

MÁSTER UNIVERSITARIO EN

Investigación en Eficiencia Energética y Sostenibilidad en
Industria, Transporte, Edificación y Urbanismo

TRABAJO FIN DE MÁSTER

***ANÁLISIS COMPARATIVO DESDE UNA PERSPECTIVA
ENERGÉTICA, ECONÓMICA Y MEDIOAMBIENTAL DE
INSTALACIONES TÉRMICAS EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES
PARA APORTE DE CALEFACCIÓN Y ACS***

Estudiante	<i>Telmo Fernandez Intxaurrendieta</i>
Director	<i>Koldobika Martín Escudero</i>
Departamento	<i>Ingeniería energética</i>
Curso académico	<i>2021/2022</i>

Bilbao, 18 de septiembre de 2022

RESUMEN

Este informe contiene el trabajo de fin de máster de Telmo Fernandez Intxaurrendieta, estudiante del máster de Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Industria, Transporte, Edificación y Urbanismo en la Universidad del País Vasco (UPV). El proyecto trata de hacer un análisis comparativo desde una perspectiva energética, económica y medioambiental de instalaciones térmicas en viviendas unifamiliares para aporte de calefacción y ACS. En el informe se muestra cómo se ha implementado un escenario de simulación de diferentes sistemas de calefacción y ACS utilizando la herramienta HULC y su posterior análisis energético, económico y medioambiental.

LABURPENA

Txosten honetan, Euskal Herriko Unibertsitateko (EHU) Energia Eraginkortasun eta Jasangarritasunaren Ikerketa Industrian, Garraioan, Eraikuntzan eta Hirigintzan masterreko Telmo Fernandez Intxaurrendieta ikaslearen master amaierako lana jasotzen da. Proiektuak familia bakarreko etxebizitzetako berokuntza eta etxeko ur beroaren instalazio termikoen azterketa konparatiboa egiten du. Txostenean HULC tresna erabiliz hainbat berokuntza eta etxeko ur beroaren instalazioen simulaziorako eszenatoki bat sortu eta, ondoren, analisi energetikoa, ekonomikoa eta ingurumenekoa nola egin den erakusten da.

ABSTRACT

This report contains the master's thesis by Telmo Fernandez Intxaurrendieta, student of the master's degree in Energy Efficiency and Sustainability in Industry, Transport, Building and Urban Planning at the University of the Basque Country (UPV-EHU). The project tries to make a comparative analysis from an energetic, economic and environmental perspective of thermal installations in single-family homes for the provision of heating and DHW. The report shows how a simulation scenario of different heating and DHW systems has been implemented using the HULC tool and its subsequent energy, economic and environmental analysis.

ÍNDICE

Resumen	ii
Laburpena	ii
Abstract	ii
Índice	iii
Índice de figuras.....	vi
Índice de gráficos	vii
Índice de tablas.....	ix
Lista de acrónimos.....	x
1. Memoria.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Contexto	1
1.2.1. Antecedentes.....	1
1.2.2. Problemática.....	2
1.3. Objetivos y alcance del proyecto	3
1.4. Beneficios que aporta el trabajo	4
1.5. Análisis del estado del arte	4
1.5.1. Sistemas de calefacción y ACS	4
Cuestiones previas	5
Componentes de un sistema de calefacción y producción de ACS	6
Uso de la energía solar para calefacción y ACS.....	13
Medidas de eficiencia energética	14
1.5.2. Código técnico de edificación (CTE)	15
DB HE: Ahorro de energía	17
1.5.3. Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).....	22
1.6. Descripción de la solución propuesta.....	24
1.6.1. Definición de la vivienda a analizar.....	24
Datos generales y programa funcional	24
Arquitectura: definición geométrica	26
1.6.2. Pautas para el análisis de las instalaciones de calefacción y ACS	27
1.7. Análisis de alternativas	31
1.7.1. Caso 1: Caldera de gas	31
1.7.2. Caso 2: Caldera de gas con acumulador.....	32
1.7.3. Caso 3: Caldera de pellets con acumulador.....	33

1.7.4.	Caso 4: Aerotermia	34
1.7.5.	Integración de energía solar	35
	Energía solar fotovoltaica	35
	Energía solar térmica	38
1.7.6.	Caso 5: Aerotermia con módulos fotovoltaicos	42
1.7.7.	Caso 6: Caldera de gas con acumulador y 1 colector solar	42
1.7.8.	Caso 7: Caldera de gas con acumulador y 2 colector solares	43
1.7.9.	Caso 8: Caldera de pellets con acumulador y 1 colector solar	43
2.	Metodología seguida en el desarrollo del proyecto	44
2.1.	Descripción de tareas	44
2.2.	Diagrama de gantt	44
2.3.	Cálculos	45
2.4.	Análisis de los resultados	47
2.4.1.	Análisis energético	47
	Caso 1: Caldera de gas	47
	Caso 2: Caldera de gas con acumulador	48
	Caso 3: Caldera de pellets con acumulador	49
	Caso 4: Aerotermia con acumulador	50
	Caso 5: Aerotermia con acumulador y módulos fotovoltaicos	51
	Caso 6: Caldera de gas con acumulador y un captador solar	53
	Caso 7: Caldera de gas con acumulador y dos captadores solares	55
	Caso 8: Caldera de pellets con acumulador y un captador solar	56
2.4.2.	Análisis medioambiental	57
	Caso 1: Caldera de gas	57
	Caso 2: Caldera de gas con acumulador	58
	Caso 3: Caldera de pellets con acumulador	59
	Caso 4: Aerotermia con acumulador	60
	Caso 5: Aerotermia con acumulador y módulos fotovoltaicos	61
	Caso 6: Caldera de gas con acumulador y un captador solar	62
	Caso 7: Caldera de gas con acumulador y dos captadores solares	63
	Caso 8: Caldera de pellets con acumulador y un captador solar	63
2.4.3.	Análisis comparativo	64
2.4.4.	Cumplimiento del CTE	67
3.	Aspectos económicos	70
3.1.	Coste inicial de las instalaciones	70
3.2.	Coste mensual de las instalaciones	70
3.2.1.	Coste mensual de la caldera de gas	71

3.2.2. Coste mensual de la caldera de pellets.....	72
3.2.3. Coste mensual de la bomba de calor.....	72
3.3. Análisis de rentabilidad	73
4. Conclusiones	75
5. Bibliografía.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de un sistema de calefacción y ACS	7
Figura 2: Caldera de pellets	8
Figura 3: Caldera de condensación. 1- Entrada de gas 2- Entrada de aire 3- Salida de gases quemados 4- Retorno desde emisores 5- Ida a emisores 6- Agua condensada.....	10
Figura 4: Funcionamiento bomba de calor aire-agua	11
Figura 5: Radiadores de hierro fundido (izquierda) y aluminio (derecha).....	12
Figura 6: Esquema sistema de energía solar térmica.....	14
Figura 7: Espacios acondicionados y la envolvente térmica	25
Figura 8: Volumen total de la envolvente térmica y volumen del aire interior	26
Figura 9: Sección de la edificación	26
Figura 10: Imagen 3D de la edificación.....	27
Figura 11: Condiciones del edificio para cumplir el DB-HE1	28
Figura 12: Esquema de una instalación de energía solar fotovoltaica.....	36
Figura 13: Capacidad de generación de energía del sistema FV instalado.....	36
Figura 14: Características de la instalación solar térmica de un colector solar.....	39
Figura 15: Cumplimiento DB-HE4 1 colector solar.....	40
Figura 16: Características de la instalación solar térmica de dos colectores solares	41
Figura 17: Cumplimiento DB-HE4 1 colector solar.....	41
Figura 18: Cuadro de mando de las características de la arquitectura y la envolvente térmica	46
Figura 19: Cuadro de mando de las instalaciones de calefacción y ACS.....	46

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Irradiación mensual sobre plano fijo.....	37
Gráfico 2: Producción de energía mensual del sistema FV instalado.....	38
Gráfico 3: Contribución de energía solar térmica para CG+ACU con un colector solar ...	40
Gráfico 4: Contribución de energía solar térmica para CG+ACU con 2 colectores solares	42
Gráfico 5: Consumo de energía del caso 1 (CG).....	48
Gráfico 6: Consumo de energía del caso 1 (CG) y caso 2 (CG+ACU)	49
Gráfico 7: Consumo de energía del caso 2 (CG+ACU) y caso 3 (CP+ACU).....	50
Gráfico 8: Consumo de energía del caso 4 (BC+ACU).....	51
Gráfico 9: Consumo de energía del caso 5 (BC+ACU+FV).....	52
Gráfico 10: Energía generada, consumida de la red y el consumo total del caso 5 (BC+ACU+FV).....	53
Gráfico 11: Comparación del consumo energético del caso 2 (CG+ACU) y caso 6 (CG+ACU+1CS)	54
Gráfico 12: Producción y ahorro de energía mediante un captador solar	54
Gráfico 13: Comparación del consumo energético del caso 2 (CG+ACU), caso 6 (CG+ACU+1CS) y caso 7 (CG+ACU+2CS)	55
Gráfico 14: Comparativa de la producción y ahorro de energía mediante un captador solar y 2 captadores	56
Gráfico 15: Comparación del consumo energético del caso 3 (CP+ACU) y caso 8 (CP+ACU+1CS).....	57
Gráfico 16: Emisiones de CO ₂ del caso 1 (CG).....	58
Gráfico 17: Emisiones de CO ₂ del caso 2 (CG+ACU) comparado con el caso 1 (CG).....	59
Gráfico 18: Emisiones de CO ₂ del caso 3 (CP+ACU) en comparación con el caso 2 (CG+ACU)	60
Gráfico 19: Emisiones de CO ₂ del caso 4 (BC+ACU)	61
Gráfico 20: Comparativa de las emisiones de CO ₂ de los casos 4 (BC+ACU) y 5 (BC+ACU+FV).....	62
Gráfico 21: Comparativa de las emisiones de CO ₂ de los casos 2 (CG+ACU) y 6 (CG+ACU+1CS)	62
Gráfico 22: Comparativa de las emisiones de CO ₂ de los casos 2 (CG+ACU), 6 (CG+ACU+1CS) y 7 (CG+ACU+2CS)	63
Gráfico 23: Comparativa de las emisiones de CO ₂ de los casos 3 (CP+ACU) y 8 (CP+ACU+1CS).....	64

Gráfico 24: Consumo de energía total de todos los casos.....	65
Gráfico 25: Consumo de energía primaria total de todos los casos	65
Gráfico 26: Consumo de energía primaria no renovable total de todos los casos	66
Gráfico 27: Coste económico mensual para todos los casos que contienen la caldera de gas (1, 6 y 7).....	71
Gráfico 28: Coste económico mensual para todos los casos que contienen la caldera de biomasa densificada (caso 3 y 8).....	72
Gráfico 29: Coste económico mensual para todos los casos que contienen la bomba de calor aire-agua (caso 4 y 5).....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ámbito de aplicación del DB-HE0	17
Tabla 2:Ámbito de aplicación del DB-HE1	18
Tabla 3:Ámbito de aplicación del DB-HE2	19
Tabla 4:Ámbito de aplicación del DB-HE3	20
Tabla 5:Ámbito de aplicación del DB-HE4	21
Tabla 6: Ámbito de aplicación del DB-HE5	21
Tabla 7: Resumen de las condiciones para cumplir con el DB-HE [8]	22
Tabla 8: Descripción de los espacios del edificio	25
Tabla 9: Cálculo de la demanda diaria de ACS	29
Tabla 10: Condiciones operacionales de espacios acondicionados en uso residencial privado	29
Tabla 11: Horas fuera de consigna de los sistemas definidos	30
Tabla 12: Factores de paso de energía final	30
Tabla 13: Sistemas de calefacción y ACS del Caso 1 (CG)	32
Tabla 14: Datos técnicos del acumulador	33
Tabla 15: Sistemas de calefacción y ACS del Caso 3 (CP+ACU)	34
Tabla 16: Sistemas de calefacción y ACS del Caso 4 (BC+ACU)	35
Tabla 17: Instalación de energía solar fotovoltaica	42
Tabla 18: Instalación de energía solar térmica con un colector	43
Tabla 19: Instalación de energía solar térmica con dos colectores	43
Tabla 20: Diagrama de Gantt	45
Tabla 21: Factores de emisiones de CO ₂	47
Tabla 22: Datos anuales de energía y emisiones de CO ₂ de todos los casos	66
Tabla 23: Condiciones de la vivienda para cumplir con el DB-HE1	67
Tabla 24: Cumplimiento de las secciones DB-HE0 y DB-HE4 de todos los casos	69
Tabla 25: Coste inicial de las instalaciones	70
Tabla 26: Análisis de rentabilidad de todos los casos analizados	74

LISTA DE ACRÓNIMOS

- CTE: Código Técnico de Edificación
- RITE: Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios
- ET: Envolverte Térmica
- ACS: Agua Caliente Sanitaria
- CG: Caldera de Gas
- ACU: Acumulador
- CS: Colector Solar (térmico)
- FV: Instalación Fotovoltaica
- TIR: Tasa Interna de Retorno
- VAN: Valor Actualizado Neto
- PCI: Poder Calorífico Interno
- HULC: Herramienta Unificada Lider-Calener

1. MEMORIA

1.1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto trata de realizar un análisis comparativo de diferentes instalaciones de sistemas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) para viviendas unifamiliares desde el punto de vista energético, medioambiental y económico. De esta forma, se quiere determinar cuáles son los puntos a favor y en contra de cada uno de ellos y decidir cuáles son los más adecuados para la vivienda unifamiliar que se ha estudiado ubicada en Lezo, Gipuzkoa.

Con ese fin, mediante la Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC), se han realizado simulaciones de diferentes instalaciones térmicas para la misma vivienda. Esta es una herramienta del Código Técnico de Edificación (CTE), por lo que desde el punto de vista del cumplimiento de sus especificaciones y complementando estas con otros análisis de gráficos hechos en Excel se ha realizado el análisis de los diferentes sistemas de calefacción y ACS.

Una vez analizados todos los casos se han comparado entre ellos tanto desde el punto de vista energético, como del medioambiental y económico y se ha determinado cuales se adaptan mejor a las necesidades de la vivienda.

1.2. CONTEXTO

1.2.1. *Antecedentes*

El ser humano siempre ha buscado la forma de combatir el frío, y para conseguir este objetivo las tecnologías que ha utilizado han evolucionado a lo largo de la historia. Al principio, calentándose mediante hogueras, luego vinieron las chimeneas, las estufas etc. Hoy en día son las calderas las que se ocupan de la generación de calor y este calor se distribuye a través de todo el edificio mediante sistemas de distribución. [1]

El consumo de energía para calefacción y ACS varía dependiendo de muchos factores, como por ejemplo, la ubicación, el aislamiento del edificio etc. De todas formas, se calcula

que aproximadamente dos terceras partes del consumo energético de una vivienda se deben a la calefacción y ACS.

Utilizar una u otra instalación de generación de calor o frío repercute enormemente en el gasto energético de una vivienda y, por tanto, también en el impacto medioambiental y económico.

La temperatura de confort del ser humano se establece en 21°C, por lo que el objetivo de los sistemas de calefacción es que la vivienda esté en torno a esta temperatura. Para ello, una buena elección de las instalaciones térmicas que se adapten al entorno y características del edificio es primordial para lograr estas condiciones de confort con la mayor eficiencia energética posible.

Las pérdidas de calor de un edificio se dan mayormente por transmisión al exterior por las paredes, ventanas y ventilaciones, suelo y techo. Por lo tanto, un buen aislamiento de la vivienda permite reducir al mínimo las pérdidas de energía a través de estos elementos.

En la actualidad, el Código Técnico de Edificación (CTE) establece las normas para la construcción de viviendas y la instalación de los sistemas de calefacción y ACS.

1.2.2. Problemática

Ante la crisis energética que está viviendo Europa con la subida considerable del precio de los combustibles y la electricidad, muchas personas se están planteando implementar sistemas alternativos de calefacción y ACS en sus viviendas. Tanto entre las personas que ya tienen una instalación de gas convencional en su vivienda, como entre las que poseen una vivienda de construcción nueva y quieren cumplir con el CTE.

Además, las instalaciones de calefacción y ACS repercuten directamente en las emisiones de CO₂ que se emiten a la atmósfera, por lo que es de vital importancia trabajar para que estas emisiones sean lo menores posible y reducir el impacto medioambiental.

Con ese fin, es necesario crear un escenario adecuado que permita la comparación de diferentes sistemas de calefacción y ACS, y poder así hacer la mejor elección de ellos en todas las situaciones. Es importante analizar cuál de ellos es el más eficiente energéticamente, cuál es el más ecológico para el medioambiente y cuáles son los sistemas que menos impacto tienen en la economía familiar.

El CTE se encarga de aplicar el marco normativo y establecer las exigencias básicas que deben cumplir los edificios en cuanto a seguridad, higiene y salud, ahorro de energía etc. El CTE se compone de diferentes Documentos Básicos (DB). El Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE), es uno de los documentos que forma parte del CTE y su función es que las viviendas tengan el debido confort térmico con un consumo de energía racional en los edificios. [2]

Por todo ello, en este proyecto se ha planteado hacer un análisis comparativo desde una perspectiva energética, económica y medioambiental de instalaciones térmicas en viviendas unifamiliares para aporte de calefacción y ACS teniendo como referencia las exigencias que marca el CTE.

Así mismo se ha hecho uso de la herramienta unificada Lider-Calener (HULC). Esta herramienta permite verificar algunas de las exigencias que marca el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE). Además, también se ha realizado un análisis comparativo mediante los datos que proporciona este programa.

1.3. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO

Al comienzo de este proyecto se estableció un objetivo principal, y durante la ejecución de dicho proyecto se han propuesto unos objetivos secundarios que han ido surgiendo fruto de las necesidades para su desarrollo.

El objetivo principal del proyecto es analizar diferentes sistemas de calefacción y ACS, estudiar cuáles son sus características principales y ver qué sistemas son las más recomendables desde el punto de vista energético, medioambiental y económico.

Entre los objetivos secundarios están los siguientes:

- Analizar las diferentes opciones de sistemas de calefacción y ACS.
- Estudiar el CTE y los documentos que tratan sobre el ahorro de energía.
- Aprender a utilizar la herramienta HULC.
- Implantar los diferentes sistemas de calefacción y ACS en HULC para realizar el análisis energético, medioambiental y económico de ellos.
- Crear gráficos que permitan de una forma visual comparar los sistemas que se han integrado.
- Formular recomendaciones desde las conclusiones que se han obtenido del análisis.

1.4. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO

La realización de este trabajo puede ser de gran ayuda para las personas que están pensando construir una nueva vivienda unifamiliar o personas que quieren restaurar su vivienda antigua y no saben qué sistemas de agua caliente implementar. Un buen análisis de las opciones de instalaciones de calefacción y ACS puede repercutir en alto grado en la eficiencia de la vivienda desde el punto de vista energético, medioambiental y económico.

Desde el punto de vista energético, la Comunidad Autónoma Vasca tiene una altísima dependencia de la energía que generan otros países. Hasta un 90% de la energía que se consume proviene del exterior. Una instalación de calefacción y ACS adecuada puede contribuir a que esta dependencia se reduzca. Aunque el consumo de una sola vivienda no signifique mucho a esta escala, una mayor eficiencia energética de las viviendas en general ayuda a reducir esta dependencia. Además, la generación de electricidad en la vivienda por medio de módulos fotovoltaicos reduciría la dependencia hacia la red eléctrica ante una hipotética situación de cortes en el suministro eléctrico. [3]

Por otra parte, desde el punto de vista medioambiental una reducción de emisiones de gases de CO₂ a la atmósfera ayudaría a desacelerar el cambio climático que está sufriendo el planeta.

Por último, la incertidumbre creada debido a los últimos acontecimientos geopolíticos junto con la escasez de combustibles fósiles ha hecho que estos se hayan encarecido considerablemente. Una buena elección de las instalaciones térmicas puede significar un gran ahorro económico para los propietarios de la vivienda y una diversificación de las materias primas puede aportar mayor seguridad ante posibles problemas de suministro.

1.5. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

1.5.1. Sistemas de calefacción y ACS

La calefacción y el ACS suponen un alto gasto energético en una vivienda con unos costes medioambientales y económicos a su vez importantes. Casi la mitad de la energía que gasta una familia es para calentar su vivienda. Por lo que es muy importante analizar debidamente qué tipo de sistema es el más adecuado para cada casa, así como hacer de él un uso más eficiente y económico. [1]

Tener un sistema adaptado a las nuevas tecnologías, el mantenimiento de dichos sistemas para optimizar la eficiencia energética de un hogar e incluso los hábitos de uso de

calefacción y ACS de las personas que cohabitan la vivienda condicionan enormemente el consumo energético final de la vivienda. Esto repercute de forma importante en la economía familiar y tiene a su vez un gran impacto medioambiental.

