Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea

GIPUZKOAKO INGENIARITZA ESKOLA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE GIPUZKOA

GIPUZKOAKO INGENIARITZA ESKOLA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE GIPUZKOA

EIBAR

TFG : ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA VIVIENDA BILDOSOLA-BERRI

DOCUMENTO Nº 1 : MEMORIA

Grado: Ingeniería en Energías Renovables

Curso: **2020 - 2021**

Autora: Irene Guerrero Diago

Director: Álvaro Campos Celador

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN 1
2 CONTEXTUALIZACIÓN 2
2.1 PROYECTO RED DE ARTEA 2
2.2 PROYECTO BASOA 4
2.3 SOBERANÍA ENERGÉTICA 5
3 OBJETIVOS 6
4 CASO DE ESTUDIO 7
4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL 7
4.2 DATOS CLIMÁTICOS 9
4.3 ENVOLVENTE DEL EDIFICIO 11
4.3.1 Evolvente opaca 11
4.3.2 Evolvente acristalada 13
4.3.3 Infiltraciones 13
4.4 EQUIPOS INSTALADOS 14
5 METODOLOGÍA 15
5.1 ANÁLISIS TÉRMICO 15
5.1.1 Evaluación energética 16
5.1.1.1 Cálculo de cargas térmicas 16
5.1.1.2 Demanda de energía térmica 18
5.1.1.3 Consumo de energético 20
5.1.2 Evaluación económica 21
5.1.2.1 Coste de red de distribución de calefacción 21
5.1.2.2 Análisis económico de sistemas propuestos 22
5.1.3 Evaluación medioambiental 22
5.2 ANÁLISIS ELÉCTRICO 23
5.2.1 Evaluación energética 23
5.2.1.1 Demanda energía eléctrica 23
5.2.1.1 Propuesta fotovoltaica 23
5.2.2 Evaluación económica 24
5.2.3 Evaluación medioambiental 24
6 RESULTADOS 25
6.1 ANÁLISIS TÉRMICO 25
6.1.1 Evaluación energética 25
6.1.1.1 Cálculo de cargas térmicas 25
6.1.1.2 Demanda de energía térmica 30
6.1.1.3 Consumo energético 36
6.1.2 Evaluación económica 39
6.1.2.1 Coste de red de distribución de calefacción 39
6.1.2.2 Ahorro anual 39
6.1.2.3 Inversión inicial 41
6.1.2.4 Payback simple y VAN simple 42
6.1.2.5 Análisis de disponibilidad de leña 42
6.1.3 Evaluación medioambiental 45
6.2 ANÁLISIS ELÉCTRICO 46

6.2.1 Evaluación energética....46
6.2.1.1 Demanda energía eléctrica....46
6.2.1.2 Justificación de propuesta fotovoltaica escogida....48
6.2.1.3 Instalación fotovoltaica en cubierta Sur....49
6.2.2 Evaluación económica....56
6.2.2.1 Análisis económico de instlación fotovoltaica propuesta....56
6.2.3 Evaluación medioambiental....57
6.3 EVALUACIÓN DE SISTEMAS EN CONJUNTO....57
6.3.1 Evaluación económica....58
6.3.1.1 Ahorro anual....58
6.3.1.2 Inversión inicial....60
6.3.1.3 Payback simple y VAN simple....64
6.3.1.4 Análisis disponibilidad de leña....65
6.3.2 Evaluación medioambiental....66
7 RECOMENDACIONES....69
8 CONCLUSIONES....73
9 BIBLIOGRAFÍA....74

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los desplazamientos forzados y masivos de personas de su lugar de origen han incrementado significativamente. Se trata de personas en vulnerabilidad, que huyen de la guerra, del hambre, de la discriminación social debido a su raza, orientación sexual, religión… o por ser víctimas directas del cambio climático. Actualmente, son muchos y variados los motivos que obligan a personas y familias completas a desplazarse dejando todo atrás e incluso, arriesgando su vida.

Además, los países de acogida desarrollan unas políticas migratorias insuficientes, caracterizadas por su apatía, lentitud y falta de soluciones a corto y largo plazo. Una gestión que en ocasiones puede rozar la violación de los derechos humanos.

Como respuesta a esta situación, surgen movimientos sociales que proponen nuevas alternativas. Donde los Estados ven un problema, ellos ven una oportunidad de prosperidad y desarrollo para ambas partes. Como es el caso de la Red de Acogida de Artea, que demuestra que con real voluntad y esfuerzo se pueden alcanzar igualdad de oportunidades para una sociedad más justa, libre y plural. Se busca la creación de un espacio basado en el autoabastecimiento, en el que los miembros de la comunidad se benefician de la ayuda mutua, lo que ellos mismo denominan la cadena de favores.

Por otro lado, el aumento de la concienciación social en la necesidad de establecer una transición energética que suponga un cambio en el modelo energético actual. Consiste en abandonar los sistemas convencionales de producción de energía basados en el empleo de combustibles fósiles y fomentar la implementación de alternativas que hagan uso de energías renovables. De esta manera, logrando reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero y partículas contaminantes, cuyos impactos negativos ya son una realidad en el medio ambiente y la salud de los seres vivos.

Desafortunadamente, a pesar de que España presenta unas características idóneas para el uso de energías renovables, el mix energético se caracteriza aún por su elevada dependencia de los sistemas de generación convencionales y con un crecimiento lento en la integración de energías renovables.

Por este motivo, un factor clave para el logro de una transición energética más justa, económica y más respetuosa con el medio ambiente es el desarrollo del autoconsumo. Esta forma de generación eléctrica permite a los usuarios realizar la producción de su propia energía, logrando en todo lo posible la independencia de la Red. Además de reducir las pérdidas de energía dadas en el transporte entre el lugar de generación y el de consumo y fomentando un mejor uso de la energía por parte de la ciudadanía.

Los miembros de la Red de Artea consciente de la actual situación climática, consideran imprescindible lograr, en todo lo posible, la soberanía energética. Ser dueños de su propia energía de la forma más económica y limpia. Por ello, surge el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado para la vivienda Bildosola-Berri perteneciente a esta Red.

2 CONTEXTUALIZACIÓN

2.1 RED DE ACOGIDA DE ARTEA

Los procesos migratorios han estado presentes a lo largo de la historia de la humanidad. Las primeras migraciones prehistóricas del paleolítico, provocadas por el hambre y aumento de población, se desarrollaron hace más de 60.000 años. Nuestros ancestros abandonaron el continente africano con el objetivo de conseguir unos mejores recursos naturales, una mayor abundancia en alimento, mejores condiciones climatológicas o por simple supervivencia. Los desplazamientos humanos han continuado hasta el presente, siendo el principal responsable del mundo que conocemos hoy en día.

Se puede afirmar que el flujo migratorio no se trata de un fenómeno nuevo ni unidireccional. Un ejemplo claro es el flujo migratorio del Mediterráneo, donde a lo largo de la historia se ha producido de Norte a Sur y viceversa alternativamente, y continuamente marcado por la situación socioeconómica del momento.

Hoy en día, factores como la guerra, la violencia, causas políticas, económicas, culturales, cambio climático o la violación de los derechos humanos provocan el desplazamiento forzado y masivo de personas alrededor de todo el mundo. El inicio del siglo XXI se ha encontrado marcado por la mayor crisis migratoria desde el final de la Segunda Guerra Mundial, la cual ha afectado a más de 21,3 millones de personas [1].

La Red de Artea Sarea o Arteako Benta nace con el objetivo de hacer frente a esta problemática global creciente y como promotora de la defensa de los derechos humanos. Se trata de una iniciativa desarrollada por la plataforma Ongi Etorri Errefuxiatuak, agrupaciones feministas, espacios sociales y la propia ciudadanía de Artea, que mediante la solidaridad y acciones de paz denuncian las injusticias por las cuáles las personas se ven obligadas a huir de su pueblo. El lugar donde se nace es un factor totalmente aleatorio, nadie elige hacerlo en zona de guerra, o de hambre o donde faltan los derechos humanos. Por ello, la Red de Artea no acepta la idea de bloqueo o falta de ayuda hacia esas personas vulnerables a que puedan superar situaciones extremas y desesperadas.

Si se debe indicar una fecha de inicio del proyecto de Artea, se trata de diciembre de 2016. Dos miembros de la agrupación Ongi Etorri fueron detenidos en Grecia por intentar facilitar el traslado de 8 personas refugiadas a Euskal Herria, concretamente a HerrikoBenta de Artea. Tras haber sido injustamente acusados por tráfico de personas y finalmente liberados, se declaró por parte de la red "la desobediencia a un sistema que no respeta los derechos humanos", Artea no se quedaría conforme ante esta crisis humanitaria.

Ese mismo año, el Ayuntamiento de Artea abrió un concurso de proyectos con el fin de dar uso a una vieja casona del pueblo. Así fue cómo surgió la propuesta del hotel rural "con encanto". Tras la obtención del inmueble, fueron muchos vecinos de la propia aldea quienes ayudaron a su restauración.

Inicialmente, el espacio sería ocupado para el establecimiento de un bar, una tienda de productos locales y un restaurante en la planta baja, y un hostal en la planta superior. Sin embargo, debido a la gran crisis migratoria dada en ese mismo año los miembros del proyecto se hacen conscientes de la necesidad urgente de ofrecer una solución alternativa. Así como crear nuevos espacios y formas de vida sustituyendo la desobediencia del "no" por la desobediencia del "sí". De esta forma, este municipio vizcaíno del valle de Arratia se convierte en un espacio seguro para toda aquella persona que se encuentre en situación de vulnerabilidad. A las cuales se les recibe siempre con un real y enorme ongi etorri (bienvenida en castellano).

La idea principal del proyecto es el funcionamiento a partir de la construcción de una cadena de afecto y de confianza. Basada en la ayuda mutua entre los diferentes miembros de la Red, pero siempre asegurando la independencia individual. De esta manera, se crean las herramientas necesarias para que las personas que llegan puedan vivir dignamente, y una vez que hayan cubierto esos mínimos no requieran de mucho más. Como bien indica Mikel Zuluaga, miembro de Ongi Etorri y uno de los promotores de la Red de Artea, *"La solidaridad no es solo es una palabra grande, sino una palabra de tierra y tenemos que cultivarla" [2]*. Esta solidaridad de la que habla es un aspecto esencial, no se trata de una ayuda temporal y un concepto unidireccional como un acto de caridad, sino ofrecer una oportunidad y una solución estable a través de la construcción de sociedades basadas en el bien común. Se busca crear un entorno distendido para que las personas puedan tomar las decisiones sin sentir ningún tipo de presión y poder recuperarse tanto física como psicológicamente.

Estos últimos años el proyecto ha seguido creciendo, desde Zeanuri a Zornotza ya son alrededor de 100 personas las que viven en comunidad. Además de un número difícil de cuantificar de activistas y voluntarios que colaboran en diferentes actividades de la Red.

Actualmente, cuenta con un obrador de pan, otro de pastelería artesanal, seis hectáreas de terreno productivo, varias tabernas sociales y una tienda de segunda mano. Todo ello con el objetivo de instaurar con éxito una economía de subsistencia, basada en el autoabastecimiento y creación de oportunidades laborales para los miembros de la propia Red.

Por último, la Red de Artea tiene intención de seguir expandiéndose, y aumentar su capacidad de autogestión. Se están planeando y trabajando en nuevos proyectos como es el caso del nuevo ensayo social Basoa.

2.2 PROYECTO BASOA

El nombre de Basoa (Bosque en castellano) se debe por un lado a un componente físico ya que la vivienda se encuentra rodeada de un hermoso bosque, el paisaje característico de la zona. Por otro lado, existe un aspecto simbólico, ya que el bosque por esencia es el refugio natural, donde se resguarda la fauna más libre.

El proyecto de Basoa consiste en la construcción de un espacio de activistas de todo el mundo, un lugar de refugio para personas que se encuentran perseguidas por luchar por la defensa de los Derechos Humanos. Para ello, se ha adquirido recientemente una casona en el barrio de Bildosola, la cual actualmente se encuentra en proceso de rehabilitación. Diferentes grupos de trabajo (logística, eléctrico, energía...), conformados por miembros de Red de acogida de Artea y voluntarios, trabajan en este proceso. Se trata de un proyecto autogestionado, donde cada grupo presenta su propia autonomía y existe mensualmente una asamblea abierta para la toma de decisiones.

Figura 2-1. Asamblea abierta de Basoa en abril de 2021

Este espacio tiene como objetivo el desarrollo de un nuevo activismo, donde activistas de diferentes partes del mundo comparten sus experiencias e ideas. Además de construir nuevas empresas sociales que contribuyan en la economía interna de la Red de Artea, así como un taller de serigrafía (Torontile), gestión cultural (talleres, asambleas...), un estudio de grabación (Basoahotza) para ofrecer un espacio de creación artística a los miembros de la red, y también se dispondrá de grupos de trabajo que elaboran productos artesanales como cerveza, detergente, jabones…

Por otro lado, la vivienda será ocupada de forma permanente por 20 a 30 Defensoras y activistas vascas. Además del resto de personas que trabajan y disfrutan del espacio, que forman parte de la Asamblea (alrededor de 60 personas). También servirá como cobijo temporal para otro grupo de personas. Esta comunidad de tránsito se trata de personas que desarrollarán talleres específicos, que están colaborando con el proyecto que simplemente necesitan un espacio de camping o albergue.

2.3 SOBERANÍA ENERGÉTICA

Como ya se ha comentado antes, la Red está compuesta por diferentes grupos de trabajo, y cada uno tiene su propia autonomía.

Lograr la soberanía energética es una de las prioridades del proyecto. Se trata de un aspecto importante para toda la comunidad ser capaz de conseguir la independencia de la Red de Distribución Eléctrica y de los combustibles fósiles, mediante el autoabastecimiento energético. Además de abastecer las necesidades básicas energéticas de cada uno de los espacios que conforman la Red, asegurando el suministro térmico y eléctrico para la habitabilidad de dichas zonas.

Actualmente, existe una asamblea dentro del proyecto encargada de las tareas relacionadas con la energía. Esta *Mesa de la Energía,* a día de hoy, elabora una estrategia para avanzar hacia la soberanía energética de Basoa. Esta Mesa de la Energía se encuentra actualmente conformada por voluntarios de diferentes agrupaciones como Ingeniería Sin Fronteras (ISF), la cooperativa Goiener, así como profesorado y estudiantado de la UPV-EHU, donde se inscribe el presente Trabajo Fin de Grado.

En concreto, con este trabajo se pretende evaluar el potencial energético de la vivienda con el objetivo de ser un punto de partida para determinar las necesidades energéticas de la misma. De esta manera, aportar información detallada y útil para la futura toma de decisiones de la estrategia energética.

3 OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es llevar a cabo un análisis comparativo de posibles sistemas basados en energía renovables con el fin de abastecer, en todo lo posible, la demanda energética, tanto térmica como eléctrica de la vivienda Bildosola-Berri localizada en el País Vasco. De esta manera, se plantea una alternativa para la sustitución de la actual caldera de gasóleo y lograr una mayor independencia de la red de distribución.

Debido a la actual situación de rehabilitación y desocupación de la vivienda, se desconoce las necesidades energéticas de la misma. De esta manera, para realizar el análisis comparativo anteriormente mencionado, se ha elaborado una evaluación de la futura demanda energética.

Se han analizado las necesidades térmicas de la vivienda requerida para Agua Caliente Sanitaria (ACS) y calefacción para lograr una estrategia eficiente y rentable económicamente para los usuarios de la vivienda. Además de mostrar el impacto positivo medioambiental, así como la reducción de emisiones, al sustituir el uso de combustibles fósiles por energías limpias.

En cuanto a las necesidades eléctricas, se ha analizado el potencial fotovoltaico de la vivienda con el fin de dimensionar una instalación que se ajuste a las características y necesidades del caso en estudio. También se busca evaluar la viabilidad económica y el impacto medioambiental del uso de esta tecnología.

Finalmente, se ha evaluado diferentes alternativas para lograr el suministro total energético de la vivienda, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los apartados anteriores. De forma similar a lo que se ha comentado anteriormente, diseñar una configuración en conjunto del sistema de generación térmica e instalación fotovoltaica que presente los mejores resultados económicos y medioambientales.

Figura 3-1. Vivienda Bildosola-Berri

4 CASO DE ESTUDIO

4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

La vivienda Bildosola-Berri se encuentra situada en el barrio de Bildosola ubicada en la localidad de Artea, municipio del valle de Arratia, en la provincia de Bizkaia, en el País Vasco.

Figura 4-1. Mapa ubicación de Comarca Arratia-Nervión

La vivienda se encuentra aislada del Municipio de Artea, situada en la zona Norte y muy cercano al paso del río Arratia. La región se caracteriza por una gran riqueza de vegetación autóctona. Además, la zona ha sufrido una fuerte erosión y formando colinas con una reducida elevación.

Presenta las siguientes características geográficas:

- **Coordenadas geográficas:**
  - Latitud: 43º 08’ 40’’ N
  - Longitud: 2º 47’ 12’’ W

- **Altitud:**118 m

Figura 4-2. Mapa ubicación de Bildosola-Berri (Fuente: Google Earth)

Se trata de una vivienda unifamiliar, aislada y de gran tamaño construida en 1945. Cuenta con una superficie habitable de 735,39 m² y un terreno que dispone de piscina y frontón propio.

En cuanto a la zona habitable, como muestra la Figura 4-2 se puede diferenciar principalmente dos partes diferenciadas, la zona Ala y la zona Noble.

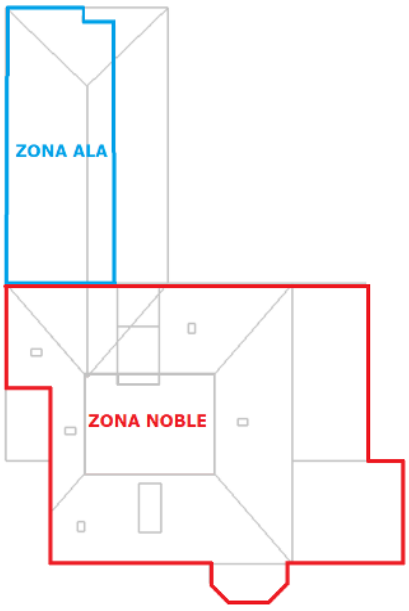


Figura 4-3. Plano de zona Ala y zona Noble

A su vez, cada zona dispone de tres plantas. En la Figura 4-3. se representa un plano simplificado interior de la vivienda, donde se puede ver los diferentes espacios que conforman cada una de las plantas.

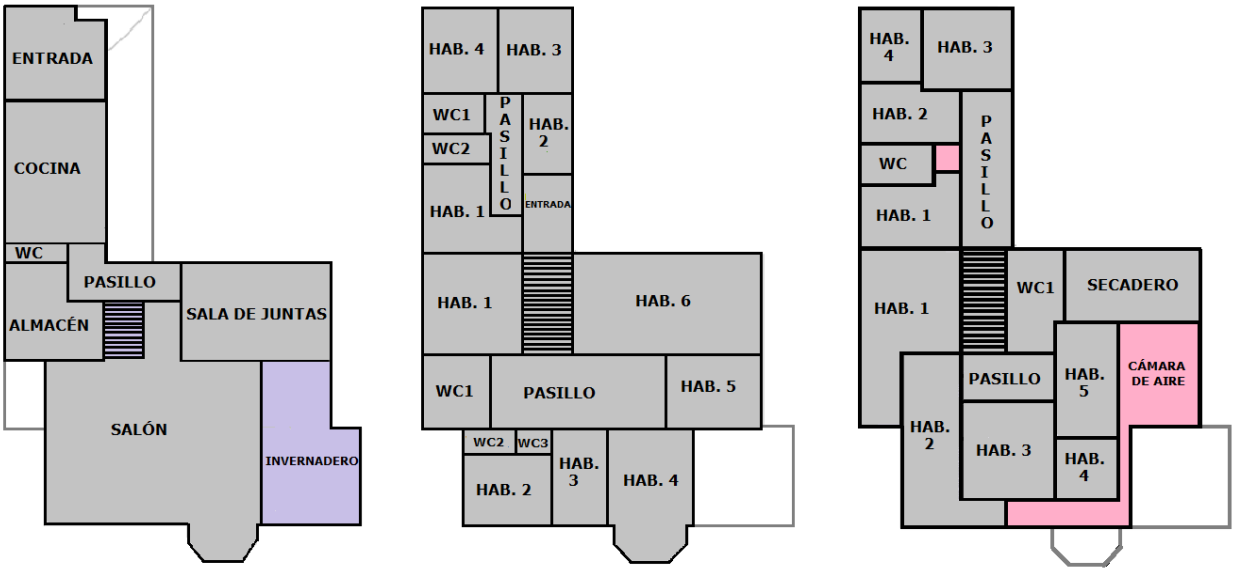


Figura 4-4. Planos interiores de la vivienda. Planta 0 (Izq.), planta 1 (centro) y planta 2 (Der.)

4.2 DATOS CLIMÁTICOS

Se ha recurrido a la herramienta gratuita PVGIS [3], la cual es capaz de generar datos climatológicos mensuales, diarios u horarios de un año meteorológico típico de cualquier zona de Europa.

En este caso, se han obtenido los datos mensuales tanto de irradiación global horizontal como irradiación global considerando la inclinación de la cubierta. Para obtener un valor promedio de la irradiancia del lugar, necesaria para posteriores cálculos, se ha realizado la media de los datos disponibles que comprenden desde el año 2010 al 2017 (Rango temporal máximo disponible en PVGIS).

Se muestra en la siguiente página en la Tabla 4-1.

	Irradiación global horizontal (kWh/m2)	Irradiación global inclinación 17º (kWh/m2)
ENERO	41,70	54,81
FEBRERO	52,70	64,34
MARZO	98,19	112,87
ABRIL	126,42	135,34
MAYO	147,97	149,49
JUNIO	158,72	159,38
JULIO	166,63	169,12
AGOSTO	155,13	163,73
SEPTIEMBRE	119,01	134,08
OCTUBRE	85,75	103,95
NOVIEMBRE	46,59	61,30
DICIEMBRE	43,84	62,32

Tabla 4-1. Irradiancia global en el plano horizontal e inclinación de cubierta (Fuente: PVGIS)

Sobre la cubierta (plano con inclinación 17º) se dispone lógicamente de una mayor irradiación durante todo el año.

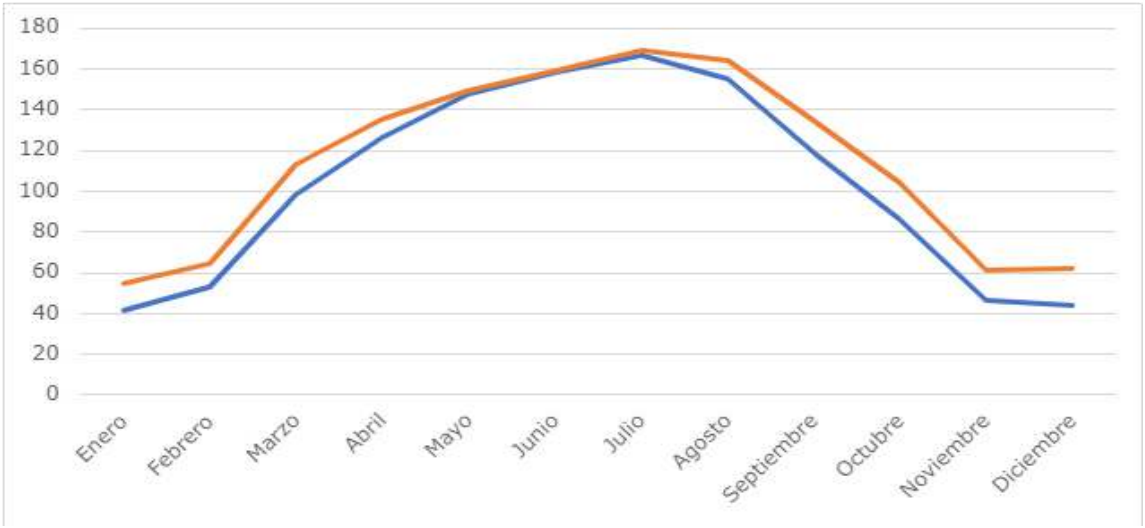


Figura 4-5. Gráfica irradiancia global media mensual [kWh/m²] de plano horizontal (azul) y plano inclinación de cubierta (naranja)

También se han generado a través del PVGIS las temperaturas mensuales promedio dadas en la localidad de Artea. Como muestra la Figura 4-5. la región presenta un clima templado, ya que en los meses de invierno las temperaturas no descienden de 5ºC. Mientras que las temperaturas más elevadas a lo largo del año no superan los 25ºC.

