo de medidas a una casa ya construida que a una casa en proceso de construcción.

Un mejor aislamiento de la vivienda reducirá los intercambios de calor con el exterior lo que reducirá a su vez los gastos energéticos de calefacción en invierno y refrigeración en verano para mantener la casa dentro de los estándares de confort térmico.

Las medidas de esta sección consisten en aumentar la resistencia térmica de la envolvente de la vivienda para que la cantidad de energía que atraviesa esta envolvente se reduzca. Esto se realiza añadiendo materiales con baja transmitancia térmica en los cerramientos

y huecos de la casa. Según aislamientos Tabitec en una casa mal aislada como la que se está analizando, se pierde alrededor de un 25% del calor por la cubierta de la casa, un 35% por la fachada, un 10% por las ventanas, un 20% por el suelo y el 10% restante debido a las infiltraciones de aire, por eso mismo un mejor aislamiento es esencial para ahorrar energía y aumentar la eficiencia energética de la vivienda, que como ya se sabe, provoca también un importante ahorro económico que se examinará más tarde.

- Mejora del aislamiento térmico de paredes y fachadas:

La gran mayoría de casas de España (la vivienda que se está estudiando, también) disponen de una cámara de aire entre la pared interna y la fachada exterior. Es en esta cámara de aire, donde, mediante una máquina a presión se inyecta a través de varios orificios el material aislante a granel, dejando la cámara rellena de un manto aislante y compacto.

Los materiales aislantes más comunes que se utilizan para aislar paredes y fachadas son: la celulosa ecológica, la lana de roca, y algunos polímeros sintéticos como el poliuretano o las perlas de poliestireno expandido, siendo estos últimos los más apropiados para aislar paredes con cámaras de aire, dado su buena distribución en cavidades pequeñas. Recientemente en el mercado han surgido los aislantes de Neopor[®] que mejoran considerablemente el rendimiento de las perlas de EPS, necesitando un 50% menos de materia prima y con un 20% más de capacidad aislante.

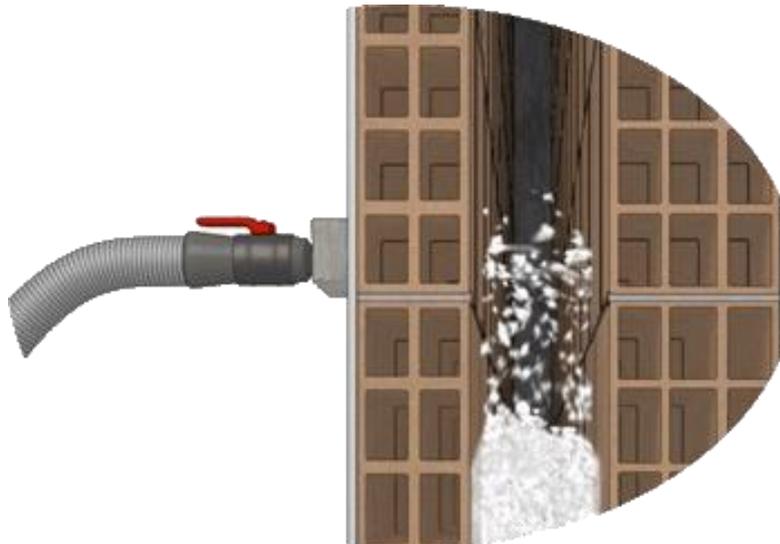


Figura 18. Ejemplo de inyección de aislamiento en cámara de aire.

La siguiente tabla muestran las características de los materiales aislantes de la pared.

Material	Resistencia térmica [mK/W]
Perlas EPS	27
Lana de roca	29,4
Celulosa	26,3
Neopor®	30

Tabla 20. Características térmicas de los materiales aislantes.

Usar Neopor® como material aislante parece la opción más razonable en materia energética ya que tiene la resistencia térmica más alta y su uso reducirá considerablemente los gastos energéticos térmicos, sin embargo, no se sabe aún si es la medida más económica. Esta opción puede significar un ahorro del 30%-35% de la demanda térmica de la vivienda.

- Mejora del aislamiento térmico de techos y cubiertas:

El aislamiento de esta parte de la vivienda se puede realizar de diferentes formas dependiendo de la arquitectura de la casa. Si no existiese cavidad, es decir, el techo de la casa está directamente en contacto con el forjado o las bovedillas de la casa, entonces, el método a realizar consistiría en crear un falso techo de yeso laminado y rellenar la cavidad creada con aislamiento insuflado, parecido al visto anteriormente para las paredes.

Otro caso, que es el caso que hay en la vivienda de estudio, es que hay una cavidad entre el techo y la cubierta, y en este hueco es donde se realiza la técnica de insuflado. El insuflado de aislante es una solución que consiste en poner grandes cantidades de aislante para reducir las pérdidas caloríficas de los tejados. Su ventaja es que se puede aplicar un gran espesor de aislante aumentando así su eficacia.



Figura 19. Ejemplo de utilización de aislante insuflado en un falso techo.

En este caso en concreto los materiales más usados son la espuma, el geotextil y el aislante de vidrio celular, que es un material más moderno y efectivo. Esta medida puede reducir la demanda térmica de la casa en un 20%-25%.

- Mejora del aislamiento del suelo:

El aislamiento del suelo es especialmente importante a nivel de confort ya que la sensación de frío que viene por el suelo es muy desagradable. Esto ocurre especialmente en los suelos sobre garajes sin aislar (es el caso de la vivienda que se está estudiando). El suelo de la casa es un suelo de tarima de madera sobre rastreles, que dispone de una cámara de aire debajo de él. La técnica más apropiada para este tipo de suelo es la del insuflado, una técnica muy similar a la que se realiza en paredes o en techos con cavidades. Mediante una maquina se coloca el aislante que sustituye la cámara de aire por un material con una mayor resistencia térmica.



Figura 20. Ejemplo de aislamiento insuflado de suelo de tarima.

Los materiales más usados a la hora de aislar el suelo por el método de insuflación son espumas fenólicas EPS y XPS, fibra de madera y lana mineral.

El correcto aislamiento del suelo puede reducir la demanda térmica hasta en un 20%.

Si se realizan las medidas propuestas para aislar paredes, suelos y el techo se reducirá el consumo de energía térmica entre un 50% y un 70%. Lo que implicaría un ahorro en calefacción de alrededor de 25.000kWh anuales y un ahorro en refrigeración de más o menos 230 kWh anuales.

3.2.2.3 MAEs de ventanas y ahorros energéticos asociados:

El siguiente objeto por analizar son las ventanas. Las ventanas se sitúan tan arriba en la pirámide de eficiencia energética porque a pesar de ser responsables de pérdidas y ganancias energéticas de varias formas (infiltraciones de aire, convección y ganancias solares), las medidas para reducir estos intercambios energéticos son caras, complejas y el ahorro energético que se obtiene es pequeño comparado con el que se podría obtener con otras MAEs estudiadas anteriormente.

Esta sección se dividirá en tres, y se estudiará por separado cada tipo de intercambio energético que ocurre en las ventanas de la vivienda.

- Infiltraciones de aire: Estas ya se contemplaron en la sección 3.2.2.1, donde se cuantificaron sus pérdidas energéticas asociadas y se vieron posibles medidas en puertas y ventanas para aumentar la estanqueidad de la vivienda.
- Pérdidas por convección: Alrededor de un 10% del calor que pierde la casa debido a un mal aislamiento escapa por las ventanas, y esto sucede porque a pesar de ocupar un área muy pequeña en la fachada de la vivienda, su transmitancia es mayor que la de los otros muros que forman la envolvente térmica. En el caso concreto de la casa de estudio, las ventanas tienen una transmitancia de 3,3 W/m²K (Tabla 2.) por lo que reducir las pérdidas de calor pasa por reducir este valor. Esto se puede realizar mejorando la resistencia térmica de los burletes y marcos de las ventanas o poniendo más acristalamiento en las ventanas de la vivienda. La casa ya cuenta con doble acristalamiento en las ventanas por lo que mejorar las ventanas significaría instalar triple acristalamiento y cambiar los marcos por algunos de un material más aislante. Estas medidas reducirían la demanda energética térmica de refrigeración y calefacción en algo menos de un 10%, suponiendo un ahorro energético de casi 3000 kWh anuales.
- Ganancias solares: Las ganancias solares es la energía que la ventana transmite al interior de la vivienda debido a la radiación del sol. Este calor provoca un aumento de la temperatura de la vivienda que, por ejemplo, en verano implica un aumento de la demanda de refrigeración pero que, en invierno, puede ayudar a reducir la demanda de calefacción. Las mejoras para reducir las ganancias solares pasan por un tintado de los cristales o por cristales con menor factor solar, ya que esto implica que la energía solar que dejan pasar al interior es menor. El factor solar de las ventanas de la casa oscila entre 0.48 y 0.64. (Tabla 2).

Para cuantificar los posibles ahorros que un menor factor solar podría traer a la vivienda hay que calcular primero la ganancia solar de las ventanas. Para calcularla se han obtenido de un software de la NASA los valores para todo un año de irradiación solar horizontal en las coordenadas de la casa. Estos valores se muestran en la siguiente figura.

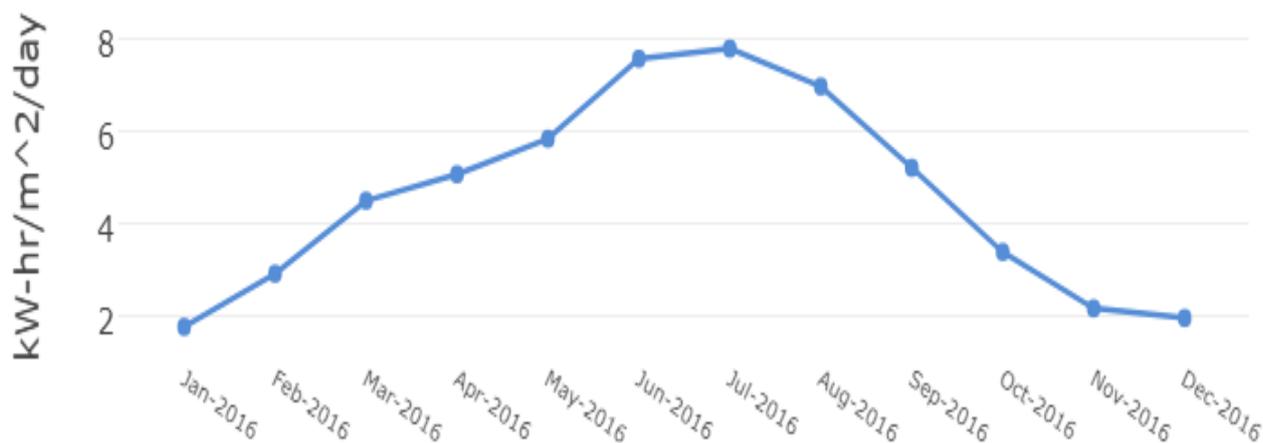


Figura 21. Irradiación solar horizontal.
Fuente: NASA prediction of worldwide resources.

Se corrigen estos valores aplicando un factor K para la latitud y el mes del año y se obtiene el valor de irradiación solar a 90°, que lógicamente es la inclinación que tienen las ventanas de la vivienda. Este valor de irradiación se multiplica por el área y por el factor solar de las ventanas y se obtiene así finalmente el valor de las ganancias solares en la vivienda.

La siguiente tabla muestra la irradiación solar horizontal y la corregida a 90° para cada mes del año.

Mes	Irradiación horizontal [kWh/m ²]	Factor de corrección	Irradiación a 90° [kWh/m ²]
Enero	1,76	1,19	2,09
Febrero	2,91	1	2,91
Marzo	4,49	0,76	3,41
Abril	5,06	0,54	2,73

Mayo	5,83	0,38	2,21
Junio	7,56	0,32	2,41
Julio	7,78	0,38	2,95
Agosto	6,96	0,54	3,75
Septiembre	5,2	0,81	4,21
Octubre	3,38	1,12	3,78
Noviembre	2,16	1,36	2,93
Diciembre	1,95	1,35	2,63

Tabla 21. Irradiación solar.

La siguiente tabla muestra para cada mes del año la ganancia solar final en la vivienda, ya multiplicado por el área y el factor solar de cada ventana.

Mes	Ganancia solar [kWh/mes]
Enero	18,38
Febrero	25,54
Marzo	29,96
Abril	23,99
Mayo	19,45
Junio	21,24
Julio	25,95
Agosto	32,99
Septiembre	36,98
Octubre	33,23
Noviembre	25,79
Diciembre	23,11
Total	316,66

Tabla 22. Ganancia solar por mes.

Por las ventanas de la vivienda entran aproximadamente 316,66 kWh al año, que provoca un aumento de la demanda de refrigeración en los meses de verano, y una reducción de la demanda de calefacción en invierno.

Durante junio, julio, agosto y septiembre la ganancia solar es de 117,16 kWh, que se convierte en un incremento de aproximadamente el mismo valor de la demanda de

refrigeración de la vivienda, porque es un calor que hay que expulsar de la casa, ya que además la máxima irradiación ocurre durante las horas donde el aire acondicionado suele estar funcionando porque hace más calor. Por otro lado, durante el resto del año, las ganancias solares son de 199,50 kWh que podrían ser vistos como un ahorro en la demanda térmica de calefacción, sin embargo, el ahorro exacto en demanda de calefacción es difícil de calcular ya que la mayor parte de estas ganancias ocurren durante las horas donde la calefacción no es necesaria por lo que sería complicado evaluar con precisión el impacto que tiene la radiación solar en la demanda de calefacción como se ha hecho en la demanda de refrigeración.

Se puede afirmar entonces, que un tintado de cristales o el uso de cristales con menor factor solar reduciría la demanda de refrigeración, pero no se sabe con exactitud qué impacto tendría esa medida en la demanda de calefacción. Queda probado con estos cálculos que las pérdidas por infiltración y convección en las ventanas son más cuantiosas que la ganancia solar por lo que las MAEs más importantes energéticamente hablando en las ventanas pasan por mejorar el aislamiento y la estanqueidad de estas.

3.3 Medidas supply-side y ahorros energéticos asociados:

A continuación, se analizarán las medidas del lado del suministro que proporcionen un posible ahorro energético en la vivienda de estudio. Primero se examinarán las medidas del tipo eléctrico y luego las de tipo térmico.

3.3.1 Medidas supply-side de tipo eléctrico:

En este apartado se estudiará la posibilidad de la autogeneración, con la instalación de placas solares fotovoltaicas en la vivienda. Se analizarán los posibles ahorros energéticos que esta instalación implicaría, ya sea solo con los paneles o también los paneles junto a un equipo de baterías para almacenar el excedente de producción.

3.3.1.1 Instalación de paneles solares fotovoltaicos con y sin equipos de almacenamiento energético y ahorros energéticos asociados:

Esta medida consiste en instalar paneles solares fotovoltaicos en la vivienda y usar la producción eléctrica para reducir el consumo energético eléctrico de la casa. El uso y

adopción de placas fotovoltaicas en España está profundamente marcado por el Real Decreto 900/2015 por lo que es vital distinguir entre las dos posibilidades que hay de autoconsumo y en ver cómo afecta este Real Decreto.

La primera posibilidad es la de autoconsumo aislado, donde el usuario está desconectado de la red eléctrica y tiene libertad para producir y consumir su propia energía como desee. Esta medida necesita ir acompañada de baterías que permitan almacenar la energía generada para usarla en momentos de ausencia de luz solar. El autoconsumo aislado es una opción viable para viviendas que no tengan red eléctrica cerca, y hay que saber que el Real Decreto 900/2015 no afecta para nada a este tipo de autoconsumo.

Por otro lado, tenemos el autoconsumo en red, que consiste en instalar paneles solares y usar la energía solar producida en tu vivienda, pero conectado a la red eléctrica, de la que también se extraerá energía cuando sea necesario. En esta medida de autoconsumo si entra en juego el Real Decreto 900/2015 que afecta a instalaciones fotovoltaicas inferiores a 100 kW. El Real Decreto 900/2015, conlleva una serie de medidas que afectan a la rentabilidad de los proyectos fotovoltaicos, sin embargo, al ser medidas de carácter económico se estudiarán más adelante.

En cuanto al aspecto técnico y sin tener en cuenta la rentabilidad y viabilidad económica de la instalación fotovoltaica se puede afirmar que es una opción muy interesante para ahorrar y aumentar la eficiencia energética de una vivienda.

La producción energética de los paneles solares dependerá de cuantos paneles haya instalados, de su potencia de pico, y de la irradiación solar en la vivienda. Los paneles solares se situarán orientados hacia el sur, y con una inclinación de 63° en invierno y 27° en verano (IDAE) por lo que usando los valores de irradiación media horizontal de la tabla 21, y corrigiéndolos por el factor K de corrección (obtenidos de CLEANENERGYSOLAR) se obtendrá la irradiación media en la vivienda.