A continuación, se muestran las características y el funcionamiento de diferentes instalaciones de calefacción y ACS, así como algunos de las acciones que se deberían tener en cuenta para reducir el consumo de calefacción y ACS sin que esto signifique reducir, a priori el confort térmico de la vivienda.

Cuestiones previas

- **Comportamiento energético de un edificio**

En el comportamiento energético de un edificio, influyen las instalaciones de calefacción que se colocan, así como su entorno, que lo condiciona energéticamente. Las condiciones exteriores, la forma, el volumen, la orientación, situación geográfica, distribución de los espacios, materiales constructivos utilizados, el color de la fachada, el tipo de aislamiento aplicado etc., influyen directamente sobre el comportamiento energético y el confort de la vivienda.

Además, una vivienda con las mismas características no tiene las mismas necesidades ni responde igual en un clima húmedo oceánico o en un clima continental seco. Por lo tanto, la construcción de la vivienda debe estar adaptada a cada zona climática para optimizar el confort de sus ocupantes e intentar reducir el máximo el consumo energético de los sistemas de calefacción y ACS. Estos sistemas también deben adaptarse a la vivienda, es decir, una vivienda de la costa cantábrica no necesita realmente un sistema de refrigeración como uno del sur de España, pero sin duda necesitará un sistema de calefacción capaz de hacer frente a los rigores de la climatología cantábrica. Como se ha dicho anteriormente, esto influye directamente en el impacto medioambiental y en el gasto económico de la vivienda.

Por otra parte, las viviendas antiguas muchas veces no están en las mejores condiciones para tener una eficiencia energética óptima, pero sí es posible adaptar las instalaciones térmicas de dichas viviendas a las nuevas tecnologías. A esto se debe sumar la concienciación de las personas que la habitan para conseguir una reducción del consumo energético de este tipo de viviendas.

- **El efecto de las condiciones ambientales**

Las condiciones ambientales del exterior son las que determinan las necesidades de calefacción de una vivienda. La temperatura entre dos estancias tiende a igualarse de forma natural, es decir, el calor siempre se desplaza de donde hay más a donde hay menos y pasa más cantidad cuanto mayor sea la diferencia de temperatura entre el ambiente caliente y frío. Por lo tanto, cuanto menor sea la temperatura exterior mayor será el consumo energético en calefacción. Las pérdidas de calor se producen mediante los huecos como ventanas o puertas y también por la ventilación de la vivienda.

El sistema de calefacción se ocupa de mantener la vivienda en condiciones térmicas de confort mediante una temperatura de consigna. Cuanto mayor sea esta temperatura de consigna mayor será el consumo energético. Históricamente esta temperatura de consigna se ha establecido entre los 21°C y 23°C, pero debido a la crisis energética que está viviendo Europa, varios países han limitado estas temperaturas. En el caso de España, como norma general, se ha establecido en 19°C la calefacción en empresas y transportes y si lo hubiera, en 27°C para el aire acondicionado.

- **El aislamiento térmico de los edificios**

Cuanto mayor sea el tamaño de la vivienda mayores serán las pérdidas por transmisión a través de cerramientos, y serán mayores las necesidades de calefacción y aislamiento. Además, las viviendas situadas en el primer y último piso suelen tener un mayor consumo en calefacción ya que tienen pérdidas por suelo y cubierta.

Hoy en día el CTE exige un mayor nivel de aislamiento en viviendas de nueva construcción mientras que los edificios ya existentes pueden carecer del mismo dependiendo del año en el que fueron construidos. [1]

Componentes de un sistema de calefacción y producción de ACS

Este proyecto trata de hacer un análisis para una vivienda unifamiliar por lo que se ha centrado en analizar los componentes que forman un sistema de calefacción individual. De todas formas, en los edificios de viviendas los sistemas son parecidos. Los componentes que forman un sistema de calefacción y ACS son: generador de calor, distribución del calor por emisores, sistemas de control y otros elementos.

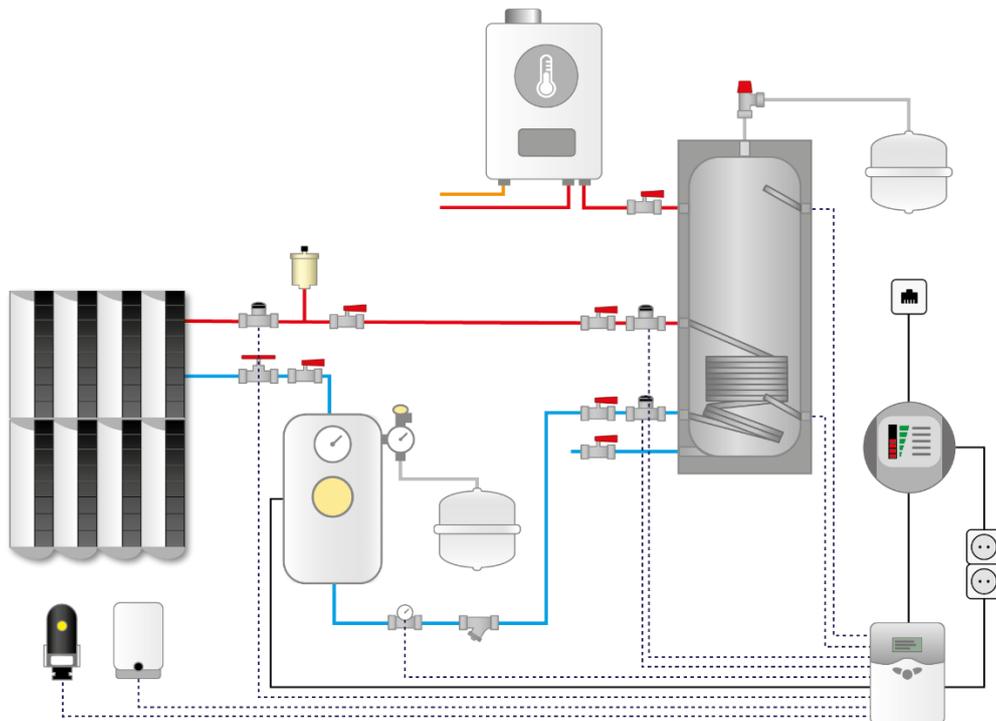


Figura 1: Diagrama de un sistema de calefacción y ACS

- **Generadores de calor**

Los generadores de calor más habituales en las instalaciones de calefacción y ACS son las calderas. Se pueden clasificar de diferentes maneras: dependiendo del tipo de energía utilizada, su sistema de combustión, su eficiencia energética... Dependiendo del lugar y el modo de colocar la caldera existen dos tipos: calderas de pie y calderas murales. Las de pie se colocan sobre el pavimento y las murales van colgadas de la pared.

- **Dependiendo del tipo de energía utilizada**
 - **Calderas de combustibles sólidos**

Son las que más tiempo llevan existiendo en las instalaciones de calefacción doméstica. De este tipo son las calderas para leña, pellets, biomasa, etc. Antiguamente también se utilizaban calderas de carbón, pero hoy en día el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios) busca sustituir el carbón por otros combustibles.



Figura 2: Caldera de pellets

- **Calderas de combustibles líquidos**

Suelen ser calderas del tipo “de pie”, las que se colocan en el pavimento y pueden ser de hierro fundido o acero. Se utilizan tanto para calefacción como para ACS. Normalmente se suelen encontrar en viviendas unifamiliares y son bastante comunes en el mercado actual.

- **Calderas de gas**

Las calderas de gas son las más extendidas hoy en día entre las instalaciones de calefacción y ACS de las viviendas unifamiliares, debido a las características de este combustible y su distribución. Normalmente suelen ser “murales” (colgadas en la pared) aunque también existen del tipo “de pie”. Pueden ser tanto para calefacción como para ACS.

- **Calderas eléctricas**

Estas calderas calientan el agua mediante una resistencia eléctrica. Este tipo de calderas tiene un alto consumo de electricidad por lo que se necesita tener contratada una potencia superior en caso de tenerlas. Aunque a priori la electricidad es una energía limpia y de alto rendimiento, hay que tener en cuenta cómo se ha generado esta energía y las pérdidas que conlleva la generación y el transporte de ella.

- **Dependiendo del sistema de combustión**

- **Calderas atmosféricas**

Las calderas atmosféricas utilizan el aire del local en el que se encuentran ubicadas para la combustión, por lo que es necesaria una buena ventilación del lugar. Está prohibida su instalación en las viviendas de nueva construcción desde 2010.

- **Calderas estancas**

En las calderas estancas la cámara en la que se realiza la combustión está herméticamente sellada y, por lo tanto, no utiliza el aire de la sala donde se ubica. Su utilización se ha extendido en los últimos años.

- **Dependiendo de la eficiencia energética**

- **Calderas convencionales**

Son las que más se han utilizado hasta hace pocos años y aún se siguen utilizando. A partir de un rendimiento mínimo es posible su utilización. El rendimiento aproximado de estos equipos es del 90-92%.

- **Calderas de baja temperatura**

Estas calderas pueden trabajar con temperaturas de retorno de agua muy bajas (40°C), sin que la condensación que se produce dentro de la caldera las dañe. Se adaptan a las necesidades térmicas del edificio impulsando agua a diferentes temperaturas. Estas calderas tienen un rendimiento del 93% aproximadamente. [4]

- **Calderas de condensación**

Las calderas de condensación aprovechan el calor generado al enfriar el vapor de agua que contienen los humos de combustión antes de que estos se vayan a la chimenea. Son las que se suelen instalar en nuevas instalaciones y su utilización va en aumento de año en año. Este es el tipo de caldera que se ha utilizado a la hora de hacer el análisis de los diferentes sistemas de calefacción y ACS. El rendimiento de estas calderas es de 105-109% debido al aprovechamiento del calor generado.

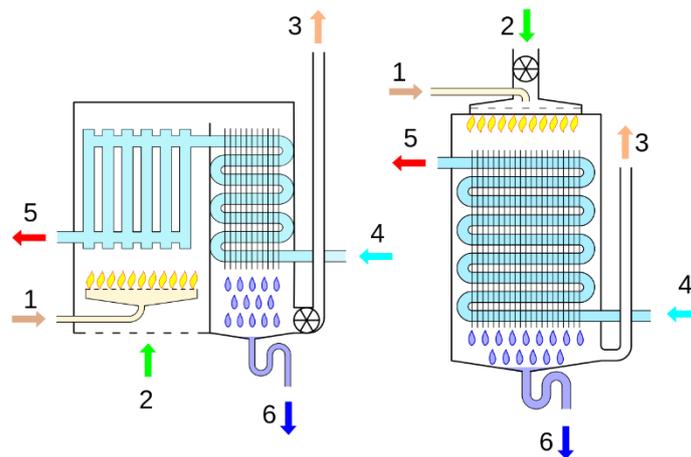


Figura 3: Caldera de condensación. 1- Entrada de gas 2- Entrada de aire 3- Salida de gases quemados 4- Retorno desde emisores 5- Ida a emisores 6- Agua condensada

▪ Calderas de microgeneración

La microgeneración es la tecnología que se utiliza en la cogeneración, pero a escala doméstica. Es decir, produce energía eléctrica y térmica de manera simultánea. [5]

• Bomba de calor

La bomba de calor es una máquina térmica capaz de obtener calor de un medio más frío que al que se va a transferir. Este sistema es capaz de suministrar calor o frío utilizando el calor existente en una fuente como el agua, el aire o la tierra. Hay varios tipos de bombas de calor:

○ Aire-aire

Cogen el calor del exterior y lo ceden en el interior. También funcionan inversamente para refrigeración.

○ Aire-agua

En este caso el calor del exterior se intercambia en el interior a través de un circuito que contiene agua. Posteriormente este calor se cederá al ambiente mediante radiadores, suelo radiante o fancoils. Este tipo de instalaciones son las más comunes. [6]

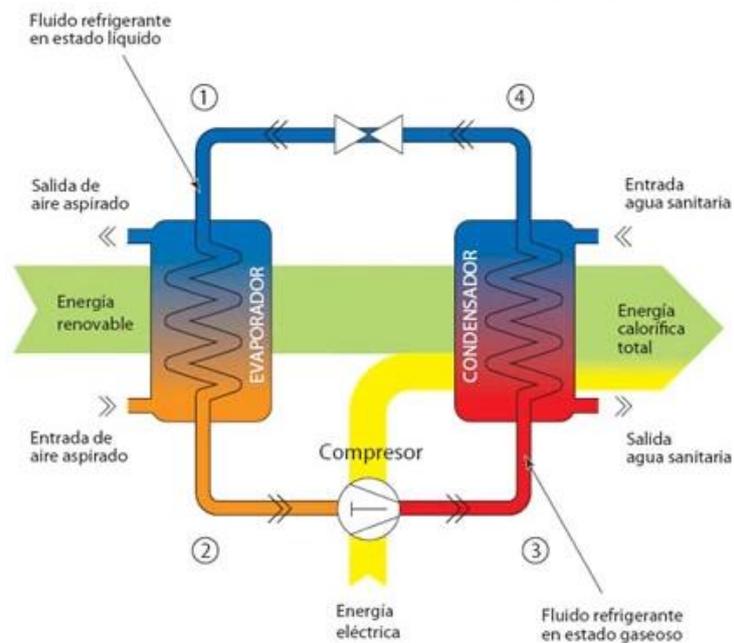


Figura 4: Funcionamiento bomba de calor aire-agua

- **Agua-agua**

Toman el calor de aguas subterráneas o termales y son habitualmente utilizadas en países del norte de Europa.

- **Tierra-agua**

Este tipo de bombas de calor toman la energía de la tierra en forma de calor con perforaciones verticales o colectores horizontales.

- **Distribución y emisores**

Una vez producido el calor hay que entregarlo en el lugar necesario para el confort de la vivienda como pueden ser las habitaciones. Existen dos tipos de sistemas de distribución: las de temperatura alta y temperatura baja.

Así mismo, los emisores se ocupan de transmitir al ambiente el calor que se ha generado en la caldera mediante la circulación del agua en su interior.

- **Radiadores**

Los radiadores transmiten el calor desde la instalación al ambiente. El agua que circula en su interior se mueve a baja velocidad y por medio de su superficie metálica se produce la emisión de calor. Suelen ser de hierro fundido, acero o aluminio. Antiguamente se solían

instalar radiadores de hierro fundido, posteriormente de acero y a partir de los años 80 los radiadores de aluminio son los que se instalan en prácticamente todas las viviendas.



Figura 5: Radiadores de hierro fundido (izquierda) y aluminio (derecha)

En los últimos años los radiadores tubulares han tomado mucho protagonismo en viviendas nuevas o rehabilitadas. Suelen verse mucho en cuartos de baño o toalleros para eliminar la humedad de toallas utilizadas, además de aportar calor al habitáculo.

Los radiadores se suelen instalar debajo de las ventanas para contrarrestar el calor que se pierde por ellas. Tienen una fácil instalación y al ser elementos accesibles es fácil su mantenimiento. [1]

- **Fancoils**

Un fancoil o ventiloconvector consiste en un sistema compuesto por una tubería o intercambiador de calor y un ventilador. Se suelen utilizar en edificios residenciales, comerciales o industriales. Se puede utilizar tanto para calentar como para enfriar gracias a poder trabajar con bajas temperaturas.

- **Suelo radiante**

El sistema de suelo radiante emplea el suelo como emisor de calor. También se pueden utilizar las paredes o el techo como emisores, pero no están tan extendidos. Dada la extensión de la superficie del emisor se emplean bajas temperaturas ya que a mayor

superficie de emisión se necesita una diferencia de temperaturas menor. El suelo radiante se suele utilizar con sistemas de bomba de calor o calderas de baja temperatura o condensación. Para que el suelo funcione como superficie radiante es necesario hacer que pase el agua por su interior. La temperatura de impulso de calefacción suele ser menor de 50°C en el caso de estas instalaciones.

- **Sistemas de control**

La caldera dispone de dos termostatos como sistema de control, el de seguridad y el de trabajo. Por otra parte, para conseguir el confort térmico de la vivienda hay que controlar el ambiente. Para ello, existen válvulas termostáticas que se encargan de controlar la temperatura de entrada al emisor dependiendo de la temperatura ambiente. Los termostatos de ambiente miden la temperatura del ambiente para que la caldera actúe dependiendo de la necesidad térmica. También hay sondas exteriores encargadas de medir la temperatura exterior para poder prever la demanda de la instalación. Por último, las chimeneas sirven para evacuar los gases de combustión que se generan en la caldera.

- **Otros elementos**

También existen otros componentes como circuladores, purgadores, vasos de expansión, válvulas de seguridad etc., que normalmente vienen junto a la caldera.

Uso de la energía solar para calefacción y ACS

La energía solar térmica trata de aprovechar la energía de la radiación solar mediante un captador que permite calentar el fluido que circula por un circuito primario. El calor que se ha transmitido al circuito se traslada al agua de consumo a través de un intercambiador y se acumula en un depósito acumulador para su posterior uso. Estos depósitos ayudan a suministrar la energía que se necesita cuando la radiación solar es escasa o en momentos de consumo alto. [7]

Generalmente los sistemas solares térmicos se componen de un sistema de captación solar, un sistema de almacenamiento, un sistema de control solar y un sistema auxiliar.

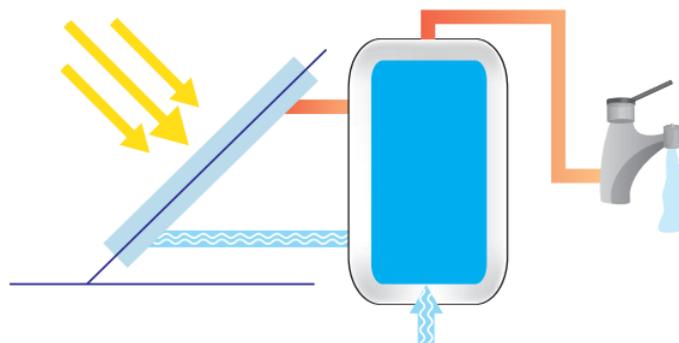


Figura 6: Esquema sistema de energía solar térmica

El sistema de captación solar lo componen los colectores solares, existen muchas marcas y modelos, pero los más comunes son los conocidos como planos. Las tuberías del circuito solar componen un circuito cerrado por el cual circula un fluido que normalmente suele ser una mezcla entre agua y glicol. Este fluido protege la instalación ante heladas ya que se encuentra en el exterior y permite elevar la temperatura de ebullición por encima de los 100°C. Las bombas de circulación se ocupan de transportar la energía desde los captadores hasta el acumulador.

El intercambiador es el sistema que se encarga de transferir el calor del circuito solar al agua de consumo normalmente mediante un serpentín. Este intercambiador se suele encontrar en el acumulador solar.

Los sistemas de energía solar térmica no son capaces de abastecer completamente las demandas de calefacción y ACS de una vivienda durante todo el año, por lo que requieren de otro sistema de apoyo para completar las necesidades térmicas.

Medidas de eficiencia energética

A continuación, se muestran varias medidas que se pueden tomar desde el punto de vista de la eficiencia energética y que pueden tener un impacto importante desde el punto de vista económico y también medioambiental.

- **Temperaturas de consigna**

La temperatura de consigna es un valor modificable tanto por el usuario como por el técnico de la instalación. Se pueden ajustar tanto la temperatura de caldera o de calefacción, la temperatura de ACS y la temperatura de ambiente. Por ejemplo, se puede reducir un poco la temperatura de confort ya que cada grado más que se pida supone aproximadamente un 7% más de combustible. La temperatura de confort se encuentra entre los 20-21°C,

reducir dos grados supondría aproximadamente un 14% de ahorro en combustible. Durante la noche la temperatura de confort recomendada es de entre 17 y 18°C.

- **Programación horaria**

Los termostatos de ambiente programables permiten ajustar las temperaturas de consigna para diferentes horarios. Estos sistemas permiten adaptar los horarios de trabajo de la calefacción a la forma de vida y horarios de los ocupantes de la vivienda.

En caso de que no se vaya a hacer uso de la calefacción durante un largo periodo de tiempo, hoy en día las aplicaciones móviles de encendido remoto permiten encender o apagar la calefacción cuando se quiera.