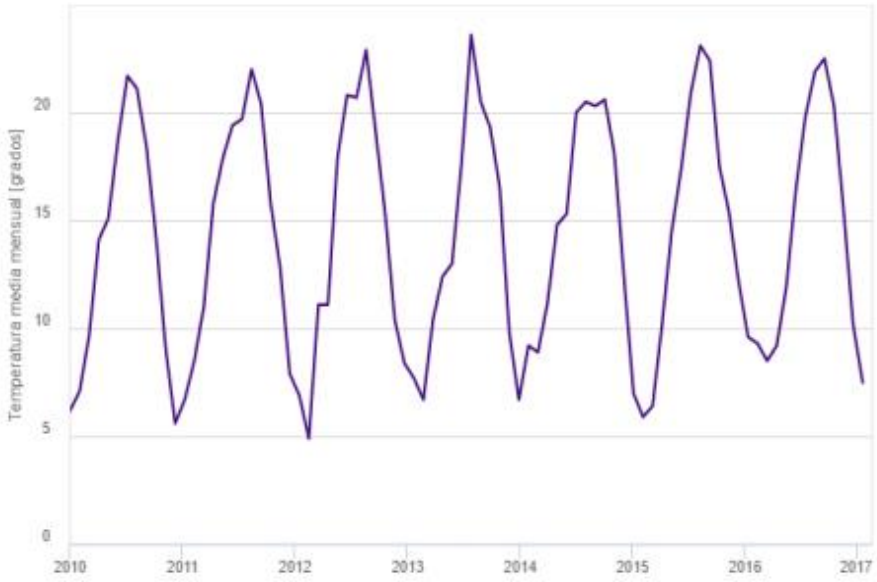


Figura 4-6. Gráfica temperatura promedio mensual en (Fuente: PVGIS)

4.3 ENVOLVENTE DEL EDIFICIO

A continuación, se desglosa la composición constructiva del edificio, que será la base para la determinación de cargas, así como para la realización de las simulaciones energéticas (ver Sección 5). La composición del edificio se compone de envolvente opaca, envolvente acristalada e infiltraciones. La ventilación natural, que sería controlada por las personas usuarias, se ha dejado fuera de análisis debido a la fuerte componente estocástica y debido a que tendrá lugar de manera predominante en el régimen de verano cuando no existen necesidades de calefacción, limitando el efecto sobre el comportamiento energético del edificio.

Debido a la ausencia de proyecto constructivo y otra información específica, se ha tenido que estimar la composición en base a la tipología constructiva de la zona, el año de construcción y el espesor medido de la envolvente. Si bien esto incorpora cierta incertidumbre, se considera asumible dada la homogeneidad de soluciones en la época de construcción de la casa.

4.3.1 Evolvente opaca

La composición de las distintas componentes de la envolvente fue estimada en base a tipología y año de construcción, así como a la medida directa del espesor. Las características térmicas estimadas se resumen en la siguiente Tabla 4-2.

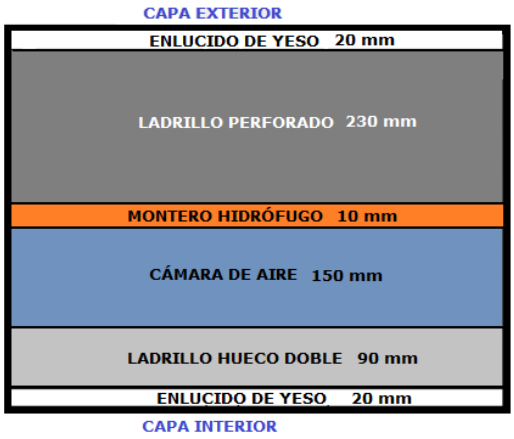
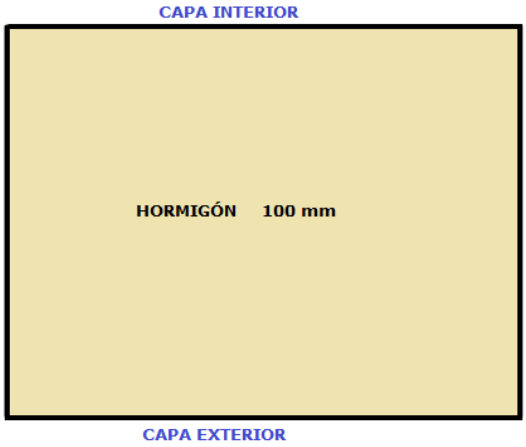
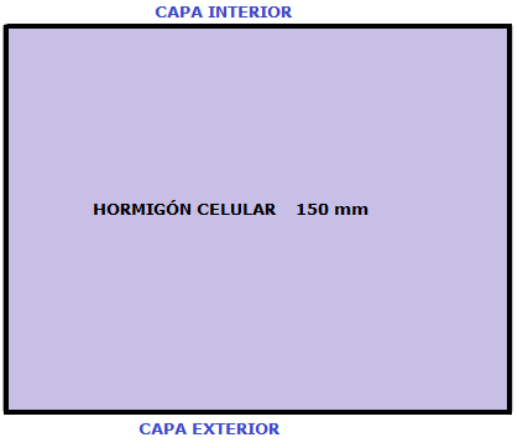
MURO EXTERIOR	FORJADO
	
0,908 W/m^{2}K	2,929 W/m^{2}K
SOLERA	**CUBIERTA**
	
0,871 W/m^{2}K	1,417 W/m^{2}K
TABIQUE INTERIOR	
1,281 W/m^{2}K	

Tabla 4-2. Características térmicas estimadas de componentes

4.3.2 Evolvente acristalada

La totalidad de la casa cuenta con acristalamiento doble con marco de madera. Se evaluó la composición de los vidrios, estando estos compuestos por dos vidrios de 4 mm con cámara de aire de 12mm, estimándose un valor de transmitancia térmica de 2,72 W/m^{2}K. En el caso del invernadero, situado en la zona Noble de la planta baja, si bien el acristalamiento era el mismo, este estaba acoplado a marcos metálicos simples, sin rotura de puente térmico.

4.3.3 Infiltraciones

Las infiltraciones de la vivienda son cualitativamente elevadas, dada la baja calidad de los cierres de puertas, y, sobre todo, la falta de estanqueidad de las cajas de persiana. Para poder hacer una estimación de esta falta de estanqueidad se ha tomado como referencia una investigación realizada recientemente sobre el estado de la estanqueidad en edificios residenciales en España [4]. A continuación, se ve la distribución estadística de la base de datos analizados.

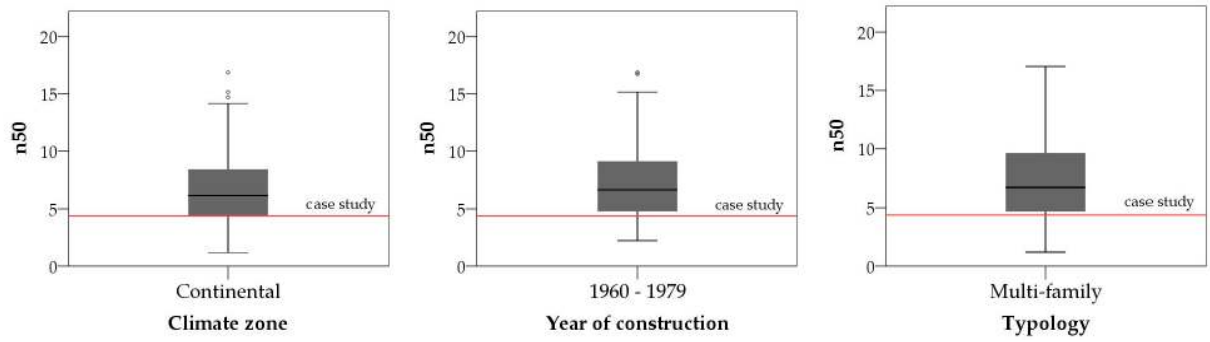


Figura 4-7. Distribución estadística de datos analizados [4]

Con el objeto de hacer una estimación conservadora, cogemos el límite superior de los casos considerados para la base de datos, que correspondería a 20 ACH para una diferencia de presión interior-exterior de 50 Pa. Si bien este valor, varía con la temperatura interior, la temperatura exterior y la intensidad del viento, se puede tomar como valor promedio una diferencia de presión de 5 Pa. Mediante la siguiente expresión, se pueden relacionar los niveles de infiltración a distintas presiones diferenciales, donde n sería un coeficiente que varía entre 0,6 y 0,7, siendo 0,67 un valor de referencia habitual.

$$ACH_{5Pa} = \frac{ACH_{50Pa}}{50^n} \cdot 5^n$$

Lo que nos resulta en unas infiltraciones de 4,27 ACH para una presión diferencia de 5 Pa. No podemos saber hasta qué punto este valor es representativo de la casa de estudio, pero encaja con la constatación del elevado número de ACH evaluado de forma cualitativa.

4.4 EQUIPOS INSTALADOS

A día de hoy, la vivienda dispone de una caldera mixta de gasóleo con una potencia de 110 kW con depósito exterior y un depósito de acumulación con una capacidad de 700 litros. Este sistema mixto se emplearía para abastecer tanto la demanda de calefacción y la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS), aunque en la actualidad el sistema estaría desconectado debido a que la casa se encuentra sin habitar. Dicho sistema se localiza en un espacio construido en el exterior anejo al pasillo de la planta baja, en la zona de arcos del Ala.

Figura 4-8. Caldera de gasóleo (izquierda) y depósito de acumulación (derecha)

Por otro lado, debido a la antigüedad de la vivienda, la calefacción se distribuye mediante el uso de radiadores convencionales de alta temperatura. Además, la vivienda no se encuentra calefactada en su totalidad. En su lugar, se dispone de una red de distribución que se extiende por toda la zona Ala, la sala de Juntas, el pasillo y almacén de la planta baja de la zona Noble.

Respecto al suministro eléctrico, la vivienda está conectada a la Red de Distribución y dispone de una potencia contratada de 3,6 kW. Se considera que este valor puede ser limitado teniendo en cuenta la futura ocupación y uso de la casa, por lo que se planteó la necesidad de aumentar la potencia contratada para reducir posibles riesgos en el sistema eléctrico. Además, al tratarse de una vivienda antigua, los circuitos eléctricos de la vivienda se encuentran deteriorados, por lo que es necesario su sustitución, en lo que se está trabajando actualmente.

5 METODOLOGÍA

El desarrollo del trabajo se va a diferenciar principalmente en las dos necesidades energéticas a cubrir en la vivienda: necesidades térmicas y necesidades eléctricas. A continuación, se va a dar paso a la explicación detallada del procedimiento escogido para cada una de ellas, ya que sus respectivos análisis de potencial se definen a partir de diferentes parámetros. Sin embargo, se ha seguido una estructura general para ambas componentes, se ha realizado una evaluación energética, económica y medioambiental.

5.1 ANÁLISIS TÉRMICO

Se ha realizado una evaluación energética, económica y medioambiental de dos posibles necesidades energéticas (térmica) de la vivienda. Las cuales se diferencian debido a la configuración de calefacción que disponga:

- **Situación actual:** consiste en la situación actual de distribución de calefacción, donde se encuentra únicamente calefactadas la zona Ala, la sala de Juntas, el pasillo y el almacén de la planta inferior de la zona Noble.
- **Situación de ampliación:** consiste en una posible alternativa de ampliación de la red de radiadores existente, con el fin de calefactar el salón situado en la Noble 0 y todas las habitaciones de la Noble 1.

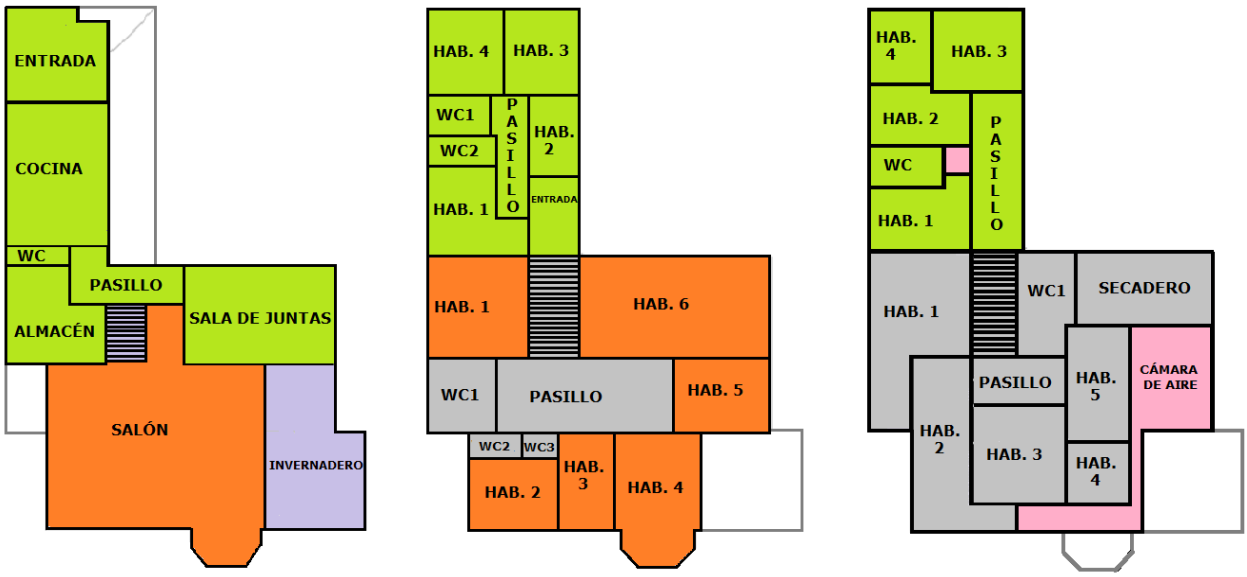


Figura 5-1. Zonas calefactadas común actual y ampliación (verde) y solo ampliación (naranja)

Se ha realizado un análisis comparativo entre estas dos posibilidades, con el fin de estudiar el comportamiento térmico de la vivienda. De esta manera, diseñar una estrategia adecuada, a nivel energético y económico, de la distribución de calefacción y consecuentemente en el diseño del sistema encargado del suministro de energía térmica de la vivienda.

5.1.1 Evaluación energética

5.1.1.1 Cálculo de cargas térmicas

Para el cálculo de cargas térmicas de ambas situaciones, se ha empleado el software DesignBuilder. Se trata de una herramienta de simulaciones energéticas y ambientales de edificios muy potente, que emplea como motor de simulación dinámica EnergyPlus.

Se determinan las cargas térmicas por espacio según el método ASRHAEA para las condiciones estacionarias y más desfavorables [5]. Este método emplea los siguientes factores:

- Temperatura exterior de diseño de invierno.
- Considera el viento.
- No tiene en cuenta la radiación solar.
- Temperatura de diseño interiores por actividad (en este caso uso residencial).

Es capaz de indicar la potencia requerida para calefacción de cada una de las zonas que conforman la vivienda en la situación meteorológica más desfavorable, con el fin de lograr unas condiciones de temperaturas y humedad específicas en el interior del edificio. Para el caso en estudio, únicamente interesa cubrir las necesidades térmicas de calefacción, debido a las características climatológicas que presenta la zona.

Una vez se han obtenido las cargas térmicas o pérdidas de calor totales (kW) que sufre cada espacio, se determina la capacidad nominal necesaria que requiere el sistema de calefacción para calefactar la vivienda. Debido a que las cargas térmicas son obtenidas a partir de un año de referencia, para asegurar el suministro de calor en todo momento, se ha sobredimensionado la capacidad nominal un 25% respecto a las cargas térmicas.

$$\text{Capacidad nominal (kW)} = 1{,}25 \cdot \text{Pérdida de calor (kW)}$$

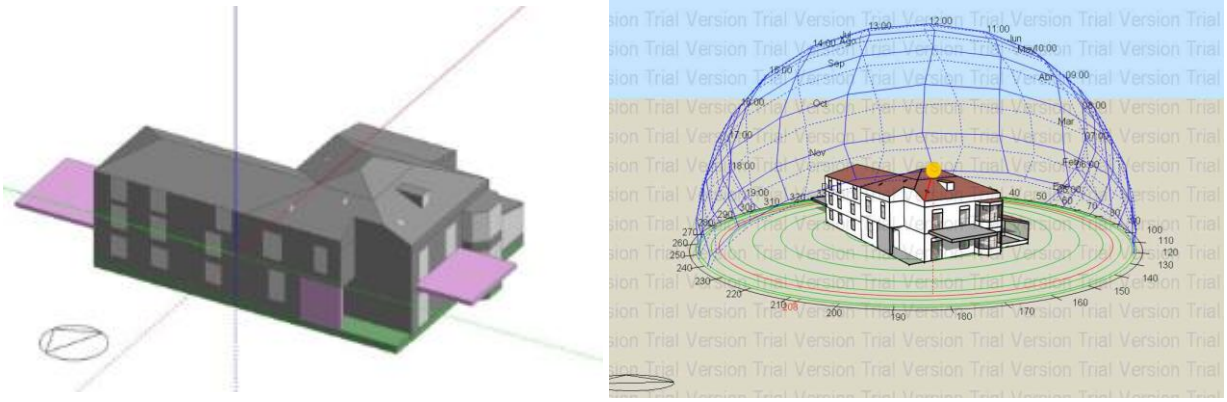


Figura 5-2. Modelado 3D de vivienda Bildasola-Berri (Fuente: DesignBuilder)

Como se ha comentado, la vivienda cuenta con un sistema de distribución de calefacción conformado por radiadores de alta temperatura, que se extiende por las zonas actualmente calefactadas. En el desarrollo de este trabajo se ha considera que, tanto

para la situación actual como la ampliada de calefacción, es necesario la implementación en su totalidad de la red de radiadores correspondiente a cada caso.
De esta manera, se realiza una evaluación más conservadora para la situación de calefacción actual, ya que se desconoce las condiciones en las que se encuentran los actuales radiadores. Además de que su actual distribución puede no ser la más adecuada para lograr el bienestar térmico en todas las estancias. Por ello, se considera la sustitución por completo de la red de radiadores existente en la vivienda.

Se ha calculado la longitud de radiadores necesaria para cada una de las zonas en función de la carga de diseño (capacidad nominal) requerida. Sabiendo que un radiador es capaz de suministrar una potencia igual a 1500 W/m se determina los metros de radiador necesario.

$$L_{\,radiadores}\ (m) = \frac{Capacidad\ nominal\ (kW)}{1{,}5\ (kW/m)}$$

- **Balance térmico**

El valor de las cargas térmicas anteriormente mencionadas viene definido por las diferentes ganancias y pérdidas de calor que intercambia cada espacio con el exterior. El cálculo de estas cargas indica la potencia necesaria del equipo de calefacción para compensar dichas pérdidas de calor.

El programa DesignBuilder permite conocer el valor de las principales ganancias y pérdidas térmicas que sufre por transmitancia, ventilación e infiltración en cada espacio de la vivienda. Se analiza donde se dan las pérdidas de calor más significativas y cómo afecta en el comportamiento térmico general de la vivienda, así como la transferencia de calor que se produce de las zonas calefactadas (mayor temperatura) hacia las que no lo están (menor temperatura). De esta manera poder diseñar la estrategia de calefacción más óptima y eficiente.

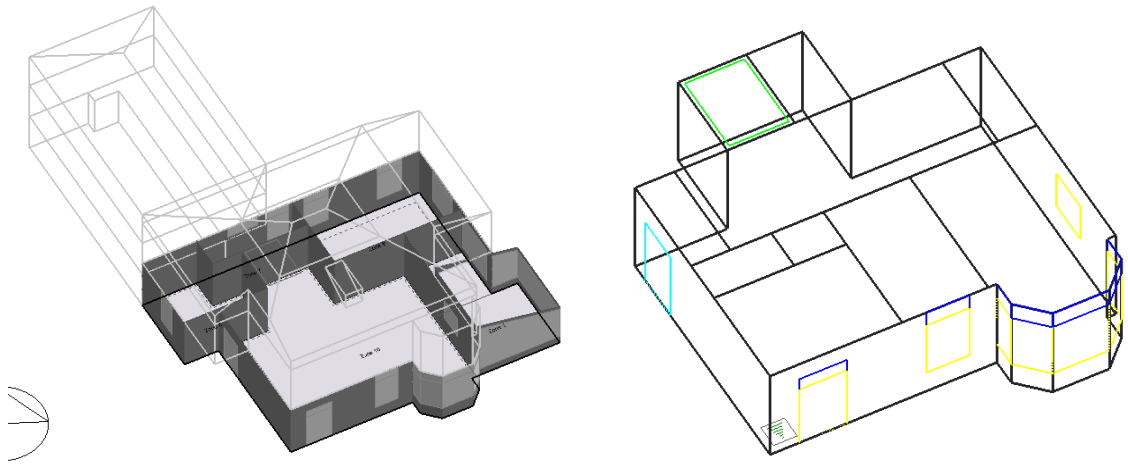


Figura 5-3. Modelado de huecos (puerta, hueco de escaleras, ventanas, cajas de persianas) en el salón de la vivienda (Fuente: DesignBuilder)

Se han evaluado las posibles ganancias y pérdidas de calor que se pueden producir por acristalamientos, muros, suelos, infiltraciones, cubiertas y techos. Estos valores dependen de las características de cada zona: la temperatura interior, si se encuentra calefactada, diferencia de temperatura con su entorno, composición de suelo, muros, cerramientos, número de huecos… Sin embargo, las ganancias de calor por ventilación son nulas en todos los casos, ya que se ha establecido dicho valor en la propia simulación. Tampoco se han tenido en cuenta posibles ganancias por ocupación, actividad e iluminación.

5.1.1.2 Demanda de energía térmica

- **Demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS)**

Actualmente la vivienda se encuentra desocupada, por lo que no es posible conocer el consumo de ACS. Por ello, se ha realizado una estimación de este, teniendo en cuenta la futura ocupación y utilidad de la vivienda. Se han seguido las recomendaciones establecidas por el DB-HE4 del Código Técnico de la Edificación (CTE) [6].

La vivienda será habitada por 25 personas de manera constante y en torno a otras 25 personas que desarrollarán talleres u otras actividades. Finalmente, para el cálculo estimativo del futuro consumo se ha considerado que la vivienda estará habitada por un total de 30 personas de manera constante.

Según el DB-HE4, en viviendas de uso residencial, como es el caso, el consumo diario de ACS es igual a 28 l/persona. Se determina el consumo total de ACS diario mediante la siguiente expresión:

$$C_{ACS} = nº\ personas \cdot 28\ l/día{\cdot}persona$$

Una vez obtenida la demanda de ACS diaria de la vivienda, se determina la energía que debe aportar la caldera para poder suministrar dicha demanda. Para ello, se emplea la expresión de calor sensible, que relaciona la cantidad de calor que se debe aportar a una masa de agua determinada para lograr aumentar su temperatura.

$$Q_{TOTAL} = m_{TOTAL} \cdot C_P \cdot \Delta T$$

Siendo:

- **Q_{TOTAL}:** energía total consumida por la caldera para abastecer la demanda total diaria.
- **m_{TOTAL}:** caudal másico del agua [kg/s]. La densidad del agua es igual a 1 l/kg.

$$m_{TOTAL} = 840\ l/día \cdot 1\ kg/l = 840\ kg/día$$

- **C_p:** calor específico del agua igual a 4,186 kJ/KgºC.
- **ΔT:** salto térmico del fluido entre la temperatura del agua caliente acumulada en el depósito y la temperatura de agua fría de la red ºC.

  En el *Anejo 6 del DB-HE4* se establecen las temperaturas diarias mensuales del agua de red para las capitales de provincias (T_{AFYP}). Para determinar el valor en la localidad de Artea se emplea la siguiente expresión establecida por el propio documento:

$$T_{AFY} = T_{AFYP} - B \cdot A_z$$

- **T_{AFY}:** Tª diaria mensual de agua fría de red en la localidad de Artea.
- **T_{AFYP}:** Tª diaria mensual de agua fría de red en Bilbao. Presenta un valor mínimo en el mes de enero de 9 ºC.
- **B:** es un coeficiente de valor 0,0066 para los meses de octubre a marzo y 0,0033 para los meses de abril a septiembre. En este caso se toma el correspondiente de los meses de invierno ya que se toma la temperatura mínima que se da en el mes de enero.
- **A_z:** Diferencia de altitud entre la localidad y la capital de provincia.

$$A_z = A_{ARTEA} - A_{BILBAO} = 125-6 = 119 \text{ m}$$

Se obtiene como resultado una temperatura de 8,6ºC. Por otro lado, la temperatura de acumulación debe ser al menos de 60ºC, según lo marca la Guía Técnica de Agua Caliente Sanitaria Central del IDAE [7], para evitar problemas de solubilidad, como la legionelosis. Teniendo en cuenta estos factores, se determina que el salto de temperatura del fluido es igual a:

$$\Delta T = 60-8,6 = 51,4 \text{ ºC}$$

Por otro lado, debido a la desocupación de la vivienda, se desconoce en qué periodos de tiempo y en qué porcentaje se va a distribuir este consumo total a lo largo del día. Por ello, se toma el método de cálculo y valores establecidos por el IDAE [8] para determinar una distribución diaria de referencia de la demanda de ACS. Esta distribución de referencia se ha utilizado para siguientes cálculos, así como para conocer la demanda crítica de energía térmica y poder dimensionar adecuadamente los sistemas de producción de ACS.

Viviendas																							
Ventilación invierno[3]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Laboral, sábado y festivo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Agua Caliente Sanitaria (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Perfil Diario (% del Máximo)	12	5	4	2	2	6	27	100	70	75	62	56	48	48	41	33	39	38	52	70	57	63	48	52

Figura 5-4. Tabla valores referencia distribución consumo de ACS propuesta por el IDAE [8]

- **Demanda de calefacción**

Para el desarrollo de este apartado se ha vuelto a emplear el programa DesignBuilder, el cual es capaz de determinar parámetros, como la temperatura interior y demanda térmica requerida para calefacción de cada uno de los espacios. Permite simulaciones en diferentes rangos temporales: anuales, mensuales, diarios e incluso horarios. De esta manera, se puede determinar con detalle las necesidades energéticas requeridas por la vivienda.