Los valores de irradiación se muestran en la siguiente tabla:

Mes	Irradiación horizontal [kWh/m ²]	Factor de corrección	Irradiación media [kWh/m ²]
Enero	1,76	1,35	2,37
Febrero	2,91	1,27	3,69
Marzo	4,49	1,18	5,29

Abril	5,06	1,08	5,46
Mayo	5,83	1,01	5,88
Junio	7,56	0,99	7,48
Julio	7,78	1,02	7,93
Agosto	6,96	1,09	7,58
Septiembre	5,2	1,21	6,29
Octubre	3,38	1,35	4,56
Noviembre	2,16	1,44	3,11
Diciembre	1,95	1,42	2,76

Tabla 23. Irradiación horizontal y media en la vivienda.

Los paneles fotovoltaicos tienen varias potencias, pero para la demanda eléctrica de la casa los paneles de 300Wp son los más apropiados. Se instalarán en principio 3 paneles. Los resultados de la generación eléctrica de estos paneles se muestran a continuación:

Mes	Energía generada [kWh/mes]
Enero	64,15
Febrero	99,78
Marzo	143,05
Abril	147,54
Mayo	158,98
Junio	202,07
Julio	214,26
Agosto	204,83
Septiembre	169,88
Octubre	123,20
Noviembre	83,98
Diciembre	74,76
Total	1686,52

Tabla 24. Energía generada por la instalación fotovoltaica

Los resultados se han obtenido multiplicando el número de paneles y su potencia pico por la irradiación media. Como puede verse en la tabla 24, la instalación fotovoltaica puede llegar a generar alrededor de 1686 kWh al año. Esta es la máxima producción de esta

instalación fotovoltaica, sin embargo, la producción será mayor durante la tarde y el mediodía y nula durante la noche, por lo que si se quiere utilizar toda la producción se necesitará un equipo de almacenamiento o baterías que permita almacenar el excedente de producción y usarlo cuando se necesite. Si no se usase ningún método de almacenamiento, y al no poder verter energía a la red, se deberá limitar la instalación para que solo produjese lo que se va a consumir en ese mismo instante, limitando enormemente la producción.

Las puntas de demanda energética en el sector residencial son a las 9 de la noche en invierno, y a las 3 de la tarde y 9 de la noche en verano. Como puede verse en la siguiente figura obtenida de la guía de consumo de Red Eléctrica.

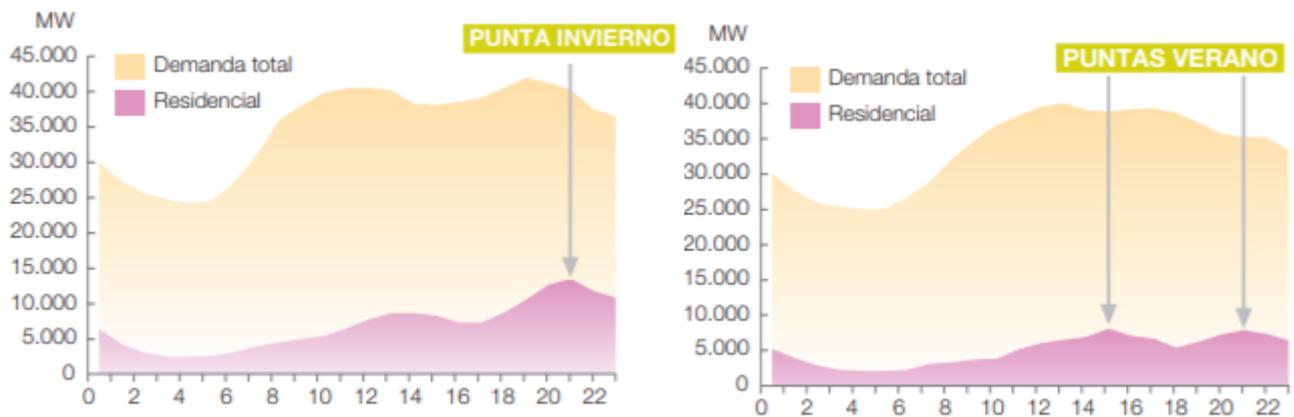


Figura 22. Curvas de demanda en el sector residencial para invierno (izda.) y verano (dcha.)

La instalación con baterías podría almacenar el excedente para cubrir las puntas nocturnas, sin embargo, la instalación sin baterías solo podrá cubrir el consumo del mediodía y un poco de la tarde. Esto implica que la producción de la instalación sin equipos de almacenamiento estará en torno a 1000 kWh mientras que con un equipo de baterías estará alrededor de 1686 kWh.

Instalación	Producción [kWh]
Con baterías	1686
Sin baterías	1000

Tabla 25. Producción eléctrica de cada instalación.

El ahorro que supondría al consumo eléctrico de la vivienda sería lógicamente, la producción de la instalación.

3.3.2 Medidas supply-side de tipo térmico:

En esta sección se analizarán medidas de supply-side de tipo térmico, es decir, como reducir el consumo energético para satisfacer las demandas de ACS, calefacción y refrigeración. Las medidas que se analizarán serán un posible cambio y o mejora de la caldera y la instalación de colectores solares.

3.3.2.1 MAEs de ACS, calefacción y refrigeración y ahorros energéticos asociados:

A continuación, se analizará como reducir el consumo energético para satisfacer las necesidades de agua caliente sanitaria (ACS), calefacción y refrigeración. Pese a estar el ACS separado de la calefacción y refrigeración en la pirámide se van a estudiar conjuntamente en esta sección ya que tanto la calefacción como el ACS son suministrados por la caldera de la vivienda y cualquier posible MAE en la caldera afectará tanto al agua caliente como a la calefacción de la vivienda.

En la sección anterior se propusieron reformas para reducir la demanda térmica de la casa y así, de la misma manera, reducir el consumo en calefacción y refrigeración de la vivienda. En este caso, se supondrá que la demanda térmica y de ACS no cambia y que es la que se caracterizó en la sección 2.2.3, ya que las posibles medidas de ahorro y eficiencia energética en este apartado pasan por reducir el consumo sin influir directamente sobre la demanda. Esto es, tener la misma demanda de energía térmica, pero tener una mejor caldera y aire acondicionado que suministre esa demanda con menos consumo energético.

En el caso base, la caldera que suministra la demanda de ACS y de calefacción, que es de 4711 kWh/año y 29450 kWh/año respectivamente (Tabla 10), tiene un rendimiento estacional del 72,6% (Tabla 3). Suminiendo de esta forma esta demanda energética de 34161 kWh/año con un consumo energético de gas natural de 47052 Kwh/año.

La caldera de la que dispone la vivienda es antigua y su rendimiento es muy bajo comparado con lo que se ofrece actualmente en el mercado. Una caldera de gas natural estándar es capaz de alcanzar rendimientos del 90%, mientras que si es una caldera a baja temperatura puede llegar a rendimientos de hasta el 95%, por último y más modernas, existen las calderas de condensación que aprovechan el calor del vapor del agua y los gases de combustión para obtener rendimientos máximos de hasta el 100%*.

**Algunos fabricantes y vendedores de calderas de condensación afirman que obtienen rendimientos de hasta el 108% pero porque se refieren al poder calorífico inferior y no tienen en cuenta el vapor de agua, es imposible obtener rendimientos de más del 100%.*

La siguiente tabla muestra las distintas opciones de calderas de gas natural que hay en el mercado y los ahorros energéticos asociados a adoptar esas calderas:

Caldera	Rendimiento	Consumo ACS [kWh/año]	Consumo Calefacción [kWh/año]	Ahorros totales [kWh/año]
Actual	72,6%	6490	40562	-
Estándar	~90%	5234	32722	9096
Baja temperatura	~95%	4958	31000	11094
Condensación	~100%	4711	29450	12891

Tabla 26. Ahorros asociados a diferentes calderas.

Como puede verse en la tabla 26, la sustitución de la caldera actual por una caldera de condensación puede ahorrar hasta 12.891 kWh al año, con sus respectivos ahorros económicos que se estudiarán con detalle más adelante.

En cuanto a la refrigeración, el aire acondicionado instalado en la vivienda es relativamente nuevo, tiene dos años, y un coeficiente de eficiencia energética de 3,3 (Tabla 4.) lo que le otorga la máxima clase energética (A) y hace que no tenga sentido económico ni energético sustituir este equipo.

3.3.2.2 Instalación de caldera de biomasa y ahorros energéticos asociados:

Las calderas de biomasa usan como fuente de energía combustibles naturales como residuos forestales, leña, pellets de madera y huesos de aceituna. Su funcionamiento es muy similar al de una caldera convencional, la biomasa se quema, generando un calor que es transmitido al circuito de agua en el intercambiador donde se obtiene agua caliente para la calefacción y el ACS. Actualmente las calderas de biomasa no tienen nada que envidiar a las calderas de gas natural en cuanto a rendimientos se refiere, ya que los rendimientos conseguidos para calderas de pellets y huesos de aceitunas superan ya el 90%. Y existe la posibilidad de instalar una caldera de condensación a base de biomasa con un rendimiento de hasta el 100%

Bien es cierto que las calderas de biomasa requieren más trabajo que una caldera convencional, ya que es necesario un silo donde almacenar el combustible y además hay

que limpiar el colector de cenizas dos o tres veces al año, aunque en la casa que se está analizando, la caldera se encuentra en un garaje privado por lo que no habría problema en almacenar ahí el combustible.

La principal ventaja de las calderas de biomasa reside en que proporcionan una energía limpia y emiten CO₂ neutro y además el precio de la biomasa no depende de mercados internacionales como los combustibles fósiles, por lo que su precio es más estable. El aspecto económico se estudiará posteriormente.

La siguiente tabla muestra el posible consumo y ahorro energético de instalar una caldera de biomasa respecto al caso actual de la vivienda.

Caldera	Rendimiento	Consumo ACS [kWh/año]	Consumo Calefacción [kWh/año]	Ahorros totales [kWh/año]
Actual	72,6%	6490	40562	-
Pellets-Huesos aceitunas	95%	4958	31000	9096
Condensación Biomasa	~100%	4711	29450	12891

Tabla 27 Consumos y ahorros para calderas de biomasa.

Como puede observarse en la tabla, las calderas de biomasa tienen unos ahorros muy similares a las calderas de gas natural, reduciendo el consumo energético hasta en 12.891 kWh al año con respecto a la caldera actualmente instalada por lo que para elegir entre una caldera de condensación de gas natural o de biomasa habrá que tener en cuenta otros factores como el económico y el logístico (espacio suficiente).

3.3.2.3 Instalación de colectores solares y ahorros energéticos asociados:

Las placas solares térmicas absorben calor de la radiación solar y calientan agua en un acumulador, suponiendo así un ahorro energético y económico al reducir la demanda térmica de ACS que la caldera debe suministrar. Para obtener un máximo rendimiento de los captadores solares estos deben estar orientados hacia al sur (en el hemisferio Norte) y con una inclinación de 27° en verano y 63° en invierno con respecto a la horizontal.

Debido a la arquitectura de la casa de estudio sería posible disponer los paneles de esta forma sin ningún problema.

Es importante saber que este sistema jamás podrá cubrir el 100% de la demanda energética de ACS ya que hay horas del día, y sobre todo en invierno, donde la irradiación solar es muy baja y se necesitan sistemas de apoyo como la caldera para terminar de calentar el agua.

Según el Código Técnico de Edificación en la sección HE 4, se estipula la contribución solar mínima que deben tener estas instalaciones, y para la demanda de agua caliente de la vivienda, que es de 112 litros al día, y para la zona climática de Madrid (Zona IV), la contribución solar mínima debe ser del 60% de la demanda total de ACS. Es decir, como mínimo esta instalación debe reducir la demanda térmica de ACS en un 60%.

Para conseguir este nivel de contribución solar bastará con una instalación de 2m² y un colector de 200 litros, la siguiente tabla muestra los ahorros que se podrían conseguir como mínimo con este tipo de equipo.

Superficie instalación [m ²]	Contribución solar mínima	Ahorro demanda ACS [kWh/año]
2	60%	2826

Tabla 28. Ahorro en la demanda de ACS con un colector solar.

La demanda de ACS se podría reducir como mínimo en 2826 kWh/año lo que implicaría ahorrar mucha energía de origen fósil para sustituirla por una energía de origen renovable y sin precio de combustible alguno. El análisis económico de esta medida se realizará más adelante en el proyecto.

3.4 Análisis de factibilidad de las alternativas y selección:

En esta sección se decidirán qué medidas adoptar finalmente en la vivienda. Para así, en la siguiente sección del proyecto analizar el aspecto económico de las medidas seleccionadas. Es importante tener en cuenta que, hasta ahora, todas las medidas se han analizado de manera independiente, pero hay medidas que son excluyentes entre sí, por ejemplo, no tendría ningún sentido optar por instalar una caldera de condensación de gas natural y a la vez optar por cambiar a una caldera de biomasa. De la misma forma puede haber medidas con sinergias positivas, de forma que al realizarlas juntas se incrementen aún más los ahorros obtenidos.

Se propusieron varias opciones y medidas de cada nivel de la pirámide, sin embargo, al no tener en cuenta el factor económico en esta parte se escogerá de cada nivel la medida que más ahorro genere.

Las siguientes tablas muestran los ahorros asociados a las medidas propuestas, seleccionando ya las mejores medidas de cada nivel. La primera tabla para las medidas eléctricas y la segunda para las medidas térmicas.

Medida	Gasto energía eléctrica [kWh/año]	Gasto actual de la medida [kWh/año]	Gasto con la medida [kWh/año]	Ahorro con la medida [kWh/año]	Ahorro porcentual [%]	Ahorro energía eléctrica [%]
Iluminación	4198	1304	388	916	70,2	21,8
Electrodomésticos	4198	2332,8	1668	664	28,5	15,8
Paneles fotovoltaicos con almacenamiento	4198	4198	2512	1686	40,2	40,2
Paneles fotovoltaicos sin almacenamiento	4198	4198	3198	1000	23,8	23,8

Tabla 29. Gasto y ahorro de las medidas de tipo eléctrico

Medida	Gasto actual [kWh/año]	Gasto con la medida [kWh/año]	Ahorro con la medida [kWh/año]	Ahorro porcentual relativo [%]	Ahorro porcentual energía térmica total [%]
Estanqueidad	5160	3092	2068	40,1	4,4
Aislamiento	40562	16225	24337	60	51,7
Caldera condensación	47052	34161	12891	27,4	27,4
Ventanas	40562	36505	4056	10	8,6
Caldera biomasa de condensación	47052	34161	12891	27,4	27,4
Colectores solares	6490	3664	2826	43,5	6

Tabla 30. Gasto y ahorro de las medidas de tipo térmico

Como puede observarse en las tablas 29 y 30, hay medidas de ahorro como la de la iluminación que reducen hasta un 70 % el consumo en energía eléctrica destinada a iluminar la casa, pero tan solo reducen un 22 % el consumo de energía eléctrica total y suponen un ahorro energético de 916 kWh anuales, por otro lado, hay medidas como la mejora del aislamiento o los colectores solares que a pesar de tener un ahorro porcentual relativo menor que las MAEs de iluminación, su ahorro energético total es muchísimo mayor. En cuanto a la medida que más ahorro energético produce es sin duda la mejora del aislamiento de la vivienda, ya que como se vio el aislamiento actual de la casa es muy malo. Seguido del cambio de caldera, ya que la caldera actual tiene un rendimiento muy bajo. Los paneles solares con equipo de baterías reducen hasta un 40% el consumo eléctrico total lo que supondrá un ahorro económico importante.

Una vez realizado el análisis técnico de todas las medidas y haber estudiado su viabilidad técnica y como afectan energéticamente a la vivienda se procederá a estudiar la viabilidad económica de las medidas, y ver su rentabilidad y periodo de amortización.

La siguiente figura muestra en el eje horizontal el ahorro energético total de cada medida, mientras que en el eje vertical muestra la dificultad de implementación técnica. El tamaño de cada burbuja es proporcional a su ahorro energético.