- **Actuación sobre los emisores**

Es necesario que los emisores de calor emitan solamente la energía necesaria. Para ello se realiza el ajuste manualmente en cada uno de los emisores. La instalación de un termostato como elemento que controla la temperatura ambiente en la vivienda es de gran ayuda.

- **Renovaciones de aire**

Tanto las renovaciones de aire deseadas como las no deseadas implican un mayor consumo energético del sistema para contrarrestar el frío que ha entrado. Las entradas de aire no deseadas ocurren por las rendijas de las puertas y las ventanas exteriores. Por lo tanto, un adecuado aislamiento ayuda a reducir estas pérdidas de calor y también el consumo energético. Las entradas de aire controladas se producen por las rejillas de ventilación y por la aireación diaria de las habitaciones. Las rejillas de ventilación no se pueden tapar, pero en cuanto a la aireación de las habitaciones, 10 minutos son suficientes para renovar el aire de la vivienda.

1.5.2. Código técnico de edificación (CTE)

Para el desarrollo de este proyecto se han seguido las pautas que dicta el Código Técnico de Edificación (CTE). En su página web oficial definen así este código:

"El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE), es decir, para

los requisitos básicos de "seguridad estructural", "seguridad en caso de incendio", "seguridad de utilización", "higiene, salud y protección del medio ambiente", "protección contra el ruido" y "ahorro de energía y aislamiento térmico". [2]

"El Código Técnico de la Edificación (CTE) es de aplicación en las edificaciones públicas y privadas de carácter permanente cuyos proyectos o memorias técnicas suscritas por técnico competente precisen disponer de la correspondiente licencia o autorización legalmente exigible."

El Código Técnico de Edificación se aplica en todas las obras de nueva construcción exceptuando las pequeñas y sencillas construcciones que no dispongan de habitabilidad y que no afecten a la seguridad de las personas.

El CTE también se aplica en reformas o intervenciones en los edificios existentes. En estos casos, el CTE no es tan estricto como en el caso de las nuevas construcciones, ya que las viviendas antiguas disponen de limitaciones como pueden ser el aislamiento, distribución del espacio etc. Pero sí las obliga a optimizar energéticamente la vivienda dentro de las posibilidades que ella ofrece.

El CTE se divide en dos partes. La primera parte trata sobre las exigencias básicas en cuanto a seguridad (casos de incendios, accesibilidad) y a la salubridad (protección frente al radón, ruido, y ahorro de energía).

La segunda parte del CTE está compuesta por diferentes Documentos Básicos (DB). Estos documentos trasladan al terreno práctico las exigencias que se explican en la primera parte del código. Cada documento califica y cuantifica las exigencias y los procedimientos para poder acreditar el documento. Luego será el proyectista el que decida si optar por soluciones alternativas siempre que la vivienda cumpla con las exigencias básicas.

Los DB son los siguientes:

- DB SE: Seguridad estructural
- DB SE-AE: Acciones en la edificación
 - o DB SE-C: Cimientos
 - o DB SE-A: Acero
 - o DB SE-F: Fábrica
 - o DB SE-M: Madera
- DB SI: Seguridad en caso de incendio

- DB SUA: Seguridad de utilización y accesibilidad
- DB HE: Ahorro de energía
- DB HR: Protección frente al ruido
- DB HS: Salubridad

DB HE: Ahorro de energía

El Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE), es un documento básico que forma parte del CTE y su función es que las viviendas tengan un confort térmico con consumo de energía racional en los edificios. [8]

Este documento obliga a los edificios a reducir el consumo energético y que esto se lleve a cabo en gran medida gracias al uso de energía que proviene de fuentes renovables. El objetivo es reducir las emisiones de CO₂ que se emiten al medioambiente así como reducir la dependencia energética del país.

- **DB-HE0: Limitación del consumo energético**

En la sección DB-HE0 se establecen el consumo máximo de energía primaria (renovable o no renovable) y el consumo máximo de energía primaria no renovable que puede tener la vivienda para calefacción y ACS.

Dependiendo de la zona climática donde se encuentre la vivienda y su uso, tendrá unos límites u otros.

En la siguiente figura se muestra el ámbito de aplicación del DB-HE0.

HE0			
NUEVO	EXISTENTE		
<p>Todos los casos excepto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Edificios protegidos • Construcciones provisionales (<2 años) • Edificios Industriales, de defensa o agrícolas con baja demanda energética • Edificios aislados $S_{util} < 50 \text{ m}^2$ 	<p>Ampliación</p> <p>$S_{util \text{ ampliada}} > 50 \text{ m}^2$</p> <p>+ la ampliación incrementa > 10% S_{const} o V_{cons}</p>	<p>Cambio uso</p> <p>$S_{util} > 50 \text{ m}^2$</p>	<p>Reformas</p> <p>> 25% ET</p> <p>+ cambio inst. de generación térmica</p>
CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA			

Tabla 1: Ámbito de aplicación del DB-HE0

- **DB-HE1: Condiciones para el control de la demanda energética**

La sección DB-HE1 establece las condiciones que debe cumplir la envolvente térmica de una vivienda para optimizar las necesidades de energía primaria que tiene sin que esto afecte al confort térmico.

En este apartado los parámetros que más se tienen en cuenta para que cumpla con esta sección del CTE son las siguientes:

- La transmitancia térmica global (K) de la envolvente del edificio y las transmitancias por elementos (U).
- El control del factor solar de la envolvente térmica (q).
- Permeabilidad al aire de la envolvente (Q100 y n50).
- Limitar las descompensaciones entre estancias (U de tabiques).
- Control de las condensaciones.

La convección, la conducción y la radiación son tres parámetros a tener en cuenta a la hora de evaluar la calidad de la envolvente térmica.

En la siguiente figura se muestra el ámbito de aplicación del DB-HE1.

HE1				
NUEVO		EXISTENTE		
Todos los casos excepto:	<ul style="list-style-type: none"> • Edificios protegidos • Construcciones provisionales (<2 años) • Edificios Industriales, de defensa o agrícolas con baja demanda energética • Edificios aislados $S_{a,il} < 50 \text{ m}^2$ 	Ampliación	Cambio de uso	Reforma > 25% envolvente
		Reforma < 25% envolvente		

Tabla 2:Ámbito de aplicación del DB-HE1

• **DB-HE2: Condiciones de las instalaciones térmicas**

Esta sección trata sobre las condiciones que tienen que cumplir las instalaciones térmicas de los edificios de forma que cumplan con las exigencias de eficiencia energética y confort térmico. Los sistemas de climatización que se instalen en el edificio deberán cumplir los estándares de salubridad cuyas exigencias vienen desarrolladas en el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios).

- Bienestar e higiene:
 - Una calidad térmica del ambiente.
 - Una calidad del aire interior.
 - Unas condiciones mínimas para la preparación de agua caliente.
 - Una calidad del ambiente acústico.
 - Un diseño y dimensionado de los sistemas para garantizar las condiciones anteriores.

- Eficiencia energética:
 - o Equipos de climatización de alta eficiencia energética.
 - o Un aislamiento mínimo de las conducciones de distribución.
 - o La instalación de sistemas de contabilización, regulación y reparto.
 - o La instalación de sistemas que permitan recuperar la energía y aprovechar energías residuales.
 - o La instalación de las energías renovables disponibles.

- Seguridad
 - o Unas condiciones que previenen el riesgo de accidentes.
 - o Un seguimiento de los sistemas de climatización.

En la siguiente figura se muestra el ámbito de aplicación del DB-HE2.

HE2	
NUEVO	EXISTENTE
RITE Objetivos: bienestar térmico de los ocupantes, eficiencia de los equipos y seguridad de las instalaciones	

Tabla 3:Ámbito de aplicación del DB-HE2

- **DB-HE3: Condiciones de las instalaciones de iluminación**

El documento DB-HE3 trata de buscar un uso eficiente de las instalaciones siempre que se mantengan las condiciones de confort lumínico. Las exigencias que se aplican en esta sección van dirigidas a las instalaciones de iluminación de los interiores.

Para el cumplimiento de esta sección se exigen 4 condiciones:

- Valores de eficiencia energética de la instalación (VEEI).
- Potencia máxima instalada.
- Sistemas de control y regulación.
- Sistemas de aprovechamiento de luz natural.

En la siguiente figura se muestra el ámbito de aplicación del DB-HE3.

HE3

NUEVO	EXISTENTE	
• Instalaciones interiores de viviendas • Instalaciones de alumbrado emergencia • Edificios protegidos Todos los casos excepto: <ul style="list-style-type: none"> • Construcciones provisionales (<2 años) • Edificios Industriales, de defensa o agrícolas en zona de taller no residencial • Edificios aislados $S_{ed} < 50 \text{ m}^2$ 	Ampliación de una instalación o Renovación de una instalación $S_{ed} > 1000 \text{ m}^2$ donde se renueve > 25% de la superficie iluminada*	Cambio de uso característico del edificio o Cambio de actividad en una zona del edificio en la zona afectada
EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES INTERIORES DE ILUMINACIÓN		

Tabla 4:Ámbito de aplicación del DB-HE3

- **DB-HE4: Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de ACS**

La sección DB-HE4 trata sobre las exigencias que deben cumplir las viviendas para abastecer al menos un 60% de la demanda de ACS o climatización de piscinas mediante el uso de energías renovables.

La demanda de climatización de piscinas y ACS incluye también las pérdidas que se generan en la distribución, acumulación y circulación. Solamente se consideran aportaciones de energía renovable a la que se genera in situ (fotovoltaica, solar térmica...) o en los alrededores del edificio (biomasa, electricidad generada en las proximidades...).

Para que una bomba de calor destinada a producción de ACS o climatización de una piscina se considere como renovable, deberá tener mínimo las siguientes características:

- funcionamiento eléctrico: $SCOP_{dhw} = 2.5$
- funcionamiento térmico: $SCOP_{dhw} = 1.15$

En la siguiente figura se muestra el ámbito de aplicación del DB-HE4.

HE4			
Aplicable a edificios con $D_{ACS} > 100$ l/d y a piscinas cubiertas			
NUEVO	EXISTENTE		
Todos los casos	Ampliaciones y *Ampliación en edificios con $D_{ACS} > 5000$ l/d con aumento $>50\%$ D_{ACS}	Cambio de uso	Reforma integral del edificio o de la inst. de generación Y *Reformas de edificios $D_{ACS} > 5000$ l/d con aumento $>50\%$ D_{ACS}
Se renueva toda la instalación de generación térmica o piscinas descubiertas que pasan a cubrirse			
FRACCIÓN RENOVABLE DE LA DEMANDA DE ACS (PERÍMETRO PRÓXIMO)			

Tabla 5:Ámbito de aplicación del DB-HE4

- **DB-HE5 Generación mínima de energía eléctrica**

En la sección DB-HE5 se establecen los criterios en cuanto a la producción de energía eléctrica de origen renovable.

Esta sección se aplica en edificios cuyo uso sea distinto al de residencial privado. Sin embargo, sí que puede afectar a los edificios de uso residencial privado para cumplir con la limitación de la sección DB-HE0.

En la siguiente figura se muestra el ámbito de aplicación del DB-HE4.

HE5			
Solo aplicable a edificios no residenciales privados con $S_{CONST} > 3000$ m ²			
NUEVO	EXISTENTE		
Todos los casos	Ampliación	Cambio de uso	Reforma integral
POTENCIA A INSTALAR MÍNIMA			

Tabla 6: Ámbito de aplicación del DB-HE5

En la siguiente figura se muestran las condiciones para cumplir cada apartado del DB-HE.

ESTRUCTURA DB-HE 2019

HE0	Limitación del consumo energético Consumo energía primaria no renovable Consumo energía primaria total	$C_{ep,nren}$ $C_{ep,total}$
HE1	Condiciones para el control de la demanda energética Transmitancia de la envolvente térmica Control solar de la envolvente térmica Permeabilidad al aire de la envolvente térmica Limitación descompensaciones Limitación condensaciones	K $q_{sol;jul}$ n_{50} / Q_{100}
HE2	Condiciones de las instalaciones térmicas Especificaciones RITE	
HE3	Condiciones de las instalaciones de iluminación VEEI, P_{max} , Sistemas de control y regulación	
HE4	Contribución mínima de energía renovable para cubrir demanda de ACS 60-70% cubierto por renovables	
HE5	Generación mínima de energía eléctrica Potencia mínima a instalar	

Tabla 7: Resumen de las condiciones para cumplir con el DB-HE [8]

1.5.3. Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC)

Para que un edificio sea habitable es necesario que tenga la certificación de que cumple con requisitos de eficiencia energética establecidos por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Para ello, es necesario usar herramientas específicamente diseñadas para la verificación de la normativa existente, tanto en construcciones nuevas como en edificios antiguos. Para el desarrollo de este proyecto se ha hecho uso de la herramienta HULC. HULC es el nombre con el que se denomina a la Herramienta Unificada Lider-Calener, que incluye todas las actualizaciones del Código Técnico de la Edificación. El manual de usuario así lo define:

"La HERRAMIENTA UNIFICADA es una implementación informática que permite obtener los resultados necesarios para la verificación de una serie de exigencias de las Secciones HE0 y HE1 del Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE). Esta herramienta se ofrece por el Ministerio de Fomento y por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), y ha sido realizada por el Grupo de Termotecnia de la Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía,

AICIA, con la colaboración del Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, IETCC.” [9]

Este programa cuenta con todos los ítems que deben seguir los profesionales de la construcción de edificios a la hora de evaluar si se cumple con todos los requisitos establecidos en el CTE. Este programa se utiliza tanto para realizar certificaciones como verificaciones.

Para hacer funcionar el programa, se debe diseñar la vivienda y meter todos los datos de materiales, huecos etc. los más parecidos a la realidad para que los resultados que se obtengan sean más certeros. Este programa no es una herramienta de diseño, sino que se centra en verificar si el edificio cumple con la normativa del CTE. La información que obtenemos puede usarse para mejorar la eficiencia energética de calefacción y ACS.

1.6. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

1.6.1. Definición de la vivienda a analizar

Aunque el objetivo de este proyecto no sea el de diseñar la arquitectura de la vivienda, la envolvente térmica etc., es importante para su correcto funcionamiento definir bien las características de la vivienda para obtener los resultados más realistas.

El CTE en su página web oficial tiene unos ejemplos de análisis de diferentes tipos de edificios. Por suerte, también disponen de una vivienda unifamiliar de nueva construcción, por lo que se ha decidido utilizar el edificio que diseñaron para este ejemplo como punto de partida de la arquitectura y envolvente térmica de la vivienda. [10]

Aun así, se han realizado varios cambios para que la vivienda cumpla con los requisitos establecidos por el CTE como se va a explicar más detalladamente en el siguiente apartado. El cambio más significativo es que se ha adecuado la ubicación de la vivienda al País Vasco, con el objetivo de que el análisis resultante tenga desde el punto de vista climático una mayor precisión.

Datos generales y programa funcional

- **Información general**

Para realizar el análisis de este proyecto se ha utilizado el diseño de una vivienda unifamiliar de obra nueva en un clima oceánico dentro de la zona climática C1. Concretamente, la vivienda se ubica en la localidad de Lezo, Guipúzcoa. Se trata de un pueblo costero y tiene una altitud de 18m sobre el nivel del mar.

- Tipo de proyecto o intervención: Edificio nuevo.
- Uso: Residencial privado.
- Localidad: Lezo (Guipúzcoa).
- Altitud (m): 18
- Zona climática: C1
- Tipo de edificio: Vivienda unifamiliar aislada.

- **Programa funcional**

El edificio tiene tres niveles:

- El primer nivel es una cámara sanitaria que evita el contacto de la planta baja con el suelo.
- El segundo nivel es la planta baja del edificio.

- El tercer nivel es la planta de la bajocubierta.

El segundo y tercer nivel de la vivienda son un espacio acondicionado mientras que el primer nivel es un espacio no habitable. Dado que el total de la planta baja y planta bajocubierta está ocupado por espacios acondicionados, se traza la E. T. recogiendo el total del volumen sobre rasante del edificio.

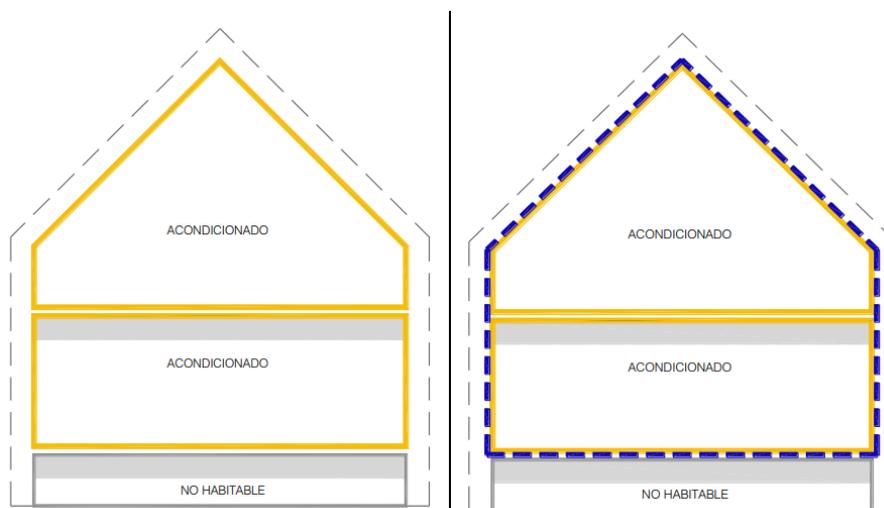


Figura 7: Espacios acondicionados y la envolvente térmica

Cada planta tiene una superficie de 64m². La cámara sanitaria tiene una altura de 1m, la segunda planta de 2,5m y para la bajocubierta se ha tenido en cuenta una altura equivalente de 2,33m. [10]

Planta	Tipos de espacio	Superficie No habitable de planta (m ²)	Superficie útil acondicionada de planta (m ²)	Altura de planta (m)	Altura equivalente de planta (m)	Volumen (m ³)
P01	NO HABITABLE	64,00	0,00	1,00		64,00
P02	ACONDICIONADO		64,00	4,00		256,00
P03	ACONDICIONADO		64,00		2,33	149,33
TOTALES		64,00	128,00			469,33

Tabla 8: Descripción de los espacios del edificio

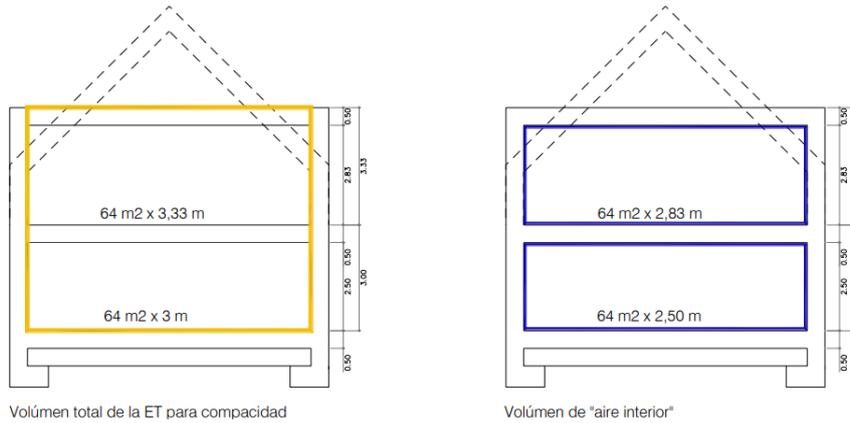


Figura 8: Volumen total de la envolvente térmica y volumen del aire interior

Arquitectura: definición geométrica

En las siguientes figuras se puede ver de una forma visual el estilo de vivienda que se ha analizado en este proyecto. Pero como se ha dicho anteriormente, no se trata de un diseño propio, sino de un ejemplo de la web del CTE modificado. [10]

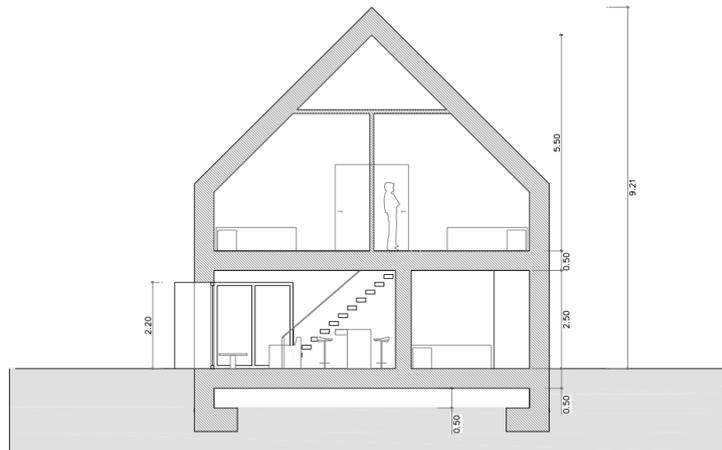


Figura 9: Sección de la edificación



Figura 10: Imagen 3D de la edificación

1.6.2. Pautas para el análisis de las instalaciones de calefacción y ACS

Para realizar un análisis lo más realista posible de las instalaciones que se han contemplado es importante establecer una serie de pautas o puntos de partida que permitan que la comparación entre todos los casos sea lo más justa posible.