En primer lugar, se ha realizado un análisis de las temperaturas interiores de los diferentes espacios que conforman la vivienda. Las temperaturas componen un factor imprescindible en el análisis térmico y consecuentemente en la necesidad de calefactar o no ciertos espacios.

Se han obtenido los datos horarios de las temperaturas interiores de cada una de las zonas de vivienda y la temperatura exterior a lo largo de un año. Posteriormente, se han agrupado en un diagrama de cajas y bigotes con el objetivo de analizar la distribución y la tendencia central de las temperaturas a lo largo de un año de referencia, además de los valores extremos que se pueden dar.

Teniendo en cuenta que el IDAE establece que en invierno la temperatura de confort interior diurna debe oscilar entre 21 -23ºC y 15-17ºC durante la noche [9], se puede determinar qué zonas presentan una mayor prioridad de ser acondicionadas. En este caso, debido a las ganancias internas que va a sufrir por la gran ocupación que va a tener la vivienda, así como la apuesta del proyecto por limitar el consumo, se ha establecido un rango de temperatura entre 17-20ºC para calefacción.

Se ha realizado el mismo proceso para toda la vivienda sin calefactar, y para las dos alternativas propuestas (Actual y ampliación) con el fin de estudiar las transferencias de calor que se dan entre las diferentes zonas de la vivienda. De esta manera, es posible elaborar una estrategia más óptima y eficiente en cuanto a qué áreas se deben calefactar, con el fin de reducir el consumo en calefacción y consecuentemente los costes económicos.

Por otro lado, se ha obtenido la demanda requerida de calefacción de la vivienda. Teniendo en cuenta que durante los meses de verano no se hará uso de calefacción, se ha realizado una simulación horaria a lo largo de un año referencia para determinar la demanda total de calefacción dada en cada espacio que conforma la vivienda para cada una de las alternativas en estudio, situación actual y ampliación. Se ha realizado un análisis comparativo entre ambas alternativas para determinar en qué medida aumenta la demanda térmica al ampliar las zonas calefactadas.

- **Demanda térmica total**

La demanda térmica total de la vivienda indica la cantidad total de energía que debe suministrar el sistema de generación para cubrir las necesidades de ACS y calefacción requeridas en la vivienda. Se determina el valor de la demanda térmica total a lo largo de un año de referencia, sumando los valores de demanda térmica necesaria para ACS y calefacción, tanto para la situación actual como la de ampliación, obtenidos en los apartados anteriores.

5.1.1.3 Consumo energético

Se refiere al consumo energético, dado por los sistemas de generación de energía térmica, requerido para lograr satisfacer una demanda térmica concreta. Se ha realizado un análisis comparativo entre posibles sistemas mixtos que puedan suministrar la demanda necesaria de ACS y calefacción de la vivienda. En el desarrollo de este apartado, se han evaluado para las dos demandas térmicas totales, las cuales se diferencian por las dos posibles situaciones de calefacción (actual y ampliación).

En primer lugar, se ha determinado la potencia de diseño que deben disponer los equipos generadores de energía térmica. Para ello, se ha sumado las cargas térmicas, calculadas obtenidas mediante el método ASHRAE (desarrollado en el apartado de *Cálculos de cargas*), y la potencia máxima requerida para el abastecimiento de ACS (detallado en el apartado *Demanda de Agua Caliente Sanitaria*). Debido a que las cargas térmicas dadas presentan un sobredimensionamiento del 25%, se ha sobredimensionado en la misma medida la potencia requerida para ACS. De esta manera, se obtiene un valor conservador, que garantiza el suministro térmico en todo momento para todos los casos en estudio.

Se han analizado los siguientes sistemas:

- **Caldera de gasóleo:**
  Esta propuesta consiste en mantener el uso de la caldera actual de gasóleo que presenta una potencia nominal de 110 kW.

- **Caldera de biomasa:**
  La zona dispone de un alto recurso natural de leña, por lo que se estudia la modificación de la caldera de gasóleo por una caldera que aproveche este tipo de biomasa. Se ha analizado esta alternativa, debido a que la comunidad podrá autoabastecerse de cierta cantidad de leña. Lo cual, puede ser beneficioso para la rentabilidad económica del proyecto.

- **Aerotermia:**
  Se plantea la sustitución del sistema de generación de energía térmica actual por una bomba de calor de configuración aire-agua. Este tipo de tecnología se caracteriza por presentar una mayor eficiencia energética, pero también un elevado coste respecto al resto de alternativas propuestas.

  Se plantea el aprovechamiento del depósito de acumulación térmica existente en la vivienda, con el objetivo principal de disponer de una bomba de calor de menor potencia y consecuentemente reducir el coste de la inversión inicial.

  Se ha realizado un estudio del sistema de aerotermia en función de la potencia de la bomba de calor y capacidad de almacenamiento del depósito, con el objetivo de optimizar el conjunto. Este estudio se encuentra detallado en el Documento 2 de este mismo trabajo.

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente mencionado, se ha escogido los mismos equipos para realizar la evaluación comparativa entre ambas situaciones (actual y ampliación).

Para determinar el consumo energético de cada propuesta se ha seguido esta expresión, en la que se tiene en cuenta la demanda térmica que se quiere satisfacer y el rendimiento de los equipos escogidos.

$$Consumo\ total\ (kWh/año) = \frac{Demanda\ térmica\ total\ (kWh/año)}{\eta_{tecnología}}$$

5.1.2 Evaluación económica

5.1.2.1 Coste de red de distribución de calefacción

Se ha determinado el coste que supone la red de radiadores necesaria para cada propuesta. Para ello, se ha tenido en cuenta los metros de radiador necesarios (obtenidos en el apartado 6.1.1.1. Cálculo de cargas térmicas), y el precio promedio de un metro de radiador que es igual a 200€.

$$C_{radiadores}\ (€) = L_{radiadores}\ (m) \cdot 200\ (€/m)$$

De esta manera, se logra obtener una referencia del sobrecoste que supone ampliar la red de distribución, con el fin de aumentar el área calefactada de la vivienda.

5.1.2.2 Análisis económico de sistemas propuestos

Teniendo en cuenta las dos posibles demandas térmicas totales (considerando calefacción actual o ampliada) se ha realizado un análisis económico de los diferentes sistemas propuestos para la generación de energía térmica: caldera de gasóleo, caldera de leña y sistema de aerotermia

El objetivo de este análisis económico es determinar si es rentable económicamente sustituir la caldera actual por un sistema basado en energías renovables. Por ello, se ha determinado el ahorro anual que puede suponer la sustitución del combustible o fuente de energía empleado. En el caso de la caldera de biomasa corresponde a la leña y en el de aerotermia la electricidad. También se ha detallado un presupuesto para cada una de ellas, sin tener en cuenta el coste por instalación.

Se ha evaluado los siguientes parámetros económicos para estudiar su rentabilidad:

- **Payback simple:** indica el tiempo de amortización de la inversión inicial.

$$Payback_{SIMPLE} = \frac{Inversión(€)}{Ahorro(€/año)}$$

- **Valor Actual Neto (VAN) simple:** ahorro acumulado a lo largo de la vida útil de la instalación propuesta.

$$VAN_{SIMPLE} = (Ahorro \cdot Vida\,útil) - Inversión$$

Como ya se ha comentado anteriormente, la comunidad podrá disponer de cierta cantidad de leña de forma gratuita. Para el desarrollo de este apartado, se ha considerado que se debe costear toda la cantidad necesaria de este recurso para abastecer la demanda térmica total. Sin embargo, la realidad es que la comunidad podrá autoabastecerse en cierta parte con este recurso. Como se desconoce la disponibilidad concreta del mismo, se ha realizado un análisis detallado de las consecuencias económicas para el sistema de biomasa en función de la disponibilidad de leña de forma gratuita.

5.1.3 Evaluación medioambiental

Con el objetivo de determinar analizar el impacto positivo medioambiental de sustituir el uso de combustible fósil por alternativas renovables se ha analizado las emisiones de CO_2 generados por cada alternativa. Se ha determinado los kg de CO_2 equivalentes para realizar el análisis comparativo. Para ello, se han tomado los factores de emisión de CO_2 establecidos por el RITE [10] y se ha calculado mediante la siguiente expresión:

$$Kg\ CO_2 = F_{CO2}\ (kg/kWh) \cdot Consumo\ (kWh)$$

Se evalúa el ahorro de emisiones de CO_2 anuales que supone cada alternativa respecto a la situación actual para determinar qué sistema presenta un menor impacto medioambiental y un mayor rango de mejora respecto a la caldera de gasóleo. Al igual que los apartados anteriores, se ha evaluado tanto para situación actual como ampliada, de esta manera se puede conocer el aumento de emisiones que supone la ampliación de área calefactada de la vivienda.

5.2 ANÁLISIS ELÉCTRICO

5.2.1 Evaluación energética

5.2.1.1 Demanda energía eléctrica

Debido a que actualmente la vivienda no se encuentra en su total ocupación y su reciente adquisición, se desconoce el consumo eléctrico de la misma. Por este motivo, ha sido necesario realizar una estimación de las futuras necesidades eléctricas de la vivienda.

Para ello, se ha diferenciado 3 principales consumos:

- Iluminación: teniendo en cuenta el espacio de cada zona y su necesidad de iluminación se ha estimado el consumo diario necesario para la iluminación interior de la vivienda.
- Equipos de uso constante: como electrodomésticos. Se han tomado valores conservadores de potencia y tiempo de uso de los principales equipos que dispondrá la vivienda en un futuro.
- Otros consumos de la vivienda:
  - Bomba de la piscina.
  - Estudio de grabación.
  - Suministro eléctrico para 6 cabañas.

Los diferentes cálculos desarrollados para lograr la estimación del consumo eléctrico se encuentran detallados en el *Documento 2*.

5.2.1.1 Propuesta fotovoltaica

Se ha analizado la posibilidad de abastecer, en todo lo posible, la demanda eléctrica estimada a través de una instalación fotovoltaica.

En primer lugar, teniendo en cuenta las características del emplazamiento, se ha realizado un estudio sobre dos posibles configuraciones en función de la ubicación de la instalación en la cubierta: orientación Este-Oeste y orientación Sur.

A la hora de seleccionar cuál de las propuestas era la más adecuada, se han tenido en cuenta factores como la producción anual esperada, posibles pérdidas, características de la vivienda, estado de la cubierta, aspectos económicos…

Tras haber determinado la opción más favorable para la comunidad, en este caso la configuración sur, se ha realizado el dimensionamiento determinado. Para ello, se ha empleado el software PVsyst capaz de realizar estudios y simulaciones detalladas de instalaciones fotovoltaicas. Permite diseñar en modelo 3D la vivienda y la ubicación concreta de la instalación propuesta.

El programa se caracteriza por calcular:

- Producción eléctrica anual esperada inyectada a red.
- Análisis de sombras cercanas y sus efectos en la producción de la instalación.
- Dispone de una gran variedad de modelos del mercado de los diferentes componentes de la instalación. De esta manera, facilita la simulación de un sistema fotovoltaico real.

Teniendo en cuenta las características de la vivienda y las necesidades energéticas a cubrir, se ha realizado una instalación fotovoltaica conectada a red con posibilidad de venta de excedentes. Debido al área limitada disponible sobre la cubierta Sur, y evitar un exceso de peso sobre la misma se ha determinado una potencia máxima de instalación igual a 4 kW.

5.2.2 Evaluación económica

Se ha realizado una evaluación económica de la instalación sobre la cubierta sur propuesta, se han analizado los siguientes parámetros económicos para estudiar la rentabilidad de la misma:

- Payback simple
- VAN simple

Debido a que se desconoce la cantidad de energía producida por la instalación que es inyectada o consumida directamente por los usuarios de la vivienda, y la diferencia de precio de la electricidad dependiendo de cada una de las situaciones, ha sido necesario establecer un valor referencia para el desarrollo del análisis económico. En este caso, se ha considerado que toda la energía producida por la instalación es auto consumida, de tal manera que no se toma de la Red de Distribución la cantidad de energía producida por la instalación fotovoltaica. Teniendo en cuentas que se ha considerado un coste específico de la electricidad constante de 14,5 c€/kWh (valor referencia de enero de 2014), se ha determinado el ahorro anual a partir de la siguiente expresión:

$$S_{anual} = E_{PV} \cdot c_{electricidad}$$

Por otro lado, se ha realizado un presupuesto detallado de los diferentes componentes que conforman la instalación fotovoltaica. En este presupuesto no se ha tenido en cuenta el coste de instalación.

5.2.3 Evaluación medioambiental

Finalmente, se ha realizado una evaluación medioambiental de la propuesta de instalación fotovoltaica sobre la cubierta Sur.

La energía producida por la instalación propuesta es 100% limpia, de tal manera que se reduce la cantidad de energía obtenida del mix energético. Tomando el factor establecido por RITE [10] y de la misma forma que en el análisis térmico se determina los kg de CO_2 equivalentes para la energía producida por la instalación fotovoltaica en un año. El valor obtenido será el ahorro de emisiones que supone la instalación fotovoltaica propuesta.

6 RESULTADOS

6.1 ANÁLISIS TÉRMICO

6.1.1 Evaluación energética

Se ha realizado una evaluación energética considerando dos posibles necesidades energéticas térmicas de la vivienda, las cuales se diferencian por el área total calefactada (situación actual de calefacción y ampliada). En primer lugar, se detalla las pérdidas y ganancias de calor dadas en cada espacio, y posteriormente se ha determinado la potencia requerida para compensar dichas transferencias de calor (cálculo de cargas térmicas).

A continuación, se detalla la demanda térmica requerida, la cual se ha calculado la debida por ACS, por calefacción (actual y ampliación) y la total (la suma de las dos anteriores).

Finalmente, teniendo en cuenta las posibles demandas térmicas totales obtenidas, se ha realizado una evaluación comparativa de los consumos energéticos de diferentes propuestas de sistemas de generación térmica.

6.1.1.1 Cálculo de cargas térmicas

- **Balance térmico: ganancias y pérdidas de calor**

A continuación, se muestran una serie de gráficas que indican las diferentes ganancias y pérdidas de calor que se dan en cada uno de los espacios que conforman la vivienda. Se realiza una comparativa entre las dos alternativas propuestas: situación actual (azul) y situación ampliación (naranja).

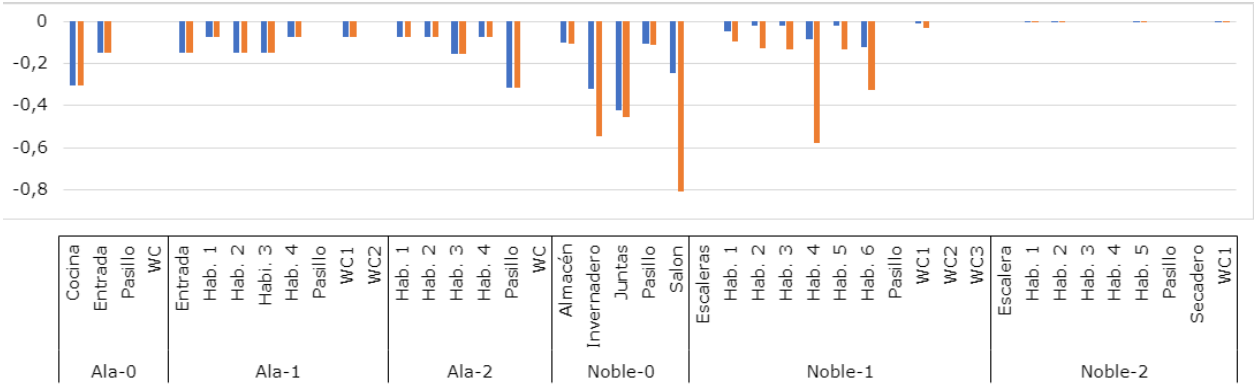


Figura 6-1. Diagrama Ganancias por acristalamiento (kW)

Las zonas con mayor superficie de ventanas sufren las mayores pérdidas, como es el caso del salón, el invernadero, la sala de juntas y la habitación 4 de la zona Noble 1. Se comprueba que las zonas que se calefactan en la situación de ampliación sufren mayores pérdidas de calor que cuando no se encuentran calefactadas, esto se debe a que la diferencia de temperatura entre el interior del espacio y el exterior es mayor, y por tanto sufre una mayor transferencia de calor. Mientras que la planta superior de la zona Noble presenta valores muy reducidos respecto al resto de plantas, debido a que no se encuentra calefactadas.

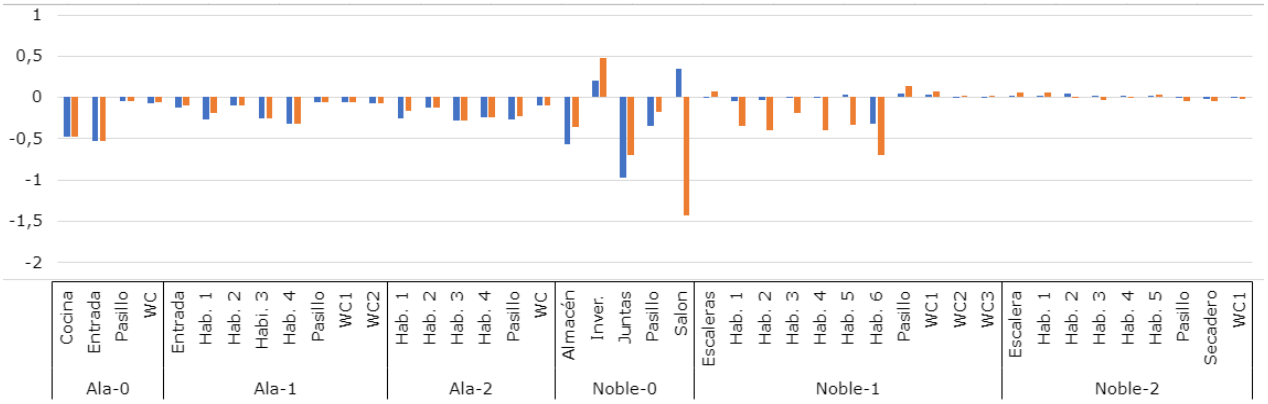


Figura 6-2. Diagrama Ganancias por muros (kW)

Se puede comprobar la transferencia de calor que se produce entre las zonas calefactadas hacia las que no lo están. Un ejemplo claro es el salón situado en la planta baja de la zona noble. Cuando no se encuentra calefactado, es decir, en la situación actual, presenta ganancias de calor por muros (valores positivos) debido a las zonas calefactadas de alrededor, como el pasillo, el almacén y la sala de juntas, le están cediendo calor. Sin embargo, en la segunda alternativa, presenta valores negativos, es decir, cede calor a otros espacios.

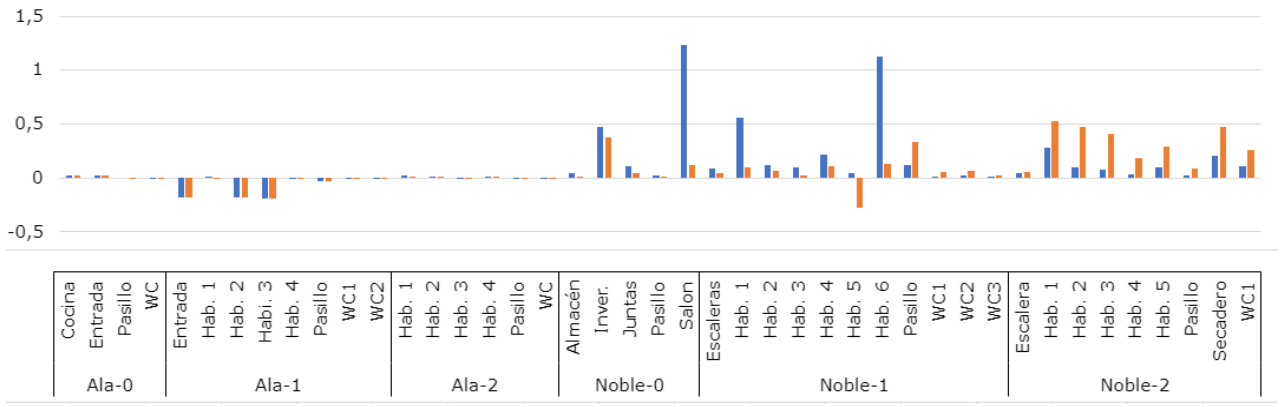


Figura 6-3. Diagrama Ganancias por suelos (kW)

Se comprueba cómo las plantas superiores reciben calor de las plantas inferiores como ya se ha comentado anteriormente.

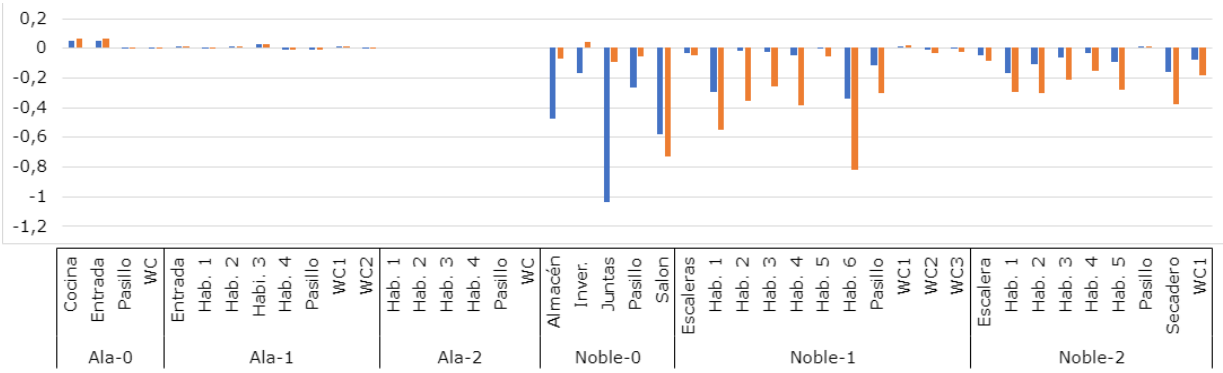


Figura 6-4. Diagrama Ganancias por cubiertas y techos (kW)

Las mayores pérdidas se dan en las zonas que dan directamente con el exterior, es decir, a los espacios situados en las plantas superiores de la vivienda. Se comprueba como espacios de la zona Noble 0 como la sala de juntas, almacén y pasillo reducen sus pérdidas al calefactar las plantas superiores.

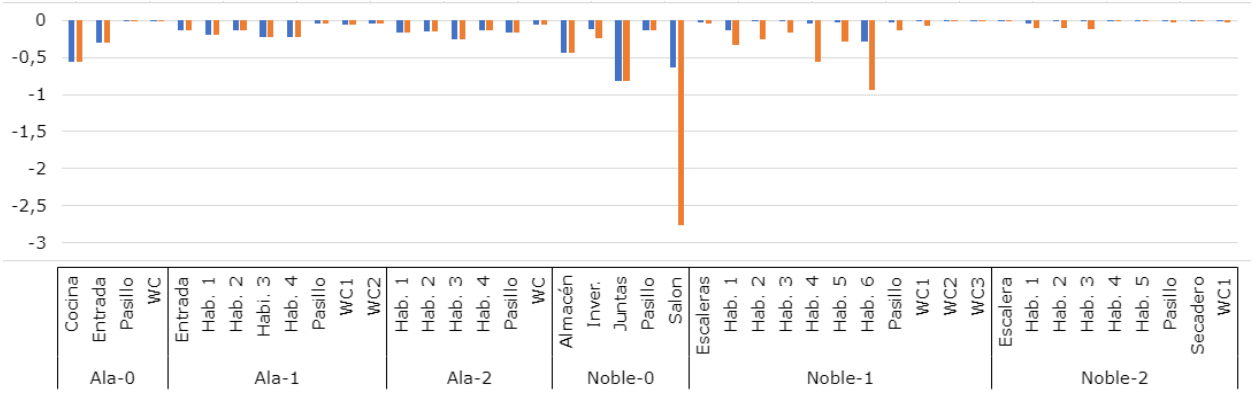


Figura 6-5. Diagrama Ganancias por infiltraciones (kW)

Las pérdidas por infiltraciones suponen las pérdidas de calor más significativas en toda la vivienda, sobre todo en el salón al ser calefactado.

De forma general, a medida que aumentan las zonas calefactadas, se comprueba como las pérdidas de calor aumentan respectivamente. Se observa en las gráficas de la zona de la Ala, donde los espacios calefactados son los mismos y consecuentemente, las respectivas ganancias y pérdidas también presentan el mismo valor. Sin embargo, la zona Noble, que, si es modificada, el balance térmico presenta diferencias significativas entre las dos alternativas a estudio, suponiendo unas mayores pérdidas en la situación de ampliación.

- **Cálculo de cargas térmicas**

Teniendo en cuenta tanto la diferencia de temperatura entre el interior y exterior de la vivienda, así como las principales pérdidas y ganancias térmicas, se ha determinado la potencia requerida para calefactar cada uno de los espacios que conforman la vivienda. El siguiente gráfico muestra la capacidad nominal por cada estancia para cada alternativa estudiada.