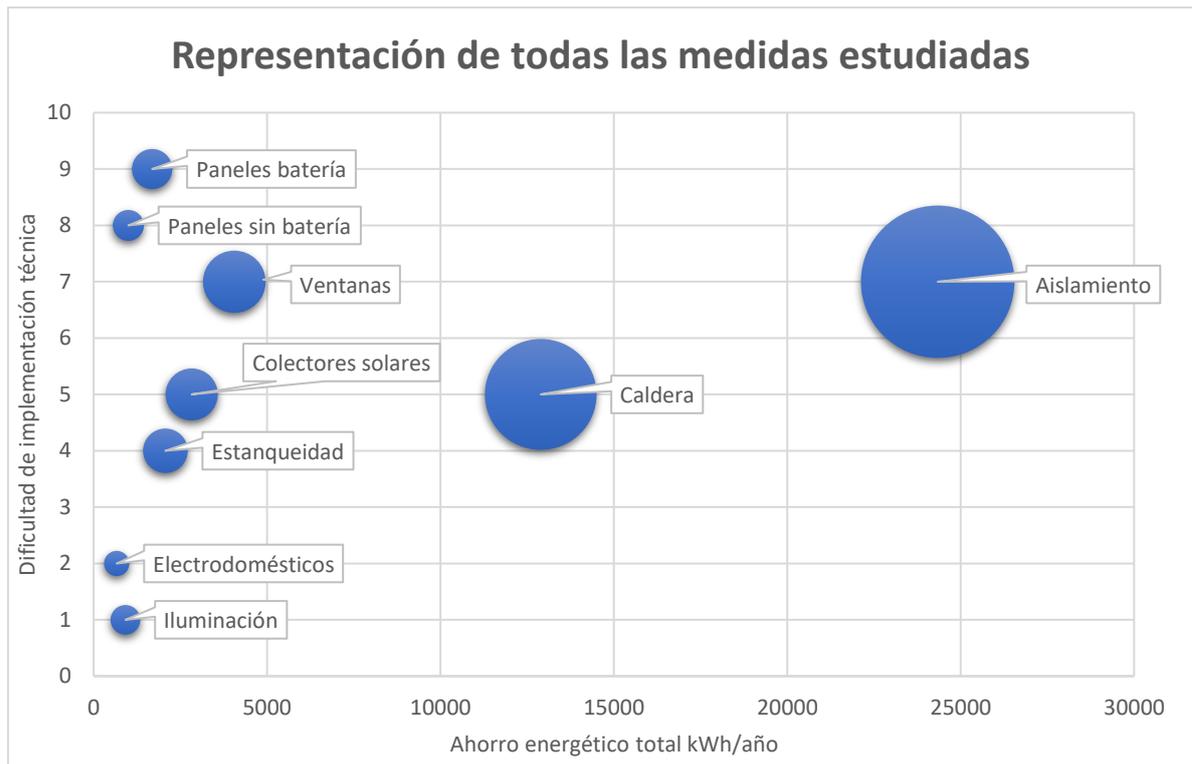


Figura 23. Representación a dos ejes de la dificultad de implementación y del ahorro energético total de cada medida.

Como puede observarse en la figura 23. El ahorro energético total que proporciona la mejora del aislamiento es mucho mayor al ahorro que proporcionan el resto de las medidas. El ahorro energético obtenido por las medidas eléctricas es muy parecido, siendo la instalación de paneles solares con baterías la que proporciona un ahorro mayor. La complejidad de implementación de las medidas aumenta si es necesario operarios para la instalación de esta medida o si es necesaria alguna máquina específica para llevarla a cabo como en el caso del aislamiento de fachadas. Las medidas más sencillas de implementar, por debajo del nivel 5, pueden ser realizadas prácticamente sin problemas por el dueño de la vivienda.

4. Análisis económico-financiero de las alternativas

En este apartado se estudiará la viabilidad económica de las diferentes medidas de ahorro y eficiencia energética. Para determinar esta viabilidad económica se hará un análisis del periodo de retorno de las inversiones, así como de su valor actual neto en diez años.

Después se analizará el marco de financiación y de incentivos a la eficiencia energética en España y en la unión europea, ya que puede haber ayudas a las que acogerse. Seguidamente se realizará un estudio de como financiar las medidas y por último se hará un modelo financiero escogiendo según el método del WACC la forma de financiación óptima.

4.1. Introducción

Un análisis económico-financiero de un determinado proyecto consiste en evaluar la situación económica-financiera actual de la medida y proyectar su futuro. Así se podrá predecir su evolución futura y se podrá tomar decisiones acerca de su viabilidad con menor incertidumbre.

En la siguiente sección se utilizará el concepto del Valor Actual Neto (VAN) y periodo de retorno o “payback period” para determinar si cada una de las medidas escogidas previamente son viables económicamente hablando.

A continuación, se explicará brevemente ambos conceptos económicos. El VAN es un criterio económico que se utiliza para valorar distintas opciones de inversión, ya que calculando el VAN se puede determinar la rentabilidad y beneficios de una medida.

La fórmula para calcular el VAN es la siguiente:

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

- Donde F_t son los flujos de dinero en cada periodo t .
- I_0 es la inversión de compra inicial.
- n es el número de años o periodos de tiempo a estudiar.
- K es el tipo de interés escogido.

Una vez calculado el VAN se podrá decidir si la inversión es efectuable y se podrá comparar con otras inversiones para ver cuál es más rentable. Si el valor del VAN es cero el proyecto no generará ni beneficios ni pérdidas. Si el VAN es mayor que cero el proyecto generará beneficios, y, por último, si el VAN es menor que cero, el proyecto generará pérdidas, por lo que debería ser rechazado.

El periodo de retorno o “payback period” es un criterio de valoración de inversiones que permite obtener el momento exacto en el tiempo donde el proyecto empezará a ser rentable, en otras palabras, el momento en el que se empieza a ganar dinero.

La fórmula para calcular el periodo de retorno es la siguiente:

$$\text{Payback} = a + \frac{I_0 - b}{F_t}$$

- a es el periodo inmediatamente anterior hasta recuperar el desembolso inicial.
- I_0 es la inversión inicial del proyecto.
- b es la suma de los flujos hasta el final del periodo “a”.
- F_t es el valor del flujo de caja el año en que se recupera la inversión.

El tipo de interés escogido para los cálculos será del 4% pues es un valor propio en los proyectos de eficiencia energética según el Instituto de Crédito Oficial (ICO).

Se utilizarán estas herramientas económicas para en el siguiente apartado determinar los VAN, periodos de retorno y ahorros económicos asociados a cada una de las medidas de ahorro y eficiencia energética elegidas.

4.2. Cálculo de ahorros y payback

En esta sección se estimarán las inversiones iniciales para acometer cada reforma por separado, después se calcularán los ahorros económicos debido al aumento de la eficiencia energética y se aplicarán las fórmulas ya mencionadas a cada una de las medidas. Así se estudiará la rentabilidad y el periodo de retorno de cada medida.

El orden de estudio será el mismo que en la sección 3 del proyecto.

4.2.1 Análisis económico-financiero de la Iluminación.

La medida de mejora de la eficiencia energética de la iluminación escogida consistía en sustituir las bombillas actuales de la vivienda por 30 bombillas de tipo LED. El precio de estas 30 bombillas, es decir, la inversión inicial es de unos 180 €, con un precio medio de este tipo de bombilla en el mercado de 5,95 €/ud.

Los ahorros energéticos obtenidos con esta instalación lumínica son de 915,84 kWh anuales, teniendo un consumo de 388,80 kWh anuales para iluminar la vivienda. Lo que haría que el consumo anual de electricidad pasase de ser 4198,28 kWh anuales a ser 3282,44 kWh anuales, con un respectivo cambio en la factura eléctrica, que pasará de costar 1027,07 € a costar 869,82€. A continuación, se pueden ver los cambios en la factura de electricidad, a la izquierda la factura sin las medidas y a la derecha la hipotética nueva factura.

Consumo:	$4198,28 \text{ kWh} \times 0,1350 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 566,76 \text{ €}$	$3282 \text{ kWh} \times 0,1350 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 443,07 \text{ €}$
Potencia:	$5,5 \text{ kW} \times 0,1151 \frac{\text{€}}{\text{kWh Día}} \times 365 \text{ días} = 231,06 \text{ €}$	$5,5 \text{ kW} \times 0,1151 \frac{\text{€}}{\text{kWh Día}} \times 365 \text{ días} = 231,06 \text{ €}$
Alquiler equipo:	$0,02663 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 9,72 \text{ €}$	$0,02663 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 9,72 \text{ €}$
Impuesto electricidad:	$0,051126 \times 807,54 \text{ €} = 41,28 \text{ €}$	$0,051126 \times 683,85 \text{ €} = 34,96 \text{ €}$
Base Imponible:	848,82 €	718,81 €
IVA (21%)	$0,21 \times 848,82 \text{ €} = 178,25 \text{ €}$	$0,21 \times 718,81 \text{ €} = 150,95 \text{ €}$
Total a pagar:	1027,07 €	869,82 €

El ahorro en la factura eléctrica anual es de 157,25 € lo que hace que el periodo de retorno de esta inversión se sitúe más allá de un año, exactamente en:

$$PB = 1 + \frac{180 - 151,20}{151,20} = 1,19 \text{ años}$$

La medida de mejora de eficiencia energética de la iluminación será rentable a partir de 1,19 años, o lo que es lo mismo, un año y 70 días. Este es un periodo de retorno muy bajo, por lo que es un verdadero acierto económicamente hablando acometer esta reforma.

A continuación, se calculará el VAN para los próximos 10 años.

$$\begin{aligned}VAN &= -180 + \frac{157,25}{(1 + 0,04)} + \frac{157,25}{(1 + 0,04)^2} + \dots + \frac{157,25}{(1 + 0,04)^9} + \frac{157,25}{(1 + 0,04)^{10}} = \\ &= 1095,44 \text{ €}\end{aligned}$$

Se sabía que acometer esta medida iba a ser rentable siempre y cuando se mantuviese por más de un año y 70 días, sin embargo, ahora se sabe que, en un periodo de 10 años, la mejora de la iluminación generará muchos beneficios, es más, las bombillas LED tienen una vida útil mayor a 10 años por lo que su beneficio económico puede llegar a ser aún mayor que el calculado.

4.2.2 Análisis económico-financiero del cambio de electrodomésticos.

Si se instalasen en la vivienda los mejores electrodomésticos de calificación A+++ mostrados en la Tabla 17. Se obtendría un ahorro en energía eléctrica anual de 664 kWh. Este ahorro sería gracias al cambio de frigorífico, congelador, lavadora y fregaplatos, que según el catalogo de electrodomésticos de Balay tendrá un coste aproximado de 1675€. Siendo el coste individual aproximado de cada electrodoméstico el siguiente:

- Frigorífico y congelador: 750 €
- Lavadora: 325 €
- Lavavajillas: 600 €

El cambio de los electrodomésticos actuales por otros con una mejor calificación energética tiene un coste inicial mucho mayor que el cambio de bombillas y el ahorro energético es algo menor, por lo que se intuye que el periodo de retorno de esta inversión va a ser mayor que el de la mejora en la iluminación.

El cambio en la factura y, por lo tanto, el ahorro anual en energía eléctrica debido a la adopción de la medida es el siguiente:

Consumo:	$4198,28 \text{ kWh} \times 0,1350 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 566,76 \text{ €}$	$3532,28 \text{ kWh} \times 0,1350 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 477,12 \text{ €}$
Potencia:	$5,5 \text{ kW} \times 0,1151 \frac{\text{€}}{\text{kWh Día}} \times 365 \text{ días} = 231,06 \text{ €}$	$5,5 \text{ kW} \times 0,1151 \frac{\text{€}}{\text{kWh Día}} \times 365 \text{ días} = 231,06 \text{ €}$
Alquiler equipo:	$0,02663 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 9,72 \text{ €}$	$0,02663 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 9,72 \text{ €}$
Impuesto electricidad:	$0,051126 \times 807,54 \text{ €} = 41,28 \text{ €}$	$0,051126 \times 717,90 \text{ €} = 36,70 \text{ €}$
Base Imponible:	848,82 €	754,60 €
IVA (21%)	$0,21 \times 848,82 \text{ €} = 178,25 \text{ €}$	$0,21 \times 718,81 \text{ €} = 158,46 \text{ €}$
Total a pagar:	1027,07 €	913,06 €

Lo que supone un ahorro económico de 114,01 € anuales.

A continuación, se calcula el VAN y el periodo de retorno de la inversión obteniendo los siguientes resultados:

$$\begin{aligned} VAN &= -1675 + \frac{114,01}{(1 + 0,04)} + \frac{114,01}{(1 + 0,04)^2} + \dots + \frac{114,01}{(1 + 0,04)^9} + \frac{114,01}{(1 + 0,04)^{10}} = \\ &= -750,28 \text{ €} \end{aligned}$$

El VAN a diez años es negativo, apenas se habrá recuperado la mitad de la inversión inicial en ese tiempo, por lo que parece una inversión que no merece la pena económicamente hablando.

El periodo de retorno será cuando el VAN sea cero, es decir, el momento exacto en el que la inversión empieza a ser rentable, y esto ocurre en 22,58 años, o lo que es lo mismo, en 22 años y 7 meses.

$$PB = 22 + \frac{1675 - 1647,10}{48,10} = 22,58 \text{ años}$$

Es un periodo de retorno demasiado largo, por encima de la vida útil de los electrodomésticos por lo que no merece la pena acometer esta medida de eficiencia energética.

4.2.3 Análisis económico-financiero de la mejora de estanqueidad de la vivienda:

A continuación, comienza el estudio económico de las medidas de tipo térmico de “demand-side”, siendo la mejora de la estanqueidad para reducir las pérdidas por infiltraciones de aire la primera medida a evaluar.

Como se vio en el apartado 3.2.2.1 se pueden obtener unos ahorros en la demanda térmica de la vivienda que rondan los 2067,36 kWh anuales con medidas de mejora de la estanqueidad, que en este caso consisten en el aislamiento y sellado de los cajones de persianas, en la instalación de burletes bajo las puertas y en el sellado con silicona de grietas y juntas en ventanas. Estos ahorros en la demanda térmica supondrán un decremento del uso de la calefacción que pasaría de suponer un consumo de 47052,6 kWh/año a ser de 44985,24 kWh/año. Esto supondrá lógicamente, un cambio en la factura de gas con su respectivo ahorro económico.

El cambio en la factura de gas es el siguiente: a la izquierda se puede ver la factura de gas actual, mientras que a la derecha la nueva factura con estas medidas energéticas ya adoptadas.

Consumo:	$47052,6 \text{ kWh} \times 0,04746 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 2233,11 \text{ €}$	$44985,24 \text{ kWh} \times 0,04746 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 2135 \text{ €}$
Disponibilidad:	$0,277479 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 101,27 \text{ €}$	$0,277479 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 101,27 \text{ €}$
Alquiler equipo:	$0,04109 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 14,99 \text{ €}$	$0,04109 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 14,99 \text{ €}$
Impuesto HC:	$47052,6 \text{ kWh} \times 0,00234 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 110,10 \text{ €}$	$44985,24 \text{ kWh} \times 0,00234 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 105,26 \text{ €}$
Base Imponible:	2459,47 €	2356,52 €
IVA (21%)	$0,21 \times 2459,47 \text{ €} = 516,48 \text{ €}$	$0,21 \times 2356,52 \text{ €} = 494,87 \text{ €}$
Total a pagar:	2975,95 €	2851,39 €

El ahorro económico de esta medida es de 124,56 € al año.

La inversión inicial para acometer estas reformas según CYPE Ingenieros es la siguiente:

- El precio de aislar y sellar un cajón de persiana está en torno a 40,72 € por unidad, al haber en la casa 6 persianas esto hace un coste de 244,32 €.
- El precio del sellado de junta entre la ventana y la carpintería cuesta 1,92 € por metro de sellado. Se ha medido el perímetro de las ventanas obteniendo una

longitud de 16,17 m, lo que significa que el precio total del sellado con silicona será de 31,05 €.

- El burlete escogido para sellar la puerta principal de la casa es un burlete bajo puerta de PVC AXTON que tiene un precio en Leroy Merlin de 7,95 €.

El coste inicial de la inversión será de 283,32 €, mientras que el ahorro que proporciona es de 124,56 € al año. El cálculo del VAN y del periodo de retorno ha arrojado los siguientes resultados:

El periodo de retorno se sitúa en algo más de dos años, concretamente en 2,42 años, o lo que es lo mismo, en 2 años y 5 meses.

$$PB = 2 + \frac{283,32 - 234,93}{115,16} = 2,42 \text{ años}$$

La vida útil de los burletes está en torno a 3 años, sin embargo, el sellado de los cajones de persianas y de las ventanas tiene una vida útil mayor por lo es una inversión rentable y que merece la pena llevar a cabo.

El VAN para 10 años tiene un valor de:

$$\begin{aligned} VAN &= -283,32 + \frac{124,56}{(1 + 0,04)} + \frac{124,56}{(1 + 0,04)^2} + \dots + \frac{124,56}{(1 + 0,04)^9} + \frac{124,56}{(1 + 0,04)^{10}} = \\ &= 726,97 \text{ €} \end{aligned}$$

El valor del VAN indica que la inversión será rentable y que merece la pena acometer las medidas previamente mencionadas para mejorar la estanqueidad de la vivienda y reducir las infiltraciones de aire.

4.2.4 Análisis económico-financiero de la mejora del aislamiento térmico de la vivienda.

A continuación, se analizará el enfoque económico de la mejora del aislamiento térmico de la vivienda, se calcularán los ahorros económicos asociados a esta medida y si es económicamente viable llevarla a cabo.

El ahorro energético que se podría llegar a obtener si se acometen estas reformas correctamente es enorme, por encima de 20.000 kWh/anuales, y alrededor de 25.000 kWh/anuales. Esto supondrá un considerable ahorro económico anual como puede verse en el siguiente análisis de la factura:

A la izquierda puede verse la factura de gas anual antes de acometer reforma alguna, y a la derecha la nueva factura con las reformas de mejora del aislamiento.