- **Iluminación**

Algo muy importante a tener en cuenta es que el desarrollo de este proyecto está completamente focalizado en calefacción y ACS por lo que no se tienen en cuenta otros consumos energéticos que puede tener una vivienda como es el consumo en iluminación y electrodomésticos. Por lo tanto, los datos que se dan en este proyecto no son la energía total que consume una vivienda, sino que da una visión en términos energéticos del consumo en calefacción y ACS.

- **Cumplimiento del DB-HE1**

Para la realización de este proyecto y el análisis detallado de cada sistema de calefacción y ACS se han presupuesto varias condiciones. Una de ellas es que al tratarse de una vivienda de nueva construcción cumpla las condiciones que se piden en el apartado HE1 del CTE ("Condiciones para el control de la demanda energética") donde habla sobre todo de la envolvente térmica del edificio. Este proyecto no se centra en este apartado, el cual se podría considerar parte del sistema pasivo de climatización. Pero de este modo se establecen las condiciones físicas que están a la orden del día en la edificación para poder analizar de una manera más detallada los diferentes elementos de calefacción y ACS que forman parte del sistema activo de climatización de la vivienda.

Entre otras variables, las más importantes son la transmitancia térmica global, el control solar y la relación de cambio de aire a 50 Pa de la vivienda. El ejemplo de vivienda del CTE que se ha tenido como referencia no cumplía este último parámetro por lo que se ha modificado ligeramente la vivienda para que cumpla con el apartado HE1 y el desarrollo de este proyecto no se vea afectado. En la Figura 11 se pueden observar los diferentes parámetros que conforman la envolvente térmica del edificio:

		Valores límite	
Transmitancia térmica global, K [W/m ² K]	0,41	0,58	CUMPLE
	Calefacción	Refrigeración	
Demandas del edificio Objeto [kWh/m ² año]	9,36	1,73	
Control solar, q _{sol;jul} [kWh/m ² .mes]	0,49	2,00	CUMPLE
Relación de cambio de aire a 50 Pa, n50 [1/h]	5,98	6,00	CUMPLE
Compacidad [m ³ /m ²]	1,73		
Superficie útil de cálculo, A _{útil} [m ²]	128,00		
Superficie de cerramientos opacos, A _{opacos} [m ²]	208,16		
Superficie de huecos, A _{huecos} [m ²]	26,34		
Longitud de puentes térmicos, L _{pt} [m]	162,83		

Figura 11: Condiciones del edificio para cumplir el DB-HE1

- **Radiadores**

Cada sistema de calefacción necesita unidades terminales para transmitir el calor a la vivienda. A la hora de dimensionar las unidades terminales de calefacción, ya sean radiadores convencionales o suelo radiante se ha decidido que la potencia media de emisión de 70W/m² para cada planta habitable de la vivienda es un buen punto de partida en el análisis que se ha hecho. Por lo tanto, si tenemos en cuenta que cada planta consta de 64m² de superficie útil la potencia nominal de los radiadores en cada piso tiene que ser de 4,48kW.

- **Demanda de ACS**

Para llevar a cabo una simulación realista, se ha calculado la demanda de ACS diaria que podría tener una vivienda unifamiliar de este estilo. En el documento DB HE del CTE se estima que en una vivienda unifamiliar con tres dormitorios pueden vivir cuatro personas, una pareja con dos hijos, por ejemplo, y se considera que cada persona gasta una media de 28 litros/día de ACS por lo que en total hay una demanda de 112 litros/día de ACS en la vivienda. Teniendo en cuenta que las pérdidas son del 5% la demanda sería de 117,6 litros/día. [10]

Dormitorios	3
Ocupantes (*)	4
Necesidades de ACS	28 l/p-día
(Op. 3) Demanda de ACS	112 l/día
Estim. pérdidas (5%)	5,6 l/día
Total	117,6 l/día

Tabla 9: Cálculo de la demanda diaria de ACS

- **Refrigeración**

El programa HULC permite instalar un sistema de refrigeración para las viviendas, pero teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la zona donde se ha establecido la vivienda de este proyecto, no se ha previsto un sistema activo de refrigeración. De todas formas, se tendrán en cuenta las demandas de refrigeración que nos facilite el programa, aunque no haya un sistema para abastecer estas necesidades.

- **Temperaturas de consigna para calefacción**

También cabe mencionar que otra decisión que se ha tomado es que todos los sistemas de calefacción sean capaces de abastecer la demanda de energía requerida en cada momento para que la vivienda se encuentre en todo momento en condiciones de confort térmico dentro de las temperaturas de consigna que el programa HULC establece.

Tabla a-Anejo D. Condiciones operacionales de espacios acondicionados en uso residencial privado

		Horario (semana tipo)			
		0:00-6:59	7:00-14:59	15:00-22:59	23:00-23:59
Temperatura de consigna Alta (°C)	Enero a Mayo	–	–	–	–
	Junio a Septiembre	27	–	25	27
	Octubre a Diciembre	–	–	–	–
Temperatura de consigna Baja (°C)	Enero a Mayo	17	20	20	17
	Junio a Septiembre	–	–	–	–
	Octubre a Diciembre	17	20	20	17

Tabla 10: Condiciones operacionales de espacios acondicionados en uso residencial privado

Como se ha mencionado anteriormente, la vivienda a analizar no dispone de un sistema de refrigeración en ninguno de los casos. Por lo tanto, los días de mucho calor en verano habrá situaciones en las cuales la vivienda esté por encima de la temperatura de consigna alta. Teniendo en cuenta que el límite de horas fuera de consigna que se admite para cumplir con el CTE es de 350h (el 5% sobre el tiempo de ocupación de la vivienda) la vivienda estaría cumpliendo con lo pedido.

Funcionamiento con potencia insuficiente de los sistemas definidos [h]													
	Tiempo con potencia insuficiente, Tpi [h]												340
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Calefacción	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Refrigeración	0	0	0	0	0	39	114	132	55	0	0	0	340
ACS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 11: Horas fuera de consigna de los sistemas definidos

Como se ha tomado la decisión de que en todos los casos los sistemas de calefacción sean capaces de abastecer la demanda de energía requerida y la envolvente térmica es la misma en todos los casos las horas fuera de consigna también serán iguales en todos los casos que se han analizado.

- **Sistemas de sustitución**

Por otra parte, el programa permite establecer sistemas de sustitución ficticios que se activan cuando no se alcanzan las temperaturas de consigna con los sistemas incorporados al edificio. Aun así, se ha decidido no hacer uso de dichos sistemas para no adulterar el análisis que se está realizando ya que en la vida real no se puede hacer uso de ellos.

- **Factores de paso de energía final**

Los coeficientes de paso son **factores de conversión** que permiten calcular la energía primaria total, renovable, no renovable y emisiones de CO₂ a partir de la cantidad de **energía final consumida por una determinada instalación térmica** en un edificio, vivienda o local a partir de, la cantidad "equivalente" de: [11]

Energético	a Energía Primaria Total [kWhEP/kWhEF]	a Energía Primaria No Renovable [kWhEPNR/kWhEF]	a Emisiones de CO2 [kgCO2/kWhEF]
Electricidad	2,368	1,954	0,331
Gasoleo calefaccion / Fuel-oil	1,182	1,179	0,311
GLP	1,204	1,201	0,254
Gas Natural	1,195	1,190	0,252
Carbon	1,084	1,082	0,472
Biomasa no densificada	1,037	0,034	0,018
Biomasa densificada (pelets)	1,113	0,085	0,018
RED1	1,000	1,000	1,000
RED2	1,000	1,000	1,000

Tabla 12: Factores de paso de energía final

1.7. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Los sistemas de calefacción y ACS que se han seleccionado para analizar en este proyecto no son todos los existentes. Al tratarse de una vivienda unifamiliar de nueva construcción el proyecto se ha enfocado hacia sistemas actuales que optimizan su funcionamiento para ser más eficientes tanto energética, como medioambiental y económicamente.

El programa HULC permite analizar sistemas que son únicamente para ACS o climatización por separado, permitiendo tener más de un sistema de agua caliente en la vivienda. De todas formas, para simplificar el análisis comparativo se ha decidido que los sistemas que se analicen sean sistemas mixtos de calefacción y ACS.

En cuanto a los emisores térmicos, en todos los casos se han instalado radiadores exceptuando los casos de aerotermia. Es habitual que en casos en los que se instala una bomba de calor se instale junto a un sistema de suelo radiante, por lo que se ha decidido analizarlo de esta forma.

1.7.1. Caso 1: Caldera de gas

El primer caso que se ha analizado consta de un sistema mixto de calefacción y ACS que calienta el agua mediante una caldera de condensación que utiliza el gas natural como combustible. Este sistema no contiene ningún acumulador. Se trata de una instalación sencilla que podemos encontrar en la mayoría de pisos y también en algunas viviendas unifamiliares. Este sistema tiene una temperatura de impulsión sanitaria de 50°C y una temperatura de impulsión para calefacción de 80°C. Además, contiene un multiplicador.

En cuanto a la caldera de condensación de gas natural tiene una capacidad total de 25kW y un rendimiento nominal basado en un PCI (poder calorífico interno) del 93%.

En la siguiente tabla se muestran las características principales de los sistemas de calefacción y ACS.

Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento nominal (COP)	Rendimiento medio estacional	Vector energético
SIS_EQ3_EQ_Caldera-Condensacion-Defecto	Caldera eléctrica o de combustible	25,00	0,93	0,95	GASNATURAL
TOTALES	-	25,00	-	-	-

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Demanda diaria de ACS a 60°C (litros/día)	117,60
--	--------

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento nominal (COP)	Rendimiento medio estacional	Vector energético
SIS_EQ3_EQ_Caldera-Condensacion-Defecto	Caldera eléctrica o de combustible	25,00	0,93	0,95	GASNATURAL

Tabla 13: Sistemas de calefacción y ACS del Caso 1 (CG)**1.7.2. Caso 2: Caldera de gas con acumulador**

El segundo caso que se ha analizado sigue el mismo esquema del primer caso, es decir, un sistema mixto de calefacción y ACS que funciona mediante una caldera de condensación de gas natural. La diferencia respecto al primer caso es que en este sí se ha instalado un acumulador de agua. Los acumuladores de agua básicamente consisten en un depósito con aislante térmico que calienta el agua mediante un serpentín que obtiene la energía a través de la caldera y almacena el agua caliente para suministrarla a la instalación de ACS o calefacción.

La ventaja que ofrece el acumulador es que el caudal de agua caliente se mantiene a una temperatura constante. Permite hacer uso de la calefacción y de ACS al mismo tiempo sin que la temperatura de uno respecto al otro se vea afectada. En este caso se ha instalado un acumulador de 150 litros, capacidad suficiente para almacenar la demanda diaria de ACS. [12]

Otra diferencia respecto al primer caso es que la temperatura de impulsión sanitaria del sistema es de 60°C en vez de ser de 50°C. Este cambio se debe a que la legionela (una bacteria que se suele encontrar en ambientes acuáticos de agua dulce) se mata a 60°C por lo que de esta manera se evitan riesgos sanitarios para los consumidores del ACS. La temperatura de impulsión para calefacción se mantiene en 80°C.

Como se ha dicho, el sistema de calefacción y ACS tiene las mismas características que en el caso anterior. En la siguiente figura se muestran los datos del acumulador que se ha instalado.

Volumen del depósito en litros	<input type="text" value="150"/>	l	Temperatura de consigna alta del deposito	<input type="text" value="80,0"/>	°C
Coefficiente de pérdidas, UA	<input type="text" value="0,80"/>	W/°C	Temperatura de consigna baja del deposito	<input type="text" value="60,0"/>	°C

Tabla 14: Datos técnicos del acumulador

1.7.3. Caso 3: Caldera de pellets con acumulador

El tercer caso que se ha estudiado se trata de un sistema mixto de calefacción y ACS que calienta el agua mediante una caldera de biomasa densificada, más conocido como pellets. Como en el caso 2 este sistema también contiene un acumulador de 150 litros de capacidad. La caldera de biomasa densificada tiene una potencia nominal de 25 kW y un rendimiento nominal basado en un PCI (poder calorífico interno) del 93% como en los casos anteriores. Como en el caso 2 el sistema tiene una temperatura de impulsión sanitaria de 60°C debido a que existe un acumulador y una temperatura de impulsión para calefacción de 80°C. Además, contiene un multiplicador.

Los pellets se fabrican mediante el prensado de serrín. Con este proceso se consigue que sea más denso que la madera original. La ventaja de utilizar este combustible es que al ser un material de grano fino casi se puede tratar como un pseudo-líquido y tiene una capacidad de automatización que no disponen otros biocombustibles densificados.

En la siguiente tabla se pueden ver las características principales de la caldera de biomasa densificada. Como se puede ver, tiene las mismas características que la caldera de gas, exceptuando que en este caso el combustible no es el gas, sino los pellets.

Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento nominal (COP)	Rendimiento medio estacional	Vector energético
SIS_EQ3_EQ_Caldera-Condensacion-Defecto	Caldera eléctrica o de combustible	25,00	0,93	0,95	BIOMASA DENSIFICADA
TOTALES	-	25,00	-	-	-

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Demanda diaria de ACS a 60°C (litros/día)					117,60
Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento nominal (COP)	Rendimiento medio estacional	Vector energético
SIS_EQ3_EQ_Caldera-Condensacion-Defecto	Caldera eléctrica o de combustible	25,00	0,93	0,95	BIOMASA DENSIFICADA

Tabla 15: Sistemas de calefacción y ACS del Caso 3 (CP+ACU)**1.7.4. Caso 4: Aerotermia**

El cuarto caso a analizar ha sido un sistema mixto de calefacción y ACS que calienta el agua mediante una bomba de calor aire-agua, popularmente conocido como aerotermia. Como en los casos 2 y 3 este sistema también contiene un acumulador de 150 litros de capacidad. La bomba de calor tiene una capacidad nominal de 13,50 kW y un consumo nominal de 4,50 kW. El COP es de 3 y el rendimiento medio estacional de 2,23.

En este caso se ha optado por cambiar el sistema de radiadores por un sistema de suelo radiante. Esto significa que la temperatura de impulsión de calefacción del sistema es de 45°C en vez de 60°C (casos 2 y 3) o 50°C (caso 1).

En la siguiente tabla se pueden ver las características principales de la bomba de calor. La mayor diferencia en cuanto a los anteriores sistemas es el rendimiento.

Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento nominal (COP)	Rendimiento medio estacional	Vector energético
SIS_EQ3_EQ_ED_Aire Agua_BDC-ACS-Defecto	Expansión directa bomba de calor aire-agua	13,50	3,00	2,23	ELECTRICIDAD
TOTALES	-	13,50	-	-	-

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Demanda diaria de ACS a 60°C (litros/día)	117,60
--	--------

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento nominal (COP)	Rendimiento medio estacional	Vector energético
SIS_EQ3_EQ_ED_Aire Agua_BDC-ACS-Defecto	Expansión directa bomba de calor aire-agua	13,50	3,00	2,23	ELECTRICIDAD

Tabla 16: Sistemas de calefacción y ACS del Caso 4 (BC+ACU)**1.7.5. Integración de energía solar**

La energía solar es una energía renovable que proviene de la irradiación procedente del sol. El aprovechamiento de la energía solar mediante módulos fotovoltaicos para generar energía eléctrica y la utilización de colectores solares térmicos para calentar el ACS, son las tecnologías más utilizadas actualmente en las viviendas unifamiliares.

Si bien es cierto que el autoabastecimiento completo no es lo más habitual ya que estos sistemas varían dependiendo de la climatología y época del año, sí que son de gran utilidad para complementar otras instalaciones térmicas de la vivienda. Además, pueden suponer un gran ahorro energético, medioambiental y económico.

Energía solar fotovoltaica

Para calcular la cantidad de módulos fotovoltaicos que se pueden instalar en la vivienda unifamiliar que se está utilizando para la realización de este proyecto, se ha estimado que la superficie que se puede utilizar para su implementación es el 60% del tejado que da al sur. Al ser un tejado a cuatro aguas no hay problema para ello. La superficie total de la parte sur del tejado es de 28,63 m² por lo que la superficie que se puede utilizar para la implementación de paneles es de 17,18 m².



Figura 12: Esquema de una instalación de energía solar fotovoltaica

El kit solar que se ha decidido instalar dispone de 6 paneles solares de 1,97m² cada uno, en total ocupan 11,82 m² del tejado. Se tratan de módulos monocristalinos de 425W cada uno (total 2.550W pico). Según el fabricante tiene una capacidad de generación media entre 7.650-15.300Wh según la ubicación e instalación de los paneles solares. Además, según datos facilitados por el fabricante, el inversor tiene una eficiencia superior al 98%.

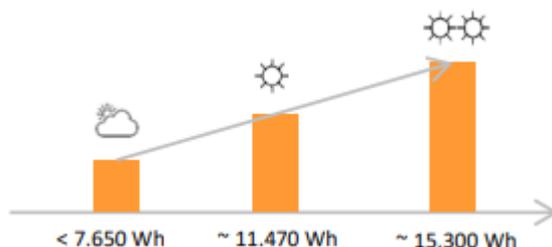


Figura 13: Capacidad de generación de energía del sistema FV instalado

Para calcular los datos de generación de energía de la instalación de módulos fotovoltaicos se ha usado **el programa PVGIS**. PVGIS es una aplicación web que permite al usuario obtener datos sobre la radiación solar y la producción de energía fotovoltaica (PV), en cualquier lugar de la mayor parte del mundo. Su uso es completamente libre, sin restricciones para utilizar los resultados y sin necesidad de registro. [13]

Para que la simulación sea lo más fiel a las características de la vivienda y también las características del kit solar instalado, se han establecido los siguientes requisitos:

- Base de datos de radiación solar: PVGIS-SARAH2.
- Tecnología FV: Silicio cristalino.
- Potencia FV pico instalada [kWp]: 2,55kW.

- Pérdidas sistema: 14%
- Posición de montaje: Sobre el tejado.
- Inclinación [°]: 45°
- Azimut [°]=0°

Además, también se ha indicado la ubicación de la vivienda para que los datos sean lo más exactos posibles.