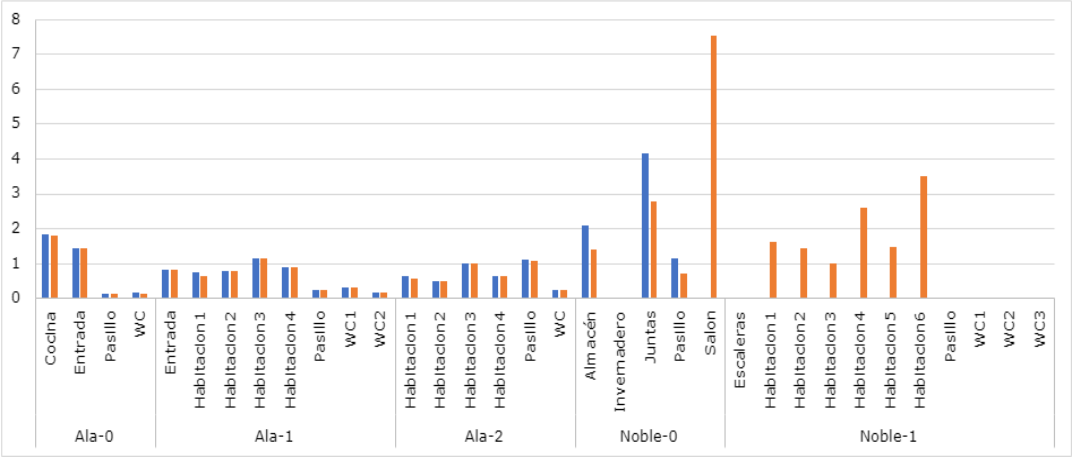


Figura 6-6. Comparativa capacidad nominal (kW) por espacios: actual (azul) y ampliación (naranja)

Los espacios que mostraban mayores pérdidas térmicas deberán disponer de una mayor potencia. Por otro lado, la zona Ala presenta unas necesidades muy similares en ambas alternativas, reduciéndose levemente en la situación de ampliación, debido a la disminución de pérdidas que se produce como consecuencia de calefactar la zona noble.

Por otro lado, la zona Noble va a requerir siempre de mayores potencias, ya que está conformada por estancias con mayores volúmenes de aire y mayores pérdidas por transmitancias e infiltraciones. Se requiere de una potencia de diseño del sistema de calefacción de 19,87 kW para abastecer a la situación actual, mientras para la situación de ampliación casi se requiere 36,07 kW. A continuación, se muestra una tabla que detalla la potencia necesaria para cada zona de la vivienda.

ZONA	ACTUAL	AMPLIACIÓN
Ala 0	3,5	3,46
Ala 1	4,97	4,86
Ala 2	4,03	3,89
Noble 0	7,37	12,34
Noble 1	0	11,52
Noble 2	0	0
TOTAL	**19,87**	**36,07**

Tabla 6-1. Comparativa capacidad nominal por zona (kW)

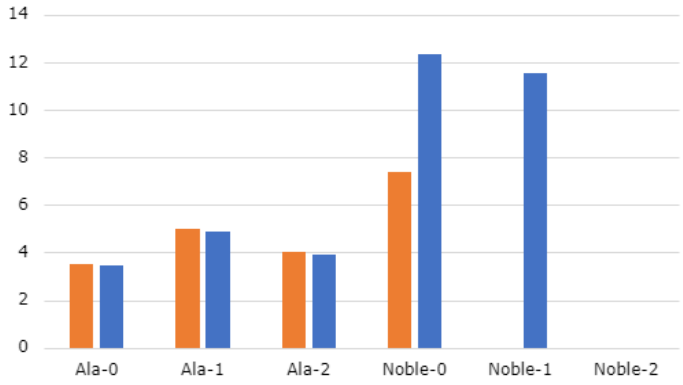


Figura 6-7. Comparativa capacidad nominal por zona (kW). Actual (naranja) y ampliación (azul)

- **Red de radiadores**

Se ha procedido a determinar la longitud de radiadores necesaria por cada espacio que conforma de la vivienda en función de la carga de diseño o capacidad nominal de calefacción que requiere cada uno de ellos. Sabiendo que un metro de radiador suministra 1500 W, se han obtenido los siguientes resultados:

		Potencia de diseño (kW)		L RADIADORES (m)	
BLOQUE	**ZONA**	**ACTUAL**	**AMPLIACIÓN**	**ACTUAL**	**AMPLIACIÓN**
Ala-0	Cocina	1,82	1,8	1,21	1,20
	Entrada	1,43	1,43	0,95	0,95
	Pasillo	0,1	0,1	0,07	0,07
	WC	0,15	0,13	0,10	0,09
Ala-1	Entrada	0,81	0,79	0,54	0,53
	Habitacion1	0,73	0,64	0,49	0,43
	Habitacion2	0,77	0,77	0,51	0,51
	Habitacion3	1,12	1,12	0,75	0,75
	Habitacion4	0,87	0,87	0,58	0,58
	Pasillo	0,21	0,21	0,14	0,14
	WC1	0,29	0,29	0,19	0,19
	WC2	0,17	0,17	0,11	0,11
Ala-2	Habitacion1	0,64	0,54	0,43	0,36
	Habitacion2	0,48	0,48	0,32	0,32
	Habitacion3	0,98	0,98	0,65	0,65
	Habitacion4	0,62	0,62	0,41	0,41
	Pasillo	1,08	1,05	0,72	0,70
	WC	0,23	0,22	0,15	0,15
Noble-0	Almacén	2,09	1,37	1,39	0,91
	Invernadero	0	0	0,00	0,00
	Juntas	4,15	2,77	2,77	1,85
	Pasillo	1,13	0,69	0,75	0,46
	Salón	0	7,51	0	5,01
Noble-1	Escaleras	0	0	0	0
	Habitacion1	0	1,61	0	1,07
	Habitacion2	0	1,42	0	0,95
	Habitacion3	0	0,97	0	0,65
	Habitacion4	0	2,58	0	1,72
	Habitacion5	0	1,46	0	0,97
	Habitacion6	0	3,48	0	2,32
	Pasillo	0	0	0	0
	WC1	0	0	0	0
	WC2	0	0	0	0
	WC3	0	0	0	0

Tabla 6-2. Capacidad nominal (kW) y longitud de radiadores (m) por espacio

Se va a requerir para la situación actual un total de 13,25 m de radiadores, mientras que ampliar la zona calefactada de la vivienda supone una red total 24,05 m de radiadores.

En la actualidad se dispone de una red de radiadores, sin embargo, en este trabajo se considera que se debe instalar en su totalidad la longitud de radiadores calculada.

6.1.1.2 Demanda de energía térmica

- **Demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS)**

Según el DB-HE4, en viviendas de uso residencial, como es el caso, el consumo diario de ACS es igual a 28 l/persona. Teniendo en cuenta que se ha considerado una ocupación futura de 30 personas, se determina que el **consumo total diario de ACS es 840 l**.

Aplicando la expresión de calor sensible, se determina la cantidad de energía necesaria para suministrar esa demanda diaria.

Sabiendo que:

- m_{TOTAL}: 840 kg/día
- Calor específico (Cp) del agua: 4,186 kJ/Kg ºC
- Salto de temperatura entre el agua de red y almacenamiento (ΔT):51,4ºC
-

$$Q_{TOTAL} = m_{TOTAL} \cdot C_p \cdot \Delta T = \frac{840}{3600} \cdot 4{,}186 \cdot (60 - 8{,}6) = 50{,}204 kWh$$

La demanda térmica requerida para la producción de ACS es igual a **50,204 kWh/día.** Teniendo en cuenta los valores establecidos por el IDAE se determina la distribución de la demanda de ACS que se da a lo largo de un día de referencia. Se puede ver dicha distribución de la demanda en unidades de litros en la Figura 6-8 y en unidades de potencia kW en la Figura 6-7.

La demanda de ACS presenta un valor pico a primeras horas de la mañana (8:00-9:00 h), en ese instante crítico de la demanda, el sistema de producción de ACS debe suministrar un potencia cercana a 5 kW para suministrar alrededor de 80 l.

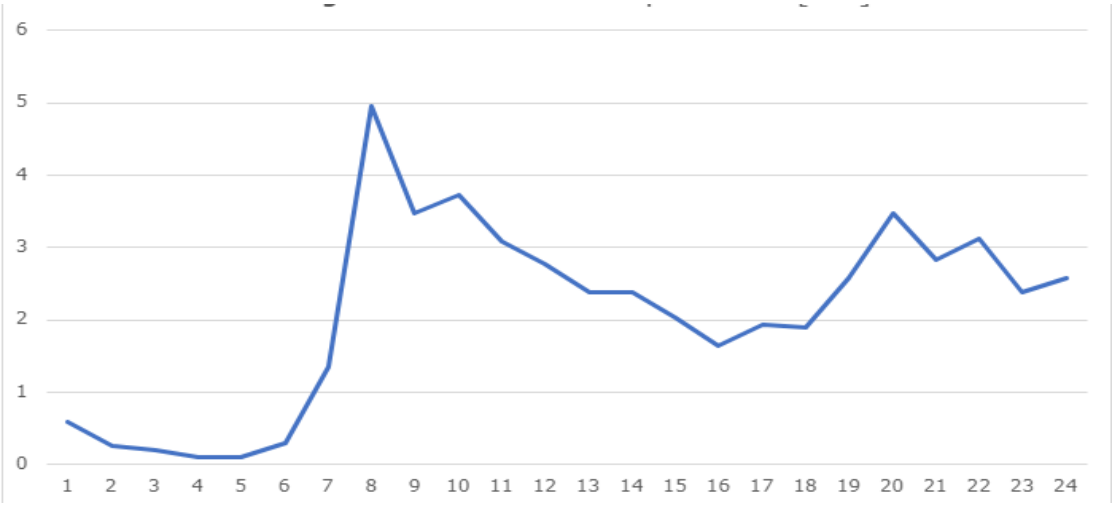


Figura 6-8. Distribución de demanda diaria de ACS (kW)

- **Demanda de calefacción**

  - **Análisis de temperaturas interiores**

Los diagramas se han dividido en zona Ala y zona Noble para una mayor claridad de los datos y todos ellos siguen la leyenda indicada en la Tabla 6-3.

BLOQUE	ZONA		BLOQUE	ZONA		ZONA	
ALA 0	Cocina	1	**NOBLE 0**	Almacén	19	Salón	23
	Entrada	2		Invernadero	20		
	Pasillo	3		Sala de Juntas	21		
	WC	4		Pasillo	22		
ALA 1	Entrada	5	**NOBLE 1**	Escaleras	24	WC 1	32
	Habitación 1	6		Habitación 1	25	WC 2	33
	Habitación 2	7		Habitación 2	26	WC 3	34
	Habitación 3	8		Habitación 3	27		
	Habitación 4	9		Habitación 4	28		
	Pasillo	10		Habitación 5	29		
	WC 1	11		Habitación 6	30		
	WC 2	12		Pasillo	31		
ALA 2	Habitación 1	13	**NOBLE 2**	Escalera	35	Pasillo	41
	Habitación 2	14		Habitación 1	36	Secadero	42
	Habitación 3	15		Habitación 2	37	WC 1	43
	Habitación 4	16		Habitación 3	38		
	Pasillo	17		Habitación 4	39		
	WC	18		Habitación 5	40		

Tabla 6-3. Leyenda de habitaciones y zonas de la vivienda para diagrama de cajas

- **Sin calefacción**

En primer lugar, se ha estudiado la situación sin ningún aporte externo de calor para analizar qué espacios se encuentran más lejanos de la temperatura de confort o se encuentran a valores próximos a los exteriores en las temporadas más frías. La temperatura exterior de la vivienda corresponde a la última variable representada en el color verde.

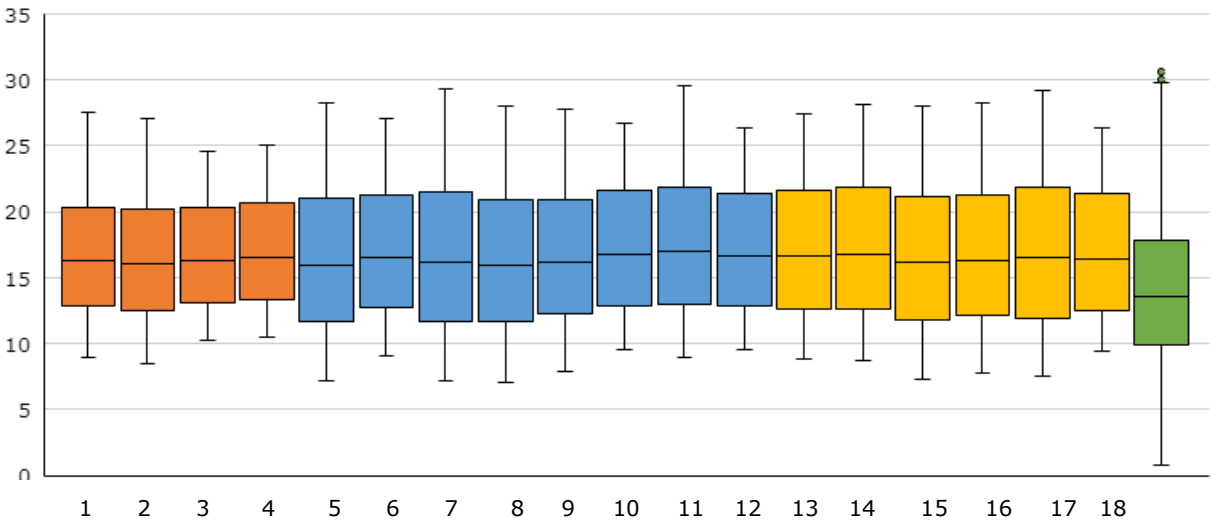


Figura 6-9. Diagrama Tª interiores zona Ala sin calefacción. Naranja: Ala 0, Azul: Ala 1, Amarillo: Ala 2, Verde: Tª exterior

Se puede comprobar que a lo largo del año las temperaturas exteriores sufren grandes variaciones, alcanzando mínimas muy cercanas a 0ºC (temperatura mínima dada en la zona Ala igual a 0,725ºC) y una máxima de 30ºC (temperatura máxima dada en la zona Ala igual a 30,06ºC).

Además, la mediana de la variable de temperatura exterior se encuentra por debajo de 15ºC, por lo que más de la mitad del año, la región presenta valores inferiores a 15ºC, y un 25% (1º cuartil) de los mismo se encuentra por debajo de los 10ºC. Esta gran dispersión por parte de las temperaturas exteriores provoca el mismo efecto en las temperaturas interiores.

Por otro lado, las temperaturas más reducidas de los espacios interiores se encuentran muy por debajo de los valores establecidos para garantizar el bienestar térmico marcados por el IDAE. De forma general en toda la zona Ala el 50 % de los valores se encuentran entre 7 y 17ºC. Por lo tanto, será necesario calefactar la zona para alcanzar los valores mínimos de confort.

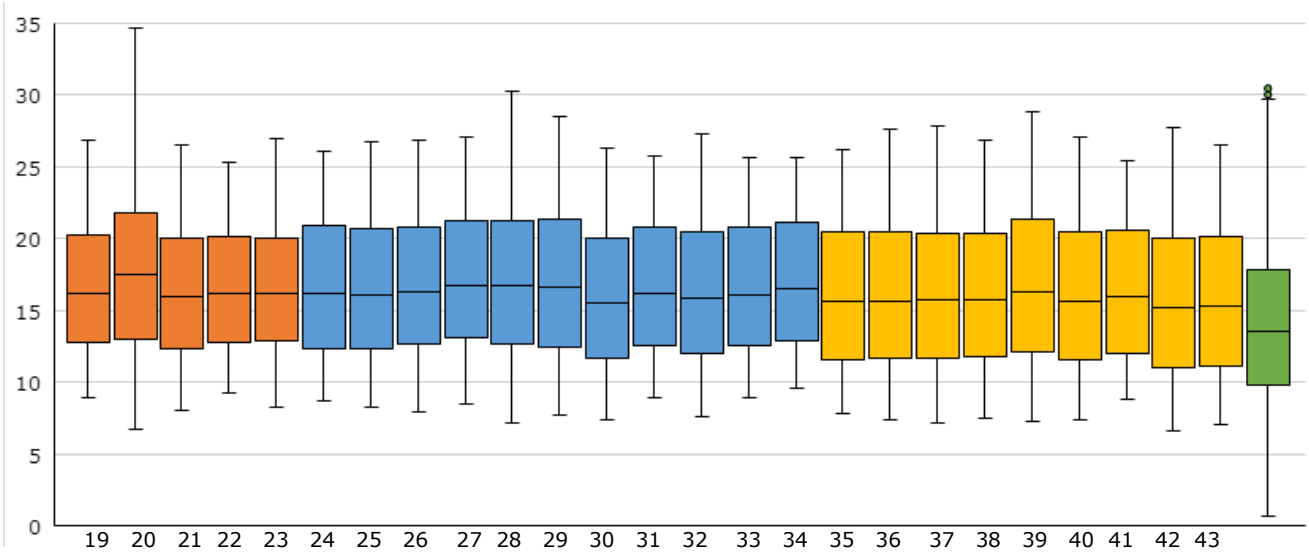


Figura 6-10. Diagrama Tª interiores zona Noble sin calefacción

De forma similar, la zona noble presenta el mismo problema de variaciones de temperaturas. Se puede ver como en la zona del invernadero es la zona con mayor dispersión de temperaturas. Además, zonas donde se va a desarrollar la mayor actividad humana, como es el caso del salón, la sala de juntas y las habitaciones presenta un elevado porcentaje de valores demasiado reducido. Por ello, se considerarán zonas prioritarias para ser calefactadas.

- **Situación actual**

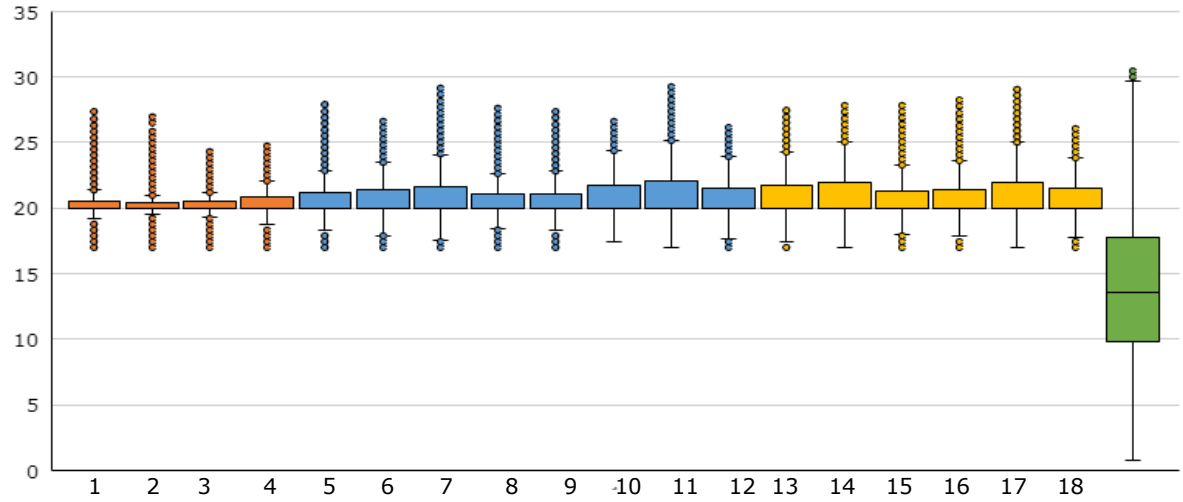


Figura 6-11. Diagrama Tª interiores zona Ala actual

Se comprueba como en la zona Ala, que se encuentra totalmente calefactada, se logra obtener las temperaturas de confort, ya que las temperaturas mínimas dadas en cada caso presentan valores superiores a 17ºC. Sobre todo, alcanzando mayores temperaturas en las habitaciones.

Además, se logra mantener unas temperaturas constantes sin grandes variaciones a lo largo del año, como ocurría en el caso anterior. De esta forma, se logra reducir las consecuencias de las variaciones de temperaturas exteriores que se comentaba anteriormente. Por otro lado, se muestran en los diagramas que en las zonas calefactadas que al disminuir la dispersión de las variables, se generan un mayor número de elementos extremos (puntos).

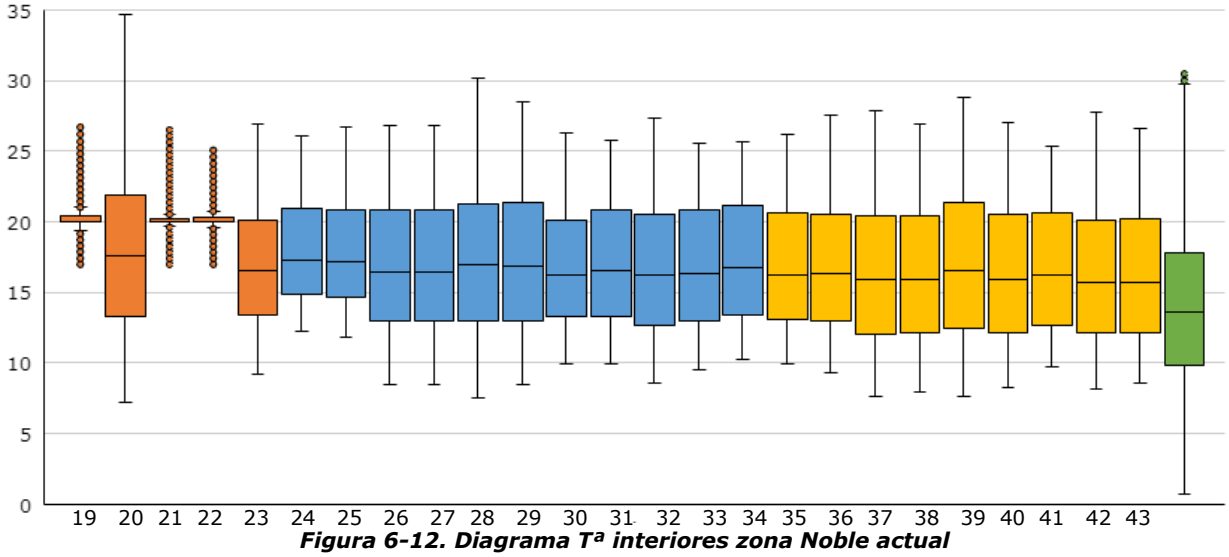


Figura 6-12. Diagrama Tª interiores zona Noble actual

En la zona noble ocurre lo mismo en el almacén, la sala de juntas y el pasillo que se encuentran también calefactadas. El calor se transfiere de las zonas calefactadas a las que no están, provocando un aumento de la temperatura de los espacios circundantes.

Se puede comprobar como las habitaciones más próximas y superiores sufren un leve aumento en sus valores, debido a la transferencia de calor que se produce de la zona

calefactada (Punto caliente o mayor temperatura) a la zona sin calefactar (Punto frío o menor temperatura).

- **Situación ampliación**

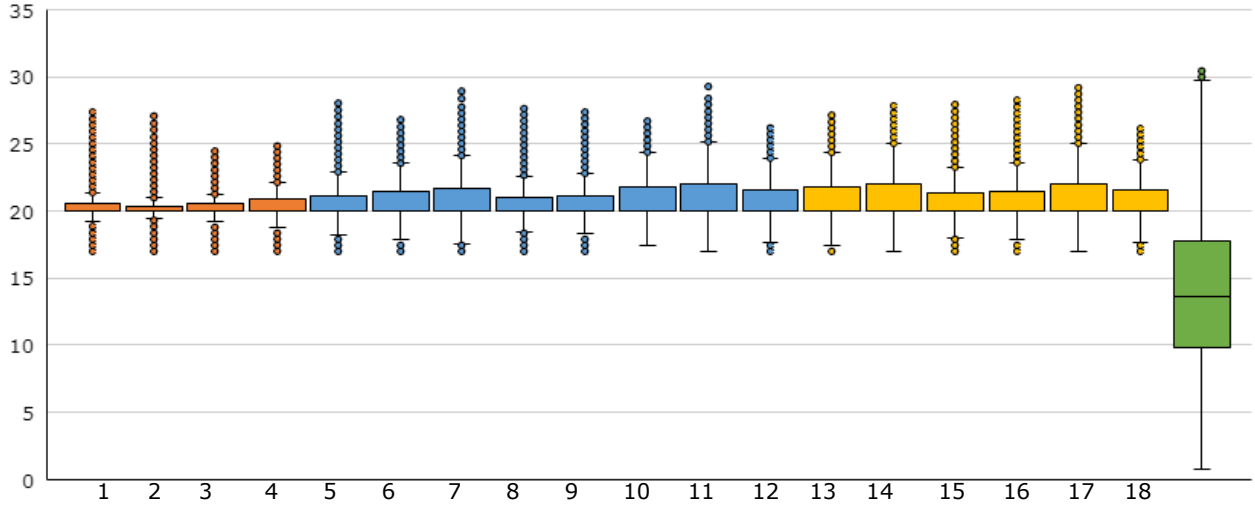


Figura 6-13. Diagrama Tª interiores zona Ala ampliación

En este caso, la zona Ala presenta las mismas características ya que no se ha modificado ni añadido nada respecto al caso anterior.