Consumo:	$47052,6 \text{ kWh} \times 0,04746 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 2233,11 \text{ €}$	$22052,6 \text{ kWh} \times 0,04746 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 1046,61 \text{ €}$
Disponibilidad:	$0,277479 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 101,27 \text{ €}$	$0,277479 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 101,27 \text{ €}$
Alquiler equipo:	$0,04109 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 14,99 \text{ €}$	$0,04109 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 14,99 \text{ €}$
Impuesto HC:	$47052,6 \text{ kWh} \times 0,00234 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 110,10 \text{ €}$	$22052,6 \text{ kWh} \times 0,00234 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 51,60 \text{ €}$
Base Imponible:	2459,47 €	1214,47 €
IVA (21%)	$0,21 \times 2459,47 \text{ €} = 516,48 \text{ €}$	$0,21 \times 1214,47 \text{ €} = 255,04 \text{ €}$
Total a pagar:	2975,95 €	1469,51 €

El ahorro económico anual es de 1506,44 €, la factura anual de gas se ha reducido prácticamente a la mitad.

En cuanto a la superficie sobre la que se van a acometer estas reformas, se sabe que los muros a aislar son los muros exteriores de la vivienda y que tienen una superficie aproximada de 70,24 m² como bien puede verse en la Tabla 1. El suelo por aislar será solo el suelo de la primera planta, pues es el que tiene debajo el garaje y este tiene una superficie habitable de 40 m². Por último, la cubierta tiene una superficie de 45 m².

Una vez conocidas las superficies a aislar se estima el precio de cada proceso de aislamiento:

- Según CYPE Ingenieros, el coste medio de un aislamiento de fachadas con Neopor[®] (producto que se va a usar pues ya se vio en la sección 3.2.2.2 que era

de los mejores del mercado) es de 16,50 € por m². Lo que hace el coste de aislar la fachada sea de 1158,96 €.

- El precio de un insuflado de cubierta es algo más caro y ronda los 25 € por m², lo que significaría que aislar la cubierta costaría aproximadamente 1125 €.
- Finalmente, el aislamiento del suelo es más barato, estando alrededor de 13 € por m², lo que implica un coste de 520 € para aislar el suelo de la primera planta de la vivienda.

El coste total de aislar la vivienda es de 2803,96 € y proporciona un ahorro anual de 1506,44 €, por lo que el periodo de retorno se situará en algo más de un año, concretamente en 1,93 años, que son prácticamente 2 años

$$PB = 1 + \frac{2803,96 - 1448,50}{1448,50} = 1,93 \text{ años}$$

La inversión para aislar térmicamente la casa, aunque cara, se recupera en tan solo dos años, dando un gran beneficio económico y de ahorro energético a la larga, como bien indica el siguiente VAN para 10 años:

$$VAN = -2803,96 + \frac{1506,44}{(1 + 0,04)} + \frac{1506,44}{(1 + 0,04)^2} + \dots + \frac{1506,44}{(1 + 0,04)^{10}} = 9.415,52 \text{ €}$$

Esta es una medida de ahorro y eficiencia energética que merece mucho la pena realizar, no solo por la gran reducción en el consumo energético de la vivienda, si no porque en tan solo dos años ya otorga beneficios económicos.

4.2.5 Análisis económico-financiero de la mejora de ventanas.

En este apartado se analizará el impacto económico de acometer las medidas de ahorro y eficiencia energética en las ventanas de la vivienda. Como ya se explico en el apartado 3.2.2.3, las MAEs de las ventanas pasan por disminuir la ganancia solar y reducir el consumo en refrigeración, y por aumentar el acristalamiento a triple acristalamiento y reducir las pérdidas por convección. En esta sección se estudiará la viabilidad de cada una de las dos medidas de manera separada.

- Según la empresa “Saint Gobain” y CYPE Ingenieros, el precio de una ventana de triple acristalamiento del mínimo espesor posible (4mm) es de 106,19 € por m², lo que implicaría un coste para la vivienda, que cuenta con 16,35 m² de ventanas (Tabla 2), de 1736,20 €. Este precio no incluye el marco de las ventanas, que cuesta alrededor de 150 € por ventana, haciendo un coste total de 3236,20 €.

El ahorro energético alcanzable debido a la reducción de las perdidas por convección en las ventanas está en torno a 3000kWh anuales, que provocarían el siguiente cambio en la factura y consiguiente ahorro económico anual:

Consumo:	$47052,6 kWh \times 0,04746 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 2233,11 \text{ €}$	$44056,6 kWh \times 0,04746 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 2090,73 \text{ €}$
Disponibilidad:	$0,277479 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 101,27 \text{ €}$	$0,277479 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 101,27 \text{ €}$
Alquiler equipo:	$0,04109 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 14,99 \text{ €}$	$0,04109 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 14,99 \text{ €}$
Impuesto HC:	$47052,6 kWh \times 0,00234 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 110,10 \text{ €}$	$44056,6 kWh \times 0,00234 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 103,09 \text{ €}$
Base Imponible:	2459,47 €	2310,08 €
IVA (21%)	$0,21 \times 2459,47 \text{ €} = 516,48 \text{ €}$	$0,21 \times 2310,08 \text{ €} = 485,11 \text{ €}$
Total a pagar:	2975,95 €	2795,19 €

El ahorro económico obtenido con esta medida es de 180,75 € al año, por lo que el periodo de retorno de la inversión se sitúa en:

$$PB = 32 + \frac{3236,20 - 3230,53}{51,52} = 32,11 \text{ años}$$

El periodo de retorno será de 32 años y un mes y medio, un periodo demasiado largo y que hace inviable el proyecto. En cuanto al VAN a 10 años, este es de:

$$VAN = -3236,20 + \frac{180,75}{(1 + 0,04)} + \frac{180,75}{(1 + 0,04)^2} + \dots + \frac{180,75}{(1 + 0,04)^{10}} = -1770,16 \text{ €}$$

Este VAN tan negativo hace económicamente inviable esta inversión.

Por otro lado, la reducción de las ganancias solares pasa por reducir el coeficiente de transmitividad de las ventanas usando laminas, tintes o películas de vinilo.

- El coste de esta operación es relativamente barata comparada con el cambio de cristales y su precio se sitúa alrededor de 20 € por ventana. Haciendo un coste aproximado de 200 € para toda la vivienda.

Esta medida busca reducir el consumo eléctrico del aire acondicionado, reduciendo la demanda térmica de refrigeración de la vivienda en verano. La ganancia solar se reduce en unos 120 kWh anuales, reduciendo de la misma manera la demanda térmica de refrigeración en este valor, en cuanto al consumo eléctrico, este será 3,3 veces menor que la demanda térmica debido al EER del equipo. Por lo que el consumo eléctrico del aire acondicionado se reduce en 36,36 kWh anuales. Esta reducción provoca el siguiente cambio en la factura eléctrica.

Consumo:	$4198,28 \text{ kWh} \times 0,1350 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 566,76 \text{ €}$	$4161,92 \text{ kWh} \times 0,1350 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 561,85 \text{ €}$
Potencia:	$5,5 \text{ kW} \times 0,1151 \frac{\text{€}}{\text{kWh Día}} \times 365 \text{ días} = 231,06 \text{ €}$	$5,5 \text{ kW} \times 0,1151 \frac{\text{€}}{\text{kWh Día}} \times 365 \text{ días} = 231,06 \text{ €}$
Alquiler equipo:	$0,02663 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 9,72 \text{ €}$	$0,02663 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 9,72 \text{ €}$
Impuesto electricidad:	$0,051126 \times 807,54 \text{ €} = 41,28 \text{ €}$	$0,051126 \times 802,63 \text{ €} = 41,03 \text{ €}$
Base Imponible:	848,82 €	843,66 €
IVA (21%)	$0,21 \times 848,82 \text{ €} = 178,25 \text{ €}$	$0,21 \times 843,66 \text{ €} = 177,17 \text{ €}$
Total a pagar:	1027,07 €	1020,83 €

El ahorro económico obtenido con esta medida es prácticamente imperceptible, y es de 6,24 € al año. Este ahorro haría que el periodo de retorno se situase más allá de 32 años sin ni siquiera tener en cuenta la tasa de descuento del 4%, por lo que no merece la pena

quiera estudiar el VAN y el periodo de retorno descontado de esta medida ya que jamás será retornado ni será rentable a una tasa de descuento del 4%.

Se puede concluir que las medidas de ahorro y eficiencia energética en las ventanas pueden reducir el consumo energético de la vivienda, pero no son económicamente viables, o al menos en estas condiciones.

4.2.6 Análisis económico-financiero de la instalación de paneles fotovoltaicos.

En esta sección comienzan las medidas de la parte de “supply-side”, siendo la primera medida de estudio la viabilidad económica de la instalación de paneles fotovoltaicos, con y sin, equipo de almacenamiento.

Los ahorros de energía eléctrica obtenidos por la instalación de paneles fotovoltaicos son, como bien se puede observar en la tabla 25 de la sección 3.3.1.1, 1000 kWh al año sin baterías y 1686 kWh/anuales si estos paneles se combinan con baterías.

Estos ahorros energéticos reducen el consumo eléctrico de la vivienda, por lo que reducen el coste de la factura eléctrica de la siguiente forma:

Consumo:	$4198,28 \text{ kWh} \times 0,1350 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 566,76 \text{ €}$	$2512,28 \text{ kWh} \times 0,1350 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 339,15 \text{ €}$
Potencia:	$5,5 \text{ kW} \times 0,1151 \frac{\text{€}}{\text{kWh Día}} \times 365 \text{ días} = 231,06 \text{ €}$	$5,5 \text{ kW} \times 0,1151 \frac{\text{€}}{\text{kWh Día}} \times 365 \text{ días} = 231,06 \text{ €}$
Alquiler equipo:	$0,02663 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 9,72 \text{ €}$	$0,02663 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 9,72 \text{ €}$
Impuesto electricidad:	$0,051126 \times 807,54 \text{ €} = 41,28 \text{ €}$	$0,051126 \times 579,93 \text{ €} = 29,65 \text{ €}$
Base Imponible:	848,82 €	609,58 €
IVA (21%)	$0,21 \times 848,82 \text{ €} = 178,25 \text{ €}$	$0,21 \times 609,58 \text{ €} = 128,01 \text{ €}$
Total a pagar:	1027,07 €	737,59 €

El ahorro económico si se usan baterías y se ahorran 1686 kWh/anuales es de 289,47 € al año. Si se usan paneles sin el apoyo de baterías, habrá un ahorro económico de 171,7 €.

Consumo:	$4198,28 \text{ kWh} \times 0,1350 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 566,76 \text{ €}$	$3198,28 \text{ kWh} \times 0,1350 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 431,76 \text{ €}$
Potencia:	$5,5 \text{ kW} \times 0,1151 \frac{\text{€}}{\text{kWh Día}} \times 365 \text{ días} = 231,06 \text{ €}$	$5,5 \text{ kW} \times 0,1151 \frac{\text{€}}{\text{kWh Día}} \times 365 \text{ días} = 231,06 \text{ €}$
Alquiler equipo:	$0,02663 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 9,72 \text{ €}$	$0,02663 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 9,72 \text{ €}$
Impuesto electricidad:	$0,051126 \times 807,54 \text{ €} = 41,28 \text{ €}$	$0,051126 \times 672,54 \text{ €} = 34,38 \text{ €}$
Base Imponible:	848,82 €	706,92 €
IVA (21%)	$0,21 \times 848,82 \text{ €} = 178,25 \text{ €}$	$0,21 \times 706,92 \text{ €} = 148,45 \text{ €}$
Total a pagar:	1027,07 €	855,37 €

El coste de estas instalaciones es el siguiente:

- El equipo fotovoltaico que se va a instalar consta de tres placas de 300Wp cada una y de un micro inversor MASTERVOLT, modelo SOLADIN 1000 WEB. Según la empresa Energética Futura el coste de este equipo es de 1714,27 €, que acabará siendo alrededor de 1900 € debido a los operarios de instalación.

En cuanto a las baterías que se usarán habrá que definir su voltaje, su vida útil y su precio. El voltaje apropiado para una instalación menor a 1500W es de 12V, en cuanto a la vida útil podemos encontrar baterías AGM con una vida útil aproximada de 5 años, baterías plomo-ácido, que tienen una vida útil de 7 años e incluso baterías plomo-ácido tubular que pueden funcionar hasta 15 años. Por último, se pueden encontrar baterías de gel cuya ventaja es que no necesitan mantenimiento y tienen una vida útil muy larga.

- El precio de estas baterías según la empresa AutoSolar es de 146,05 € para la batería AGM, 188,86 € para la batería de gel y 134,83 € para la batería de plomo-ácido. Se escogerá la batería de gel pues es la única que no necesita mantenimiento. Se tomará una vida útil de 2000 ciclos que serán aproximadamente 7 años.

La siguiente tabla recoge el coste de inversión inicial de cada opción, así como su ahorro económico anual.

Opción	Coste inicial [€]	Ahorro energético [kWh/año]	Ahorro económico [€/año]
Placas	1900	1686	171,70
Placas + Bat.	2088	1000	289,47

Tabla 31. Ahorros asociados al uso de paneles fotovoltaicos.

A continuación, se calculará el VAN y el periodo de retorno de ambas opciones.

La primera opción, sin baterías, tiene un periodo de retorno de casi 15 años, y un VAN para 10 años negativo, de -507,36 €. Por lo que no parece que vaya a ser una inversión económicamente viable.

$$VAN = -1900 + \frac{171,70}{(1 + 0,04)} + \frac{171,70}{(1 + 0,04)^2} + \dots + \frac{171,70}{(1 + 0,04)^{10}} = -507,36 \text{ €}$$

La segunda opción, la que contempla la instalación de baterías junto con las placas fotovoltaicas, tiene un periodo de retorno de 8,68 años.

$$PB = 8 + \frac{2088 - 1949,70}{203,38} = 8,68 \text{ años}$$

El VAN a 10 años es de 259,86 €, por lo que es una opción económicamente viable.

$$VAN = -2088 + \frac{289,47}{(1 + 0,04)} + \frac{289,47}{(1 + 0,04)^2} + \dots + \frac{289,47}{(1 + 0,04)^{10}} = 259,86 \text{ €}$$

Los resultados obtenidos muestran que la opción de instalar placas fotovoltaicas es una opción rentable y viable siempre y cuando se haga con el apoyo de un equipo de almacenamiento ya que así se reduce su periodo de retorno en casi la mitad. Obteniendo beneficios económicos a partir del octavo año.

4.2.7 Análisis económico-financiero del cambio de caldera.

A continuación, se analizará la viabilidad económica de la mejora o cambio de la caldera de gas natural de la vivienda. Las MAEs que se contemplan en este apartado, consisten, bien en mejorar el rendimiento de la caldera, instalando una caldera de condensación, pero manteniendo como combustible el gas natural, o sustituir el equipo por una caldera de condensación de biomasa.

Ambas opciones suponen instalar una nueva caldera de condensación con un rendimiento prácticamente del 100%, como se vio en las tablas 26 y 27. Esto implica que sea cual sea la demanda térmica de la vivienda, el consumo final de energía será la misma usando cualquiera de las dos calderas de condensación, por lo tanto, el siguiente análisis se centrará en estudiar que combustible es más rentable, si el gas natural o la biomasa. Para una vez decidido cual es más rentable, analizar si sustituir la caldera actual es económicamente viable.

Actualmente, el precio del gas natural está próximo a 5 céntimos por kWh, que, junto con el IVA, el impuesto de hidrocarburo y los términos fijos de la factura hacen que el precio del kWh sea de algo más de 6 céntimos, exactamente 6,32 c€/kWh. Además, el precio del gas natural lleva unos años de trayectoria ascendente, y está sujeto a mercados internacionales muy volátiles.

Por otro lado, según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), el precio de los biocombustibles sólidos mantiene una trayectoria estable y sus precios son de 2,48 c€/kWh para la astilla, 5,49 c€/kWh para los pellets y 4,03 c€/kWh para el hueso de aceituna. Asimismo, el mercado de biocombustibles es un mercado nacional y poco volátil.

- El precio de una caldera de gas natural de condensación de 28 kW cuesta aproximadamente 1900 € incluyendo IVA e instalación, según la empresa BAXI. Según el plan renove de calderas de la comunidad de Madrid del 2018 hay una ayuda de 200 € para la instalación y cambio de calderas de condensación, por lo que el precio final de esta instalación será de 1700 €.
- Según la empresa Domusa, su caldera de pellet de condensación de 25,3 kW cuesta 3295 €, incluyendo IVA, instalación y depósito de reserva. También existen ayudas a la instalación de calderas de biomasa en la comunidad de Madrid

para sustituir calderas de combustibles fósiles, en este caso en concreto, el precio final de la instalación será de 2553,63 € gracias a esta subvención.