El programa utiliza la base de datos de radiación solar PVGIS-SARAH2 y los paneles solares tienen una irradiancia sobre el plano fijo de 1392.09 kWh/m² al año. En el Gráfico 1 se puede ver la irradiancia mensual de los paneles:

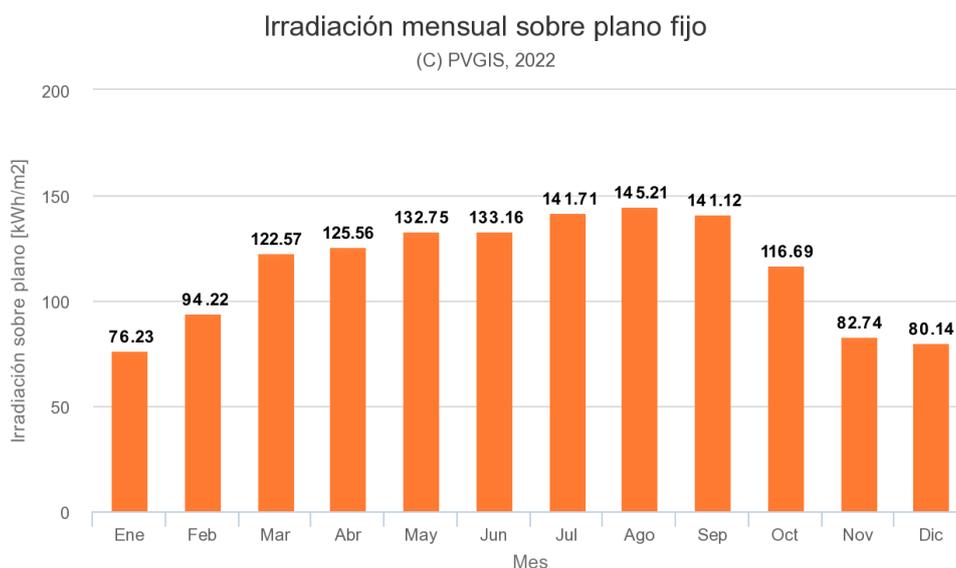


Gráfico 1: Irradiación mensual sobre plano fijo

Con estos datos se ha realizado la simulación del sistema de módulos solares fotovoltaicos y el resultado es que la vivienda produce 2728.47 kWh al año. A continuación, se pueden ver los datos de la producción de energía mensual del sistema FV:

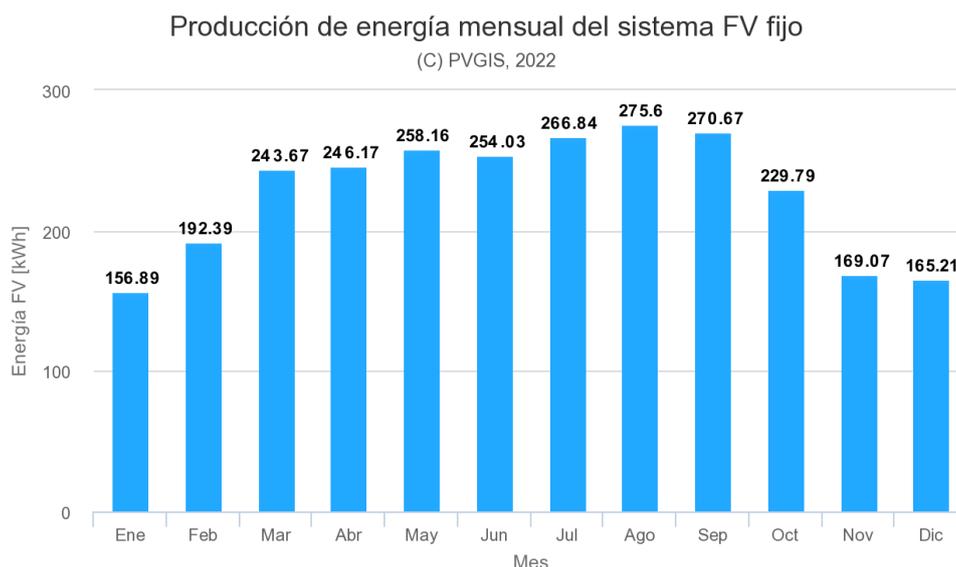


Gráfico 2: Producción de energía mensual del sistema FV instalado

Energía solar térmica

La herramienta HULC no llega a proporcionar los datos de generación de energía solar mediante colectores solares, por lo que se ha hecho uso de herramientas externas. En el caso de la energía solar fotovoltaica se ha utilizado el programa PVGIS como se ha mencionado anteriormente. Este programa pertenece a la Comisión Europea. Pero en el caso de la energía solar térmica no se ha encontrado ninguna organización que tenga algún programa válido para la implementación de ella en el entorno HULC.

Oscar Redondo Rivera es un arquitecto y profesor de la Universidad Politécnica de Madrid que ha creado varias herramientas para complementar las que nos proporciona la herramienta unificada Lider-Calener mediante macros de Excel. Tiene una página web donde va publicando las actualizaciones de sus propias herramientas. Así define su trabajo:

"El motivo de esta web es dar a conocer distintas herramientas de cálculo gratuitas en los campos de la eficiencia energética, energías renovables y sostenibilidad dirigidas a arquitectos e ingenieros."

Uno de sus programas trata el DB-HE4 (Contribución solar mínima de ACS) y permite comprobar la aportación de energía solar de los paneles solares, por lo que se ha decidido hacer uso de ello.

Primeramente, se han metido todos los datos de ubicación y consumos de ACS que tiene la vivienda unifamiliar que se está analizando. La temperatura de impulsión del ACS se ha establecido en 60°C ya que para implementar un sistema de este tipo se necesita un acumulador. Este programa no tiene en cuenta las pérdidas del 5% que se han mencionado anteriormente, por lo tanto, el consumo de ACS se ha establecido en 112 litros/día. Se ha mantenido el acumulador de 150 litros que se ha empleado en los casos anteriores. Los colectores que se han analizado tienen 2,35m² de área de captación y la misma disposición de ángulo (45°) y azimut (0°) de los paneles fotovoltaicos.

Después, se ha diseñado el circuito para un colector solar solamente. En la Figura 14 se pueden ver dichas características. Así mismo se puede ver cómo cumple con el requisito de la relación de volumen y área de captación.

EQUIPOS SELECCIONADOS	
Volumen de acumulación proyectado	150 litros
Nº de depositos	1 Ud x SD WE 150
Panel solar proyectado	1 Ud x Saunier Duval
Factores de rendimiento del panel	a0 0,790 a1 2,414 a2 0,049
Número de grupos	1
Número de paneles por grupo	1
Sistema de disipación de calor	Sistema Drain-Back
Superficie de captación del panel (m ²)	2,35 m ²
Area total de captación proyectada (m ²)	2,35 m ²
Relación Volumen/área captación	63,78 Valor entre 50 y 180 CUMPLE
Orientación de los captadores	0 grados respecto al Sur
Inclinación de los captadores	45 grados de inclinación

Figura 14: Características de la instalación solar térmica de un colector solar

En la Figura 15 se ve cómo en caso de poner un solo colector solar térmico el edificio no cumpliría con el DB-HE4 ya que no llega al 60% de contribución renovable anual en el caso de la caldera de gas.

Contribución anual del sistema	Mínimo	Proyectado	NO CUMPLE
	60%	46,26%	
Disposición del modulo solar	Superposición		
Perdidas por orientación e inclinación	Maximo	Proyectado	
Perdida límite por sombras	20%	0,03%	
Perdida límite TOTAL	15%	0,00%	
	30%	0,03%	
Ningún mes supera una contribución del 110%	max	69,45%	
< 100% de contribución en más de 3 meses seguidos			
Demanda de energía convencional	1.219	kWh/año	
Porcentaje de uso de energía convencional	53,74%		

Figura 15: Cumplimiento DB-HE4 1 colector solar

En el siguiente gráfico se puede ver la contribución de energía renovable producida mediante los colectores solares y también el consumo del sistema de apoyo, en este caso una caldera de condensación de gas natural junto a la demanda total de ACS. Este gráfico se ha sacado del programa diseñado por Oscar Redondo Rivera.

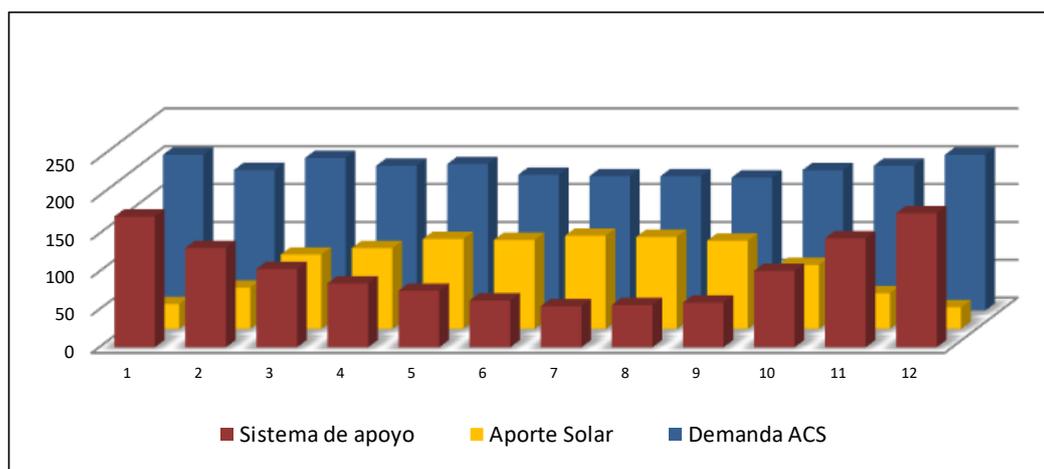


Gráfico 3: Contribución de energía solar térmica para CG+ACU con un colector solar

Lo mismo se ha hecho para el circuito de dos colectores solares. En este caso, al aumentar el área de captación no cumple con el requisito de la relación de volumen y área de captación. La instalación de un acumulador de agua de mayor volumen podría solucionar este problema.

EQUIPOS SELECCIONADOS	
Volumen de acumulación proyectado	150 litros
Nº de depósitos	1 Ud x SD WE 150
Panel solar proyectado	2 Ud x Saunier Duval
Factores de rendimiento del panel	a0 0,790 a1 2,414 a2 0,049
Número de grupos	1
Número de paneles por grupo	2
Sistema de disipación de calor	Sistema Drain-Back
Superficie de captación del panel (m²)	2,35 m²
Area total de captación proyectada (m²)	4,70 m²
Relación Volumen/área captación	31,89 Valor entre 50 y 180 NO CUMPLE
Orientación de los captadores	0 grados respecto al Sur
Inclinación de los captadores	45 grados de inclinación

Figura 16: Características de la instalación solar térmica de dos colectores solares

Por otro lado, en este caso al doblar la cantidad de colectores solares sí que se obtiene un mínimo de contribución anual renovable para agua caliente sanitaria (64,96%).

Contribución anual del sistema	Mínimo 60%	Proyectado 64,96%	CUMPLE
Disposición del modulo solar	Superposición		
Perdidas por orientación e inclinación	Maximo 20%	Proyectado 0,03%	
Perdida límite por sombras	15%	0,00%	
Perdida límite TOTAL	30%	0,03%	
Ningún mes supera una contribucion del 110%	max	86,61%	
< 100% de contribución en más de 3 meses seguidos			
Demanda de energía convencional	795 kWh/año		
Porcentaje de uso de energía convencional	35,04%		

Figura 17: Cumplimiento DB-HE4 1 colector solar

En el Gráfico 4 se puede ver cómo la contribución de la energía renovable producida con dos colectores solares es considerablemente mayor que la que se produce con un solo.

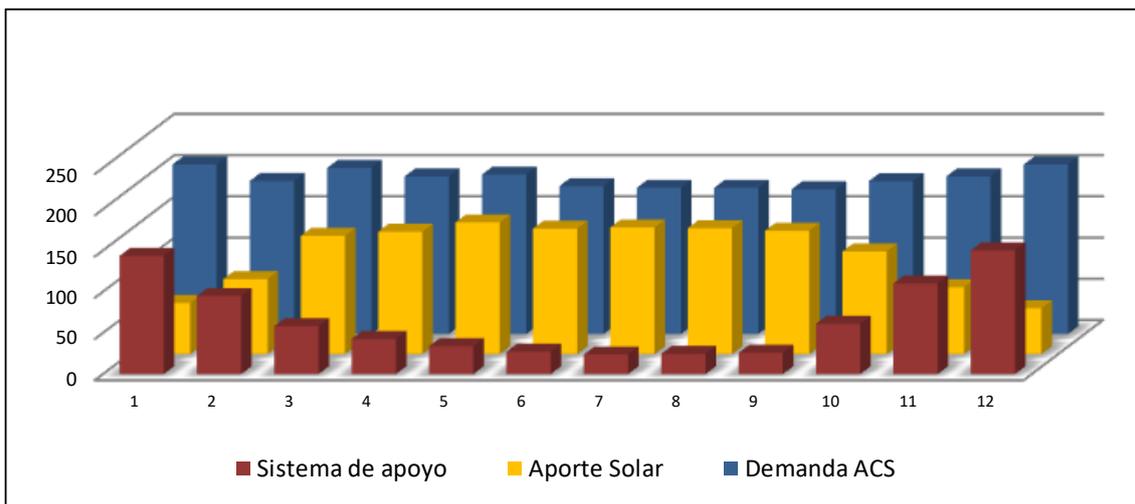


Gráfico 4: Contribución de energía solar térmica para CG+ACU con 2 colectores solares

1.7.6. Caso 5: Aerotermia con módulos fotovoltaicos

Con la información obtenida de los beneficios de la generación de energía solar, se ha decidido implementar en los casos analizados previamente. El primer caso en el que se ha implementado ha sido en el caso de la bomba de calor (Caso 4). La bomba de calor funciona mediante electricidad, por lo que se ha visto adecuado implementar los paneles fotovoltaicos para cubrir la demanda en este caso.

En la siguiente tabla se ven los datos más significativos del sistema de energía solar fotovoltaica.

Nombre equipo	Vector energético	Servicio técnico	Producción (kWh/año)
Fotovoltaica insitu	ELECTRICIDAD	-	2728

Tabla 17: Instalación de energía solar fotovoltaica

1.7.7. Caso 6: Caldera de gas con acumulador y 1 colector solar

El sexto caso que se ha analizado se trata de una caldera de condensación de gas natural con un acumulador de 150 litros, al igual que se ha estudiado en el caso 2. En este caso también se ha instalado un colector solar con la intención de mejorar la eficiencia energética de la vivienda, reducir emisiones y gastos. En los casos de la energía solar térmica es obligatorio disponer de un acumulador.

Cabe mencionar que estos sistemas solamente aportan energía para la utilización de ACS y que en calefacción no tienen apenas impacto. En la siguiente imagen se muestran los datos más significativos.

Nombre equipo	Vector energético	Servicio técnico	Producción (kWh/año)
Solar Térmica ACS	MEDIOAMBIENTE	ACS	1049

Tabla 18: Instalación de energía solar térmica con un colector

1.7.8. Caso 7: Caldera de gas con acumulador y 2 colector solares

El séptimo caso que se ha analizado es igual que el caso anterior, es decir, una caldera de condensación de gas natural con un acumulador de 150 litros. En este caso se han instalado dos colectores solares. Como se ha mencionado en el análisis de las instalaciones de energía solar, la instalación de dos colectores solares con las características de los que se han analizado no cumple la relación de volumen/área captación. Para solucionar este problema se debería instalar un acumulador de mayor capacidad. De todas formas, al tratarse de una simulación se ha decidido mantener el mismo acumulador que en los casos anteriores para que el análisis se dé en igualdad de condiciones con el caso de un captador solar.

Al igual que en el caso anterior estos sistemas solamente sirven para ACS.

Nombre equipo	Vector energético	Servicio técnico	Producción (kWh/año)
Solar Térmica ACS	MEDIOAMBIENTE	ACS	1474

Tabla 19: Instalación de energía solar térmica con dos colectores

1.7.9. Caso 8: Caldera de pellets con acumulador y 1 colector solar

Para el octavo y último caso, se ha analizado una caldera de condensación de pellets con un acumulador de 150 litros al igual que en el tercer caso. En este caso, se ha instalado un colector solar para aporte de calor en ACS.

2. METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1. DESCRIPCIÓN DE TAREAS

La primera tarea al comenzar este proyecto fue buscar información acerca del estado del arte de los sistemas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS). Se ha encontrado información acerca de su funcionamiento, así como del entorno del CTE que ha permitido establecer unos parámetros para el análisis. Posteriormente, se ha estudiado el programa HULC para su uso en el análisis comparativo.

A continuación, se ha definido una vivienda unifamiliar en HULC y se han integrado los sistemas de calefacción y ACS que se han querido analizar. Con los resultados y datos que proporciona este programa se han creado gráficos personalizados en Excel para una buena visualización de ellos y un análisis específico desde el punto de vista energético, medioambiental y económico.

Por último, con la información que se ha logrado mediante los gráficos creados se han sacado unas conclusiones que ayudan a determinar cuáles son las mejores opciones para esta situación. Tras ello, se ha documentado todo el trabajo realizado hasta el momento.

2.2. DIAGRAMA DE GANTT

En la siguiente tabla se muestra el desarrollo del proyecto y cómo se han llevado a cabo las tareas necesarias para cumplir los objetivos propuestos. Las casillas moradas muestran cómo se han realizado esas tareas a lo largo del proyecto.

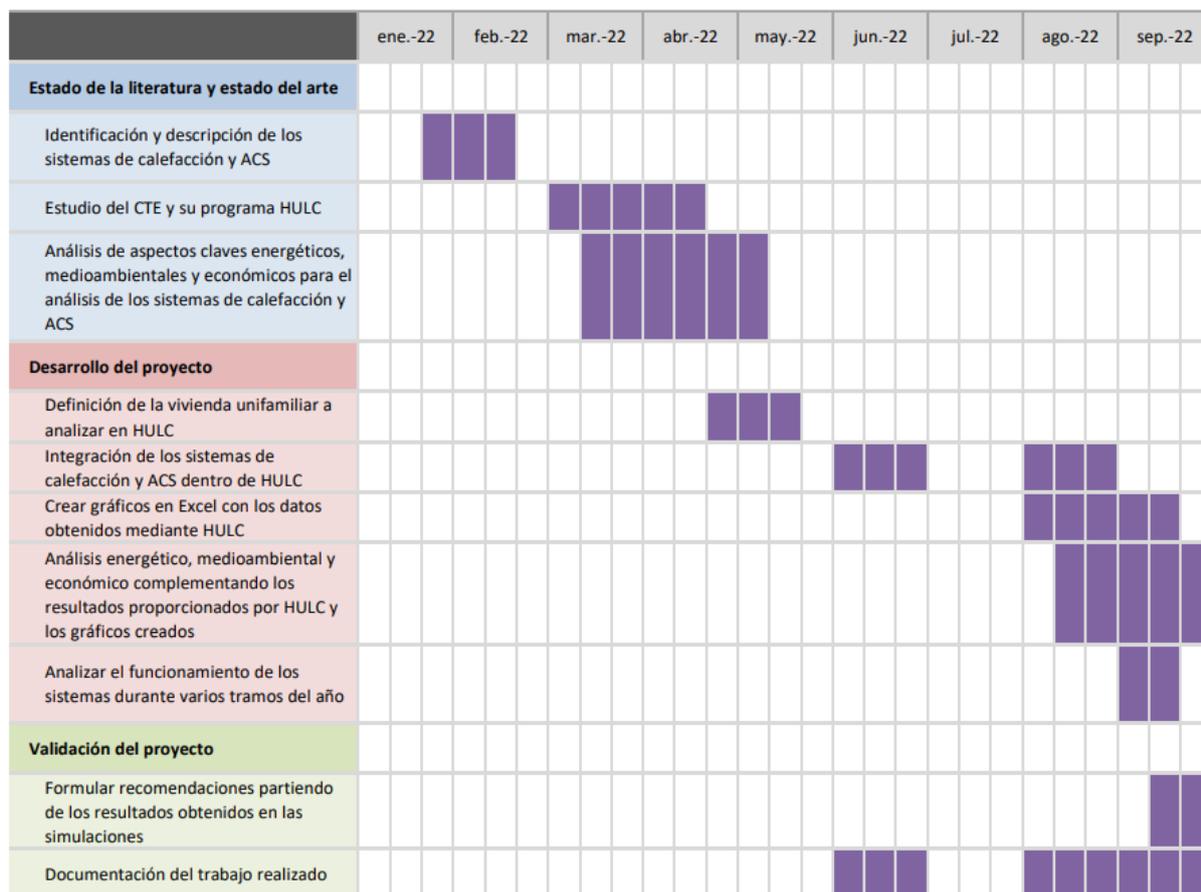


Tabla 20: Diagrama de Gantt

2.3. CÁLCULOS

Como se ha dicho anteriormente para realizar el análisis de los diferentes casos de los sistemas de calefacción y ACS se ha utilizado la herramienta HULC. Antes de realizar el análisis, en esta aplicación, el primer paso es introducir la geometría del edificio en esta aplicación. Para ello se ha utilizado una vivienda de ejemplo de la página oficial del CTE y se ha adaptado a las circunstancias que convenían para desarrollar los análisis. En la siguiente figura se puede ver el esquema donde se introducen todos los parámetros de la arquitectura y envolvente térmica del edificio:

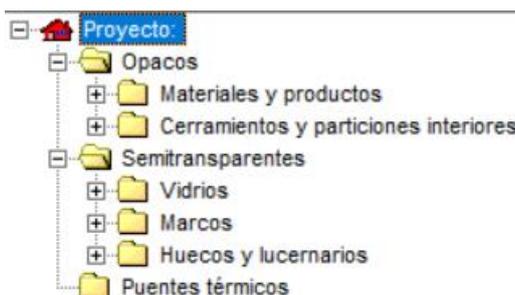


Figura 18: Cuadro de mando de las características de la arquitectura y la envolvente térmica

Posteriormente, se han instalado los sistemas de calefacción y ACS que se han querido analizar dentro del programa para obtener los datos de consumo energético de todos los sistemas. El programa HULC tiene un apartado específico dedicado a ello (FIGURA X).