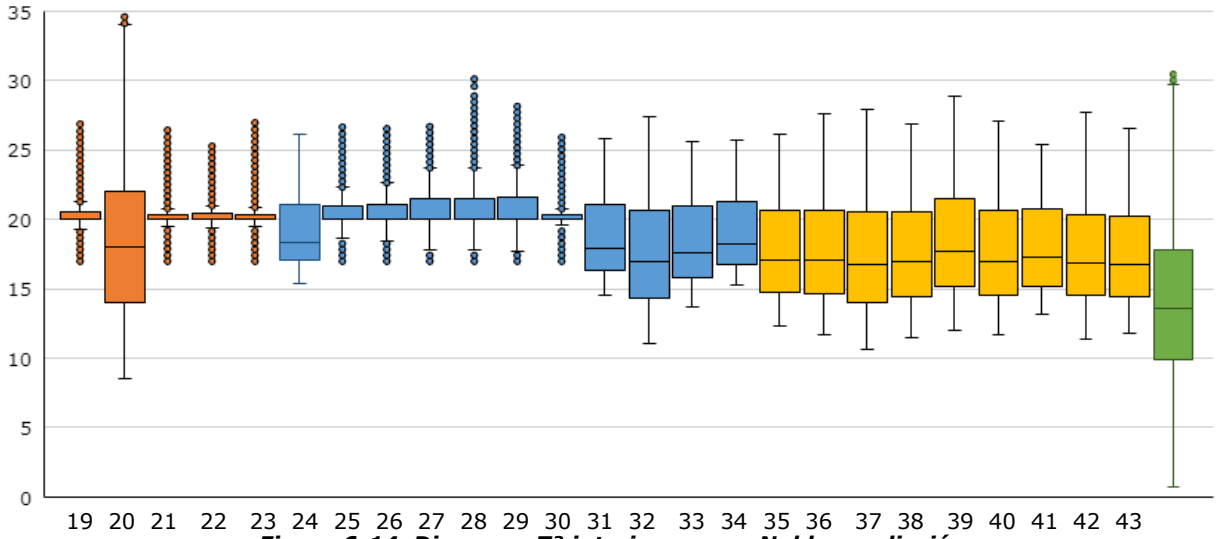


Figura 6-14. Diagrama Tª interiores zona Noble ampliación

Se puede observar que la planta superior, a pesar de no estar calefactada, también sufre un aumento de temperaturas debido a la transferencia de calor que se da entre las zonas calefactadas y no calefactadas.

Dado que esta planta se va a emplear como espacio de trabajo: oficinas, producción de cerveza, estudio de música… Gracias a la transferencia de calor por parte de las plantas inferiores, y el uso mínimo de ropa de abrigo, se podrá disponer de unas condiciones térmicas suficientemente adecuadas.

- **Demanda térmica anual para calefacción**

Se comprueba como al aumentar las áreas calefactadas la demanda a lo largo del año presenta un valor mucho mayor. En la situación de ampliación presenta una demanda anual de **44.541,11 kWh**, mientras la actual situación de calefacción es igual a **24.777,89 kWh**.

- **Demanda total térmica**

La demanda total térmica de la vivienda corresponde a la suma de la demanda requerida para ACS y calefacción. Teniendo en cuenta que se requiere de 50,20 kWh diarios para la producción de ACS para ambas situaciones, y la demanda de calefacción para cada alternativa calculada en el apartado anterior se obtiene el valor de demanda total.

	ACTUAL	AMPLIACIÓN
ACS	18.323	18.323
CALEFACCIÓN	24.777,89	44.541,11
TOTAL	**43.100,89**	**62.864,11**

Tabla 6-4. Demanda térmica total de la vivienda (kWh/año)

Se comprueba en la siguiente *Figura 6-15*, como al ampliar la zona de calefacción la demanda térmica total es mayor. También, como ambas alternativas presentan los mismos valores durante los meses de verano, ya que no se requiere de calefacción.

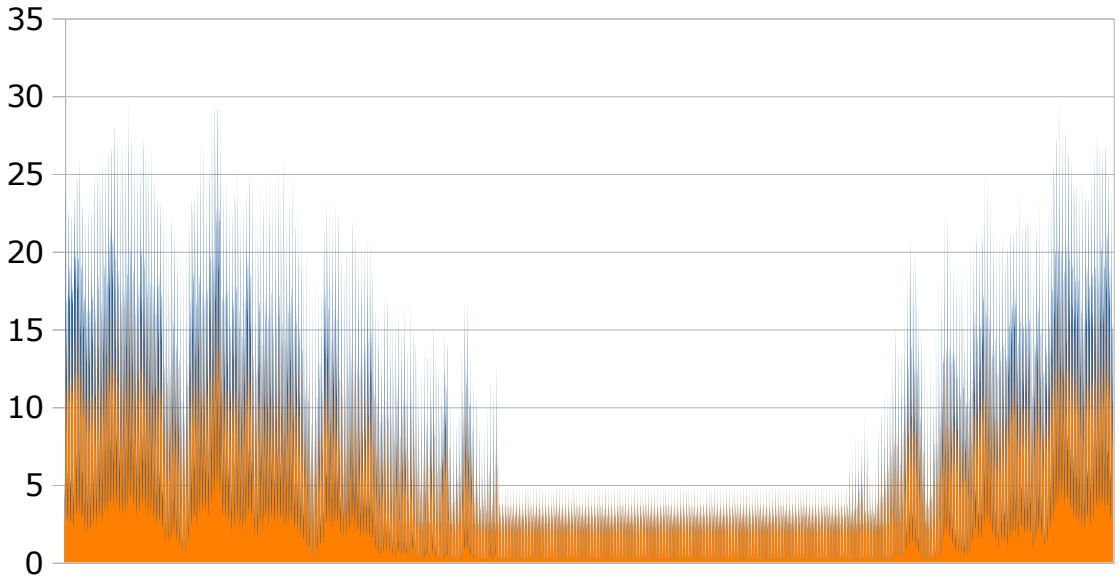


Figura 6-15. Demanda total a lo largo de un año actual (naranja) y ampliación (azul)

6.1.1.3 Consumo energético

- **Potencia de diseño de equipos**

En primer lugar, se ha determinado la potencia de diseño que requieren los equipos para cada una de las alternativas (considerando calefacción actual o calefacción ampliada).

Como se ha determinado en el apartado de demanda térmica, para la producción de ACS, el sistema debe ser capaz de generar una potencia en torno a 5 kW para abastecer la máxima demanda dada a primeras horas del día. Dicho valor es igual para ambas alternativas, ya que la producción de ACS es independiente al área de la vivienda calefactada. Para asegurar el abastecimiento de ACS se sobredimensiona la potencia requerida un 25%.

Por otro lado, como bien se ha determinado en el apartado de *Cálculo de cargas térmicas*, para situación de calefacción actual se requiere de una potencia de diseño igual a 19,87 kW, mientras para situación de ampliación un valor de 36,07 kW.

Se ha obtenido las siguientes potencias de diseño:

	ACS (kW)	CALEFACCIÓN (kW)	TOTAL (kW)
ACTUAL	6,25	19,87	**26,12**
AMPLIACIÓN	6,25	36,07	**42,32**

Tabla 6-5. Comparativa de potencia de diseño de sistema de generación de energía térmica

Se comprueba que la potencia de diseño requerida para la situación en la que se amplía el área calefactada es mayor. Se toma este valor como dato de partida para la continuación en el desarrollo del trabajo, ya que dicha potencia de diseño será suficiente para abastecer en todo momento cualquiera de las alternativas. Además, facilita la posibilidad de ampliación de la zona a calefactar de la situación actual a la ampliación, ya que solo sería necesario la ampliación de las redes de radiadores.

Por lo que se han considerado las mismas tecnologías, tanto para la situación actual como la de ampliación:

- **Caldera de gasóleo:**
  El sistema actual se encuentra en buen estado para su funcionamiento y dispone de la potencia suficiente (110 kW> 42,32 kW). A pesar de que se trata de una caldera antigua, en el desarrollo del análisis comparativo se ha considerado que presenta un rendimiento conservador igual al 75%.

- **Caldera de leña:**
  Se ha seleccionado el modelo SOLIMAX 40 que dispone de una potencia útil de 43 kW y un rendimiento medio estacional del 90%. Además, presenta unas dimensiones adecuadas, por lo que se puede ubicar en la sala de calderas sin ningún problema.

- **Aerotermia:**
  Tras haber realizado el estudio de optimización del sistema de aerotermia en función de la potencia de la bomba de calor y capacidad de almacenamiento del depósito (detallado en el anexo de cálculos). Se ha conseguido garantizar la producción de energía térmica suficiente durante todo el año a menor coste con

una bomba de calor de potencia igual a 10 kW y una capacidad de almacenamiento de 900 l. Debido a que estos cálculos se han realizado tomando un año referencia, se ha sobredimensionado la bomba de calor un 20%, por lo que se requerirá de un equipo con una capacidad nominal de 12 kW. El análisis en la optimización del sistema de aerotermia se encuentra detallado en el Documento2.

La bomba de calor escogida presenta un COP nominal según catálogo igual a 442%. El rendimiento de la instalación de aerotermia depende fuertemente de factores externos, como la temperatura del ambiente o las características de la red de distribución (funcionamiento a bajas temperaturas). Por este motivo, para el análisis comparativo del consumo energético entre las diferentes alternativas propuestas, se ha tomado un valor del rendimiento conservador igual **a 250%,** más representativo del rendimiento medio estacional que se suele conseguir bajo condiciones de operación habituales en este tipo de sistemas.

Teniendo en cuenta que la fuente de energía de la caldera de biomasa es la leña y en el sistema de aerotermia se trata de electricidad. Se ha analizado el consumo energético de las diferentes tecnologías en estudio dado por cada alternativa (situación de calefacción actual y situación de ampliación).

- **Consumo energético para ACS y calefacción actual**

Teniendo en cuenta que la demanda anual térmica dada para ACS y para la situación actual de calefacción es igual a 43.100,89 kWh y los rendimientos de los diferentes equipos escogidos, se han obtenido los siguientes resultados recogidos en la Tabla 6-6.

GASÓLEO	BIOMASA	ELECTRICIDAD
57.440,72	47.867,27	17.234,21

Tabla 6-6. Consumo total para ACS y calefacción actual (kWh/año)

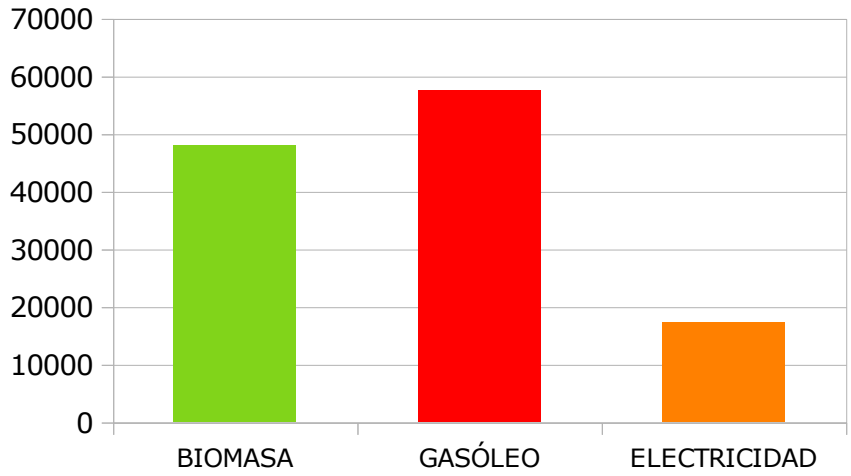


Figura 6-16. Consumo total de energía final por propuesta para ACS y calefacción actual (kWh/año)

- **Consumo energético para ACS y calefacción ampliada**

Considerando la demanda total térmica igual a 62.864,11 kWh/año para ACS y la situación de calefacción ampliada, se obtiene los consumos de cada sistema:

GASÓLEO	BIOMASA	ELECTRICIDAD
83.808,27	69.840,22	21.338,68

Tabla 6-7. Consumo total de energía final para ACS y calefacción ampliada (kWh/año)

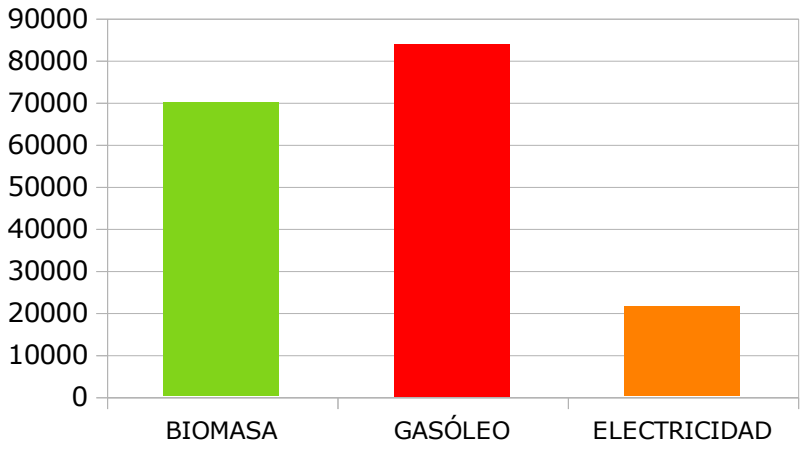


Figura 6-17. Consumo total de energía final por propuesta para ACS y calefacción ampliada (kWh/año)

Se comprueba que, al aumentar la demanda total, lógicamente incrementa el consumo energético. En la siguiente figura se puede observar en qué medida aumenta el consumo de cada sistema estudiado al ampliar el área calefactado en la vivienda.

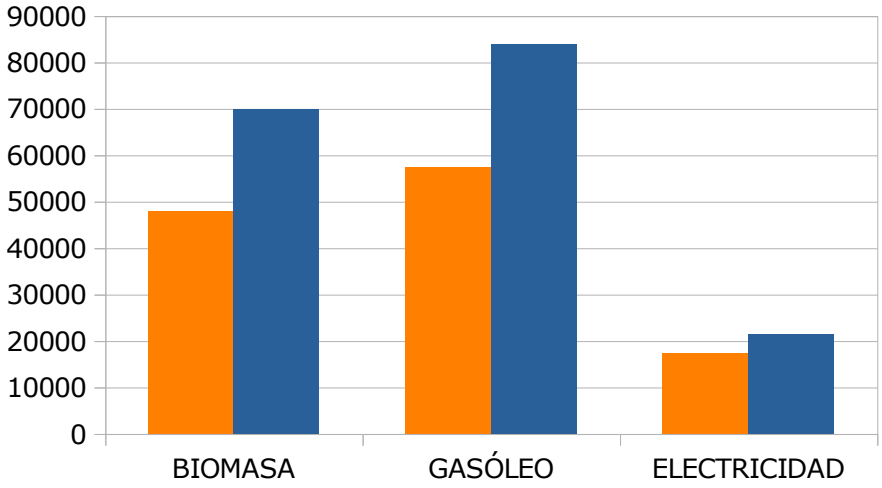


Figura 6-18. Comparativa de consumo energético de energía final por sistema (kWh/año) entre calefacción actual (naranja) y ampliada (azul)

6.1.2 Evaluación económica

Se ha realizado una evaluación económica para cada una de las alternativas.

En primer lugar, se ha determinado el coste económico requerido para cada red de distribución de calefacción considerando que para ambas alternativas es necesario una instalación completa. Además, se ha determinado el ahorro anual, inversión inicial de cada propuesta para evaluar la rentabilidad económica de cada sistema propuesto (caldera de leña y sistema de aerotermia).

6.1.2.1 Coste de red de distribución de calefacción

En este trabajo se ha considerado la sustitución completa de los radiadores que dispone actualmente la vivienda. Se ha determinado el coste que supone la red de radiadores necesaria para cada una de las alternativas de calefacción:

- Longitud de radiadores para calefacción actual: 13,25 m
- Longitud de radiadores para calefacción ampliada: 24,05 m
- Precio promedio por metro de radiador: 200 €

ACTUAL	AMPLIACIÓN
2.650	4.810

Tabla 6-8. Coste económico de red de radiadores para calefacción para cada alternativa de calefacción: actual y ampliación (€)

La ampliación de la red de radiadores supone una diferencia de coste entre ambas alternativas igual a **2.160 €**.

6.1.2.2 Ahorro anual

Teniendo en cuenta los consumos dados para cada alternativa obtenidos en el apartado de Consumo de energía térmica y los siguientes factores que son iguales para ambos casos, se han obtenido el coste y el ahorro anuales de combustible respecto al sistema actual de calefacción.

- Coste de gasóleo: 0,756 €/l (factura de la vivienda)
- Coste específico de la leña (calculado): 0,034 €/kWh [anexo de cálculos]
- Coste electricidad: variable según tramo horario y valores establecidos por la compañía comercializadora [10]:
    - Periodo valle:012705 €/kWh
    - Periodo llano: 0,180697 €/kWh
    - Periodo punta: 0,280058 €/kWh

- **Ahorro anual con situación de calefacción actual**

Teniendo en cuenta los consumos energéticos dados para esta alternativa se han obtenido los siguientes costes anuales de cada sistema:

GASÓLEO	BIOMASA	ELECTRICIDAD
4.225,64	1.627,49	3.440,53

Tabla 6-9. Coste económico dado por consumo de combustible por cada alternativa para calefacción actual (€/año)

Tanto la alternativa de aerotermia como la de biomasa suponen un menor coste anual que el sistema actual (caldera de gasóleo). Suponiendo esta última el mayor ahorro de coste de combustible a lo largo de un año.

SAEROTERMIA	785,11 €/año
SCALDERA LEÑA	2.598,15 €/año

Tabla 6-10. Ahorro económico anual por las alternativas renovables para calefacción actual (€)

- **Ahorro anual con situación de calefacción ampliada**

Se han determinado los siguientes costes anuales de combustibles para abastecer la demanda térmica que plantea la ampliación de la red de radiadores:

GASÓLEO	BIOMASA	ELECTRICIDAD
6.165,37	2.374,57	4.117,40

Tabla 6-11. Coste económico dado por consumo de combustible por cada alternativa para calefacción ampliada (€/año)

Al igual que la alternativa que plantea la situación actual de calefacción, la caldera de leña y el sistema de aerotermia suponen un menor coste anual por combustible.
También se comprueba que, a mayor consumo, mayor será el ahorro dado por la sustitución de uso del gasóleo por una alternativa renovable.

SAEROTERMIA	2.047,97 €/año
SCALDERA LEÑA	3.790,80 €/año

Tabla 6-12. Ahorro económico anual por las alternativas renovables para calefacción ampliada (€)

En la siguiente figura se aprecia la diferencia de ahorro anual que existe entre la situación de no ampliar la red de radiadores y la que si lo plantea.

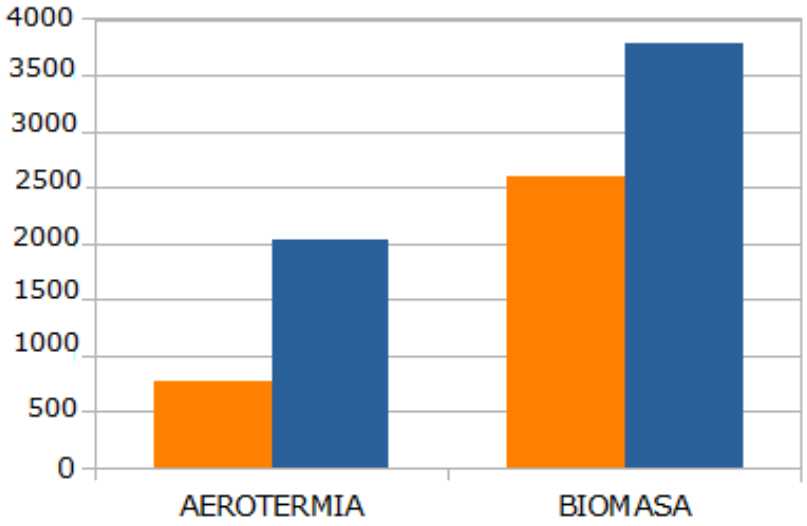


Figura 6-19. Comparativa de ahorro económico anual por sistema (€) entre calefacción actual (naranja) y ampliada (azul)

6.1.2.3 Inversión inicial

Considerando el coste que suponen los equipos escogidos y la red de radiadores necesaria para cada situación de calefacción se ha determinado la inversión inicial para cada una de las situaciones.

- **Inversión inicial para sistema con situación de calefacción actual**

BIOMASA	AEROTERMIA
-Red de radiadores: 2.650 € **-Caldera de leña 43 kW:** 2.342,56 €	**-Red de radiadores:** 2.650 € **-Bomba de calor 12 kW:** 4.025 € **-Depósito de acumulación 200l:** 1.000 €
TOTAL: 4.992,56 €	**TOTAL: 7.675 €**

Tabla 6-13. Inversión inicial. Calefacción actual (€)

- **Inversión inicial para sistema con situación de calefacción ampliada**

BIOMASA	AEROTERMIA
-Red de radiadores:4.810 € **-Caldera de leña 43 kW:** 2.342,56 €	**-Red de radiadores:** 4.810 € **-Bomba de calor 12 kW:** 4.025 € **-Depósito de acumulación 200l:** 1.000 €
TOTAL: 7.152,56 €	**TOTAL: 9.835 €**

Tabla 6-14. Inversión inicial. Calefacción ampliada (€)

6.1.2.4 Payback simple y VAN simple

La vida promedio de una caldera de leña es de 25-30 años y para un sistema de aerotermia oscila entre 25-45 años, se ha considerado que ambos sistemas tienen una vida útil de 30 años. Teniendo en cuenta el ahorro anual y la inversión inicial determinado en los apartados anteriores para cada alternativa (calefacción actual y ampliada) se han obtenido los siguientes resultados:

- **Payback simple y VAN simple considerando calefacción actual**

	BIOMASA	AEROTERMIA
PAYBACK SIMPLE	1,92 años	9,78 años
VAN SIMPLE	72.951,92 €	15.878,15 €

Tabla 6-15. Payback simple (años) y VAN simple (€) para calefacción actual

- **Payback simple y VAN simple considerando calefacción ampliada**

	BIOMASA	AEROTERMIA
PAYBACK SIMPLE	1,89 años	4,80 años
VAN SIMPLE	106.571,74 €	51.604,11 €

Tabla 6-16. Payback simple (años) y VAN simple (€) para calefacción ampliada

Se comprueba que ampliar el área calefactada presenta unos mejores resultados en el análisis económico. La sustitución de la caldera actual de gasóleo por un sistema de energía renovable presenta una mayor rentabilidad si se considera la situación de calefacción ampliada, ya que el tiempo de amortización es más reducido y el ahorro acumulado es mayor tanto para la caldera de leña como para el sistema de aerotermia. Siendo este último es que presenta una mayor diferencia entre la situación actual y ampliada de calefacción.

Sin embargo, la propuesta de sustituir la caldera de gasóleo por una de leña presenta en ambas alternativas la mayor rentabilidad económica.

6.1.2.5 Análisis de disponibilidad de leña

Como ya se ha comentado, la alternativa de la caldera de leña supone un mayor ahorro a lo largo de un año. Dicho ahorro puede incrementar debido a que la comunidad podrá disponer de cierta cantidad de este recurso energético sin gastos. A mayor auto abastecimiento de leña, menor será el gasto para la obtención de este combustible natural y consecuentemente mayor será el ahorro anual.

Dependiendo de cuál sea la demanda térmica total de la vivienda se requiere de cierta cantidad de leña para poder abastecer la misma. A su vez, esta demanda térmica total es la suma de la demanda térmica requerida para ACS y calefacción. Teniendo en cuenta que existen dos posibles situaciones de calefacción (actual y ampliación), se ha realizado un análisis respecto a disponibilidad de leña para cada posible demanda térmica total.

Se ha analizado como la disponibilidad de leña de forma gratuita influye en el coste por la leña, en el ahorro respecto a la caldera de gasóleo, en el tiempo de amortización y en el ahorro acumulado.

- **Disponibilidad de leña considerando calefacción actual**

Tomando como valor de partida la demanda térmica igual a 43.100,89 kWh dada en un año de referencia, lo cual supone un consumo de biomasa igual a 47.867,27 kWh/año (rendimiento caldera 90%). Teniendo en cuenta que la leña presenta un poder calorífico igual a 4 kWh/kg, se ha determinado la cantidad de leña necesaria.

Se requiere de 11,97t de leña para cubrir la demanda total, lo cual supondría un coste total de 1.627,49 €.

Teniendo en cuenta los siguientes datos, se determinar cómo afecta la disponibilidad de leña de forma gratuita en la rentabilidad del proyecto:

- Coste específico de la leña: 0,034 €/kWh (calculado *Documento 2*)
- Poder calorífico de la leña: 4 kWh/kg
- Coste de gasóleo: 5.973,83 €/año
- Inversión de la caldera de leña: 4530 €
- Inversión red radiadores calefacción actual: 2.650€

La variación de los principales indicadores económicos se muestran en la siguiente página en la Tabla 6-17. Se han analizado los siguientes factores económicos:

- Coste anual de la leña
- Ahorro de combustible respecto al sistema actual (caldera de gasóleo)
- Payback simple
- VAN simple

Se puede comprobar que a medida que se dispone de mayor cantidad de leña de forma gratuita, el ahorro anual por combustible es mayor y consecuentemente el payback disminuye y el VAN aumenta.