Se estudiarán dos hipótesis de demanda térmica de la vivienda, la primera con la demanda térmica actual y la segunda con la demanda térmica reducida después de la mejora del aislamiento térmico ya estudiado en este proyecto. La siguiente tabla recoge ambas hipótesis de demanda térmica de la caldera.

Hipótesis	Demanda térmica [kWh/año]
Demanda actual	34161,4
Demanda reducida	9161,4

Tabla 32. Distintas demandas térmicas.

La siguiente tabla recoge los costes anuales y ahorros económicos de cada opción de caldera:

Caldera	Coste de inversión [€]	Coste combustible [c€/kWh]	Hipótesis	Coste combustible anual [€/año]
Gas natural	1700	6,32	Demanda actual	2159
			Demanda reducida	579
Pellets	2553,63	5,49	Demanda actual	1875,46
			Demanda reducida	502,96

Tabla 33. Coste anual de combustible según la demanda y la caldera.

La caldera de biocombustible proporciona un ahorro de 283,54 € al año para la demanda actual y de 76,04 € para la demanda reducida respecto a la caldera de gas natural. Estos ahorros económicos provocan que la caldera de Pellets resulte económicamente rentable (teniendo en cuenta una tasa de descuento del 4%) comparada con la caldera de gas natural, en el tercer año. Ya que tiene un periodo de retorno de 3,27 años. En el caso de la demanda reducida la caldera de biocombustible tendrá un periodo de retorno de 15,18 años, lo que hace de ella una inversión menos atractiva.

En la siguiente tabla puede observarse la comparativa de las dos posibles calderas de condensación con la caldera actualmente instalada.

Caldera	Coste de inversión [€]	Coste combustible [c€/kWh]	Hipótesis	Coste combustible anual [€/año]
Gas natural	1700	6,32	Demanda actual	2159
			Demanda reducida	579
Pellets	2553,63	5,49	Demanda actual	1875,46
			Demanda reducida	502,96
Actual	0	6,32	Demanda actual	2975,95
			Demanda reducida	803,05

Tabla 34. Comparativa del coste anual de las diferentes calderas.

Los ahorros anuales son los suficientes como para rentabilizar la opción de la caldera de biomasa en 2,48 años para la demanda actual y para rentabilizar la nueva caldera de gas natural en 2,21 años suponiendo la demanda actual. Si la demanda fuese la reducida estos periodos de retorno incrementarían hasta 10,5 años para la caldera de pellets y 9,20 para la caldera de gas natural de condensación.

Los resultados obtenidos muestran que sea cual sea la demanda cambiar la caldera por una caldera de condensación de mucho más rendimiento es económicamente factible. A la hora de escoger cual debe ser el combustible de esta nueva caldera de condensación, los resultados son algo más ajustados ya que dependen enormemente de la demanda térmica final de la vivienda. Parece que, para la demanda reducida, la caldera de gas natural de condensación es algo más rentable que la caldera de biomasa en los diez primeros años

4.2.8 Análisis económico-financiero de la instalación de colectores solares.

Finalmente, se estudiará la viabilidad económica de la instalación de colectores solares. Esta instalación producirá un ahorro de la demanda en ACS de 2826 kWh anuales, lo que reducirá el coste de la factura de gas natural de la siguiente forma:

Consumo:	$47052,6 \text{ kWh} \times 0,04746 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 2233,11 \text{ €}$	$44226,6 \text{ kWh} \times 0,04746 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 2098,99 \text{ €}$
Disponibilidad:	$0,277479 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 101,27 \text{ €}$	$0,277479 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 101,27 \text{ €}$
Alquiler equipo:	$0,04109 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 14,99 \text{ €}$	$0,04109 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 14,99 \text{ €}$
Impuesto HC:	$47052,6 \text{ kWh} \times 0,00234 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 110,10 \text{ €}$	$44226,6 \text{ kWh} \times 0,00234 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 103,49 \text{ €}$
Base Imponible:	2459,47 €	2318,74 €
IVA (21%)	$0,21 \times 2459,47 \text{ €} = 516,48 \text{ €}$	$0,21 \times 2310,08 \text{ €} = 486,93 \text{ €}$
Total a pagar:	2975,95 €	2805,67 €

El ahorro económico derivado de esta disminución del consumo energético es de 170,27 € al año.

- El coste de la instalación de colectores solares descrita en el apartado 3.3.2.3 necesarios en la vivienda es de 877,25 €. El producto es el Termosifón solar GEA 200 litros, vendido por la empresa Merkasol energías renovables. Este precio no incluye la instalación que rondará los 200 €. El precio final de la instalación será de 1077,25 €.

Estos datos económicos otorgan a esta inversión un periodo de retorno de 7 años y medio.

$$PB = 7 + \frac{1077,25 - 1020,31}{129,39} = 7,44 \text{ años}$$

En cuanto al VAN, este tiene un valor de 303,79 € a diez años. Lo que hace que esta inversión sea interesante y económicamente viable.

$$VAN = -1077,25 + \frac{170,27}{(1 + 0,04)} + \frac{170,27}{(1 + 0,04)^2} + \dots + \frac{170,27}{(1 + 0,04)^{10}} = 303,79 \text{ €}$$

4.3. Análisis de factibilidad económico de las alternativas y selección

Una vez realizado el estudio económico de cada medida donde se han obtenido los ahorros económicos, los costes de cada inversión, y los periodos de retorno y valores actuales netos de cada medida para diez años, se puede proceder a realizar el análisis de factibilidad económico y escoger que medidas es interesante y viable realizar en la vivienda.

La siguiente tabla recoge los ahorros económicos de cada medida, así como su periodo de retorno, su valor actual neto en 10 años y su coste inicial de inversión.

Medida	Coste inicial [€]	Ahorro económico [€/año]	Periodo de retorno [años]	VAN en 10 años [€]	Viabilidad económica
Iluminación	180	157,25	1,19	1095,44	Sí
Electrodomésticos	1675	114,01	22,58	-750,28	No
Sellado de aire	283,32	124,56	2,42	726,97	Sí
Aislamiento térmico	2803,96	1506,44	1,93	9415,52	Sí
Ventanas. Triple acristalamiento	3236,20	180,75	32,11	-1770,16	No
Ventanas. Tintado	200	6,24	-	-	No
Paneles solares sin baterías	1900	171,70	14,90	-507,36	No
Paneles solares con baterías	2088	289,47	8,68	259,86	Sí
Caldera cond. Demanda actual	1700	816,95	2,21	4926,20	Sí
Caldera cond. Demanda reducida	1700	224,5	9,20	120,90	Sí
Caldera Biomasa Demanda actual	2553,63	1100,49	2,48	6372,33	Sí
Caldera Biomasa Demanda reducida	2553,63	300,54	10,589	-115,98	No
Colectores solares	1077,25	170,27	7,44	303,79	Sí

Tabla 35. Análisis económico de las medidas técnicas de ahorro y eficiencia energética.

Como puede verse en la anterior tabla, aquellas medidas que tienen un VAN positivo para los primeros diez años se han considerado económicamente viables, y estas medidas son; la mejora de la iluminación, la mejora de estanqueidad de la vivienda, la mejora del aislamiento de la envolvente térmica, la instalación de paneles fotovoltaicos con el apoyo de baterías, la instalación de colectores solares, y finalmente el cambio de caldera. Como se vio en el apartado 4.2.7 es más interesante escoger una caldera de biocombustible por delante de una caldera de gas natural cuando la demanda anual sea grande, en el caso de una demanda térmica reducida la caldera de biocombustible tardará 11 años en salir rentable.

A continuación, se estudiará la viabilidad económica de aplicar conjuntamente todas las medidas que son económicamente rentables individualmente y se analizarán los aspectos económicos del proyecto global.

En cuanto a la demanda eléctrica, si se adoptan las medidas del cambio de iluminación y la instalación de paneles solares fotovoltaicos con baterías, se ahorrarán 1686,52 kWh/año por los paneles y 915,84 kWh/año por la iluminación. Haciendo un ahorro total de energía eléctrica de 2602,36 kWh/año. Este ahorro supondrá un decremento del coste de la factura eléctrica anual, con el consiguiente ahorro económico:

Consumo:	$4198,28 \text{ kWh} \times 0,1350 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 566,76 \text{ €}$	$1595,92 \text{ kWh} \times 0,1350 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 215,44 \text{ €}$
Potencia:	$5,5 \text{ kW} \times 0,1151 \frac{\text{€}}{\text{kWh Día}} \times 365 \text{ días} = 231,06 \text{ €}$	$5,5 \text{ kW} \times 0,1151 \frac{\text{€}}{\text{kWh Día}} \times 365 \text{ días} = 231,06 \text{ €}$
Alquiler equipo:	$0,02663 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 9,72 \text{ €}$	$0,02663 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 9,72 \text{ €}$
Impuesto electricidad:	$0,051126 \times 807,54 \text{ €} = 41,28 \text{ €}$	$0,051126 \times 579,93 \text{ €} = 11,01 \text{ €}$
Base Imponible:	848,82 €	467,23 €
IVA (21%)	$0,21 \times 848,82 \text{ €} = 178,25 \text{ €}$	$0,21 \times 467,23 \text{ €} = 98,11 \text{ €}$
Total a pagar:	1027,07 €	565,34 €

El precio final de la factura eléctrica será de 565,34 € anuales, ahorrando 461,72 € al año.

A continuación, se estudiará el cambio de la demanda y consumo de energía térmica al implementar el cambio de caldera, la mejora de la estanqueidad y de la envolvente térmica y la instalación de colectores solares en la vivienda.

A la hora de estudiar los ahorros energéticos obtenidos al aplicar varias medidas a la vez de reducción del consumo y de la demanda térmica habrá que tener en cuenta que los ahorros que se obtendrán serán menores que si se aplicasen estas medidas por sí solas, siendo el ahorro energético total algo menos a la suma aritmética de los ahorros energéticos de cada medida.

La demanda térmica de la vivienda, antes de acometer medida alguna, es de 34161,4 kWh/año, siendo 29450,4 kWh/año debido a la calefacción y 4711 kWh/año debido a la demanda de agua caliente sanitaria. La implementación de colectores solares reducirá la demanda de ACS en 2826 kWh/año, dejando la demanda de ACS en 1885 kWh anuales. En cuanto a la demanda de calefacción esta se verá reducida gracias a la adopción de las reformas de mejora de estanqueidad y de aislamiento, que provocan un ahorro energético de casi 20000 kWh al año, dejando la demanda térmica anual de calefacción en 9713,04 kWh. La nueva caldera de condensación tiene un rendimiento del 100% por lo que el consumo energético será igual a la demanda, y solo tendrá una implicación económica debido al precio de compra, instalación y del combustible, ya sea biocombustible o gas natural. La siguiente tabla muestra la demanda térmica final de la vivienda:

	Sin MAEs [kWh/año]	Con MAEs [kWh/año]
Demanda calefacción	29450,4	9713,04
Demanda ACS	4711	1885
Demanda Total	34161,4	11598,04
Consumo Total	47052,6	11598,04

Tabla 36. Cambio en la demanda debido a la adopción de las MAEs.

El ahorro económico debido a la reducción de la factura de gas natural será el siguiente:

Consumo:	$47052,6 \text{ kWh} \times 0,04746 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 2233,11 \text{ €}$	$11598,04 \text{ kWh} \times 0,04746 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 550,44 \text{ €}$
Disponibilidad:	$0,277479 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 101,27 \text{ €}$	$0,277479 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 101,27 \text{ €}$
Alquiler equipo:	$0,04109 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 14,99 \text{ €}$	$0,04109 \frac{\text{€}}{\text{Día}} \times 365 \text{ días} = 14,99 \text{ €}$
Impuesto HC:	$47052,6 \text{ kWh} \times 0,00234 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 110,10 \text{ €}$	$11598,04 \text{ kWh} \times 0,00234 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 27,14 \text{ €}$
Base Imponible:	2459,47 €	693,84 €
IVA (21%)	$0,21 \times 2459,47 \text{ €} = 516,48 \text{ €}$	$0,21 \times 693,84 \text{ €} = 145,70 \text{ €}$
Total a pagar:	2975,95 €	839,54 €

Si se instalase la caldera de condensación de gas natural, que como ya se vio, para la demanda reducida es más rentable que la caldera de biocombustible, se obtendría un ahorro de 2136,41 € al año.

El coste de inversión para acometer estas medidas de ahorro y eficiencia energética es el siguiente es el siguiente:

Tipo	MAE	Coste inicial [€]	Ahorro económico [€/año]
Eléctrico	Iluminación	180	461,72
	Paneles + baterías	2088	
Térmico	Estanqueidad	283,32	2136,41
	Aislamiento	2803,96	
	Caldera condensación	1700	
	Colectores solares	1077,25	
Total		8132,53	2598,13

Tabla 37. Coste y ahorro económico debido a la implementación de las medidas.

Como bien puede verse en la tabla, la adopción de estas medidas de eficiencia energética tiene un coste de 8132,53 € y proporciona un ahorro anual de 2598,13 €. A continuación, se realizará el cálculo del periodo de retorno y del VAN para estudiar la viabilidad económica del proyecto.

El periodo de retorno está casi en tres años y medios, concretamente:

$$PB = 3 + \frac{8132,53 - 7165,43}{2302,62} = 3,42 \text{ años}$$

El VAN a 10 años es de:

$$VAN = -8135,53 + \frac{2590,13}{(1 + 0,04)} + \frac{2590,13}{(1 + 0,04)^2} + \dots + \frac{2590,13}{(1 + 0,04)^{10}} = 12875,74 \text{ €}$$

Estos resultados indican que estas medidas son económicamente viables, son muy rentables y los beneficios económicos a la larga son enormes. La principal complicación de intentar adoptar un proyecto de eficiencia energética completo de estas características reside en el coste inicial total, que asciende por encima de 8000 €, aunque el proyecto vaya a salir rentable a partir del tercer o cuarto año, es una inversión inicial muy grande que no mucha gente quiere o puede realizar de golpe. Por eso en los siguientes apartados se analizará y estudiará el marco de financiación e incentivos a la eficiencia energética, así como las posibles opciones de financiación de las medidas que ayuden a sufragar un coste tan elevado.

4.4. Marco de Financiación e Incentivos a la Eficiencia Energética

Esta sección se centrará en analizar las diferentes ayudas e incentivos que tanto comunidades autónomas, como España e incluso la Unión Europea ofrecen para facilitar la financiación e incentivar proyectos de ahorro y eficiencia energética. El principal organismo español encargado de impulsar actuaciones y proyectos de eficiencia energética es el IDAE (instituto de diversificación y ahorro de la energía). El IDAE es la entidad encargada de financiar estos proyectos y desarrollar y gestionar los programas de ayudas públicas que afecten a este sector. El IDAE, además trabaja mano a mano con la Unión Europea en la gestión de los fondos FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional).

En este marco, el IDAE ha puesto en marcha programas de ayudas para proyectos de ahorro y eficiencia energética, bien bajo la forma de subvenciones o de préstamos a bajo interés, dirigidos a diferentes tipos de beneficiarios: Ayuntamientos y Entidades Locales, empresas (con especial atención a PYMES), y comunidades de propietarios. Este proyecto se centrará en analizar las ayudas al sector residencial.

Entre los programas de ayuda el más destacado es el programa PAREER II, este programa de ayudas para la rehabilitación energética de edificios existentes cuenta con 203,6 millones de euros para ayudar a mejorar la eficiencia energética del sector residencial en España.

Para ser objeto de las ayudas es necesario reducir las emisiones de CO₂ y del consumo final de energía mediante una o varias de las siguientes tipologías.

1. Mejora de la eficiencia energética de la envolvente térmica.
2. Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas y de iluminación.
3. Sustitución de energía convencional por energía solar térmica.
4. Sustitución de energía convencional por energía geotérmica.

Las actuaciones objeto de ayuda deben mejorar la calificación energética del edificio en al menos una letra con respecto a la calificación energética inicial. Aquellas calificaciones que alcancen el nivel “A” o “B” o que incrementen en más de dos niveles su calificación energética recibirán ayudas económicas adicionales.

Hay que tener en cuenta que las medidas de ahorro y eficiencia energética que aquí se han propuesto cumplen tres de las cuatro tipologías necesarias y además mejoran la calificación energética de la vivienda en más de dos niveles ya que la casa inicialmente tenía una calificación de “E”.

El plan PAREER II estipula que podrán ser beneficiarios del programa los propietarios de edificios existentes destinados a cualquier uso, siempre que tengan personalidad jurídica de naturaleza privada o pública, por lo que las viviendas particulares del sector residencial pueden ser beneficiarias de este plan.

Las ayudas económicas del plan pueden ser de dos tipos; ayuda dineraria sin contraprestación o en préstamos reembolsables. En caso de recibir la ayuda en forma de préstamo, los préstamos tendrán las siguientes condiciones:

- Tipo de interés: Euribor + 0,0 %.
- Plazo máximo de amortización de los préstamos: 12 años (incluido un período de carencia opcional de 1 año).
- Garantías: Aval bancario, contrato de seguro de caución, o depósito en efectivo a favor del IDAE en la Caja General de Depósitos del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, por importe del 20% de la cuantía del préstamo.