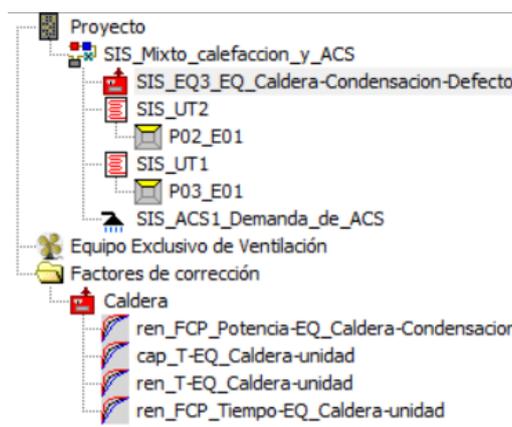


Figura 19: Cuadro de mando de las instalaciones de calefacción y ACS

Una vez hecho esto, el programa es capaz de calcular los consumos energéticos y muchos parámetros más que son necesarios para saber si el edificio cumple con el DB-HE del CTE. Se puede acceder a estos datos gracias a que el programa crea archivos .txt donde contiene muchas variables a analizar.

Los datos que más se han utilizado para realizar este análisis son los datos mensuales de consumo de energía final para calefacción y ACS, y con ellos se ha hecho una comparación de las diferentes instalaciones. Además, también se ha analizado el impacto de la instalación de energías renovables en el ahorro energético. También se han calculado el consumo de energía primaria, y la energía primaria no renovable.

Para realizar el análisis medioambiental se han calculado las misiones de kg de CO₂ que emiten los sistemas de calefacción y ACS. Para ello, se han utilizado factores de conversión

que varían dependiendo del vector energético que se utilice. Mediante la herramienta Excel se han obtenido los valores mensuales de las emisiones de CO₂. [14]

Factores de emisiones de CO ₂			
	Fuente	Valores aprobados	Valores previos (****)
		kg CO ₂ /kWh E. final	kg CO ₂ /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,357	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,331	0,649
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,833	0,981
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,932	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,776	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,721	
Gasóleo calefacción	(***)	0,311	0,287
GLP	(***)	0,254	0,244
Gas natural	(***)	0,252	0,204
Carbón	(***)	0,472	0,347
Biomasa no densificada	(***)	0,018	neutro
Biomasa densificada (pelets)	(***)	0,018	neutro

Tabla 21: Factores de emisiones de CO₂

Por último, se ha realizado el análisis económico de las instalaciones teniendo en cuenta la inversión inicial, el coste del consumo energético actualizado a la situación actual. Se ha hecho un estudio de rentabilidad para ver qué sistemas son los más adecuados para la situación que se ha estudiado.

2.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

2.4.1. Análisis energético

Caso 1: Caldera de gas

En cuanto al análisis energético del primer caso, la vivienda consume al año un total de 3754,99 kWh de energía mediante gas natural, 1191,01 kWh van destinados a calefacción y 2563,98 kWh a ACS. En el Gráfico 5 se puede ver el consumo de energía en calefacción y ACS junto al consumo total.

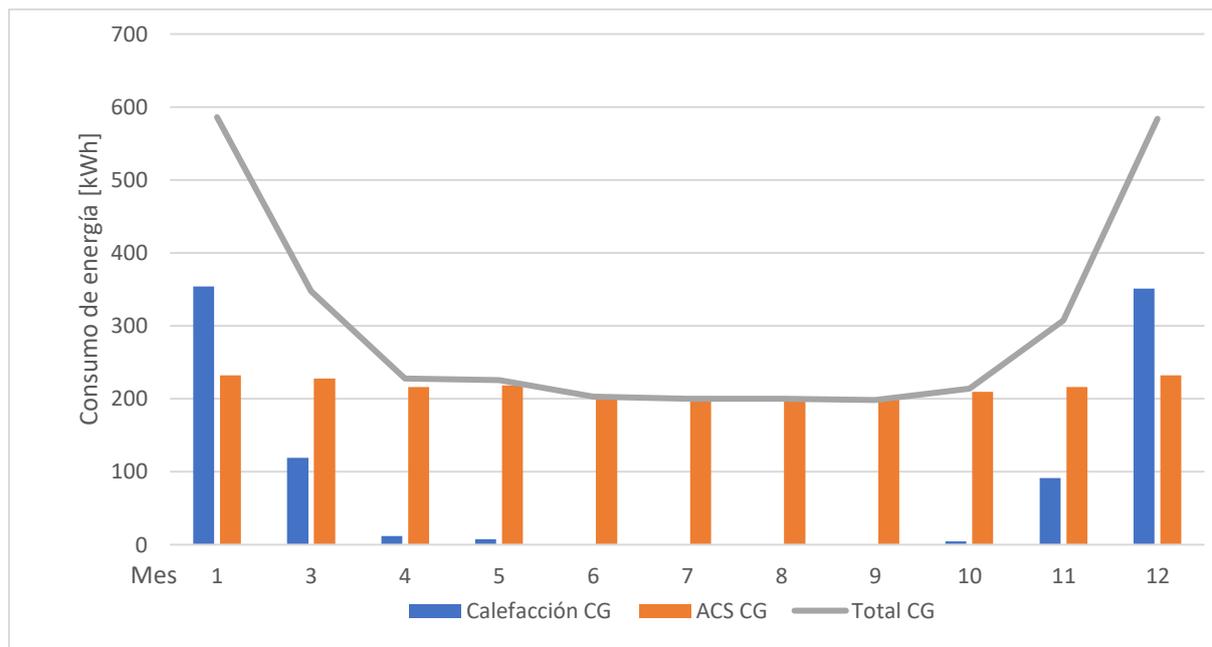


Gráfico 5: Consumo de energía del caso 1 (CG)

Como se puede observar en invierno el consumo de energía es considerablemente mayor que en verano debido a la demanda de energía para calefacción. También se puede observar cómo el consumo de energía para ACS es continuo durante todo el año y que el consumo para calefacción es el que varía notablemente. Los meses más fríos llega a superar al consumo en ACS.

Caso 2: Caldera de gas con acumulador

En lo que se refiere al análisis energético del segundo caso, el sistema de caldera de gas con acumulador consume al año un total de 4048,76 kWh de gas natural de los cuales 1192,51 kWh son para calefacción y 2892,25 kWh para ACS.

El consumo en calefacción es prácticamente igual, no obstante, el consumo de energía en ACS es mayor. Las diferencias respecto al primer caso son la existencia del acumulador, por lo que se puede deducir que es el causante de este incremento de consumo energía, y también una mayor temperatura de impulsión, que pasa de 50°C a 60°C.

En el Gráfico 6 se puede ver el consumo de energía total mensual de los sistemas de calefacción y ACS.

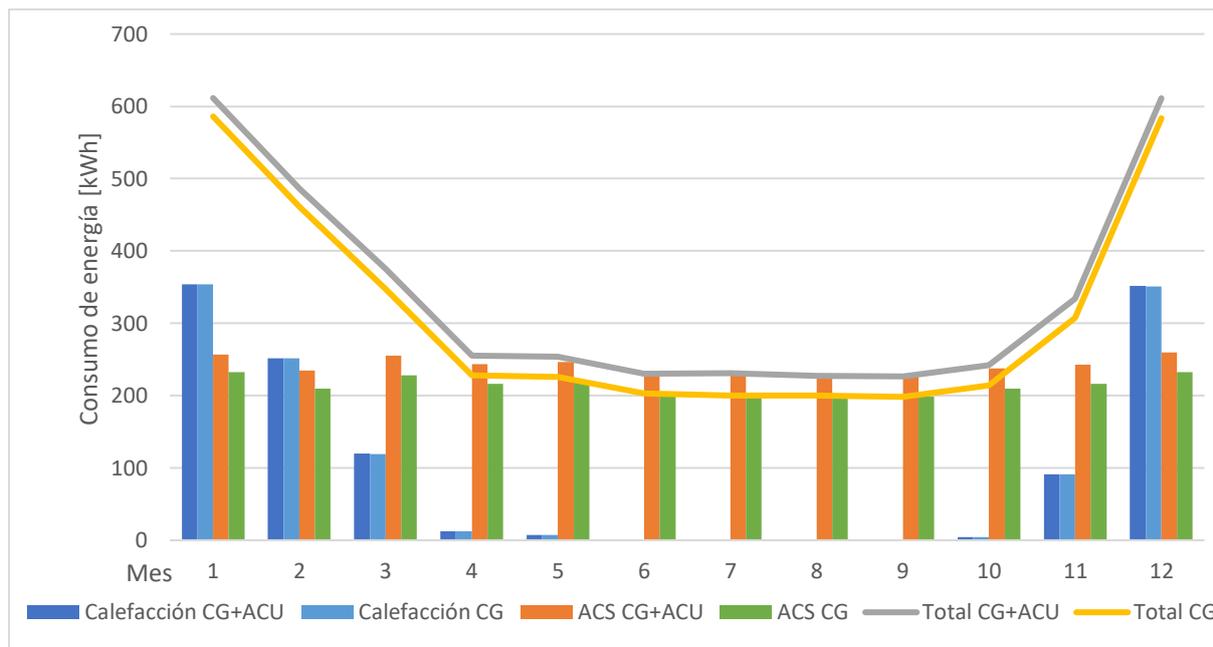


Gráfico 6: Consumo de energía del caso 1 (CG) y caso 2 (CG+ACU)

Como se puede observar el consumo en calefacción es prácticamente el mismo, pero el aumento de la temperatura de impulsión sanitaria hace que el consumo de energía para ACS sea mayor.

Caso 3: Caldera de pellets con acumulador

En este tercer caso de caldera de pellets con acumulador, cuando se hace el análisis del consumo de energía final los resultados son los mismos que en el segundo caso. Al fin y al cabo, se trata de una caldera de condensación de 25kW y un PCI del 93%. La materia prima es diferente, por lo que si se hace la comparación de energía primaria (se ha analizado en el siguiente apartado Gráfico 25 Pág.65) sí que se obtienen resultados diferentes.

Por lo tanto, en este tercer caso la vivienda consume al año un total de 4048,76 kWh de biomasa densificada o pellets de los cuales 1192,51 kWh son para calefacción y 2892,25 kWh para ACS.

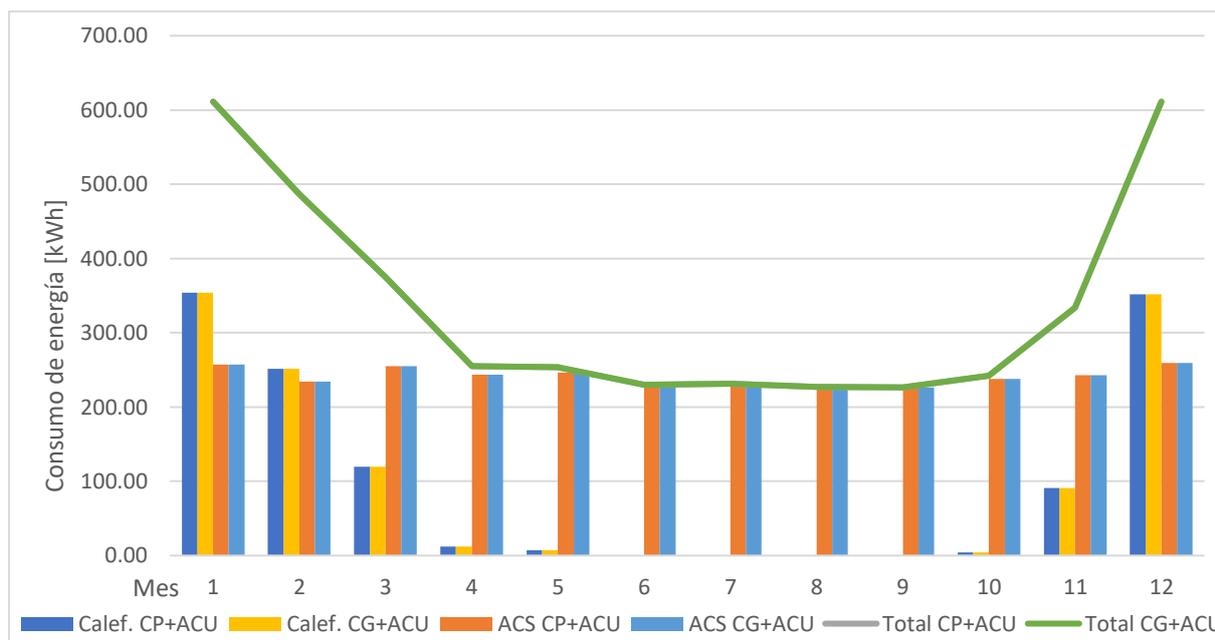


Gráfico 7: Consumo de energía del caso 2 (CG+ACU) y caso 3 (CP+ACU)

Caso 4: Aerotermia con acumulador

El análisis energético de la bomba de calor es diferente al resto de calderas. En este caso, la bomba de calor aire-agua aprovecha la energía del aire ambiente para calentar el agua, pero también necesita electricidad para su funcionamiento. El funcionamiento es el mismo que en un sistema de refrigeración, pero a la inversa, es decir, al invertir el flujo de refrigerante, pasa de refrigerar a calentar. [6]

La vivienda consume al año un total de 3883,49 kWh de los cuales 1742,75 kWh son de electricidad (887,33 kWh para calefacción y 855,42 kWh para ACS) y 2140,74 kWh proceden del medioambiente (306,38 kWh para calefacción y 1834,36 kWh para ACS). En el siguiente gráfico podemos ver cuanta de la energía final que se ha consumido procede de la electricidad y cuanta del medioambiente.

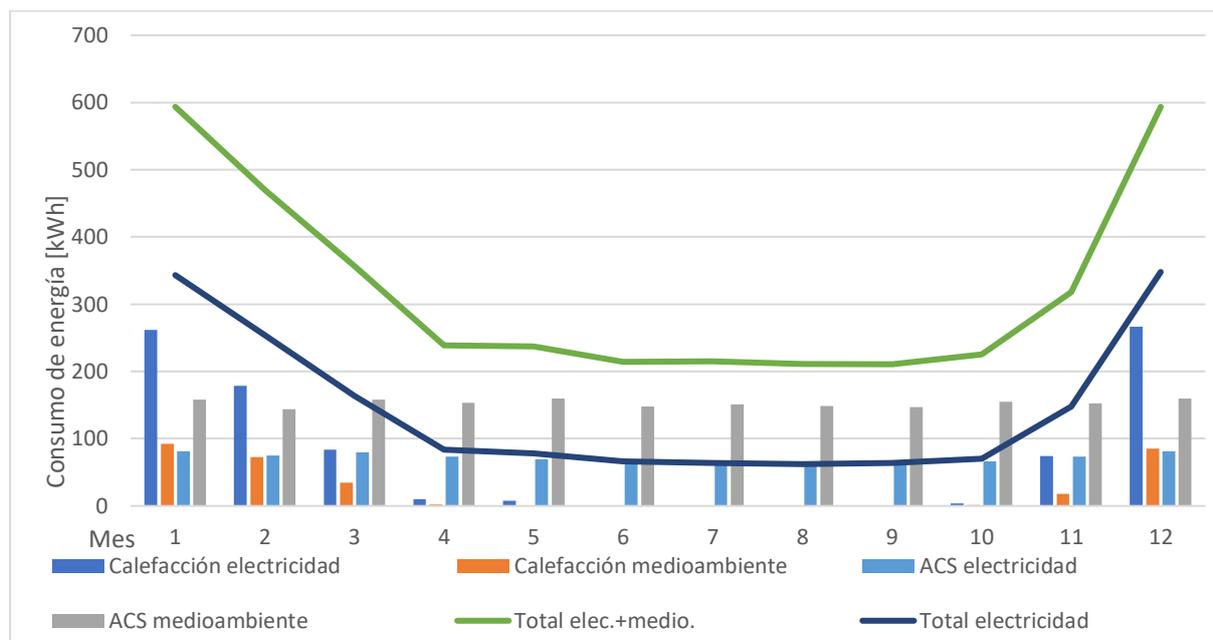


Gráfico 8: Consumo de energía del caso 4 (BC+ACU)

Caso 5: Aerotermia con acumulador y módulos fotovoltaicos

Para el quinto caso se ha analizado el cambio en el aporte energético que hacen los módulos fotovoltaicos respecto al anterior caso. En el siguiente gráfico podemos ver el consumo de energía eléctrica junto a la generación de energía eléctrica de los paneles fotovoltaicos.

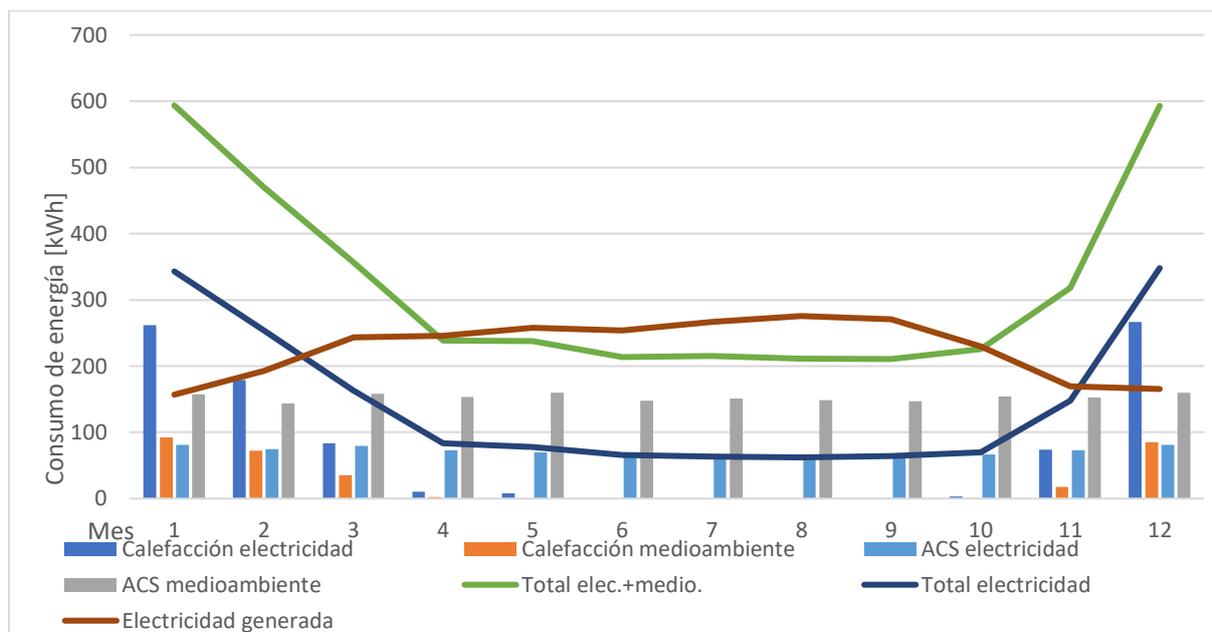


Gráfico 9: Consumo de energía del caso 5 (BC+ACU+FV)

Durante gran parte del año, la generación de energía eléctrica supera con creces la demanda de energía para calefacción y ACS. Solamente en los meses de invierno, donde las horas de sol son menores y con menos radiación solar es cuando se demanda más energía de la que se genera. Esto se debe también a un mayor consumo de calefacción en estos meses.

En los siguientes casos donde se han instalado colectores solares térmicos se puede ver que la aportación solar afecta solamente al ACS. En cambio, en este caso se ha decidido que la generación de energía eléctrica ayuda también a la generación de calor para calefacción.

Cabe mencionar que la generación de energía eléctrica mediante paneles solares permite abastecer el consumo de energía para calefacción y ACS, pero también sirve para el consumo energético de diferentes electrodomésticos que funcionan con electricidad.

El consumo energético anual de la red eléctrica para el caso 5 es de 430,37 kWh. Como se ha mencionado anteriormente, durante la mayoría de meses del año la generación supera la demanda de energía, y aunque en los meses de invierno no se llegue a abastecer toda la demanda, el ahorro energético es importante reduciendo prácticamente a la mitad el consumo.