Si la comunidad pudiera disponer de la leña en su totalidad de forma gratuita se lograría reducir el tiempo de amortización en 0,74 años (en torno a 9 meses). Y aumentar el VAN hasta un valor máximo igual a 121.776,64 €.

Cantidad leña (t)	Coste leña (€/año)	Ahorro combustible (€/año)	Payback (años)	VAN (€)
11,97	1.627,49	2.598,15	1,92	72.952,02
11,50	1.564,00	2.661,64	1,88	74.856,64
11,00	1.496,00	2.729,64	1,83	76.896,64
10,50	1.428,00	2.797,64	1,78	78.936,64
10,00	1.360,00	2.865,64	1,74	80.976,64
9,50	1.292,00	2.933,64	1,70	83.016,64
9,00	1.224,00	3.001,64	1,66	85.056,64
8,50	1.156,00	3.069,64	1,63	87.096,64
8,00	1.088,00	3.137,64	1,59	89.136,64
7,50	1.020,00	3.205,64	1,56	91.176,64
7,00	952,00	3.273,64	1,53	93.216,64
6,50	884,00	3.341,64	1,49	95.256,64
6,00	816,00	3.409,64	1,46	97.296,64
5,50	748,00	3.477,64	1,44	99.336,64
5,00	680,00	3.545,64	1,41	101.376,64
4,50	612,00	3.613,64	1,38	103.416,64
4,00	544,00	3.681,64	1,36	105.456,64
3,50	476,00	3.749,64	1,33	107.496,64
3,00	408,00	3.817,64	1,31	109.536,64
2,50	340,00	3.885,64	1,28	111.576,64
2,00	272,00	3.953,64	1,26	113.616,64
1,50	204,00	4.021,64	1,24	115.656,64
1,00	136,00	4.089,64	1,22	117.696,64
0,50	68,00	4.157,64	1,20	119.736,64
0,00	0,00	4.225,64	1,18	121.776,64

Tabla 6-17. Variación de los principales indicadores económico en función de leña disponible (demanda térmica actual)

- **Disponibilidad de leña considerando calefacción ampliada**

En este caso la demanda térmica total presenta un valor más elevado, y por tanto se requiere de una mayor cantidad de leña. Para suplir la demanda igual a 62.864,11 kWh/año se necesitan 17,46 t de leña lo que supone un coste de 2.374,56 €/año.

Teniendo en cuenta los siguientes factores, se determina como afecta en la rentabilidad del proyecto la disponibilidad de leña de forma gratuita. Se puede ver en la siguiente página en la Tabla 6-18.

- Coste de gasóleo: 6.165,37 €/año
- Inversión de la caldera de leña:4530 €
- Inversión red radiadores calefacción ampliación:4.810 €

Cantidad leña (t)	Coste leña (€/año)	Ahorro combustible (€/año)	Payback (años)	VAN (€)
17,46	2.374,56	3.790,81	1,89	106.571,74
17,00	2.312,00	3.853,37	1,86	108.448,54
16,00	2.176,00	3.989,37	1,79	112.528,54
15,00	2.040,00	4.125,37	1,73	116.608,54
14,00	1.904,00	4.261,37	1,68	120.688,54
13,00	1.768,00	4.397,37	1,63	124.768,54
12,00	1.632,00	4.533,37	1,58	128.848,54
11,00	1.496,00	4.669,37	1,53	132.928,54
10,00	1.360,00	4.805,37	1,49	137.008,54
9,00	1.224,00	4.941,37	1,45	141.088,54
8,00	1.088,00	5.077,37	1,41	145.168,54
7,00	952,00	5.213,37	1,37	149.248,54
6,00	816,00	5.349,37	1,34	153.328,54
5,00	680,00	5.485,37	1,30	157.408,54
4,00	544,00	5.621,37	1,27	161.488,54
3,00	408,00	5.757,37	1,24	165.568,54
2,00	272,00	5.893,37	1,21	169.648,54
1,00	136,00	6.029,37	1,19	173.728,54
0,00	0,00	6.165,37	1,16	177.808,54

Tabla 6-18. Variación de los principales indicadores económico en función de leña disponible (demanda térmica ampliada)

En este caso se requiere de una mayor cantidad de leña, lo que supone un mayor gasto en el recurso energético a lo largo del año. En el caso que la comunidad pudiera disponer de toda la cantidad de leña de forma gratuita, lograría reducir el tiempo de amortización a 1,16 años (una reducción de 0,73 años, en torno a 9 meses). Además de aumentar el VAN hasta 177.808,54 € debido al aumento de ahorro.

6.1.3 Evaluación medioambiental

A continuación, se va a realizar un análisis medioambiental de las diferentes alternativas propuestas. Para ello se ha determinado la cantidad de emisiones CO_2 dada por cada alternativa. Se han tomado los factores de emisión de CO_2 establecidos por el RITE [10] y se ha obtenido los siguientes resultados para cada alternativa (Tabla 6-19.):

- Factor de emisión del gasóleo: 0,311
- Factor de emisión de la leña: 0,018
- Factor de emisión de la electricidad: 0,331

	ACTUAL	AMPLIACIÓN
GASÓLEO	17.864,06	26.064,37
LEÑA	861,61	1.257,12
ELECTRICIDAD	5.704,52	7.063,10

Tabla 6-19. Comparativa de emisiones de CO_2 (kg) por propuesta

Se comprueba que a medida que aumenta la zona calefactada, al aumentar el consumo energético también incrementan las emisiones equivalentes. Sin embargo, las emisiones por parte de las alternativas renovables son muy inferiores respecto al sistema actual de gasóleo.

Por otro lado, en ambas alternativas, la caldera de leña supone una mayor reducción de emisiones contaminantes. Si no se amplía el área calefactada supone una reducción de 17.002,45 kg, mientras si se aumenta presenta un valor igual a 24.807,25 kg de CO_2.

6.2 ANÁLISIS ELÉCTRICO

6.2.1 Evaluación energética

6.2.1.1 Demanda energía eléctrica

Se ha realizado una estimación del futuro consumo eléctrico de la vivienda, teniendo en cuenta tres principales consumos: por iluminación, por electrodomésticos y otros consumos (bomba de piscina, estudio de músico y suministro eléctrico de 6 cabañas).

Se trata de un valor estimativo en el que se han tomado valores conservativos. Por ejemplo, en el caso de la iluminación se ha determinado la potencia necesaria para iluminar cada uno de los espacios de la vivienda y dando como resultado una potencia total a 2,409 kW (cálculo detallado en el *Documento 2)* y se ha considerado para estimar el consumo diario que toda la iluminación funciona durante 6 horas. En el caso de los electrodomésticos que se desconocía su potencia y tiempo de uso concreto, se ha tomado valores referencia conservativos también.

Teniendo en cuenta todo lo mencionado, se ha determinado que la vivienda presentará una demanda de **71,41 kWh diarios**. Se muestra en la Tabla 6-20. los diferentes consumos estimados de la vivienda.

	Ud.	Potencia (W)	Horas diarias	Energía (kWh/día)
ELECTRODOMÉSTICOS				
Nevera	2	500	9	9
Congelador	1	400	8	3,2
Lavadora	2	2200	1	4,4
Microondas	1	1200	0,1	0,12
Campana extractora	1	3725	2	7,45
Cafetera de bar	1	3700	1	3,7
Botelleras	2	150	6	1,8
Lavaplatos	1	2200	1	2,2
ILUMINACIÓN				
TOTAL VIVIENDA		2409	6	14,454
OTROS				
Estudio de grabación	-	2000	8	16
Cabañas (*)	6	200	6	7,2
Bomba de piscina (**)	1	630	3	1,89
			TOTAL	**71,41**

Tabla 6-20. Consumo eléctrico diario estimado de la vivienda (kWh)

(*) Las cabañas requerirán de una demanda eléctrica únicamente para iluminación y enchufes.
(**) El consumo de la bomba de la piscina se dará en los meses de verano, cuando se use la piscina. En este trabajo se ha considerado que funciona todo el año.

El conjunto de electrodomésticos supondrá en consumo con valor más significativo, representa un 45% del consumo estimado.

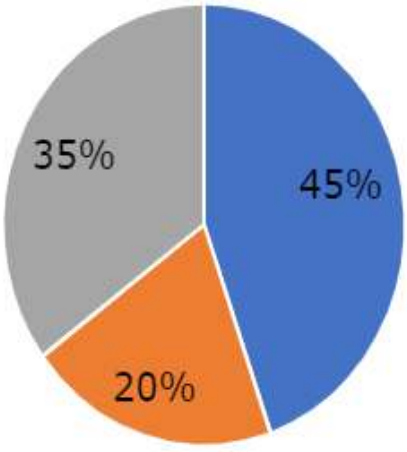


Figura 6-20. Consumo eléctrico estimado de la vivienda. Iluminación (naranja), Electrodomésticos (azul) y otros consumos (gris)

Se ha estimado que el consumo eléctrico promedio a lo largo de un día es igual a **71,41 kWh**. De tal manera, el consumo anual presentará un valor 26064,65 kWh.

6.2.1.2 Justificación de propuesta fotovoltaica escogida

Se han analizado dos posibles configuraciones de la instalación sobre cubierta:

- **Configuración Este-Oeste:**

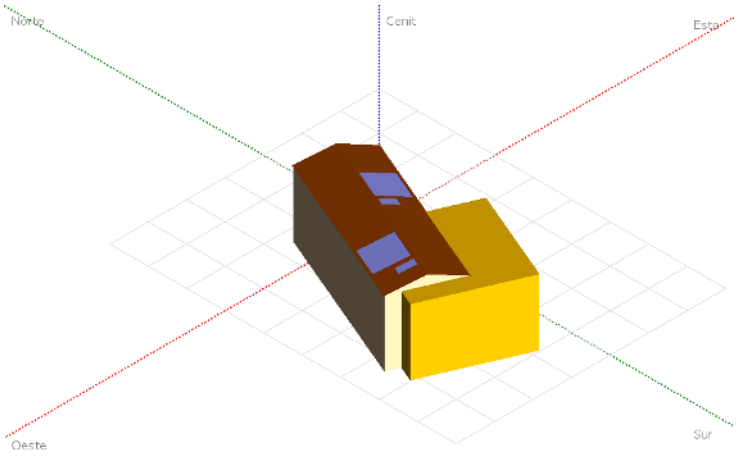


Figura 6-21. Modelado configuración Este-Oeste (Fuente: PVsyst)

- **Configuración Sur:**

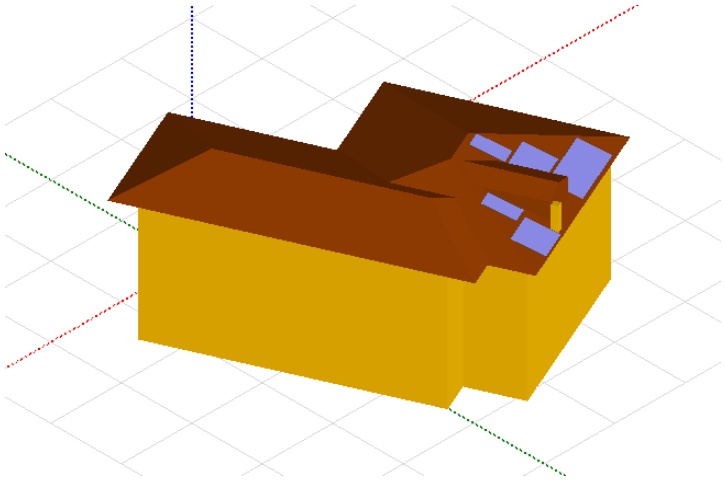


Figura 6-22. Modelado configuración Sur (Fuente: PVsyst)

A través del programa PVsyst se ha calculado la producción esperada y posibles pérdidas de sombreado y del propio sistema. A continuación, se muestra en la Tabla 6-21. comparativa entre ambas configuraciones (ver siguiente página).

ORIENTACIÓN ESTE-OESTE	ORIENTACIÓN SUR
-Superficie útil mayo (96 m^2)	-Superficie útil menor (25 m^2)
-No pérdidas por sombras	-Pérdidas por sombras (chimenea y buhardilla)
-Orientación desfavorable	-Orientación óptima
Resultados simulación: -Producción: 5,97 MWh/año -S. Producción: 961 kWh/kW/año -PR:81,57%	**Resultados simulación:** -Producción:4046 kWh/año -S. Producción:1011 kWh/kW/año -PR:76.49 %
Características: -P_n: 6,21 kW -nº módulos: 18 (345 W) -Inversor con doble sistema MPPT	**Características:** -P_n: 4 kW -nº módulos: 10 (400 W) -Inversor único sistema MPPT
-Mayor inversión inicial	-Menor inversión inicial

Tabla 6-21. Comparativa entre configuración Este-Oeste y Sur

Se ha decidido por la orientación Sur, ya que se logra un mayor aprovechamiento fotovoltaico, es capaz de generar mayor cantidad de energía a proporción de la potencia nominal instalada. A pesar de sufrir más pérdidas por sombras, la instalación de menor potencia puede ser suficiente para cubrir una gran parte de la demanda eléctrica.

También se ha tenido en consideración la situación actual de la cubierta, la cual requiere de mantenimiento. Es un proceso necesario y puede suponer un elevado coste la restauración de su totalidad. Debido a la capacidad de financiación del proyecto, se ha considerado el factor económico un elemento clave en la elección. La configuración Sur resulta la opción más viable económicamente, ya que se requerirán de menor inversión inicial (menos paneles, soportes, menos gastos de instalación, etc.…) y presenta un tiempo de amortización más reducido.

Además, esta instalación propuesta, aparte de abastecer en todo lo posible el consumo eléctrico de la vivienda, sirve como estudio del potencial fotovoltaico de la vivienda con posibilidad de ampliar la instalación en un futuro aprovechando el resto de área útil de la cubierta.

6.2.1.3 Instalación fotovoltaica en cubierta Sur

- **Descripción general**

Se ha diseñado una instalación fotovoltaica para autoconsumo con vertido del excedente a la red, con una potencia nominal de 4 kW. La instalación cuenta con 10 módulos fotovoltaicos de Si-monocristalino conectados en serie situados en la cubierta Sur de la vivienda Bildosola-Berri. Se estima que la producción eléctrica es de en torno a 4046 kWh/año.

El principal objetivo de la instalación es lograr que la vivienda obtenga una mayor independencia de la red eléctrica a través del autoconsumo. Así mismo, se mantiene conectada a la Red para asegurar el suministro eléctrico en los meses en los que la producción fotovoltaica sea reducida y, además, poder beneficiarse de la compensación por producción de excedentes. Esta opción, debido a las características de la vivienda, puede resultar la opción más viable económica y técnicamente.

- **Descripción de la instalación**

La instalación fotovoltaica cuenta con los siguientes componentes:

-Módulos fotovoltaicos:
La instalación está compuesta por 10 módulos fotovoltaicos de células de silicio monocristalino. Se ha decidido este tipo de paneles ya que presentan un mejor comportamiento ante bajas irradiancias y temperaturas reducidas. El modelo elegido es **JSM72-355 156B5 de Jonsol**.

CARACTERÍSTICAS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
CARACTERÍSTICAS CONJUNTO FOTOVOLTAICO	
Marca	Jonsol
Modelo	JSM72-355 156B5
Nº módulos	10
Potencia nominal instalada	4 kW
Superficie ocupada por conjunto FV	19,89 m2
Azimut	-23,66 º
Inclinación	17º
CARACTERÍSTICAS MÓDULO FOTOVOLTAICO	
Tecnología	Si- monocristalino
Potencia nominal instalada	400 W
Intensidad máxima potencia (I_{MPP})	9,89 A
Tensión máxima potencia (V_{MPP})	40,45 V
Intensidad de cortocircuito (I_{SC})	10,41 A
Tensión en circuito abierto (V_{OC})	49,33 V
Coef. De Tª de Potencia (α_P)	-0,39%/ºC
Coef. De Tª de V_{OC} (α_v)	-0,28%/ºC
Coef. De Tª de Isc (α_I)	0,048%/ºC
TONC	43 +-2 ºC
Rendimiento	20,11 %
Dimensiones	1985x1002x40 mm

Tabla 6-22. Características generales modulo fotovoltaico elegido

-Inversor:
Al tratarse de una instalación conectada a red, el inversor se trata de un elemento fundamental para la instalación. Su función es transformar la energía eléctrica en DC de los paneles en corriente alterna, y de esta manera poder ser aprovechada o inyectada a Red. El inversor es el elemento que marca la potencia del conjunto, en este caso de 4 kW.

Por otro lado, el inversor es el componente responsable de maximizar la producción, ya que es el encargado de buscar el punto de máxima potencia (MPP) al que puede trabajar el generador. Se ha seleccionado el inversor **Primo 4.0-1 de Fronius International.**

CARACTERÍSTICAS INVERSOR	
Marca	Fronius International
Modelo	Primo 4.0-1
Dimensiones	431 mm
Peso	21,5 kg
Rango temperatura ambiente admisible	-40ºC-+55 ºC
Grado de protección	IP65
Eficiencia nominal	98,1 %
Rendimiento Europeo	97 %
ENTRADA INVERSOR	
Rango Tensión MPPT	80-800 V
Máxima Tensión CC	1000 V
Máxima Corriente CC	12/12 A
Máxima corriente de cortocircuito	18/18 A
Potencia Máxima	6 kW
SALIDA INVERSOR	
Potencia nominal	4 kW
Tensión de Salida	230 V
Corriente nominal	17,4 A

Tabla 6-23. Características generales inversor elegido

Al tratarse de un inversor conectado a la red se debe respetar las directrices establecidas por el RD 1699/2011 de 18 de noviembre [13], que regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia. Así como, forma de conexión, rangos de tensión y frecuencia admitidos, factor de potencia y elementos de seguridad. Además, el inversor debe ser capaz de impedir el funcionamiento en modo isla, ya que pueden generar graves problemas de seguridad y daños considerables en los equipos.

-Contador bidireccional:
Gracias a este dispositivo se puede contabilizar el flujo de energía de la red eléctrica al usuario y viceversa. Consiste en un elemento imprescindible en instalaciones de autoconsumo, ya que permitirá al usuario beneficiarse de la compensación por los excedentes de producción de su instalación generadora.

Generalmente se alquila a la compañía distribuidora. Según la norma IET/290/2012 [14], la compañía distribuidora tiene la obligación de sustituir los contadores analógicos por contadores inteligentes, para potencias iguales o menores a 15 kW.

-Cableado:
El dimensionamiento del cableado que une los diferentes componentes de la instalación se basará en el cumplimiento de las condiciones recogidas en el REBT del IDAE [17].

Se ha determinado que la sección mínima para todo el cableado es de 1,5 mm², pero debido a que el inversor permite conexión de secciones de 2,5 mm^2 como mínimo. De esta manera se ha seleccionado un cableado específico para instalaciones fotovoltaicas, **EXZHELLENT SOLAR ZZ-F (AS)**.

CARACTERÍSTICAS CABLEADO	
CABLEADO CC Y AC	
Sección	2,5 mm2
Conductor	Cobre estañado clase 5 para servicio móvil (-F)
Aislamiento	Elastómero termoestable libre de halógenos (Z)
Cubierta	Elastómero termoestable libre de halógenos (Z)
Tipo aislamiento	XLPE
Tensión nominal	1,8 kV (DC) - 0,6/1 kV (AC)
Intensidad al aire	41 A

Tabla 6-16. Características generales cableado fotovoltaico elegido

-Conectores:
Componente encargado de enlazar los distintos cables y componentes de la instalación. En un principio no serían necesarios por que tanto los paneles como el inversor incluyen.

-Canalizadores:
Todo el cableado se encontrará dispuesto en el interior de tubos de protección de sección mínima de 12 mm^2 para la parte CC y 16 mm^2 para la de AC. Permitirá direccionar los cables por un mismo camino y además garantizar una mayor protección de los mismo frente a esfuerzos mecánicos y condiciones externas, sobre todo para el cableado DC que se encuentra en el exterior de la vivienda. Para este proyecto, se ha seleccionado para todo el cableado un **tubo corrugado de Haloflex**.

-Elementos de protección
Es un aspecto fundamental que la instalación cuente con ciertos elementos de protección para garantizar la seguridad tanto del sistema fotovoltaico como las personas y equipos que puedan tener un contacto directo e indirecto con la misma. De tal manera, se puede diferenciar:

- **Protección contra sobrecargas:** están regulados por la norma ITC-BT-22 del REBT [15]. El tipo de dispositivo empleado son **fusibles** e **interruptores automáticos**, cuya función es proteger la instalación frente sobreintensidades provocadas por sobrecargas, cortocircuitos o descargas eléctricas atmosféricas.

- **Protección contra sobretensiones:** son aquellas utilizadas para proteger la instalación y los equipos de sobretensiones transitorias derivadas de descargas atmosféricas y conmutaciones de redes y defectos de la misma. Para ello se emplean principalmente **descargadores de corriente de rayo** y **descargadores de sobretensiones**.

Los parámetros de selección de dichos elementos quedan regulados bajo la norma *ITC-BT-23* [16].

- **Protección de las personas:** en la norma *ITC-BT-24 [17]* queda recogida las diferentes medidas de seguridad destinada a proteger a las personas contra los choques eléctricos. Dependiendo de cómo sea el contacto, ya sea directo o indirecto, podemos diferenciar diferentes elementos de protección.

    - Protección contactos directos e indirectos simultáneamente:
        - MBTS

    - Protección contra contactos directos:
        - Aislamiento de las partes activas
        - Medio de barreras o envolventes
        - Por medio de obstáculos
        - Por puesta fuera de alcance por alejamiento
        - Protección complementaria por dispositivos de corriente diferencial residual

    - Protección contra contactos indirectos:
        - Por corte automático de la alimentación
        - Protección por empleo de equipos de la clase II o por aislamiento equivalente

El ITC-BT-40 [18] del nuevo REBT establece que se requieren de unas medidas de **protección adicionales** ya que se trata de una instalación conectada a red:

- **Interruptor General Manual** situado en el punto de interconexión.

- **Interruptor de la interconexión** (suele estar en inversor).

- **Protección para la interconexión de máxima y mínima frecuencia y de máxima y mínima tensión** (Suele estar en el inversor).

- **Caja de protecciones** este componente tiene como finalidad agrupar en su interior las diferentes protecciones necesarias para la instalación. Se puede disponer de uno para el lado de DC y otro para el lado de AC para que contengan sus respectivas protecciones, o en una misma caja disponer de ambas. Por otro lado, se puede tomar una caja de protecciones estanca, la cual se dispone vacía y posteriormente se le añade las determinadas protecciones o se puede disponer directamente de una caja de protecciones completa. Actualmente se diseñan cajas de este estilo teniendo en cuenta la potencia del generador fotovoltaico, disponen de las medidas de seguridad necesarias.

  En este caso, se ha decidido tomar una caja estanca para DC y otra para el lado AC con el tamaño suficiente para disponer las protecciones requeridas.

Teniendo en cuenta todo lo mencionado, en la Tabla 6-17. se muestran las protecciones que se han escogido.

PARTE DC		PARTE AC	
Protecciones frente a sobretensiones			
Fusibles cilíndricos de tipo gPV	V_{MAX}= 1000 V I_n=30 A	Interruptor automático magnetotérmico (IAM)	P_{DC}=6 kA In=20 A
Protecciones frente a sobretensiones			
Descargadores OVR PV 40 1000 P de ABB (cable positivo-tierra y cable negativo-tierra y entrada al inversor)	U_{MAX}=1000V I_{MAX}=40 kA In=20 kA Tipo 2	Descargador OVR T1-T2 3N 12.5-275s P QS de ABB (salida del inversor)	U_n=230/400 V I_{MAX}=80 kA In=20 kA Tipo 1+2
Descargador OVR T1-T2 3N 12.5-275s P QS de ABB (caja de conexiones)	U_n=230/400 V I_{MAX}=80 kA I_n=20 kA Tipo 1+2		
Protecciones frente a contactos directos e indirectos			
Controlador permanente de aislamiento	Protección incluida en el propio inversor	Interruptor diferencial modelo A9R84225 de Schneider (inversor-punto de interconexión)	Bipolar Tipo AC I_n=25
Protecciones adicionales			
Caja de conexiones parte DC o generador fotovoltaico	Contiene: -Fusibles y portafusibles -Descargadores de sobretensión	Interruptor general manual	I_n ≥20 A P_{CC}=I_{SC} (acometida)
		Caja de protecciones parte AC	Contiene: -Interruptor magnetotérmico -Interruptor diferencial -Contador bidireccional -Interruptor general manual

Tabla 6-17. Protecciones de la instalación fotovoltaica

El dimensionamiento detallado de las diferentes protecciones requeridas en la instalación propuesta, se detallan en el Documento 2.

-Estructuras y soportes
Las estructuras y soportes de la cubierta deben estar diseñadas para:

- Soportar vientos entre 100 y 150 Km/h.
- Los materiales han de ser resistentes a la corrosión.
- Para la sujeción se ha de emplear solo tornillería de acero inoxidable.
- Se ha de unir a la toma de tierra la estructura y el marco según el REBT.
- Integración estética en el medio.