La siguiente tabla recoge la cuantía de la ayuda dineraria sin contraprestación, así como la cantidad máxima del préstamo.

Tipología de actuación.	Cuantía máxima entrega dineraria		Cuantía máximo préstamo reembolsable
	Ayuda Base	Ayuda adicional	
Tipo 1.	30%	Cambiará en función del uso del edificio y del nivel de calificación energética final obtenido.	60%
Tipo 2.	20%		70%
Tipo 3.	30%		60%
Tipo 4.	30%		60%

Tabla 38. Cuantía de las ayudas del plan PAREER II

El plan PAREER II busca incentivar los proyectos de eficiencia energética como el desarrollado en este proyecto, que quizás es algo caro para realizarlo por un particular,

sin embargo, con una ayuda del 30% o incluso con un préstamo del 70% del importe total sin interés el proyecto se vuelve aún más atractivo.

Por otro lado, y con ayudas más pequeñas y específicas se encuentra el plan Renove de la comunidad de Madrid, que proporciona ayudas para el cambio y mejora de ventanas, calderas y fachadas. Las ayudas suponen hasta un 20% de ahorro en el precio final de una mejora del aislamiento térmico de la fachada, entre un 22% y un 35% de ahorro en el cambio de ventanas y hasta 200 € para el cambio de calderas antiguas por nuevas calderas de condensación.

4.5. Financiación de las Medidas:

A continuación, se estudiarán las diferentes posibilidades de financiación de los proyectos de eficiencia energética con información y datos obtenidos de Enerinvest, la plataforma española de financiación de la energía sostenible. Este nuevo marco de financiación surge en un intento de adaptar los instrumentos de financiación tradicionales a los nuevos requerimientos de eficiencia energética.

La financiación de un proyecto de estas características puede ser:

- Interna. Cuando el proyecto se financia totalmente con fondos propios.
- Externa. El caso en el que la financiación proviene de ayudas públicas o bien de los distintos tipos de financiación existentes en el mercado financiero.
- Mixto. Combinación de financiación Interna y Externa.

Como bien se ha visto a lo largo de todo este documento, los proyectos de eficiencia energética tienen múltiples beneficios entre los que se encuentran el ahorro de energía, el ahorro económico, la protección del medio ambiente y la reducción de emisiones contaminantes entre otros. Pero la inversión inicial requerida puede algunas veces, impedir que el proyecto se materialice. Actualmente existe poca información que permita seleccionar la forma de financiación adecuada para cada proyecto.

Escoger la financiación más adecuada para un proyecto es esencial y si no se dispone del dinero necesario para elegir una financiación interna será necesario escoger entre diferentes tipos de financiación externa. Enerinvest propone el siguiente mapa conceptual donde se han tenido en cuenta los siguientes cinco parámetros principales para escoger la financiación externa más apropiada.

- La liquidez disponible del beneficiario final.
- Tamaño económico del cliente final.
- Capacidad de apalancamiento del beneficiario.
- Tamaño del proyecto.
- Crecimiento del negocio por parte del proyecto.

La siguiente figura muestra el mapa conceptual de selección de la financiación:

Proceso de Selección de Opciones Financieras

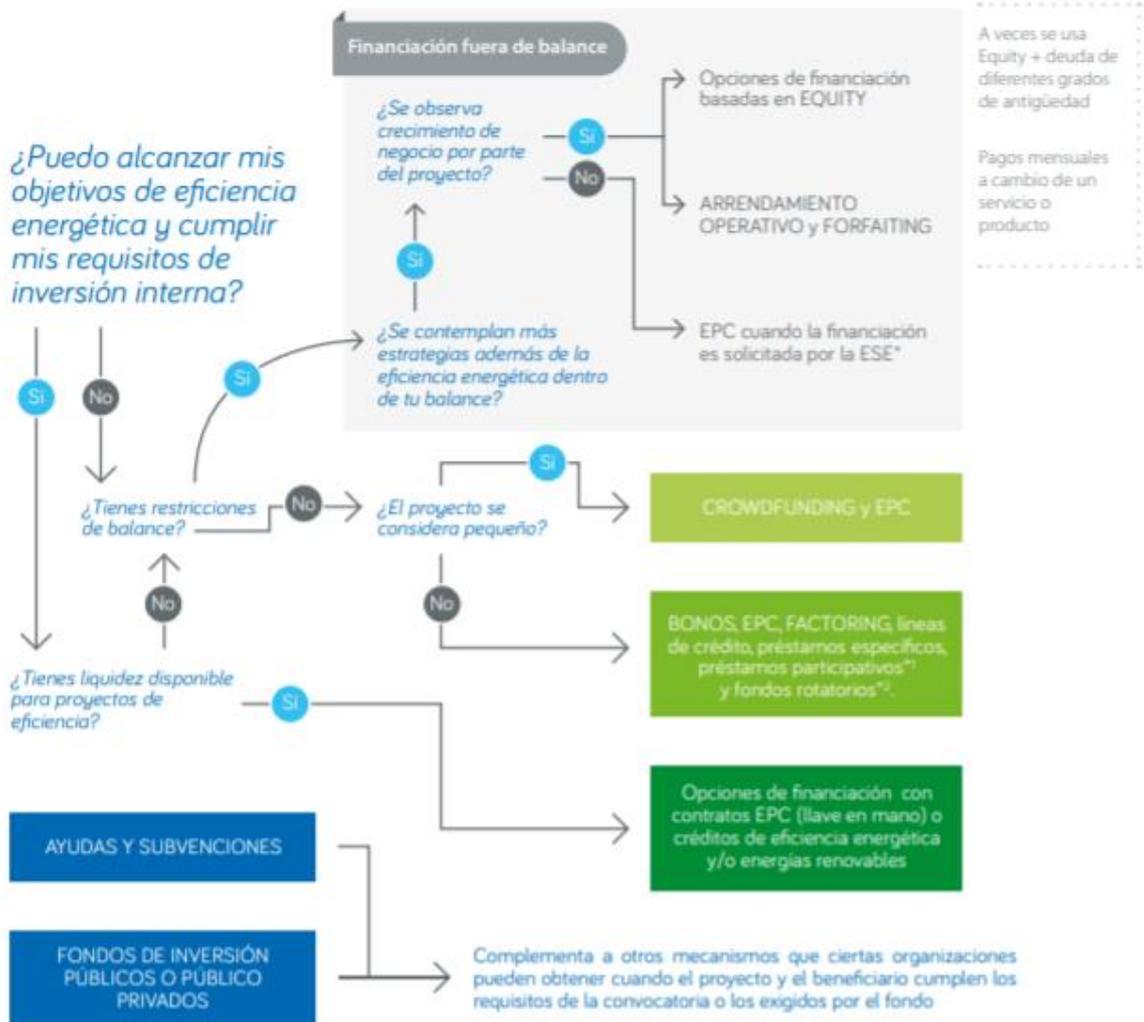


Figura 24. Mapa conceptual para escoger la financiación adecuada.

Fuente: Enerinvest

4.5.1 Alternativas financieras disponibles:

Como bien puede verse en la figura 24 hay multitud de alternativas de financiación, sin embargo, en esta sección se prestará más atención a aquellas formas de financiación más apropiadas para un proyecto como el que se ha desarrollado en este documento y no tanta atención a proyectos de mayores dimensiones.

4.5.1.1 Financiación bancaria o a través de intermediarios financieros:

Esta es una de las formas más conocidas para todo tipo de proyectos, consiste en los préstamos o líneas de crédito. La entidad financiera requiere que el individuo tenga una cierta historia crediticia y una solvencia mínima.

La financiación bancaria consta principalmente de tres opciones:

- **Línea de crédito:** En esta opción, la entidad bancaria pone a disposición del cliente una cuenta de la que obtener fondos hasta un determinado límite. El cliente deberá pagar intereses sobre la cantidad utilizada.
- **Préstamos específicos:** Algunos bancos ofrecen préstamos específicos para la construcción de viviendas sostenibles o para proyectos de rehabilitación orientados a la eficiencia energética. En estos préstamos los intereses son más bajos que en los préstamos convencionales.
- **Renting y leasing:** Son dos modalidades de alquiler a largo plazo. No son óptimas para financiar un proyecto como el que aquí se está estudiando.

4.5.1.2 Participación en el capital:

Esta forma de financiación, también conocida como financiación por fondos de capital o “equity”, es apropiada cuando el promotor es una empresa, de esta forma, se puede obtener financiación mediante una ampliación de capital, ya sea por la emisión de nuevas acciones o aumentando el valor de las acciones ya existentes. Esta forma de financiación tampoco es óptima para un proyecto donde el promotor es un individuo y no una empresa, como en este caso en concreto.

4.5.1.3 Préstamos participativos:

Son préstamos que ofrecen plazos de devolución y carencias más largos que los préstamos convencionales. Es una fórmula intermedia entre una participación en el capital y un préstamo a largo plazo.

4.5.1.4 Bonos verdes garantizados:

En los últimos años han surgido los bonos verdes que permiten la financiación de proyectos de energía sostenible y permiten controlar que se cumplan los estándares de sostenibilidad.

4.5.1.5 Crowdfunding:

Esta forma de financiación consiste en recolectar dinero de un número grande de inversores particulares, sin recurrir a los servicios intermediarios de una institución financiera. Por lo general este tipo de financiación se realiza a través de plataformas de internet. Existen diferentes alternativas de financiación a través de crowdfunding siendo las siguientes las más comunes:

- Donación y recompensa: En este caso el promotor no devuelve los ingresos ya que tienen consideración de donación, tampoco ofrece una participación en su capital social. El fin es meramente social o medioambiental. A veces, el promotor puede ofrecer una recompensa no monetaria como reconocimiento al apoyo.
- Crowdequity: Con este mecanismo, micro-inversores, aportan cantidades pequeñas a una empresa en fase inicial pasando a formar parte de su accionariado.
- Crowlending: Dinero que se presta a empresas algo más grandes que tiene un interés mayor que el de los depósitos bancarios, pero también más riesgo.
- Invoice trading: Las empresas ceden los derechos de cobro de facturas a cambio de dinero de un grupo de inversores. Se utiliza para obtener liquidez a corto plazo.
- Generación: Es un tipo especial de recompensa que se otorga suministrando energía gratuitamente o con un descuento en las tarifas eléctricas a las personas que hace la donación, cuando el proyecto financiado es un proyecto de generación de energía renovables y el inversor es un cliente de la comercializadora que vende la energía producida.

4.5.1.6 Inversión por medios de cooperativas energéticas:

Existen algunas cooperativas que comercializan energía limpia e invierten en proyectos de energías renovables a través de un fondo que se alimenta de los ahorros de los socios que quieran invertir. Algunas de estas cooperativas ofrecen a sus socios la posibilidad de

invertir en proyectos de energías renovables con un interés fijo o variable, o que la retribución al capital se cobre a través de descuentos en la compra de energía de la propia cooperativa.

4.5.1.7 Empresas de servicios energéticos (ESEs):

La directiva 2006/32/ECA define las empresas de servicios energéticos de la siguiente forma:

“Empresa de Servicios Energéticos: persona física o jurídica que proporciona servicios energéticos o de mejora de la eficiencia energética en las instalaciones o locales de un usuario y afronta cierto grado de riesgo económico al hacerlo. El pago de los servicios prestados se basará (en parte o totalmente) en la obtención de mejoras de la eficiencia energética y en el cumplimiento de los demás requisitos de rendimiento convenidos.”

Las empresas de servicios energéticos ofrecen la posibilidad de financiar un proyecto de eficiencia energética a cambio de una suma de los ahorros económicos esperados, de esta forma se puede acometer el proyecto y este se va pagando poco a poco.

La siguiente figura muestra un esquema de como funcionaria un proyecto ESE.

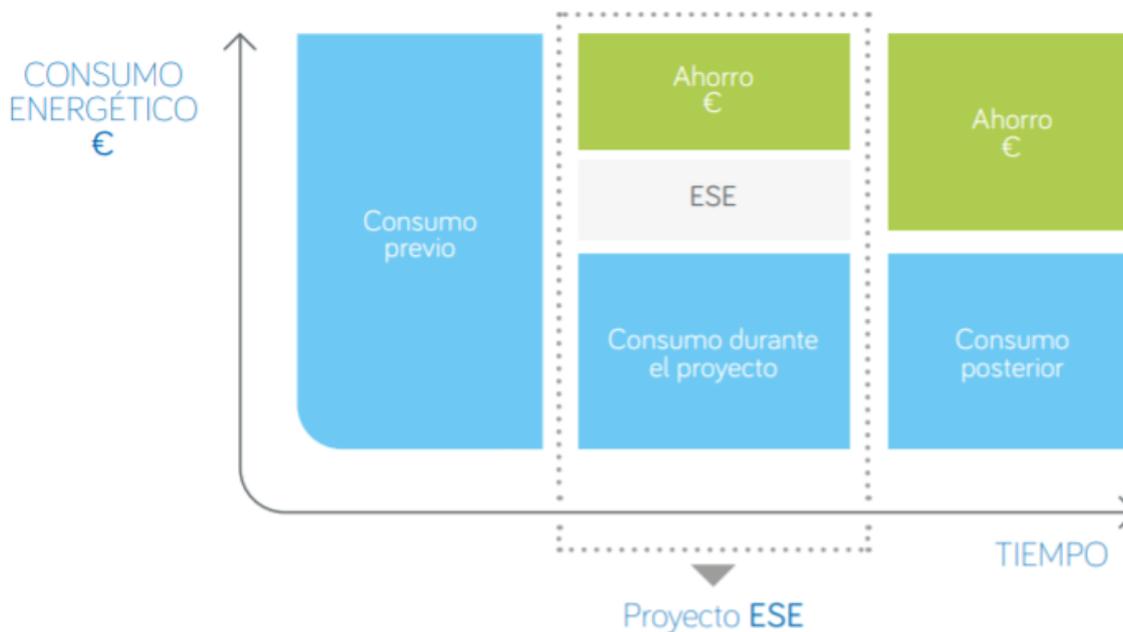


Figura 25. Modo de funcionamiento de un proyecto ESE.

Fuente: Enerinvest.

No hay que olvidar que algunas de las ayudas y subvenciones que se vieron en la sección 4.4 consistían en préstamos a interés cero de un gran porcentaje del coste total del proyecto, lógicamente este tipo de ayudas será una mejor forma de financiación que las formas que aquí se han visto, sin embargo, y si no es posible obtener las ayudas del plan PAREER II, quizá la forma más sensata para financiar este proyecto sean la financiación bancaria, así como el crowdfunding o un contrato de ahorros garantizados, (Energy Performance Contracting – EPC) realizado por una empresa de servicios energéticos (ESE).

4.6. Modelo financiero: flujo de caja libre y cálculo de WACC

En este apartado se estudiará cual es la forma óptima de financiar el proyecto, para eso se realizará el flujo de caja del proyecto completo y se calculará el WACC (coste promedio ponderado del capital) para diferentes formas de financiación y se escogerá la forma de financiación que optimice el coste promedio ponderado del capital.

A continuación, se muestra el flujo de caja del proyecto completo a lo largo de 4 años, ya que su periodo de retorno es de tres años y medio.

Año	Flujo de caja	Flujo de caja descontado	Flujo de caja neto descontado
0	-8135,53	-8135,53	-8135,53
1	2598,13	2498,20	-5637,33
2	2598,13	2402,12	-3235,21
3	2598,13	2309,73	-925,48
4	2598,13	2220,80	1295,41

Tabla 39. Flujo de caja libre del proyecto.

Los ahorros anuales son de 2598,13 € que debido a la tasa de descuento se van reduciendo año a año como muestra la anterior tabla. El ratio de retorno del proyecto es de 10,57% por año.

Una vez definido el flujo de caja se puede proceder al calculo del WACC. La formula del WACC es la siguiente:

$$WACC = \frac{E}{D + E} \times Ke + \frac{D}{D + E} \times Kd \times (1 - T)$$

Donde cada término significa:

- E son los fondos propios, es decir, la parte del proyecto de financiación interna.
- D es la deuda financiera, es decir, la parte del proyecto de financiación externa.
- T es la tasa impositiva, suele rondar el 30%.
- Ke es el coste de los fondos propios.
- Kd es el coste de la deuda financiera.

Si se supone que se dispone de unos ahorros del 30% del valor inicial del proyecto solo será necesario financiar el 70% restante del valor. Es decir, se tiene 2440,66 € ahorrados y será necesario financiar 5694,87 €. Esto implica que los cocientes de la fórmula del WACC tendrán un valor del 30% para el primero y del 70% para el segundo.