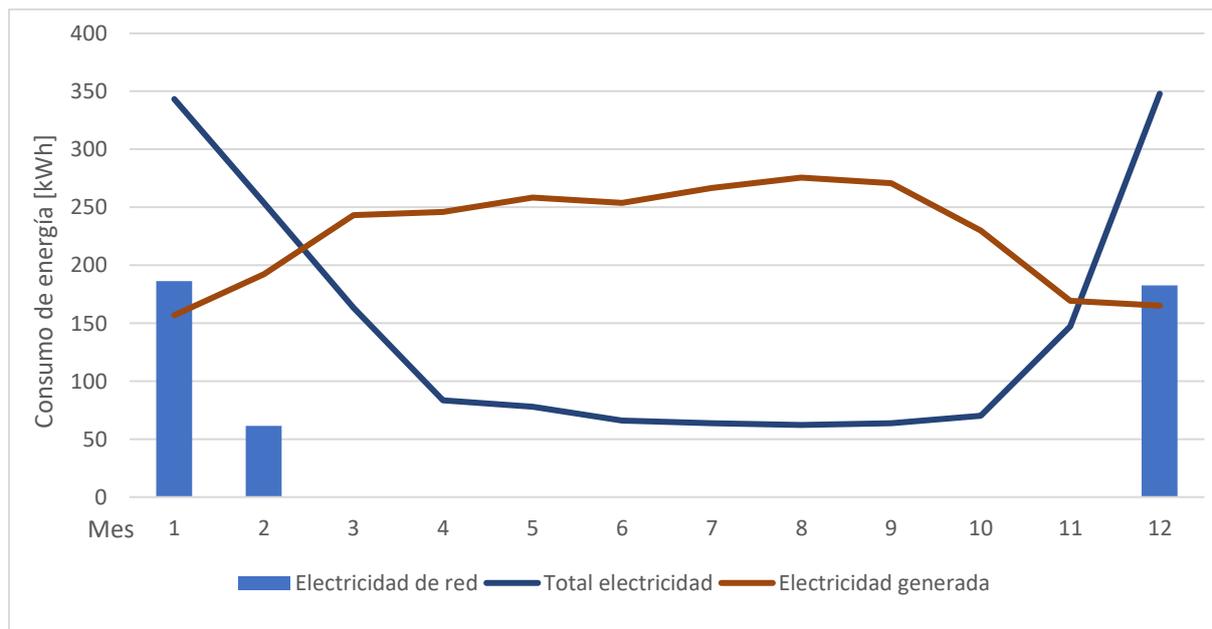


Gráfico 10: Energía generada, consumida de la red y el consumo total del caso 5 (BC+ACU+FV)

Caso 6: Caldera de gas con acumulador y un captador solar

Por otra parte, se ha querido analizar el impacto que tienen los colectores solares térmicos en las instalaciones de agua caliente. Para ello se ha tenido en cuenta la instalación que se ha analizado en el caso 2, es decir, caldera de condensación de gas con acumulador. A esta instalación se le ha añadido el sistema de energía solar térmica. En este caso se ha instalado solamente un colector. Cabe mencionar que este sistema solo sirve para calentar el agua que se utiliza como ACS.

En este caso, la vivienda consume al año un total de 3131,27 kWh de gas de los cuales 1190,96 kWh son para calefacción y 1940,37 kWh para ACS.

En el siguiente gráfico se puede ver el consumo de calefacción y ACS de una caldera de gas con acumulador sin ningún captador solar junto al caso de uno con captador solar.

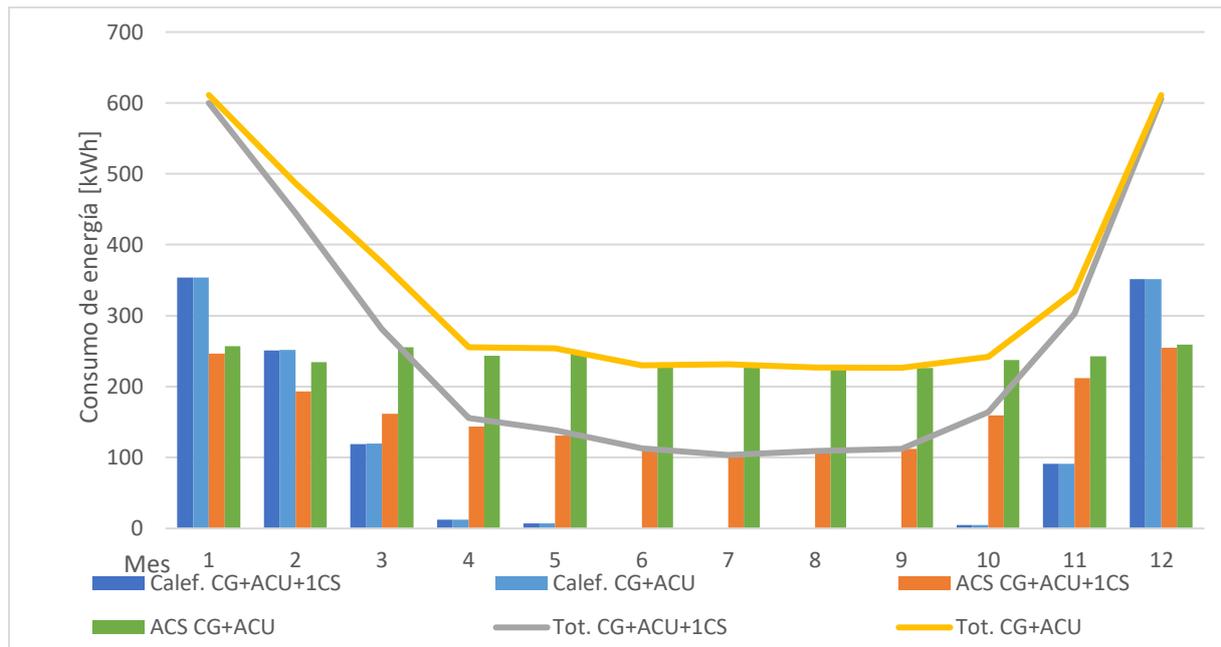


Gráfico 11: Comparación del consumo energético del caso 2 (CG+ACU) y caso 6 (CG+ACU+1CS)

Como se puede ver, el consumo en calefacción es prácticamente el mismo en ambos casos, no obstante, el consumo energético de gas para ACS es notablemente inferior, sobre todo los meses de verano donde la irradiación solar es mayor.

En el siguiente gráfico se puede ver la producción de energía solar del captador junto al ahorro de ACS.

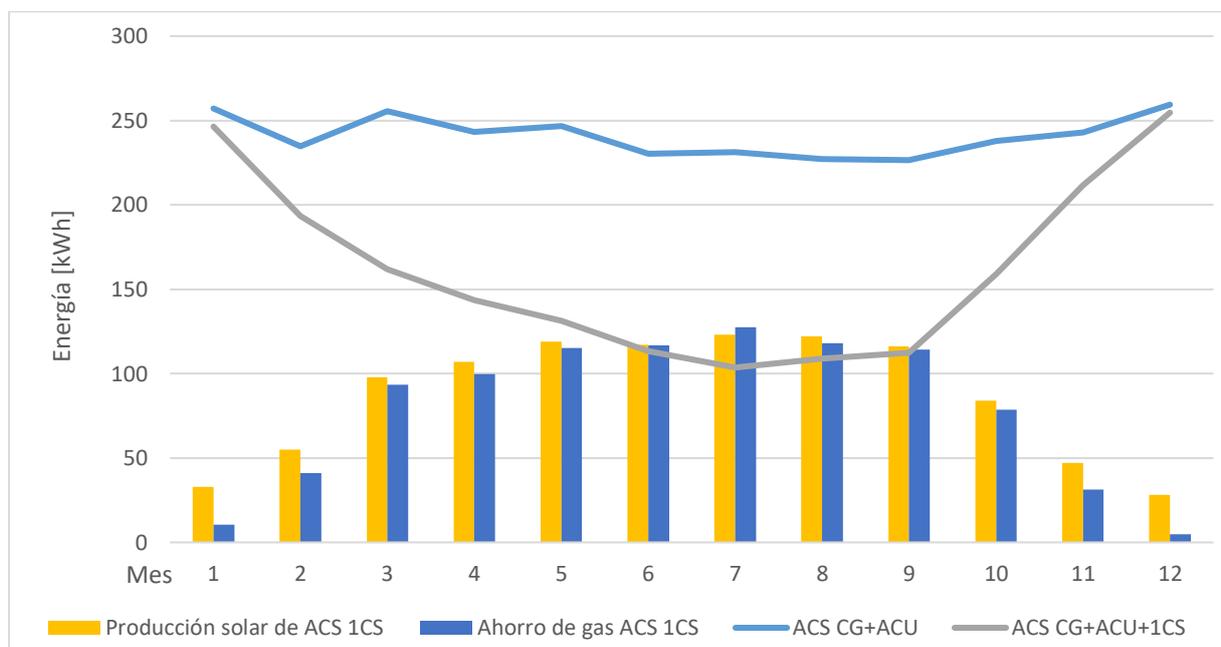


Gráfico 12: Producción y ahorro de energía mediante un captador solar

Caso 7: Caldera de gas con acumulador y dos captadores solares

En este séptimo caso se ha realizado el mismo análisis que en el caso anterior, pero en vez de instalar un captador solar se han instalado dos captadores solares. En el siguiente gráfico se puede ver el consumo de calefacción y ACS de una caldera de gas con acumulador sin ningún captador solar junto al caso de un captador y dos captadores solares. En este caso, la vivienda consume al año un total de 2758,75 kWh de gas de los cuales 1190,97 kWh son para calefacción y 1567,78 kWh para ACS.

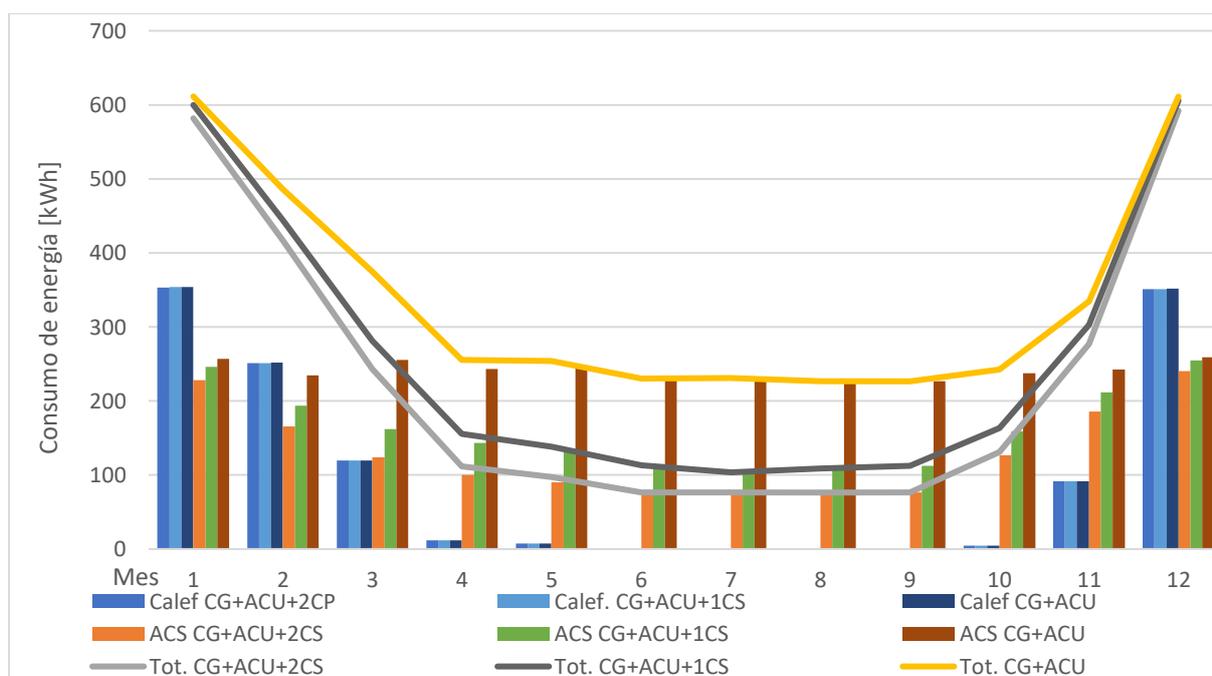


Gráfico 13: Comparación del consumo energético del caso 2 (CG+ACU), caso 6 (CG+ACU+1CS) y caso 7 (CG+ACU+2CS)

Si bien es cierto que el consumo de ACS respecto al anterior caso donde se instalaba un captador es menor, no supone tanto cambio. Es decir, de no tener ningún captador a tener uno hay una gran diferencia, no obstante, de tener uno a dos no hay tanto cambio.

En el siguiente gráfico se puede ver la producción de energía solar del captador junto al ahorro de ACS.

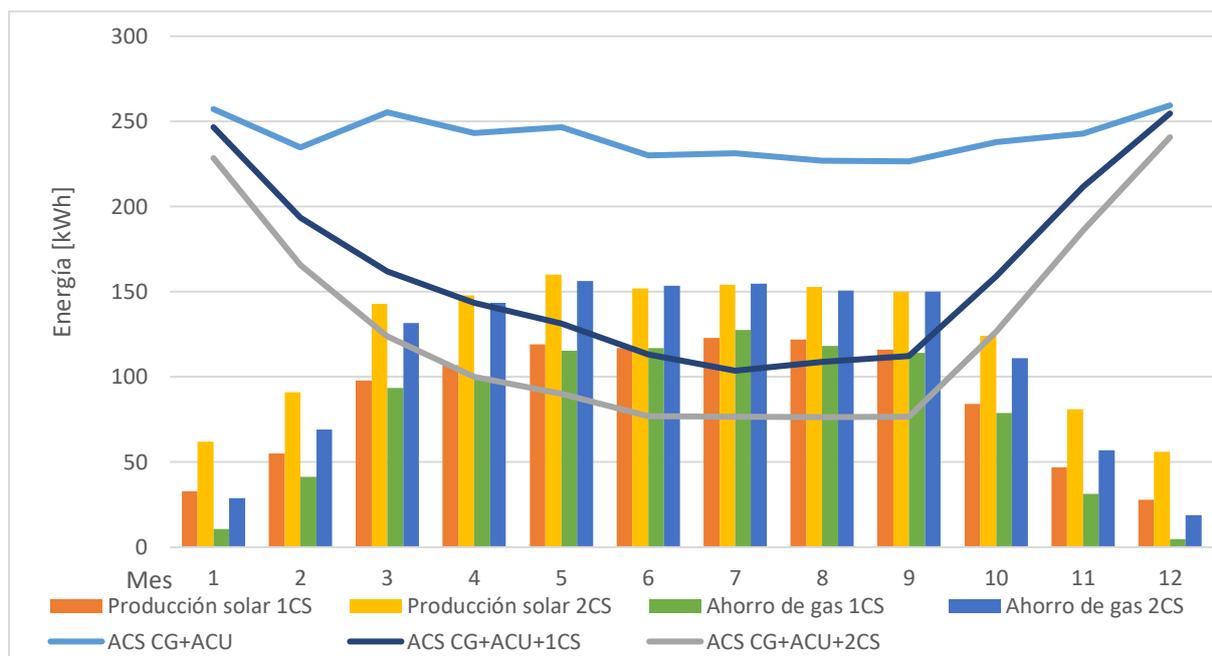


Gráfico 14: Comparativa de la producción y ahorro de energía mediante un captador solar y 2 captadores

Caso 8: Caldera de pellets con acumulador y un captador solar

Por otra parte, se ha querido analizar el impacto que tienen los colectores solares térmicos en las instalaciones de agua caliente, pero para una caldera de condensación de biomasa densificada o pellets (caso 3). A esta instalación se le ha añadido el sistema de energía solar térmica. En este caso se ha instalado solamente un colector. Como se puede ver en la siguiente imagen el ahorro de energía final que supone la instalación de un colector solar es igual que para una caldera de gas. Al fin y al cabo, el aporte de energía solar es el mismo. Por lo tanto, en este tercer caso la vivienda consume al año un total de 3131,26 kWh de biomasa densificada o pellets de los cuales 1190,96 kWh para calefacción y 1940,31 kWh para ACS.

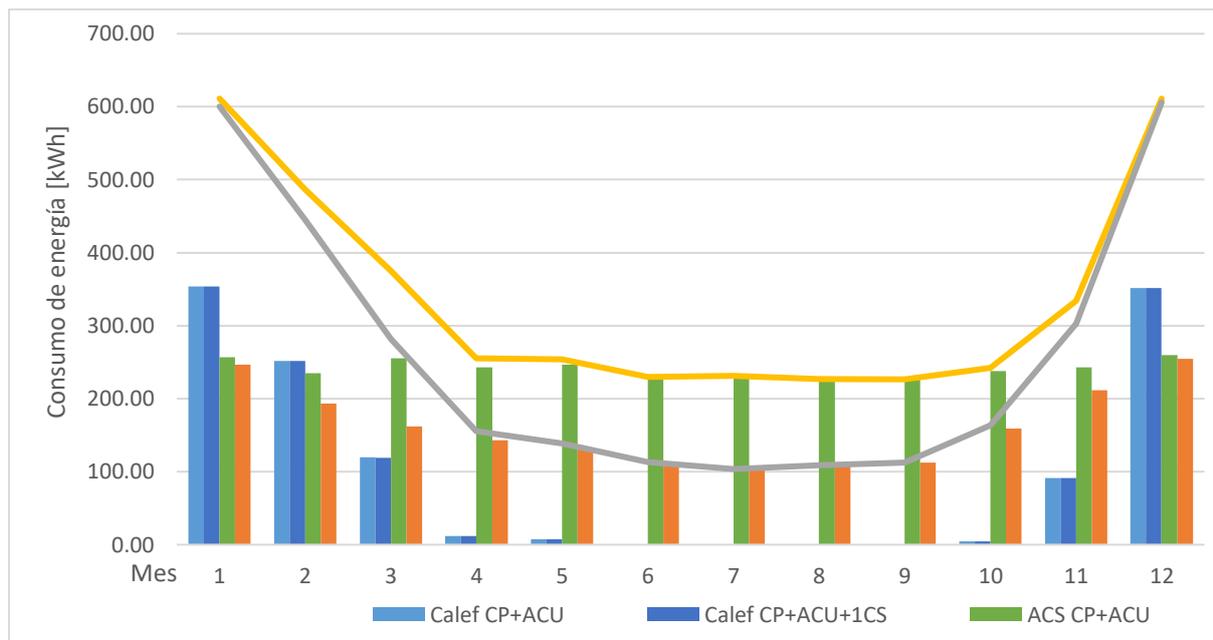


Gráfico 15: Comparación del consumo energético del caso 3 (CP+ACU) y caso 8 (CP+ACU+1CS)

2.4.2. Análisis medioambiental

Caso 1: Caldera de gas

En cuanto al análisis medioambiental de este caso, la vivienda emite un total de 946,25 kg de CO₂ por el gas natural de los cuales 300,13 kg supone calefacción y 646,12 kg el ACS.

El siguiente gráfico muestra las emisiones de kg de CO₂ de los sistemas de calefacción, ACS y ventilación.

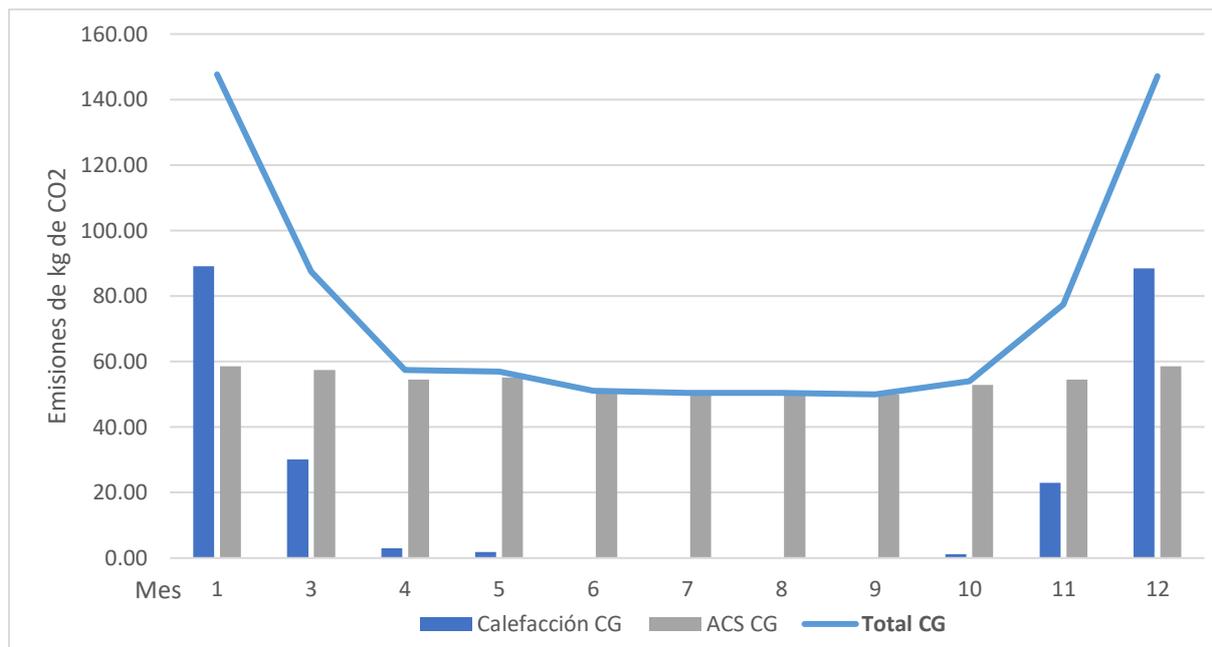


Gráfico 16: Emisiones de CO₂ del caso 1 (CG)

Como se puede ver en el Gráfico 16 cuanto mayor sea el consumo energético de la vivienda mayores son las emisiones de kg de CO₂. En el gráfico también se muestran las emisiones de kg de CO₂ mensuales para calefacción y ACS.