En este caso, se plantea una configuración coplanar que requiere de los siguientes elementos para lograr el correcto agarre de los módulos sobre la cubierta:

- **Barras**
- **Varillas roscadas** (1 por metro de barra. Si cubierta de teja hueca igual se requieren de más)
- **Presor final**
- **Presor intermedio o central**
- **Tamiz**: tener en cuenta en caso de que la cubierta esté hueca. Habitual en cubiertas antiguas de teja.

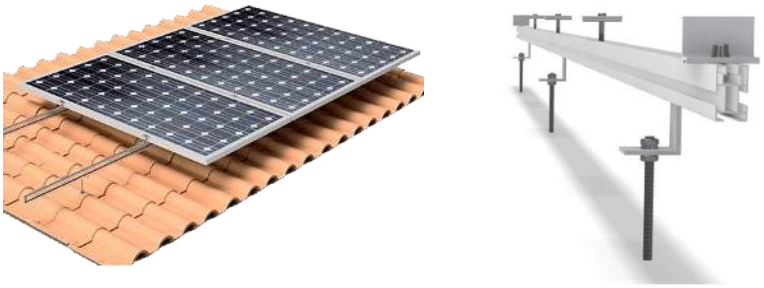


Figura 6-23. Configuración coplanar y estructura de soporte módulo

Para la instalación propuesta se ha dispuesto de la siguiente configuración, con el objetivo de aprovechar, en todo lo posible, la mayor parte de la superficie útil de la cubierta Sur:

- **Una estructura para la colocación de 4 módulos en vertical:** se compone de dos barras de 4200 mm, 12 varillas roscadas, 4 presores finales y 8 presores intermedios.
- **Dos estructuras para la colocación de 2 módulos en vertical:** 4 barras de 2100 mm, 12 varillas roscadas, 8 presores finales y 4 presores intermedios.
- **Dos estructuras para la colocación de un único módulo en vertical:** 4 barras de 1050 mm, 8 varillas roscadas y 8 presores finales.

Por otro lado, se ha comprobado que la instalación cumple la normativa respecto a los valores de sobrecarga permitidos sobre la superficie de la cubierta de una vivienda. La instalación con un peso total igual a 253,995 kg y una ocupación de 20,84 m² de la cubierta, presenta una carga de 12,14 kg/m² (<15 kg/m²). El procedimiento de cálculo para determinar el cumplimiento de la norma *NBE-88* [19], se detalla en el Documento 2.

-Puesta a tierra
Este apartado queda regulado por la norma ITC-BT-18 [20], la cual establece las principales características que debe disponer la toma a tierra de la instalación. Los principales objetivos de la toma a tierra son los siguientes:

- *Limitar la diferencia de potencial de las masas metálicas que puede aparecer respecto a tierra cuando se produce un contacto entre un conductor activo y los elementos de la instalación.*
- *Permite el paso a tierra de las corrientes de fuga o las de descarga de origen atmosférico*
- *Asegura la actuación de protecciones.*

En las instalaciones fotovoltaicas se recomienda:

- Utilización de un único electrodo de puesta a tierra para toda la instalación FV (norma UNE 20460-7-712)
- Conectar a tierra las partes metálicas del generador, el inversor, los controladores de aislamiento, los descargadores, etc.

En este caso, la instalación propuesta contará con una sección mínima de conductores de protección (S_p) de 2,5 mm² que conectará todos los componentes metálicos de la instalación fotovoltaica con una única barrera equipotencial. La vivienda dispone de toma a tierra, por lo que se emplea esa misma para la instalación fotovoltaica propuesta.

- **Ratio de autoconsumo**

A través del software PVsyst se ha calculado que la instalación propuesta de 4 kW será capaz de generar una cantidad de energía eléctrica anual igual a **4.046 kWh.** Además de presentar un ratio de funcionamiento óptimo (performance ratio) de 0,765.

Teniendo en cuenta que el consumo eléctrico estimado presenta un valor en torno a **26.064,65 kWh/año** se determina el ratio de autoconsumo dado por la instalación propuesta, es decir el porcentaje de energía de la demanda total que es capaz de cubrir. En este caso representa un valor del **15,5%**.

6.2.2 Evaluación económica

6.2.2.1 Análisis económico de instalación fotovoltaica propuesta

Se ha elaborado una evaluación económica de la instalación fotovoltaica propuesta con el fin de determinar su rentabilidad y tiempo de amortización.

Debido a que no se conoce el consumo de la vivienda, y por tanto tampoco sobre qué horas concretas se desarrollará el mismo, no se puede determinar cuánta cantidad de energía procedente de la instalación fotovoltaica será auto consumida o inyectada a red. Por este motivo, a la hora de determinar el ahorro anual para el desarrollo de futuros cálculos se ha considerado que toda energía producida es consumida. De esta manera, se logra un ahorro anual de electricidad igual a **586,67 €**.

Por otro lado, se ha realizado un presupuesto detallado de la propuesta, el cual se puede ver en el Anexo de cálculos. La inversión inicial supone un coste de **4.850,86€**.

PAYBACK SIMPLE	8,27
VAN SIMPLE	12.749,24 €

Tabla 6-18. Resultados Payback simple y VAN simple de instalación fotovoltaica propuesta

Si se tiene en cuenta la variación de flujo de caja el tiempo de amortización incrementa hasta a los 11 años, sabiendo que la vida útil de los módulos fotovoltaicos es de 25-30 años, presenta un valor de tiempo de amortización adecuado. Además, el VAN presenta un valor positivo y el TIR un valor mayor a la tasa de retorno, por lo que el proyecto es rentable económicamente.

6.2.3 Evaluación medioambiental

La energía producida por la instalación fotovoltaica supondrá una reducción de emisiones de CO2 igual a 13.392,26 kg.

$$CO_2 \text{ electricidad} = F_{CO2\ electricidad} \cdot E_{PV}$$

$$CO_2 \text{ electricidad} = 0{,}331 \cdot 4.046 = 13.392{,}26 \text{ kg de } CO2$$

6.3 EVALUACIÓN DE SISTEMAS EN CONJUNTO

Tras haber realizado el análisis del potencial térmico y fotovoltaico de la vivienda, se han desarrollado tres posibles alternativas que combinan sistemas de generación de energía térmica con la instalación fotovoltaica propuesta, con el fin de lograr en todo lo posible el abastecimiento energético total de la vivienda. En todas ellas, se han tomado de referencia la instalación fotovoltaica localizada en la cubierta sur de 4 kW propuesta. Además, se han evaluado tanto para la situación de calefacción actual como la que supone una ampliación del área calefactada de la casa.

Se ha realizado una evaluación económica y medioambiental de las siguientes configuraciones de sistemas:

- **Caldera de gasóleo con instalación fotovoltaica:**

Se mantiene para el suministro de energía térmica total de la vivienda la caldera de gasóleo instalada actualmente. Mientras para el abastecimiento eléctrico, se propone la instalación fotovoltaica de 4 kW propuesta en el apartado de análisis eléctrico.

- **Aerotermia con funcionamiento independiente a la instalación fotovoltaica:**

Se plantea la sustitución de la caldera de gasóleo por un sistema de aerotermia. Se toma el mismo sistema estudiado en el análisis térmico, compuesto por una bomba de calor de potencia de 12 kW y un depósito almacenamiento térmico de 900 l (optimización del diseño detallado en el apartado del Documento 2. El sistema de aerotermia toma la electricidad necesaria para su funcionamiento directamente de la Red de Distribución eléctrica. Por otro lado, la instalación fotovoltaica cubrirá, en todo lo posible, el resto de los consumos eléctricos de la vivienda.

- **Aerotermia con funcionamiento simultáneo con instalación fotovoltaica:**

A diferencia que la propuesta anterior, se programa el funcionamiento del sistema de aerotermia con las horas de mayor producción de la instalación fotovoltaica. Con el principal objetivo de reducir el consumo eléctrico de la bomba de calor y aumentar el autoabastecimiento energético de la vivienda. Se ha realizado un estudio para lograr la optimización del funcionamiento en conjunto de ambos sistemas. Se ha tomado el mismo conjunto de aerotermia-depósito térmico mencionado en el caso anterior.

- **Caldera de biomasa con instalación fotovoltaica:**

Como se puede comprobar en el apartado de Análisis térmico (Sección 6.1), la caldera de leña presenta los resultados más óptimos tanto en la evaluación económica como medioambiental. Por este motivo, se analiza la posible combinación de caldera de leña para suplir la demanda térmica e instalación fotovoltaica para abastecer la demanda eléctrica de la vivienda. Se ha considerado la misma caldera de leña que dispone de una potencia igual a 43 kW.

6.3.1 Evaluación económica

6.3.1.1 Ahorro anual

Como ya se ha comentado la demanda térmica total (ACS y calefacción) en un año referencia varía en función del área total calefactada en la vivienda. La demanda térmica total es igual a **43.100,89 kWh** cuando se considera la situación de calefacción actual. Sin embargo, si se considera la ampliación de la calefacción la demanda total térmica muestra un valor igual a **62.864,11 kWh**.

Teniendo en cuenta las demandas térmicas totales obtenidas, se ha analizado el consumo energético de cada una de las configuraciones propuestas. El consumo y coste anual dados por la caldera de gasóleo, la caldera de leña y el sistema de aerotermia fueron determinados en el apartado análisis térmico. Únicamente se ha calculado el consumo y el coste que supone el sistema de aerotermia que presenta un funcionamiento simultáneo con la instalación fotovoltaica.

Se comprueba cómo en ambas alternativas de calefacción (actual y ampliación), el funcionamiento simultáneo entre el sistema de aerotermia y la instalación fotovoltaica logra reducir el consumo eléctrico de la bomba de calor, y consecuentemente el coste anual en electricidad.

- **Ahorro anual considerando situación de calefacción actual**

	CONSUMO (kWh/año)	COSTE (€/año)
Caldera de gasoil con fotovoltaica	57.440,72	4.225,64
Aerotermia con fotovoltaica (independiente)	17.234,21	3.440,53
Aerotermia con fotovoltaica (simultáneo)	13.186,13	2.492,57
Caldera de leña con fotovoltaica	47.867,27	1.627,49

Tabla 6-19. Consumo energético y coste económico anual (para suministro de energía térmica) por propuesta considerando situación de calefacción actual

El funcionamiento simultáneo del sistema de aerotermia e instalación fotovoltaica supone una reducción en el consumo eléctrico de 4.048,08 kWh, lo que supone una reducción de coste igual de 947,96 €/año. Sin embargo, al igual que en el Análisis térmico, la propuesta de caldera de leña sigue siendo la alternativa con un menor coste anual.

A continuación, se detalla el ahorro que supone la componente térmica, componente eléctrica y el total de cada una de las alternativas propuestas:

	SISTEMA TÉRMICO	INTALACIÓN FOTOVOLTAICA	TOTAL
SCALDERA GASOIL Y PV	0	586,67	**586,67**
SAEROTERMIA Y PV (INDEPENDIENTE)	785,11	586,67	**1.371,78**
SAEROTERMIA Y PV (SIMULTÁNEO)	1733,06	586,67	**2.319,73**
SCALDERA LEÑA Y PV	2598,15	586,67	**3.184,82**

Tabla 6-20. Ahorro económico anual por propuesta considerando calefacción actual (€)

La alternativa de la caldera de leña supone un mayor ahorro total respecto a la situación actual, ya que la instalación fotovoltaica (es la misma en todas las alternativas) presenta el mismo ahorro económico en todos los casos.

Como ya se ha mencionado y analizado en el apartado de análisis térmico, el ahorro total dado en la propuesta de biomasa puede aumentar debido a la disponibilidad de leña de forma gratuita. Más adelante, en el apartado de disponibilidad de leña, se evalúa en qué medida afecta la cantidad de leña disponible en la propuesta en conjunto de caldera de leña con instalación fotovoltaica.

- **Ahorro anual considerando situación de calefacción ampliada**

	CONSUMO (kWh/año)	COSTE (€/año)
Caldera de gasoil con fotovoltaica	83.808,27	6.165,37
Aerotermia con fotovoltaica (independiente)	21.338,68	4.117,40
Aerotermia con fotovoltaica (simultáneo)	17.290,61	3.169,44
Caldera de leña con fotovoltaica	69,840,22	2.374,57

Tabla 6-19. Consumo energético anual y coste económico anual (para suministro de energía térmica) por propuesta considerando situación de calefacción ampliada

Al igual que antes, el funcionamiento simultáneo del sistema de aerotermia e instalación fotovoltaica supone una reducción en el consumo eléctrico de 4.048,07 kWh, y una reducción de coste igual de 947,96 €/año. Además, la propuesta que presenta el uso de biomasa continúa siendo la alternativa más económica.
Los diferentes ahorros que supone la componente térmica, componente eléctrica y el total de cada una de las alternativas propuestas se muestran en la siguiente tabla:

	SISTEMA TÉRMICO	INTALACIÓN FOTOVOLTAICA	TOTAL
SCALDERA GASOIL y PV	0	586,67	**586,67**
SAEROTERMIA Y PV (INDEPENDIENTE)	2.047,97	586,67	**2.634,64**
SAEROTERMIA Y PV (SIMULTÁNEO)	2.995,93	586,67	**3.582,60**
SCALDERA LEÑA Y PV	3.790,80	586,67	**4.377,47**

Tabla 6-20. Ahorro económico anual por propuesta considerando calefacción ampliada (€)

Al igual que considerando la calefacción actual, la propuesta que dispone de la caldera de leña supone un mayor ahorro total. Este ahorro calculado puede ser incluso mayor si se tiene en cuenta que la comunidad puede disponer de cierta cantidad de leña de forma gratuita como ya se ha mencionado en el apartado anterior.

6.3.1.2 Inversión inicial

Se ha determinado la inversión inicial que supondría cada propuesta. Al igual que antes se ha evaluado para las dos posibles situaciones de calefacción, la cuales requieren de una dimensión de red de radiadores diferente. A continuación, se muestra el presupuesto detallado de cada propuesta para abastecer cada demanda térmica total.
Se ha considerado para el desarrollo de este apartado, que es necesario, tanto para la situación de calefacción actual como la ampliada, instalar en su totalidad la longitud de radiadores (calculada para cada caso).

- **Inversión inicial para sistema con situación de calefacción actual**

Caldera gasóleo con fotovoltaica	Caldera de biomasa con fotovoltaica	Aerotermia con fotovoltaica
-Red de radiadores: 2.650 € **-Instalación fotovoltaica:** 4.850,86 €	**-Red de radiadores:** 2.650 € **-Caldera de leña 43 kW:** 2.342,56 € **-Instalación fotovoltaica:** 4.850,86 €	**-Red de radiadores:** 2.650 € **-Bomba de calor 12 kW:** 4.025 € **-Depósito de acumulación 200 l:** 1.000 € **-Instalación fotovoltaica:** 4.850,86 €
TOTAL: 7.500,86€	**TOTAL: 9.843,42 €**	**TOTAL: 12.525,86€**

Tabla 6-21. Inversión inicial por propuesta considerando situación de calefacción actual

- **Inversión inicial para sistema con situación de calefacción ampliada**

Caldera gasóleo con fotovoltaica	Caldera de biomasa con fotovoltaica	Aerotermia con fotovoltaica
-Red de radiadores: 4.810 € **-Instalación fotovoltaica:** 4.850,86 €	**-Red de radiadores:** 4.810 € **-Caldera de leña 43 kW:** 2.342,56 € **-Instalación fotovoltaica:** 4.850,86 €	**-Red de radiadores:** 4.810 € **-Bomba de calor 12 kW:** 4.025 € **-Depósito de acumulación 200 l:** 1.000 € **-Instalación fotovoltaica:** 4.850,86 €
TOTAL: 9.660,86 €	**TOTAL: 12.003,42 €**	**TOTAL: 14.685,86 €**

Tabla 6-22. Inversión inicial por propuesta considerando situación de calefacción actual

La propuesta de caldera de gasóleo con instalación fotovoltaica presenta la menor inversión inicial, ya que se debe costear únicamente la red de radiadores y la instalación fotovoltaica. Mientras el sistema de aerotermia supone el mayor coste inicial.

6.3.1.3 Payback simple y VAN simple

Tomando de referencia la inversión inicial requerida y el ahorro anual que supone cada propuesta, se ha determinado el tiempo de amortización y los ahorros acumulados a lo largo de la vida útil dado.

Teniendo en cuenta la vida útil de las tecnologías empleadas, se ha calculado para abastecer las dos posibles situaciones: demanda térmica total que considera la calefacción actual o la que considera la ampliación de la calefacción.

- **Vida útil promedio instalación fotovoltaica:** 25-30 años
- **Vida útil promedio caldera de leña:** 25-30 años
- **Vida útil promedio aerotermia:** 25-45 años

Se ha considerado que todas las tecnologías disponen de una vida útil igual a **30 años**.

- **Payback simple y VAN simple considerando calefacción actual**

  - Ahorro total de caldera de gasóleo con instalación PV: **586,67 €/año**
  - Ahorro total de aerotermia con funcionamiento independiente a la instalación PV: **1.371,78 €/año**
  - Ahorro total de aerotermia con funcionamiento simultáneo con instalación PV: **2.319,73 €/año**
  - Ahorro total de caldera de biomasa con instalación PV: **3.184,82 €/año**
  - Inversión inicial caldera de gasóleo con instalación PV:**7.500,86€**
  - Inversión inicial aerotermia con PV: **12.525,86€**
  - Inversión inicial caldera de leña con PV: **9.843,42 €**

	PAYBACK SIMPLE (años)	VAN SIMPLE (€)
Caldera de gasoil con PV	12,79	10.099,24
Aerotermia con PV (independiente)	9,13	28.627,39
Aerotermia con PV (simultáneo)	5,40	57.066,12
Caldera de leña con PV	3,09	85.701,16

Tabla 6-23 Payback simple y VAN simple por propuesta considerando calefacción actual

- **Payback simple y VAN simple considerando calefacción ampliada**

  - Ahorro total de caldera de gasóleo con instalación PV: **586,67 €/año**
  - Ahorro total de aerotermia con funcionamiento independiente a la instalación PV: **2.634,64 €/año**
  - Ahorro total de aerotermia con funcionamiento simultáneo con instalación PV: **3.582,60 €/año**
  - Ahorro total de caldera de biomasa con instalación PV: **4.377,47 €/año**
  - Inversión inicial caldera de gasóleo con instalación PV: **9.660,86 €**
  - Inversión inicial aerotermia con PV: **14.685,86 €**
  - Inversión inicial caldera de leña con PV: **12.003,42 €**

°

	PAYBACK SIMPLE (años)	VAN SIMPLE (€)
Caldera de gasoil con PV	16,47	7.939,24
Aerotermia con PV (independiente)	5,57	64.353,35
Aerotermia con PV (simultáneo)	4,10	92.792,08
Caldera de leña con PV	2,74	119.320,75

Tabla 6-24 Payback simple y VAN simple por propuesta considerando calefacción ampliada

De forma general, el aumento de la red de radiadores supone una mayor rentabilidad para las propuestas que suponen la implementación de energías renovables para la generación de energía térmica en la vivienda. Se observa como el tiempo de amortización disminuye y el ahorro acumulado aumenta para esos casos. Mientras la alternativa que supone mantener la caldera de gasóleo, si se aumenta el área calefactada, presenta peores resultados económicos, ya que el ahorro en ambos casos es el mismo pero la inversión inicial es más elevada.

También se puede comprobar como el funcionamiento simultáneo del sistema de aerotermia con la instalación fotovoltaica favorece en el tiempo de amortización y ahorro acumulado dado por la configuración de estos sistemas, ya que presenta un mayor ahorro anual de electricidad.

Por otro lado, la propuesta de uso de caldera de leña supone la alternativa con mayor rentabilidad económica.

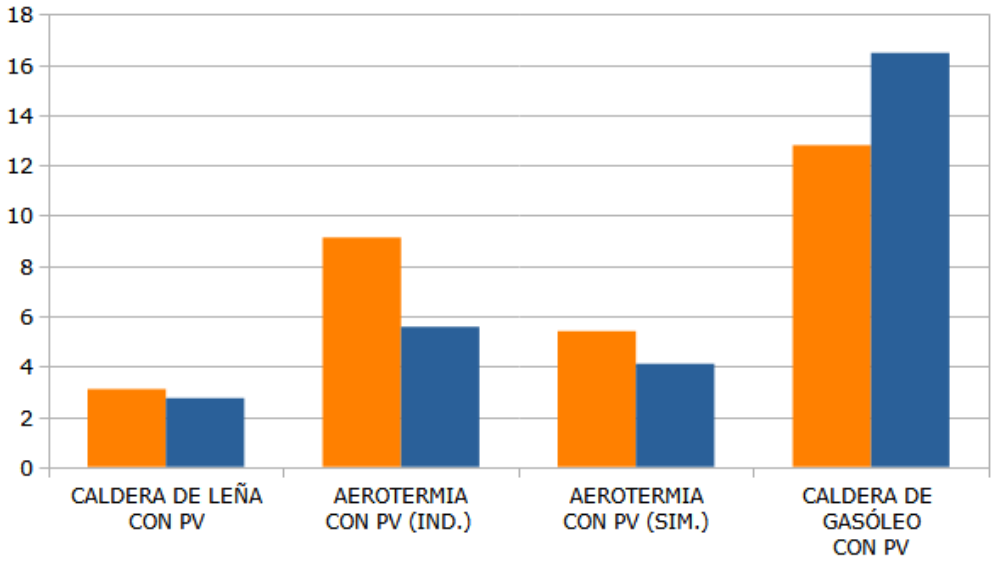


Figura 6-24. Comparativa de Payback simple (años) por propuesta entre situación con calefacción actual (naranja) y la situación con calefacción ampliada (azul)

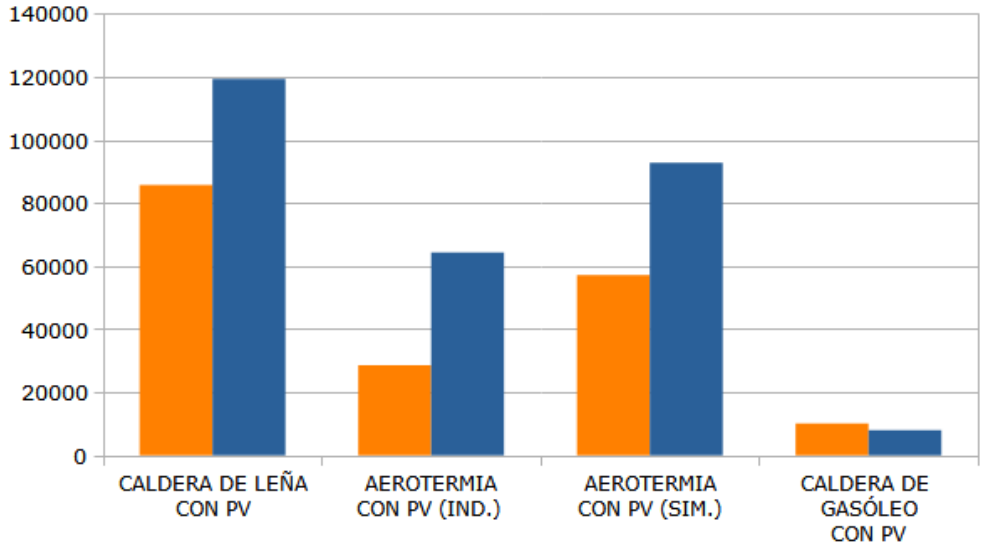


Figura 6-25. Comparativa de VAN simple (€) por propuesta entre situación con calefacción actual (naranja) y situación con calefacción ampliada (azul)

6.3.1.4 Análisis disponibilidad de leña

Al igual que en el análisis térmico, la propuesta que presenta la caldera de leña supone los mejores resultados tanto en la evaluación económica como medioambiental. Debido a la posible disponibilidad de leña de forma gratuita, como ya se ha comentado, los resultados económicos pueden presentar incluso mejores valores. Se ha analizado en qué medida varía la rentabilidad del proyecto de caldera de leña con instalación fotovoltaica dependiendo de la disponibilidad de leña de forma gratuita para cada caso de demanda (actual y ampliada).

- **Disponibilidad de leña considerando calefacción actual**

Como ya se ha mencionado el apartado de análisis térmico, para un consumo energético de biomasa igual a 47.867,27 kWh/año se requiere de una cantidad de **11,97 t** de leña.