El coste de capital (K_e) es el coste en el que incurre el particular para financiar los proyectos a través de sus recursos propios. La forma de calcularlo es la siguiente:

$$K_e = R_f + BI \times (R_m - R_f)$$

Donde:

- R_f es la tasa libre de riesgo y está asociada a la rentabilidad de los bonos emitidos por el Banco Central. Su valor es de 3,57% para bonos a 5 años y 5,44% para bonos a 10 años.
- R_m es la rentabilidad esperada del mercado. Se situará en torno al 10%.
- BI es el riesgo de mercado de un activo en función de la fluctuación del mercado. Un valor mayor a 1 significa que el activo es de alto riesgo por lo que el inversor exigirá un mayor retorno. Si por el contrario el valor de BI es menor que 1 significa que el riesgo no es muy elevado. En este caso se tomará un valor de 1.

De este modo se obtiene un valor de K_e , que es la rentabilidad exigida por la financiación interna del proyecto del 10%.

$$K_e = 3,57\% + (10\% - 3,57\%) \times 1 = 10\%$$

A continuación, se estudiarán diferentes posibilidades de financiación.

4.6.1 Financiación bancaria:

En el supuesto de poseer unos ahorros del 30% del coste inicial del proyecto y para un valor del coste de capital del 10% será necesario financiar el 70% restante del proyecto a través de una financiación bancaria que exige una rentabilidad del 7%. Si la tasa impositiva es del 30% el valor del WACC será el siguiente:

$$WACC = 0,3 \times 0,1 + (1 - 0,3) \times 0,7 \times 0,07 = 6,43\%$$

Este valor del WACC significa que en caso de necesitar una valoración del proyecto habrá que descontar los flujos de casa esperados a una tasa del 6,43%. Lo que implica que el proyecto debe superar un rendimiento del 6,43% para crear valor para todos los accionistas. En este caso el proyecto sigue siendo rentable ya que tiene una tasa de retorno por encima del 10% y esta es una opción de financiación válida.

4.6.2 Financiación a través de crowdfunding:

A la hora de recibir ayudas por crowdfunding la forma más común es ofreciendo una rentabilidad a los micro inversores que debe rondar el 10% del valor de la deuda para así resultar atractiva.

En el caso de suponer otra vez el mismo porcentaje de valor de equity, y de valor de deuda, es decir, 30% de financiación interna y 70% de financiación de crowdfunding y unos costes de capital y de deuda del 10% para ambos, se obtendrá el siguiente valor del WACC:

La tasa impositiva no cambia y será del 30%

$$WACC = 0,3 \times 0,1 + (1 - 0,3) \times 0,7 \times 0,10 = 7,90\%$$

El valor del WACC ha aumentado siendo el rendimiento a lograr por el proyecto algo mayor que con la financiación bancaria, aun así, la financiación a través de crowdfunding sigue siendo una opción viable para este proyecto en concreto ya que el WACC es menor a la tasa de retorno.

4.6.3 Financiación a través de ayudas:

Como ya se vio en la tabla 38 el plan PAREER II puede otorgar ayudas que se basan en prestamos de hasta el 70% del coste inicial del proyecto a tipo de interés cero, lo que provocaría el siguiente valor del WACC:

$$WACC = 0,3 \times 0,1 + (1 - 0,3) \times 0,7 \times 0 = 3\%$$

Este valor del WACC es muy bajo, sólo del 3%, lo que significa que será muy fácil que el proyecto funcione por encima de este valor y resulte rentable.

4.6.4 Financiación a través de ESE:

Los proyectos de Energy Performance Contracting aún no son muy comunes en España, pero ya son una opción muy usada en muchos países de la U.E como Bélgica, Francia y Alemania. Estos proyectos, realizados por una empresa de servicios energéticos (ESE) consisten en que la ESE financia todas las medidas necesarias garantizando que los ahorros económicos serán suficientes para cubrir el coste de financiación del proyecto durante el tiempo de vida del proyecto. En este caso en concreto, el proyecto tiene una rentabilidad del 10,57 % y un periodo de retorno de algo menos de 4 años, por lo que la ESE podría cubrir el importe total del proyecto solicitando una rentabilidad del 6% para cubrir su inversión inicial en los años que haga falta.

El WACC si se usase este método de financiación sería el siguiente:

$$WACC = 0 \times 0,1 + (1 - 0,3) \times 1 \times 6 = 4,20\%$$

Este valor del WACC es también un valor que permite fácilmente rentabilizar el proyecto ya que funcionará por encima de esta tasa con total seguridad.

A la hora de escoger una forma de financiar un proyecto de estas categorías lo mas sensato sería solicitar las ayudas del plan PAREER II ya que las medidas a acometer cumplen estos requisitos, y es la forma de financiación que sale más rentable y otorga más facilidades al particular, sin embargo, si el acceso a estas ayudas fuera limitado y no se pudieran acceder a ellas cualquiera de las otras formas de financiación otorgan un valor del WACC por debajo de la tasa de retorno del proyecto, haciendo posible su financiación por alguno de estos métodos. Esto se debe a que el proyecto de eficiencia energética que aquí se ha desarrollado es tremendamente rentable y conlleva un ahorro económico muy grande que hace que sea muy atractivo para cualquier inversor solicitando tasas de retorno por debajo del 10%.

5. Resumen y conclusiones:

La realización de mejoras en la eficiencia energética del sector residencial es un requerimiento que tanto la Unión Europea como España demandan para cumplir los objetivos en materia energética y medioambiental de los próximos años. En la actualidad existe mucha reticencia a la realización de este tipo de proyectos debido al desconocimiento de qué medidas llevar a cabo, del impacto energético y económico que estas medidas tendrán y sobre todo de si serán rentables. Además, la gente no suele saber como financiar estos proyectos o si existen ayudas para facilitar su realización. Este trabajo, después de un exhaustivo análisis y estudio técnico y económico pretende responder a todas esas cuestiones y a su vez servir como una posible hoja de ruta para la realización de proyectos de eficiencia energética en viviendas particulares.

El estudio técnico de este proyecto se realizó a una casa real situada en la localidad de Fuente el Saz, a las afueras de la Comunidad de Madrid. Esta vivienda era energéticamente muy deficiente con una calificación energética de “E”, y unos costes anuales de electricidad y de gas de 1027,07 €/año y 2975,95 €/año respectivamente. La demanda energética y los consumos de la vivienda, así como sus características arquitectónicas y de equipamiento quedaron definidas en la sección 2 del proyecto.

A continuación, se muestra una tabla resumen de las características energéticas y económicas más importantes de la vivienda.

	Térmico [kWh/año]	Eléctrico [kWh/año]	Total [kWh/año]
Demanda energética	36012,2	4198,28	40210,48
Consumo energético	47052,6	4198,29	51250,88
Factura	2975,95 €/año	1027,07 €/año	4003,02€/año

Tabla 40. Resumen de las características económicas y energéticas de la vivienda.

Se estudiaron diez medidas de ahorro y eficiencia energético tanto del lado de la demanda como del lado del suministro y se estudió cómo estas medidas se podrían implantar en la vivienda y que ahorro energético se podría conseguir. De las diez medidas que se

estudiaron, cuatro eran de tipo eléctrico y seis eran de tipo térmico. Este estudio definió la manera de adoptar las diferentes medidas y si era técnicamente viable realizarlas, también estimó los ahorros energéticos que supondría llevar a cabo esas medidas en la vivienda de estudio.

Las siguientes dos tablas muestran un resumen de las diferentes medidas y del ahorro energético que se obtendría si se adoptases de manera independiente. Primero con las medidas de tipo eléctrico y luego con las medidas de tipo térmico.

Medida	Gasto energía eléctrica [kWh/año]	Ahorro con la medida [kWh/año]	Ahorro energía eléctrica [%]
Iluminación	4198	916	21,8
Electrodomésticos	4198	664	15,8
Paneles fotovoltaicos con almacenamiento	4198	1686	40,2
Paneles fotovoltaicos sin almacenamiento	4198	1000	23,8

Tabla 41. Resumen de los ahorros energéticos debido a las medidas de tipo eléctrico.

Medida	Gasto actual [kWh/año]	Ahorro con la medida [kWh/año]	Ahorro energía térmica [%]
Estanqueidad	5160	2068	4,4
Aislamiento	40562	24337	51,7
Caldera condensación	47052	12891	27,4
Ventanas	40562	4056	8,6
Caldera biomasa de condensación	47052	12891	27,4
Coletores solares	6490	2826	6

Tabla 42. Resumen de los ahorros energéticos debido a las medidas de tipo térmico.

Como puede verse en ambas tablas el ahorro energético obtenido gracias a algunas de las medidas es enorme, permitiendo ahorrar hasta un 40% del consumo eléctrico anual de la vivienda con la instalación de paneles solares y baterías o hasta un 51,7% del consumo térmico total si se realizase una mejora del aislamiento.

Seguido se realizó el estudio económico-financiero de las medidas, donde se analizó para cada medida, de forma independiente, su coste de realización, y los ahorros económicos que esta medida traerían a la vivienda debido al ahorro energético y el decremento de la factura. Con estas estimaciones se calculó el periodo de retorno y el Valor Actual Neto de cada medida, decidiendo la viabilidad económica de cada una de las medidas si su VAN era positivo para diez años.

El resultado de todo el análisis económico de las medidas se recoge en la siguiente tabla:

Medida	Coste inicial [€]	Ahorro económico [€/año]	Periodo de retorno [años]	VAN en 10 años [€]	Viabilidad económica
Iluminación	180	157,25	1,19	1095,44	Sí
Electrodomésticos	1675	114,01	22,58	-750,28	No
Sellado de aire	283,32	124,56	2,42	726,97	Sí
Aislamiento térmico	2803,96	1506,44	1,93	9415,52	Sí
Ventanas. Triple acristalamiento	3236,20	180,75	32,11	-1770,16	No
Ventanas. Tintado	200	6,24	-	-	No
Paneles solares sin baterías	1900	171,70	14,90	-507,36	No
Paneles solares con baterías	2088	289,47	8,68	259,86	Sí
Caldera cond. Demanda actual	1700	816,95	2,21	4926,20	Sí
Caldera cond. Demanda reducida	1700	224,5	9,20	120,90	Sí
Caldera Biomasa Demanda actual	2553,63	1100,49	2,48	6372,33	Sí
Caldera Biomasa Demanda reducida	2553,63	300,54	10,589	-115,98	No
Colectores solares	1077,25	170,27	7,44	303,79	Sí

Tabla 43. Resumen del análisis económico de todas las medidas.

Una vez se estimaron los parámetros económicos de las distintas medidas y se definió su viabilidad económica se procedió a agrupar todas aquellas medidas viables por si mismas y estudiar el impacto que tendría en la vivienda el proyecto de eficiencia energética conjunto. Las medidas que se pretendían implantar eran, de la parte eléctrica, la mejora de la iluminación y la instalación de paneles solares con baterías, mientras que, de la parte térmica, las medidas a implantar eran; la mejora de la estanqueidad, la mejora del aislamiento, el cambio a una caldera de condensación y finalmente, la instalación de colectores solares.

La siguiente tabla recoge los ahorros energéticos y económicos finales que se obtendrían si se adoptasen todas las medidas económicamente viables conjuntamente. Hubo que tener en cuenta que el ahorro energético térmico no es una suma aritmética del ahorro que cada medida térmica provocaba individualmente ya que los ahorros energéticos disminuían al implantar varias medidas juntas.

Tipo de MAE	Ahorro consumo energético [kWh/año]	Ahorro económico [€/año]
Eléctrico	2602,36	461,72
Térmico	35454,56	2136,41
Total	38056,92	2598,13

Tabla 44. Resumen del ahorro energético y económico al implantar las medidas conjuntamente.

Una vez calculado el ahorro económico del proyecto conjunto se pudo calcular el VAN y el periodo de retorno, que se muestra en la siguiente tabla.

	Coste Inicial [€]	VAN a 10 años [€]	Payback [años]
Proyecto conjunto	8132,53	12875,74	3,42

Tabla 45. Resumen del VAN y el payback del proyecto conjunto.

Como puede observarse el proyecto conjunto es muy rentable ya que tiene un VAN a 10 años de 12875,74 € y un periodo de retorno de tan solo 3 años y medio. Su principal

inconveniente es que su coste inicial es elevado por lo que puede resultar muy complicado para un particular financiar este proyecto de forma interna. Es por ello por lo que se han estudiado diversas formas de financiación y de ayudas para encontrar la manera óptima de costear este tipo de proyectos.

Un proyecto de estas características, tan rentable y que encima sea beneficioso para el cumplimiento de los objetivos energéticos de un país es muy fácil de financiar ya que existen diversas ayudas e incentivos a la eficiencia energética que tanto la Unión Europea con los fondos FEDER como España con el programa PAREER II otorgan para incentivar la realización de proyecto de eficiencia energética.

Entre las principales formas de financiación externa de este proyecto se pueden encontrar la financiación bancaria, la financiación a través de plataformas de crowdfunding, la financiación a través de ayudas del estado y finalmente la financiación a través de empresas de servicios energéticos (ESE). Se calculó el WACC de cada una de estas formas de financiación para concluir que la forma óptima de financiación es a través de los préstamos sin intereses del programa PAREER II, sin embargo, todas las formas de financiación resultaban viables para este proyecto ya que su tasa de retorno está por encima del 10%.

La siguiente tabla muestra el coste ponderado del capital para cada forma de financiación estudiada:

Medida de financiación	Porcentaje de financiación externa [%]	Tipo de interés del deudor [%]	WACC [%]
Financiación bancaria	70	7	6,43
Crowdfunding	70	10	7,90
ESE	100	6	4,20
Préstamo plan PAREER II	70	0	3

Tabla 46. Resumen las distintas opciones de financiación y su WACC.

Las siguientes tablas recogen la comparativa entre los principales cambios económicos y energéticos en la vivienda antes y después de acometer las reformas. La primera tabla para la energía térmica y la segunda para la energía eléctrica

	Demanda energética [kWh/año]	Consumo energético [kWh/año]	consumo por m² [kWh/año/m ²]	Calificación energética	Factura de gas natural [€/año]
Vivienda sin reformar	36012,2	47052,6	336,09	“E”	2975,95
Vivienda reformada	11598,04	11598,04	82,84	“B”	839,54

Tabla 47. Comparativa de la vivienda antes y después de acometer reformas en cuanto a la energía térmica.

	Demanda energética [kWh/año]	Consumo energético [kWh/año]	Factura de electricidad [€/año]
Vivienda sin reformar	4198	4198	1027,07
Vivienda reformada	1595,64	1595,64	565,35

Tabla 48. Comparativa de la vivienda antes y después de acometer reformas en cuanto a la energía eléctrica.

Como puede verse en las tablas el consumo energético se ha reducido un 75% para la energía térmica y un 62% para la energía eléctrica. En cuanto a las facturas, estas han reducido su valor en un 65%. El rendimiento, la rentabilidad y los ahorros conseguidos por este proyecto en concreto son enormes, haciendo que genere beneficios económicos a partir del tercer año.

Este proyecto ha demostrado que la eficiencia energética en el sector residencial, aparte de necesaria para cumplir objetivos energéticos nacionales, es muy rentable y beneficiosa para el medio ambiente porque el ahorro energético que se obtiene está directamente ligado con un ahorro económico y un ahorro de las emisiones de CO₂.

Por otro lado, la principal barrera para realizar proyectos de eficiencia energética en el sector residencial es el elevado coste inicial de las inversiones, sin embargo, en este

proyecto se han explorado y analizado medidas relativamente novedosas de financiación como por ejemplo las empresas de servicios energéticos que resultan una forma muy sencilla y económica de financiar estos proyectos. Es más, será relativamente fácil encontrar en el futuro financiación para proyectos de este tipo ya que su rentabilidad económica y su beneficio social y medioambiental es muy grande.

6. Referencias:

- Agencia Internacional de la Energía. “Policy Pathways Brief: Joint Public-Private Approaches for Energy-Efficiency Finance”, 2017.
- Agencia Internacional de la Energía. “Energy Efficiency Indicators Highlights 2017”, 2017.
- Deloitte, “Energy efficiency in Europe. The levers to deliver the potential”, 2016
- Comisión Europea. “Winter package. Clean energy for all Europeans”, 2016
- Laitner, John A. “Advanced Metering Initiatives and Residential Feedback Programs: A meta-Review for Household Electricity-Saving Opportunities”, 2010.
- Buildings performance Institute Europe (BPIE). “Is Europe ready for the smart buildings revolution?”. 2017.
- Comisión Europea. “HORIZON 2020 WORK PROGRAMME 2018 – 2020”
- Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- Tinsa, sociedad de tasación y programa de eficiencia energética “Certify”.
- Comisión Europea e Instituto de diversificación y ahorro de la energía (IDAE): “PROYECTO SECH-SPAHOUSEC Análisis del consumo energético del sector residencial en España”, 2011.
- Comisión Europea. “Fondo europeo desarrollo regional (FEDER)”.
- Software vitale loft de arquitectura modular. Usado para la obtención de la figura 13.
- Tarifagazluz by Selectra. “Factura de gas”.
- Tarifaluzhora by Selectra. “Factura de electricidad”.