Teniendo en cuenta los siguientes datos de partida:

- Coste específico de leña: 0,034 €/kWh (calculado)
- Poder calorífico de la leña: 4 kWh/kg
- Coste de gasóleo: 5.973,83 €/año
- Inversión de la caldera de leña e instalación fotovoltaica: 7.193,42 €
- Coste red de radiadores actual: 2.650 €
- Ahorro de instalación fotovoltaica: 586,67 €/año

Cantidad leña (t)	Coste leña (€/año)	Ahorro combustible (€/año)	Ahorro total (€/año)	Payback (años)	VAN (€)
11,97	1627,49	2598,15	3184,82	3,09	85.701,26
11,5	1564,00	2661,64	3248,31	3,03	87.605,88
11	1496,00	2729,64	3316,31	2,97	89.645,88
10,5	1428,00	2797,64	3384,31	2,91	91.685,88
10	1360,00	2865,64	3452,31	2,85	93.725,88
9,5	1292,00	2933,64	3520,31	2,80	95.765,88
9	1224,00	3001,64	3588,31	2,74	97.805,88
8,5	1156,00	3069,64	3656,31	2,69	99.845,88
8	1088,00	3137,64	3724,31	2,64	101.885,88
7,5	1020,00	3205,64	3792,31	2,60	103.925,88
7	952,00	3273,64	3860,31	2,55	105.965,88
6,5	884,00	3341,64	3928,31	2,51	108.005,88
6	816,00	3409,64	3996,31	2,46	110.045,88
5,5	748,00	3477,64	4064,31	2,42	112.085,88
5	680,00	3545,64	4132,31	2,38	114.125,88
4,5	612,00	3613,64	4200,31	2,34	116.165,88
4	544,00	3681,64	4268,31	2,31	118.205,88
3,5	476,00	3749,64	4336,31	2,27	120.245,88
3	408,00	3817,64	4404,31	2,23	122.285,88
2,5	340,00	3885,64	4472,31	2,20	124.325,88
2	272,00	3953,64	4540,31	2,17	126.365,88
1,5	204,00	4021,64	4608,31	2,14	128.405,88
1	136	4089,64	4676,31	2,10	130.445,88
0,5	68	4157,64	4744,31	2,07	132.485,88
0	0	4225,64	4812,31	2,05	134.525,88

Tabla 6-25. Variación de los indicadores económicos en función de leña disponible (demanda actual)

A medida que se dispone de mayor cantidad de leña de forma gratuita, al ser el ahorro por combustible mayor, se reduce el tiempo de amortización y aumenta el ahorro acumulado. Se alcanza una reducción del Payback máximo igual a 1,04 años y un aumento del VAN hasta 134.525,88 €.

- **Disponibilidad de leña considerando calefacción ampliada**

En este caso, se requiere de **11,97 t** para cubrir en la totalidad la demanda térmica. Teniendo en cuenta los siguientes datos de partida:

  - Coste de gasóleo: 6.165,37 €/año
  - Inversión de la caldera de leña e instalación fotovoltaica:7.193,42 €
  - Coste red de radiadores actual: 4.810 €
  - Ahorro de instalación fotovoltaica: 586,67 €/año

Cantidad leña (t)	Coste leña (€/año)	Ahorro combustible (€/año)	Ahorro total (€/año)	Payback (años)	VAN (€)
17,46	2374,56	3790,81	4377,48	2,74	119.320,98
17	2312,00	3853,37	4440,04	2,70	121.197,78
16	2176,00	3989,37	4576,04	2,62	125.277,78
15	2040,00	4125,37	4712,04	2,55	129.357,78
14	1904,00	4261,37	4848,04	2,48	133.437,78
13	1768,00	4397,37	4984,04	2,41	137.517,78
12	1632,00	4533,37	5120,04	2,34	141.597,78
11	1496,00	4669,37	5256,04	2,28	145.677,78
10	1360,00	4805,37	5392,04	2,23	149.757,78
9	1224,00	4941,37	5528,04	2,17	153.837,78
8	1088,00	5077,37	5664,04	2,12	157.917,78
7	952,00	5213,37	5800,04	2,07	161.997,78
6	816,00	5349,37	5936,04	2,02	166.077,78
5	680,00	5485,37	6072,04	1,98	170.157,78
4	544,00	5621,37	6208,04	1,93	174.237,78
3	408,00	5757,37	6344,04	1,89	178.317,78
2	272,00	5893,37	6480,04	1,85	182.397,78
1	136,00	6029,37	6616,04	1,81	186.477,78
0	0,00	6165,37	6752,04	1,78	190.557,78

Tabla 6-26. Variación indicadores económicos en función de leña disponible (demanda ampliada)

Al igual que el caso anterior, a mayor disponibilidad de leña mejor rentabilidad presenta el proyecto. En este caso se logra reducir el tiempo de amortización en torno a un año (0,96 años) y aumentar el VAN hasta un valor de 190.557,78 €.

6.3.2 Evaluación medioambiental

A continuación, se va a realizar un análisis medioambiental de las diferentes alternativas propuestas para el proyecto en conjunto. Para ello se ha determinado la cantidad de emisiones CO_2 dada por cada alternativa.
Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los apartados de evaluación medioambiental de los análisis térmico y análisis eléctrico se obtiene el total. Únicamente es necesario calcular para la alternativa de aerotermia con funcionamiento simultáneo de fotovoltaica ya que no se había determinado en los apartados anteriores.

- **Evaluación medioambiental considerando calefacción actual**

Para demanda total térmica que considera la calefacción actual:

- Caldera de gasoil: 17.864,06 kg de CO_2
- Caldera de leña: 861,61 kg de CO_2
- Sistema aerotermia: 5.704,52kg CO_2
- Consumo eléctrico de aerotermia y PV (simultáneo): 13.186,13 kWh/año

$$\text{Kg } CO_2 \text{ aerotermia y PV (sim)} = F_{CO2\ \text{electricidad}} \cdot Q_{\text{aerotermia y PV (sim)}}$$

$$\text{Kg } CO_2 \text{ aerotermia y PV (sim)} = 0{,}0331 \cdot 13{,}186{,}13 = 4.364{,}61 \text{ kg } CO_2$$

	SISTEMA TÉRMICO	INTALACIÓN FOTOVOLTAICA	TOTAL
Caldera de gasóleo con PV	0	13.392,26	**13.392,26**
Aerotermia con PV (ind.)	12.159,54	13.392,26	**25.551,8**
Aerotermia con PV (sim.)	13.499,45	13.392,26	**26.891,71**
Caldera de leña con PV	17.002,45	13.392,26	**30.394,71**

Tabla 6-27. Ahorro de kg CO_2 anuales emitidos por propuesta considerando demanda térmica actual

- **Evaluación medioambiental considerando calefacción ampliada**

Para demanda total térmica que considera la calefacción ampliada:

- Caldera de gasoil: 26.064,37 kg de CO_2
- Caldera de leña: 1.257,12 kg de CO_2
- Sistema aerotermia: 7.063,10 kg CO_2
- Consumo eléctrico de aerotermia y PV (simultáneo): 17.290,61 kWh/año

$$\text{Kg } CO_2 \text{ aerotermia y PV (sim)} = F_{CO2\ \text{electricidad}} \cdot Q_{\text{aerotermia y PV (sim)}}$$

$$\text{Kg } CO_2 \text{ aerotermia y PV (sim)} = 0{,}0331 \cdot 17.290{,}61 = 5.723{,}19 \text{ kg } CO_2$$

	SISTEMA TÉRMICO	INTALACIÓN FOTOVOLTAICA	TOTAL
Caldera de gasóleo con PV	0	13.392,26	**13.392,26**
Aerotermia con PV (ind.)	19.001,27	13.392,26	**32.393,53**
Aerotermia con PV (sim.)	20.341,18	13.392,26	**33.733,44**
Caldera de leña con PV	24.807,25	13.392,26	**38.199,51**

Tabla 6-28. Ahorro kg CO_2 anuales emitidos por propuesta considerando demanda térmica ampliada

La alternativa que presenta la caldera de leña supone una mayor reducción de emisiones de CO_2 respecto a la situación actual. Si se tomara esta alternativa, se lograría una reducción de 30,401,36 kg CO_2 anuales.

El ahorro de emisiones respecto al sistema actual de abastecimiento de energía de la vivienda (caldera de gasóleo y Red de Distribución) presenta un mayor valor a medida que aumenta el área calefactada. Esto se debe a que los sistemas de generación térmica a medida que aumenta su consumo, la reducción de emisiones es mayor respecto a la caldera de gasóleo. Mientras que la instalación fotovoltaica supone un ahorro constante de emisiones para todas las alternativas e indistintamente la situación de calefacción, por este motivo el ahorro de emisiones dado en la propuesta de caldera de gasóleo con instalación fotovoltaica presenta el mismo valor.

En ambas situaciones de calefacción (actual y ampliación), la propuesta que emplea la caldera de leña supone la alternativa con u mayor ahorro de emisiones de CO_2 respecto a al sistema actual.

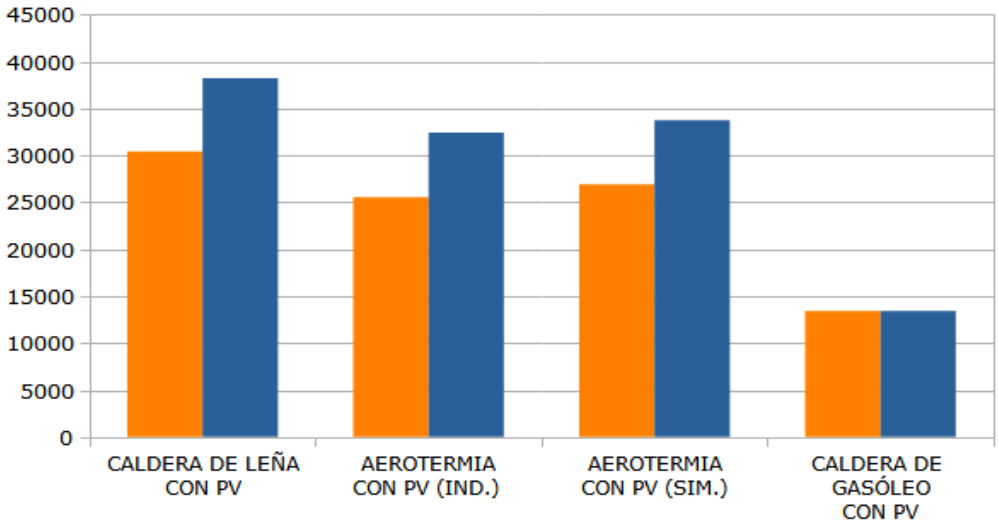


Figura 6-26. Comparativa de emisiones de CO_2 (kg) por propuesta entre situación con calefacción actual (naranja) y situación con calefacción ampliada (azul)

7 RECOMENDACIONES

A lo largo del trabajo, se han analizado las futuras necesidades energéticas de la vivienda Bildosola-Berri y se han evaluado posibles sistemas basados en el uso de energías renovables capaces de abastecer, en la medida de lo posible, la totalidad de la demanda energética.

Con el fin de diseñar la estrategia óptima para el abastecimiento energético de la vivienda se ha realizado una evaluación energética, económica y medioambiental, tanto a nivel térmico como eléctrico.

En el **análisis térmico**, se ha analizado **dos posibles situaciones de demanda térmica** en la vivienda.

Por un lado, una **demanda térmica actual,** la cual consiste en la demanda requerida para ACS (calculada en función del número personas que ocupan la vivienda, igual a 50,204 kWh/día) y la requerida para la situación de calefacción actual (24.777,89 kWh/año). La demanda térmica total para esta situación en un año referencia es igual a **43.100,89 kWh.**

Por otro lado, se ha calculado que se requiere de una potencia de diseño en los sistemas de calefacción igual a 19,87 kW y una potencia de 6,25 kW para el suministro de ACS, para lograr el suministro térmico en el momento más desfavorable. De esta forma, los sistemas deben disponer de una potencia de diseño como mínimo de **26,12 kW.**

Además, para lograr la distribución de calefacción, se requiere de una **longitud de radiadores igual a 13,25 m**. Suponiendo que se deben modificar todos los radiadores disponibles en la vivienda, esto supondría **un coste de 2.650 €.**

Por otro lado, una **demanda térmica ampliada.** La cual presenta misma demanda de ACS, pero se calefacta una mayor superficie de la vivienda (44.541,11 kWh/año). En este caso, debido al aumento de la demanda para calefacción, la demanda total incrementa a un valor de **62.864,11 kWh/año**.

En este caso, para asegurar el suministro térmico se ha calculado que la potencia de diseño de los sistemas mixtos debe ser igual a **42,32 kW**. Debido al aumento de la capacidad nominal dada en la calefacción, se requiere de una mayor longitud en la red de radiadores igual a **24,05 m**, lo cual supone un mayor coste **4.810€** (supone un sobrecoste de 2.160 € respecto a la situación actual).

Teniendo en cuenta estas dos posibles situaciones, se ha realizado una evaluación comparativa de diferentes tecnologías de generación de energía térmica para ACS y calefacción disponibles en el mercado: caldera de leña y sistema de aerotermia.

Se han seleccionado equipos que presente la potencia de diseño requerida para la situación de ampliación. De esta manera, si la comunidad quiere realizar una futura ampliación de la calefacción, únicamente deberá incrementar la red de distribución de

calefacción (como se ha determinado en la sección 6.1.1.1). Por ello, se ha escogido para el análisis comparativo una **caldera de leña de 43 kW**.

En el caso del sistema de aerotermia se ha realizado un estudio para la optimización en la configuración de la bomba de calor y depósito de almacenamiento térmico con el fin requerir de una menor potencia del diseño. En este estudio se ha concluido que disponiendo de una **bomba de calor de 12 kW y un depósito de 900 l** se logra abastecer toda la demanda térmica en ambos casos.

Para ambas situaciones se ha evaluado que propuesta es la óptima, tanto económicamente como medioambientalmente. Se ha concluido que ambas situaciones (demanda actual y demanda ampliada) **la caldera de leña presenta los mejores resultados económicos y medioambientale**s.

A pesar de que el sistema de aerotermia presenta de forma general un menor consumo energético, debido al bajo coste de leña, el uso de este recurso supone un mayor ahorro anual en el combustible respecto al sistema actual de gasóleo. Y consecuentemente, una mayor rentabilidad económica del proyecto (menor tiempo de amortización y mayor ahorro acumulado).

Además, a medida que aumenta la demanda, el ahorro por combustible es mayor ya que la diferencia de consumos entre propuestas es mayor. Para la propuesta de biomasa, considerando la demanda actual, se dispone de un ahorro anual igual a 2.598,15 €, mientras que la demanda ampliada presenta un valor igual a 3.790,80 €. De esta manera, la **ampliación de la red de radiadores supone un incremento del ahorro en combustible de 1.192,65 €** para un año de referencia.

Por otro lado, la **caldera de leña** presenta el **tiempo de amortización más reducido y un ahorro acumulado más elevado** a lo largo de su vida útil **para ambas situaciones de demanda.** Debido a que el aumento de la inversión inicial es más reducido a proporción de la disminución de ahorro debido a la ampliación de la red de radiadores, al igual que antes, la situación ampliada presenta ligeramente mejores resultados en cuanto al payback simple (se reduce 0,03 años) y VAN simple (aumenta 33.619,82 €)

Se ha determinado que para abastecer la demanda actual se requiere de una cantidad de 11,97 t de leña. Considerando que la comunidad debe costear en su totalidad la leña, supondría una reducción del 61,49% en el coste del combustible respecto a la situación actual. Además de presentar un tiempo de amortización de 1,92 años y un VAN de 72.951,92 €. Como ya se ha mencionado a lo largo del trabajo, los usuarios podrán disponer de cierta cantidad de leña de forma gratuita, por lo que los resultados económicos mencionados podrán ser incluso más favorables. Alcanzando el máximo ahorro de combustible, se lograría reducir el payback a 1,18 años y aumentar el VAN a 121.776,64 €.

Mientras que para la demanda ampliada se requiere de una mayor cantidad igual a 17,46t. La reducción de coste por combustible presenta una misma reducción de coste en combustible respecto a la caldera de gasóleo (61,49%). Al igual que antes, dada la situación de mayor ahorro en combustible (disponer de toda la leña de forma gratuita), se lograría disminuir el payback en torno a 9 meses (1,89 años–>1,16 años) y aumentar el VAN a 177.808,54 €.

De esta manera, se puede concluir que la opción más r**entable económicamente es la caldera de leña y la ampliación de red de radiadores.** Además, a mayor disponibilidad de leña, lógicamente mayor rentabilidad presenta la propuesta.

Respecto al análisis medioambiental, las propuestas renovables suponen una reducción de emisiones de CO2, presentando la caldera de leña el mayor ahorro de emisiones. La sustitución de la actual caldera por el **empleo de biomasa supone una reducción del 95,18 % de emisiones de CO_2**, mientras que el uso de electricidad (aerotermia) supone la reducción del 68,07 %. Además de ser la leña un recurso natural muy abundante en la zona y con alta disponibilidad. De esta manera, se puede obtener sin requerir de un gran desplazamiento, reduciendo las emisiones por el transporte y consecuentemente disminuyendo la huella de carbono de la instalación.

En cuanto al **análisis eléctrico**, se ha evaluado el potencial fotovoltaico de la vivienda para abastecer en todo lo posible la futura demanda eléctrica (estimada). Teniendo en cuenta, las condiciones actuales de la cubierta y la capacidad de financiación económica, se ha considerado que la opción más adecuada es la **instalación de 4 kW sobre la cubierta Sur**. Esta propuesta, supone una **menor inversión inicial**, y será capaz de generar un **15,5% de la demanda eléctrica anual**.

Con el fin de garantizar el suministro eléctrico, evitar el uso de baterías para el almacenamiento eléctrico y un mayor ahorro económico, se plantea que se trate de una **instalación conectada a Red acogida a compensación por vertido de excedentes**. A pesar de estar situada en una región donde no se presentan las condiciones más óptimas del país en cuanto a energía solar, la instalación propuesta presenta un tiempo de amortización adecuado, 9-11 años.

Por otro lado, también se ha comprobado que la disposición de una instalación fotovoltaica sobre las cubiertas con mayor amplitud de la vivienda (Este-Oeste) presentan características similares a la cubierta Sur, se podría plantear para un futuro la opción de ampliar la generación eléctrica a partir de esta tecnología.

Finalmente, tras realizar el análisis térmico y eléctrico por separado, se ha evaluado una serie de **propuestas de sistemas en conjunto** (eléctrica y térmica). Al igual que antes, se ha tenido en cuenta la viabilidad económica y las consecuencias medioambientales que supone la implementación de cada propuesta. También se ha considerado las dos posibles demandas térmicas comentadas anteriormente para evaluar la rentabilidad económica del aumento de la superficie calefactada.

Se ha concluido que la **combinación de la caldera de leña e instalación fotovoltaica** (cubierta Sur propuesta) **presenta los resultados más óptimos,** tanto económicos como medioambientales, para las posibles demandas de calefacción. Al igual que antes, el aumento de la red de radiadores supone una mayor rentabilidad económica para la propuesta.

De forma general, el aumento de la demanda térmica supone un mayor ahorro en el combustible, a excepción de la alternativa que mantiene la caldera de gasóleo actual.

También se ha podido comprobar, cómo logrando el funcionamiento sincronizado del sistema de aerotermia con la mayor producción de la instalación fotovoltaica, se logra reducir el consumo eléctrico de la bomba en un 23,5 %. Y consecuentemente, el coste en electricidad.

Sin embargo la propuesta **con la caldera de leña supone el mayor ahorro** respecto al sistema actual en ambas alternativas (considerando la demanda actual:3.184,83 €/año y para la demanda ampliada: 4.337,47 €/año).

Además, esta combinación supone la propuesta con una **mayor rentabilidad**, el **Payback más reducido y con un VAN más elevado**. Además, cabe destacar, que debido al gran ahorro que supone la caldera de leña, favorece a reducir considerablemente el tiempo de amortización de la instalación fotovoltaica, siendo aún menor si se amplía la red de radiadores. Considerando la demanda térmica ampliada, se obtiene un tiempo de amortización de 2,74 años (0,35 menor que si se considera la demanda actual).

De esta manera, se puede concluir que la opción más r**entable económicamente es la propuesta de caldera de leña con instalación fotovoltaica y la ampliación de red de radiadores.** Se debe tener en cuenta que la comunidad puede disponer de cierta cantidad de leña, y como ya se ha comentado anteriormente, supondría una mayor rentabilidad económica.

Respecto a la evaluación medioambiental, **el aumento de la demanda térmica supone un mayor ahorro de emisiones** para las propuestas que plantean la sustitución de la caldera de gasóleo.

Por otro lado, la **combinación de la caldera de leña con instalación fotovoltaica supone el mayor ahorro de emisiones de CO_2**. Si se considera la situación actual supone un ahorro de 30.394,71 kg de CO2 y si se considera la demanda térmica mayor suponen un ahorro igual a 38.199,51 kg de CO_2.

8 CONCLUSIONES

A día de hoy, los miembros de la Red de Artea buscan lograr el autoabastecimiento energético (tanto térmico como eléctrico) de la vivienda Bildosola-Berri.

Con el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado se ha conseguido obtener una propuesta con el fin de lograr la soberanía energética de esta. Teniendo en cuenta las dificultades de financiación del proyecto y con el fin de reducir el impacto medioambiental por parte de la comunidad, se ha concluido que la opción más viable es el uso de una caldera de leña con instalación fotovoltaica.

De esta manera, la comunidad podrá abastecer la demanda energética mediante el empleo de recursos naturales de la zona. Logrando cubrir en su totalidad la demanda energética térmica y parcialmente a demanda eléctrica.

La comunidad podrá autoabastecer de cierta cantidad de leña mediante donaciones de vecinos. Y en cuanto a la instalación de los equipos dispondrán de ayuda de voluntarios con conocimiento de la materia.

Además, la implementación de este proyecto no tiene únicamente un fin energético y económico, ya que puede presentar un factor de formación. Los usuarios de la vivienda formarán parte del proyecto, ya que serán los encargados del funcionamiento de los diferentes equipos. Por ello, para que tengan un buen conocimiento se les dará una formación básica.

También se considera necesario comentar como este proyecto puede favorecer al incremento en la concienciación energética dentro de la comunidad. Debido a que los usuarios al ser los beneficiarios directos del uso de este tipo de energías, adaptarán su horario de consumo para lograr un mayor aprovechamiento energético.

9 BIBLIOGRAFÍA

[1] Agencia de la ONU para Refugiados (). *Datos Básicos*. [ONLINE] Disponible en: https://www.acnur.org/es-es/datos-basicos.html . [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[2] EL SALTO (). *Migración. Proyecto Artea, una casa sin llaves*. [ONLINE] Disponible en: https://www.elsaltodiario.com/migracion/proyecto-artea-casa-sin-llaves-ongi-etorri-errefuxiatuak. [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[3] PVGIS (). *Datos climáticos*. [ONLINE] Disponible en: https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis. [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[4] Energies (). *Methodology for the Study of the Envelope Airtightness of Residential Building in Spain*. [ONLINE] Disponible en: https://www.Methodology_for_the_study.pdf. [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[5] ASHRAE SPAIN (). *Manual de cálculo de cargas método ASHRAE*. [ONLINE] Disponible en: https://spain-ashrae.org/nueva-edicion-del-manual-de-calculo-de-cargas-ashrae/. [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[6] Ministerio de Fomento (). D*ocumento Básico HE Ahorro de energía*. [ONLINE] Disponible en: DBHE.pdf (codigotecnico.org) . [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[7] IDAE (). *Guía Técnica de Agua Caliente Sanitaria Central*. [ONLINE] Disponible en: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_08_Guia_tecnica_agua_caliente_sanitaria_central_906c75b2.pdf. [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[8] IDAE (). *Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENE*. [ONLINE] Disponible en: pu1433317568.pdf . [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[9] IDAE (). Bienestar térmico en un espacio climatizados. [ONLINE] Disponible en: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_BIENESTAR_TERMICO_EN_UN_ESPACIO_CLIMATIZADO_2_articulo_ASV_3725727c.pdf . [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[10] Hogarense (). *Coste actual gasóleo* . [ONLINE] Disponible en: https://www.hogarsense.es/calefaccion/calefaccion-gas-o-gasoil#:~:text=El%20precio%20del%20gasoil%20oscila,cerca%20de%200%2C059%20%E2%82%AC%2FkWh . [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[11] RITE (). *Coste Factores de emisión de CO2*. [ONLINE] Disponible en: Factores_Conversion_Energia_y_CO2_2016 (3).pdf . [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[12] Goiner (). *Precio electricidad tarifas 2-0 td*. [ONLINE] Disponible en: https://www.goiener.com/tarifas/2-0td/ . [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[13] Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado (). *RD 1699/2011 de 18 de noviembre*. [ONLINE] Disponible en: https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-19242 . [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[14] Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado (). Norma IET/290/2012 [ONLINE] Disponible en : https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2012-2538 . [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[15] PLC madrid (). *ITC-BT-22.* [ONLINE] Disponible en: ITC-BT-22 – Proteccion contra sobreintensidades - PLC Madrid . [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[16] PLC madrid (). *ITC-BT-23.* [ONLINE] Disponible en: ITC-BT-23 – Puestas a tierra - PLC Madrid . [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[17] PLC madrid (). *ITC-BT-24.* [ONLINE] Disponible en: ITC-BT-24 – Puestas a tierra - PLC Madrid . [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[18] PLC madrid (). *ITC-BT-40*. [ONLINE] Disponible en: ITC-BT-40 – Instalaciones generadoras de Baja Tensión - PLC Madrid . [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[19] Escuela Politécnica Superior (). *NBE-AE/88. Acciones en la edificación*. [ONLINE] Disponible en: NBE-AE-88. Acciones en la edificación.doc (ual.es) . [Último acceso, 23 de Junio de 2021].

[20] PLC madrid (). *ITC-BT-18.* [ONLINE] Disponible en: ITC-BT-18 – Puestas a tierra - PLC Madrid . [Último acceso, 23 de Junio de 2021].