- Energía y sociedad. Las claves del sector energético. “Eficiencia energética y su potencial”.
- Energía y sociedad. Las claves del sector energético. “Regulación de la eficiencia energética”.
- Energía y sociedad. Las claves del sector energético. “Objetivos y normativa en España de la eficiencia energética”.
- Palensky, P. “Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems and Smart Loads”,2011
- Holland Energy Fund. “Holland home energy retrofit program”.
- Universidad Nacional Australiana, “Urban energy and energy efficiency”.
- Certificados energéticos. “Test Blower Door”.
- Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid. Normativa de calidad del aire. “Calidad del aire interior en edificios”.
- NASA. “Prediction of worldwide resources. Solar irradiation”.
- IDEA Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. “Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica”, 2011.
- CLEANENERGYSOLAR. “Factor K de corrección solar”.
- Red Eléctrica. “Consumo del sector residencial en España”.
- Investopedia. “Payback Period”.
- Investopedia. “Net Present Value”.
- Investopedia. “WACC”.
- Cype Ingenieros. “Software para arquitectura, ingeniería y construcción”.
- Instituto de Crédito Oficial. “ICO IDAE Eficiencia Energética 2017-2018”.
- Código Técnico de Edificación. Sección HE 4.

- Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía. “Ayudas a la eficiencia energética. Programa PAREER II”.
- Enerinvest. “Guía para la financiación de proyectos de Energía Sostenible”.
- Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía. “Precio del biocombustible sólido en España”.

GUÍAS Y CATALOGOS USADOS PARA OBTENER LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS MEDIDAS:

- Beck & Heun. “Cajón aislado de persianas”.
- Carpintería de aluminio. “Sellado de silicona neutra en puertas y ventanas2”.
- Aislamientos Tabitec, “Aislamiento de viviendas”.
- Neopor. “Características de materiales aislantes”.
- Leroy Merlin. “Burlete bajo puerta de PVC AXTON”.
- Empresa Saint Gobain. “Ventanas”.
- La casa de la lámpara. “Tipos de bombillas”.
- BALAY. “Catálogo de electrodomésticos”.
- AutoSolar. “Paneles solares”.
- Hisense. “Catálogo de aire acondicionado”.
- AutoSolar. “Baterías de almacenamiento de 12 V”
- BAXI. “Caldera de gas natural de condensación”.
- Domusa. “Caldera de biomasa de condensación”.
- Merkasol. “Colectores solares GEA”.

7. Anexos:

Anexo 1:

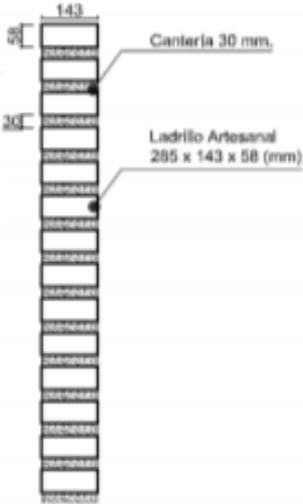
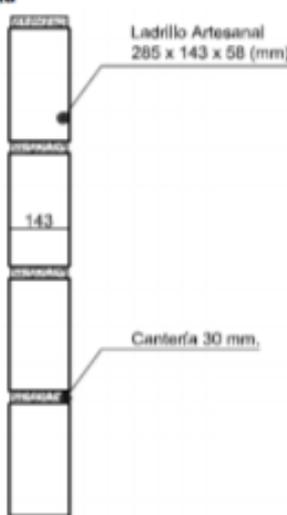
Código 1.2.G.B.A2.1	Ladrillo artesanal de 285 x 143 x 58 [mm], cantería 30 mm
-------------------------------	---

A. Único valor de Resistencia (Rt) y Transmitancia (U) Térmica para la solución constructiva

RESISTENCIA TÉRMICA (Rt):	0.35 (m² *K/ W)	TRANSMITANCIA TÉRMICA (U)	2.79 (W/m² *K)
------------------------------	------------------------	------------------------------	-----------------------

B. En caso que se modifique el espesor del material aislante manteniendo el resto de la configuración constructiva:

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
Rt (m² *K/ W)	----	----	----	----	----	----	----
U (W/m² *K)	----	----	----	----	----	----	----
Espesor Aislante (mm)	----	----	----	----	----	----	----

Descripción de la Solución Constructiva				Genérico	X	Marca Comercial	----
Muro de albañilería construido a base de ladrillos artesanales de 285 x 143 x 58 [mm] de espesor, unidos con un mortero arena-cemento que cumple con la norma NCh 2256/1. El espesor promedio de la cantería vertical y horizontal es de 30 mm.							
Forma de cumplir con las exigencias				Densidad material aislante	Institución	Vigencia	
Certificado de ensaye	----	Cálculo (NCh 853)	X	----	MINVU	NCh 853	
Corte: 				Planta: 			

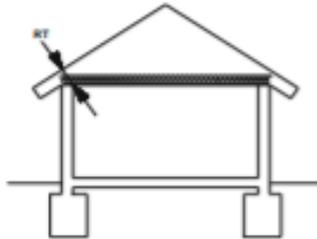
Anexo 2:

CAPITULO I
SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA ACONDICIONAMIENTO TERMICO EN CUBIERTAS

Soluciones de marca

Nota: Todos los materiales se han ensayado en estado seco y a 20°C de temperatura ambiente.

1.1.M.A CUBIERTAS A UNA O MAS AGUAS Y CIELO HORIZONTAL



ESQUEMA CONSTRUCTIVO

1.1.M.A1 POLIESTIRENO EXPANDIDO

1.1.M.A1.2 POLIESTIRENO EXPANDIDO (SOBRE LISTONEADO DE CIELO)

DESCRIPCION DE LA SOLUCION									
Estructura soportante de cerchas de madera según cálculo, costaneras de pino 2x2", cubierta en planchas fibrocemento de 4 mm. de espesor, cielo en plancha Yeso Cartón de 10 mm, en listoneado de pino de 2x2" a ejes variables según diseño, material aislante en espesor variable según zona térmica, de Poliestireno expandido de 10 kg/m ³ , colocado sobre listoneado de soporte, generando una cámara de aire no ventilado entre el material aislante y la plancha de cielo.									
ESTRATIGRAFIA SOLUCIÓN SEGÚN NCh853		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	
MATERIAL		Espesores mínimos expresados en mm.							
Capa de aire superficial interior		0	0	0	0	0	0	0	
Yeso Cartón de 10 mm.		10	10	10	10	10	10	10	
Camara de aire no ventilado		50	50	50	50	50	50	50	
POLIESTIRENO EXPANDIDO 10 KG/M3		37	57	77	97	117	137	157	
Capa de aire superficial exterior		0	0	0	0	0	0	0	
NOMBRE COMERCIAL	INSTITUCIÓN	Densidad Nominal	Coeficiente de Conductividad Térmica		Vigencia de la Inscripción	Formato de presentación			
AISLAPOL	BASF CHILE S.A.	10.00 kg/m ³	0.043 W/m°C		NCh 853	PLANCHA			
ISOPACK	NOVA CHEMICALS CHILE LTDA.								
TERMOPOL	AISLANTES NACIONALES S.A.								
ETSAPOL	ENVASES TERMO-AISLANTES S.A.								
AISLAPLUS	AISLAPANEL S.A.								

1.1.M.A1.3 POLIESTIRENO EXPANDIDO (SOBRE LISTONEADO DE CIELO)

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN							
Estructura soportante de cerchas de madera según cálculo, costaneras de pino 2x2", cubierta en planchas fibrocemento de 4 mm. de espesor, cielo en plancha Yeso Cartón de 10 mm, en listoneado de pino de 2x2" a ejes variables según diseño, material aislante en espesor variable según zona térmica, de Poliestireno expandido de 15 kg/m ³ , colocado sobre listoneado de soporte, generando una cámara de aire no ventilado entre el material aislante y la plancha de cielo.							
ESTRATIGRAFIA SOLUCIÓN SEGUN NCh853							
MATERIAL	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
Espesores mínimos expresados en mm.							
Capa de aire superficial interior	0	0	0	0	0	0	0
Yeso Cartón de 10 mm.	10	10	10	10	10	10	10
Camara de aire no ventilado	50	50	50	50	50	50	50
POLIESTIRENO EXPANDIDO 15 KG/M3	36	55	75	94	114	133	152
Capa de aire superficial exterior	0	0	0	0	0	0	0
NOMBRE COMERCIAL	INSTITUCIÓN		Densidad Nominal	Coeficiente de Conductividad Térmica		Vigencia de la Inscripción	Formato de presentación
AISLAPOL	BASF CHILE S.A.		15.00 kg/m ³	0.041 W/m ² C		NCh 853	PLANCHA
ISOPACK	NOVA CHEMICALS CHILE LTDA.						
TERMOPOL	AISLANTES NACIONALES S.A.						
ETSAPOL	ENVASES TERMO-AISLANTES S.A.						
AISLAPLUS	AISLAPANEL S.A.						

1.1.M.A1.4 POLIESTIRENO EXPANDIDO (SOBRE LISTONEADO DE CIELO)

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN							
Estructura soportante de cerchas de madera según cálculo, costaneras de pino 2x2", cubierta en planchas fibrocemento de 4 mm. de espesor, cielo en plancha Yeso Cartón de 10 mm, en listoneado de pino de 2x2" a ejes variables según diseño, material aislante en espesor variable según zona térmica, de Poliestireno expandido de 20 kg/m ³ , colocado sobre listoneado de soporte, generando una cámara de aire no ventilado entre el material aislante y la plancha de cielo.							
ESTRATIGRAFIA SOLUCIÓN SEGUN NCh853							
MATERIAL	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
Espesores mínimos expresados en mm.							
Capa de aire superficial interior	0	0	0	0	0	0	0
Yeso Cartón de 10 mm.	10	10	10	10	10	10	10
Camara de aire no ventilado	50	50	50	50	50	50	50
POLIESTIRENO EXPANDIDO 20 KG/M3	34	52	70	88	106	124	145
Capa de aire superficial exterior	0	0	0	0	0	0	0
NOMBRE COMERCIAL	INSTITUCIÓN		Densidad Nominal	Coeficiente de Conductividad Térmica		Vigencia de la Inscripción	Formato de presentación
AISLAPOL	BASF CHILE S.A.		20.00 kg/m ³	0.038 W/m ² C		NCh 853	PLANCHA
ISOPACK	NOVA CHEMICALS CHILE LTDA.						
TERMOPOL	AISLANTES NACIONALES S.A.						
ETSAPOL	ENVASES TERMO-AISLANTES S.A.						
AISLAPLUS	AISLAPANEL S.A.						

1.1.M.A1.5 POLIESTIRENO EXPANDIDO (SOBRE LISTONEADO DE CIELO)

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN							
Estructura soportante de cerchas de madera según cálculo, costaneras de pino 2x2", cubierta en planchas fibrocemento de 4 mm. de espesor, cielo en plancha Yeso Cartón de 10 mm, en listoneado de pino de 2x2" a ejes variables según diseño, material aislante en espesor variable según zona térmica, de Poliestireno expandido de 25 kg/m ³ , colocado sobre listoneado de soporte, generando una cámara de aire no ventilado entre el material aislante y la plancha de cielo.							
ESTRATIGRAFIA SOLUCIÓN SEGUN NCh853							
MATERIAL	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
Espesores mínimos expresados en mm.							
Capa de aire superficial interior	0	0	0	0	0	0	0
Yeso Cartón de 10 mm.	10	10	10	10	10	10	10
Camara de aire no ventilado	50	50	50	50	50	50	50
POLIESTIRENO EXPANDIDO 25 KG/M3	32	50	67	84	102	119	137
Capa de aire superficial exterior	0	0	0	0	0	0	0
NOMBRE COMERCIAL	INSTITUCIÓN		Densidad Nominal	Coeficiente de Conductividad Térmica		Vigencia de la Inscripción	Formato de presentación
AISLAPOL	BASF CHILE S.A.		25.00 kg/m ³	0.037 W/m ² C		NCh 853	PLANCHA
ISOPACK	NOVA CHEMICALS CHILE LTDA.						
TERMOPOL	AISLANTES NACIONALES S.A.						
ETSAPOL	ENVASES TERMO-AISLANTES S.A.						
AISLAPLUS	AISLAPANEL S.A.						

Anexo 3:

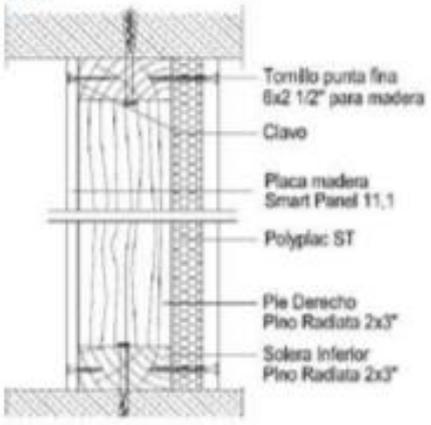
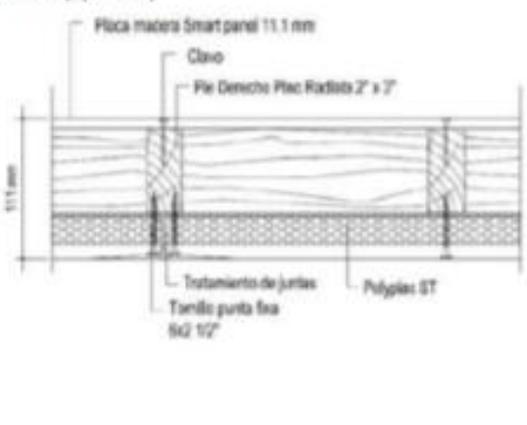
Código 1.2.M.C24.29	Muro estructurado pino radiata 2x3" exterior SmartPanel 11,1mm, interior aislante térmico de poliestireno expandido de 15kg/m ³ en Polyplac ST Knauf. Sistema WE111 400.
-------------------------------	---

A. Único valor de Resistencia (Rt) y Transmitancia (U) Térmica para la solución constructiva

RESISTENCIA TÉRMICA (Rt):	-- (m ² *K/ W)	TRANSMITANCIA TÉRMICA (U)	-- (W/m ² *K)
---------------------------	---------------------------	---------------------------	--------------------------

B. En caso que se modifique el espesor del material aislante manteniendo el resto de la configuración constructiva:

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
Rt (m ² *K/ W)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	1,00	--
U (W/m ² *K)	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,00	--
Espesor Aislante (mm)	10	10	10	10	10	20	--

Descripción de la Solución Constructiva		Genérico	---	Marca Comercial	X	
<p>Solución compuesta por una estructura de entramado vertical de pino radiata 2x3", con pie derechos distanciados entre ejes cada 40cms. Las soleras superior e inferior de pino radiata 2x3" contemplan aplicaciones de banda acústica Knauf de 3mm de espesor y 50mm de ancho. Esta estructura está forrada hacia el exterior por una placa de madera Smart Panel 11,1mm fijada a la estructura mediante tornillos punta fina 6x1 1/4" para madera. Por el interior está forrada por Polyplac ST Knauf, formada a partir de una placa de yeso cartón ST 10mm adherida a una plancha de poliestireno expandido de espesor variable según zona térmica y de 15 kg/m³ de densidad. Polyplac es fijada a través de tornillos 6x2 1/2" punta fina para madera a la estructura de pie derechos. Se considera tratamiento de juntas en Polyplac con masilla y cinta Knauf, también se cubren las cabezas de los tornillos con masilla.</p>						
Forma de cumplir con las exigencias			Densidad material aislante	Institución	Vigencia	
Certificado de ensaye	X	Cálculo (NCh 853)	X	15 Kg/m ³	Knauf de Chile Ltda.	Junio de 2014
<p>Corte:</p>  <p>Tomillo punta fina 6x2 1/2" para madera Clavo Placa madera Smart Panel 11,1 Polyplac ST Pie Derecho Pino Radiata 2x3" Solera inferior Pino Radiata 2x3"</p>			<p>Detalle (opcional)</p>  <p>Placa madera Smart panel 11,1 mm Clavo Pie Derecho Pino Radiata 2" x 3" 111 mm Tratamiento de juntas Tornillo punta fina 6x2 1/2" Polyplac ST</p>			

Anexo 4:

CÓDIGO	TIPO DE ACRISTALAMIENTO	TRANSMITANCIA U (W/m ² K)
	Vidrio sencillo	5,7
	Vidrio aislante (doble) (4-6-4)	3,3
	Vidrio aislante (doble) (4-8-4)	3,1
	Vidrio aislante (doble) (4-10-4)	3,0
	Vidrio aislante (doble) (4-12-6)	2,9
	Vidrio aislante (doble) de baja emisividad (4-6-4)	2,5
	Vidrio aislante (doble) de baja emisividad (4-8-4)	2,1
	Vidrio aislante (doble) de baja emisividad (4-10-4)	1,8
	Vidrio aislante (doble) de baja emisividad (4-12-6)	1,7