Caso 2: Caldera de gas con acumulador

En cuanto al análisis medioambiental de este segundo caso (CG+ACU), la vivienda emite un total de 1029,36 kg de CO₂ por el gas natural, de los cuales 300,51 kg son de calefacción y 728,85 kg de ACS. Se puede ver que al existir un crecimiento en el consumo de gas las emisiones de CO₂ producidas también han aumentado. El siguiente gráfico muestra las emisiones de kg de CO₂ de los sistemas de calefacción y ACS.

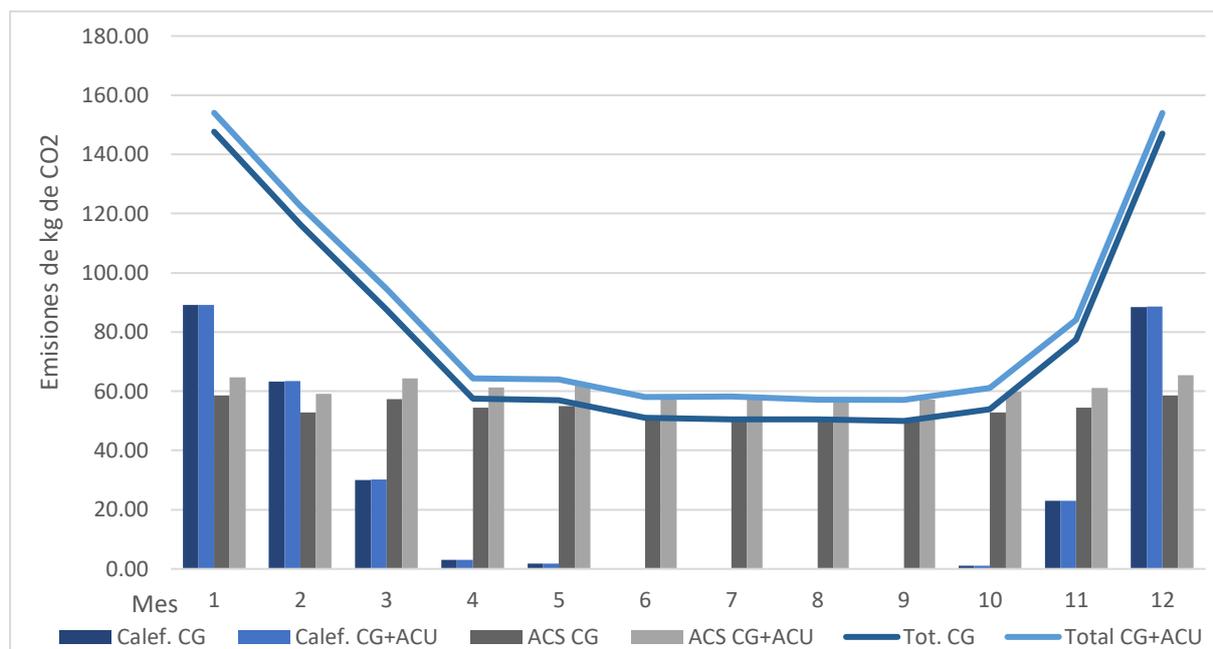


Gráfico 17: Emisiones de CO₂ del caso 2 (CG+ACU) comparado con el caso 1 (CG)

Caso 3: Caldera de pellets con acumulador

Al hacer el análisis medioambiental del tercer caso, se puede ver la enorme diferencia que hay respecto a los anteriores casos que utilizaban gas natural como combustible. La biomasa densificada o pellets tienen unas emisiones de CO₂ mucho más bajas como se pueden ver en el Gráfico 18. La vivienda emite un total de 73,53 kg de CO₂ por la biomasa densificada, de los cuales 21,57 kg son de calefacción y 52,06 kg de ACS.

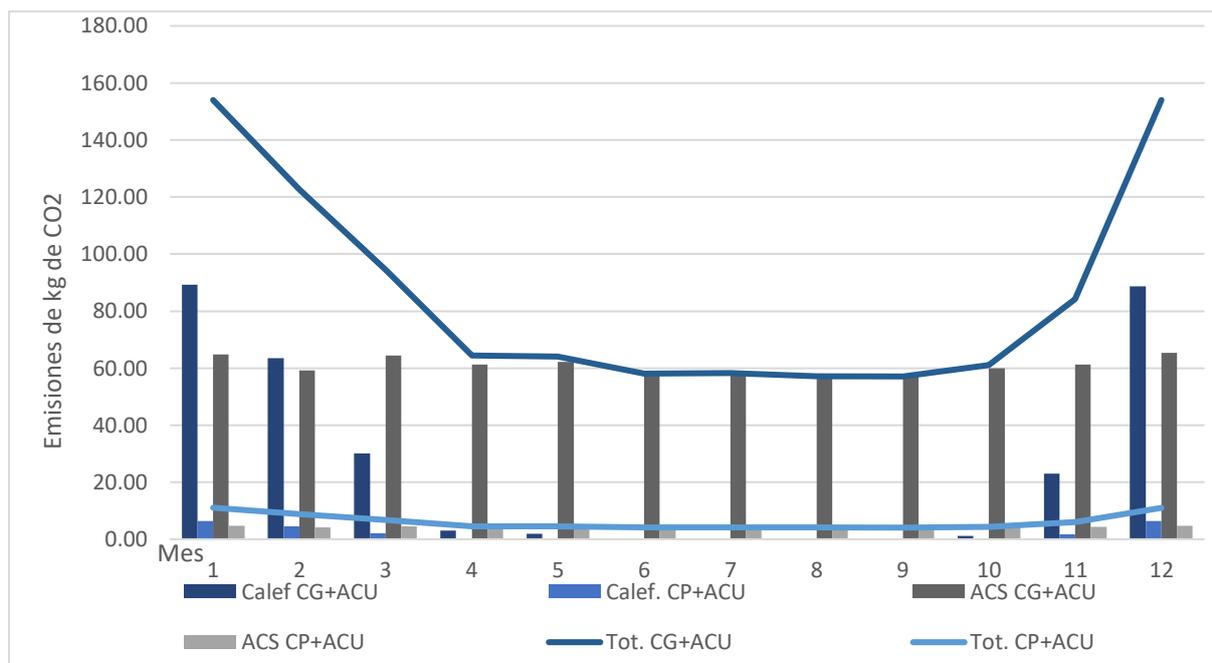


Gráfico 18: Emisiones de CO₂ del caso 3 (CP+ACU) en comparación con el caso 2 (CG+ACU)

Caso 4: Aerotermia con acumulador

Para el análisis de emisiones de CO₂ de este caso solamente se ha tenido en cuenta la energía consumida mediante electricidad, ya que la energía del medioambiente no emite gases CO₂. En este caso la vivienda emite un total de 576,85 kg de CO₂ de los cuales 293,71 kg son por calefacción y 283,14 kg por ACS.

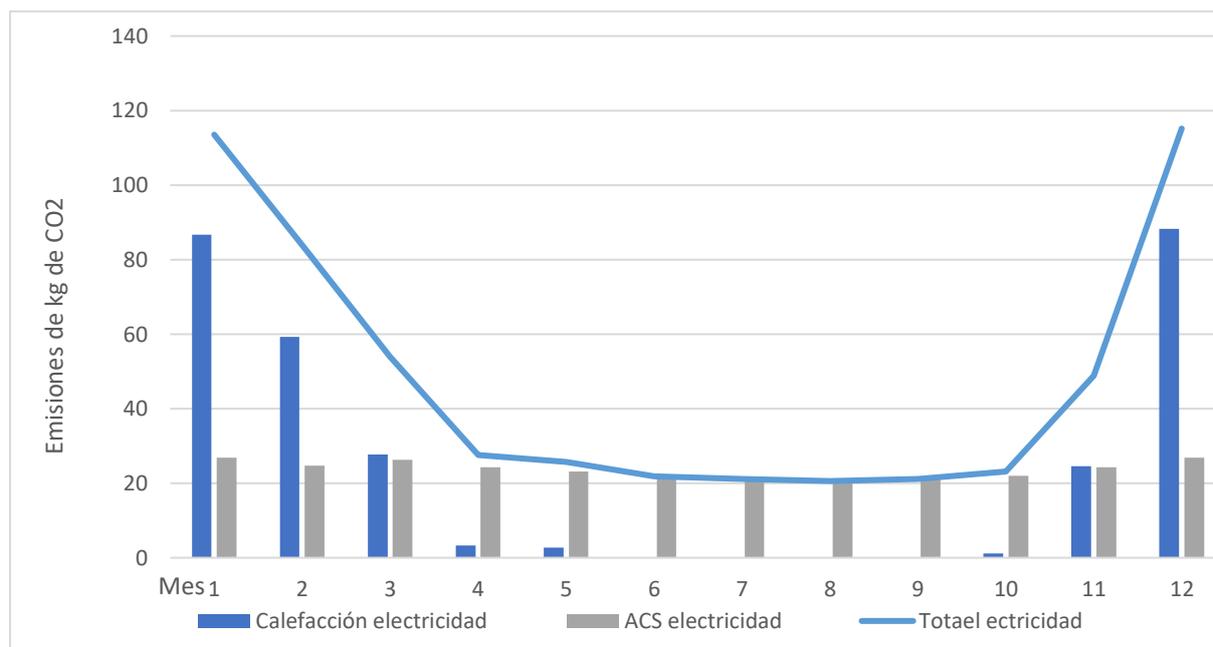


Gráfico 19: Emisiones de CO₂ del caso 4 (BC+ACU)

Caso 5: Aerotermia con acumulador y módulos fotovoltaicos

En este caso de aerotermia con módulos fotovoltaicos, las emisiones de kg de CO₂ se reducen considerablemente frente al caso anterior. Durante los meses que la generación de energía eléctrica supera la demanda de calefacción y ACS, las emisiones de CO₂ son nulas. Además, al igual que pasa con el consumo energético, los meses en los que la generación es menor que el consumo total las emisiones de CO₂ también se reducen. Al año se emiten solamente 142,45 kg de CO₂ con esta instalación.

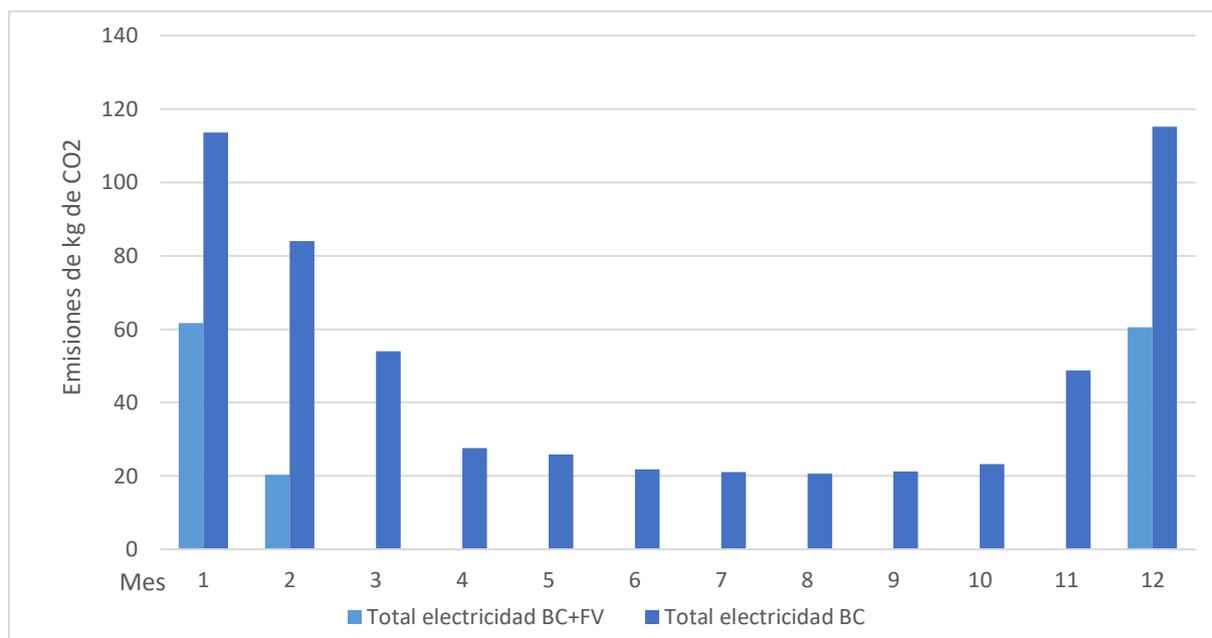


Gráfico 20: Comparativa de las emisiones de CO₂ de los casos 4 (BC+ACU) y 5 (BC+ACU+FV)

Caso 6: Caldera de gas con acumulador y un captador solar

En cuanto a la instalación de caldera de gas con acumulador y un colector solar, las emisiones de CO₂ de este sistema se ven reducidas comparando con el caso 2 (CG+ACU) donde no existe ningún colector. Esta reducción se ve sobre todo en los meses con más irradiación solar. La vivienda emite un total de 789,08 kg de CO₂ por el gas natural, de los cuales 300,12 kg son de calefacción y 488,95 kg de ACS.

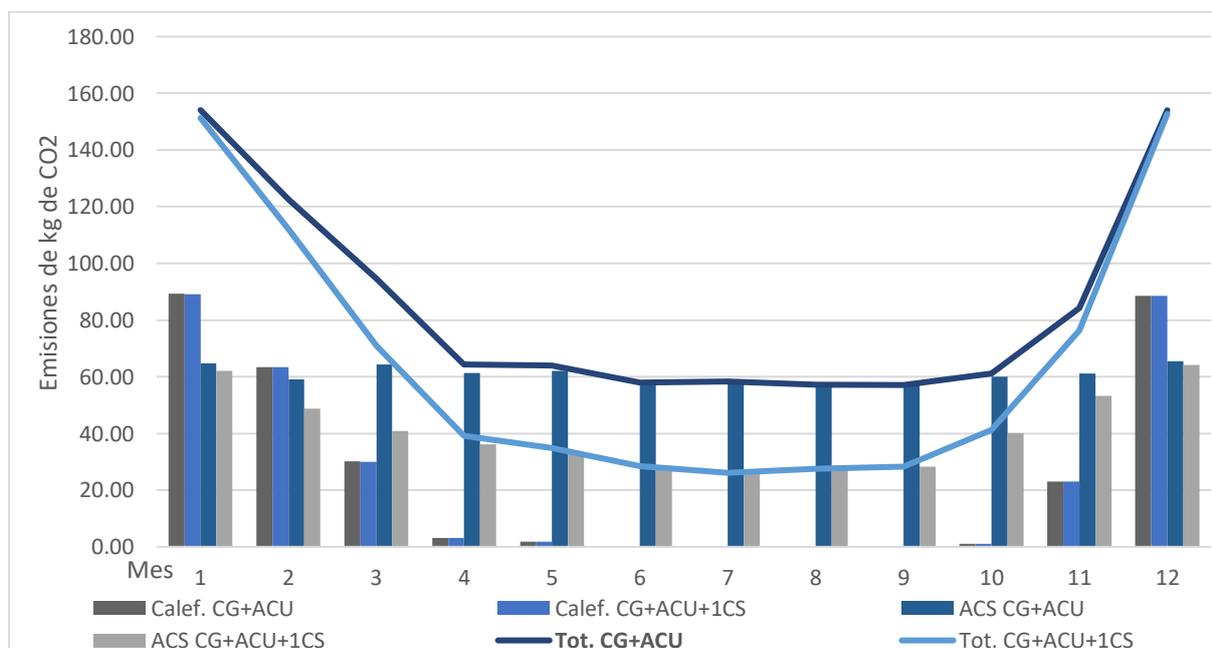


Gráfico 21: Comparativa de las emisiones de CO₂ de los casos 2 (CG+ACU) y 6 (CG+ACU+1CS)

Caso 7: Caldera de gas con acumulador y dos captadores solares

En este caso se ha hecho lo mismo que en el caso anterior, pero con dos colectores solares. Al igual que pasa con la energía, los gases de CO₂ también disminuyen, pero no hay tanta diferencia respecto al caso de un colector. La vivienda emite un total de 695,21 kg de CO₂ por el gas natural, de los cuales 300,12 kg son de calefacción y 395,08 kg de ACS.

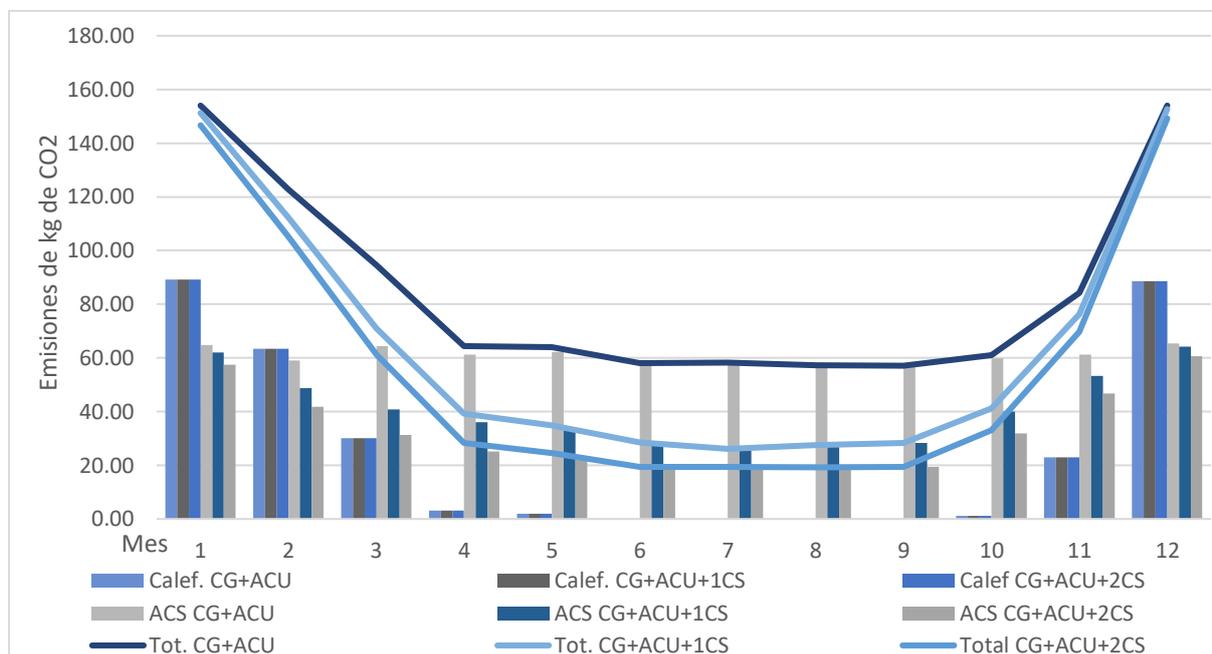


Gráfico 22: Comparativa de las emisiones de CO₂ de los casos 2 (CG+ACU), 6 (CG+ACU+1CS) y 7 (CG+ACU+2CS)

Caso 8: Caldera de pellets con acumulador y un captador solar

Por último, para el caso de la caldera de biomasa densificada o pellets con acumulador y un colector solar se puede ver que las emisiones de CO₂ de los sistemas de calefacción y ACS son muy pocas. Si bien una caldera de condensación de pellets tiene unas bajas emisiones de CO₂, la instalación de un colector solar ayuda a disminuirlos todavía más. La vivienda emite un total de 56,36 kg de CO₂ por la biomasa densificada, de los cuales 21,43 kg son de calefacción y 34,93 kg de ACS.

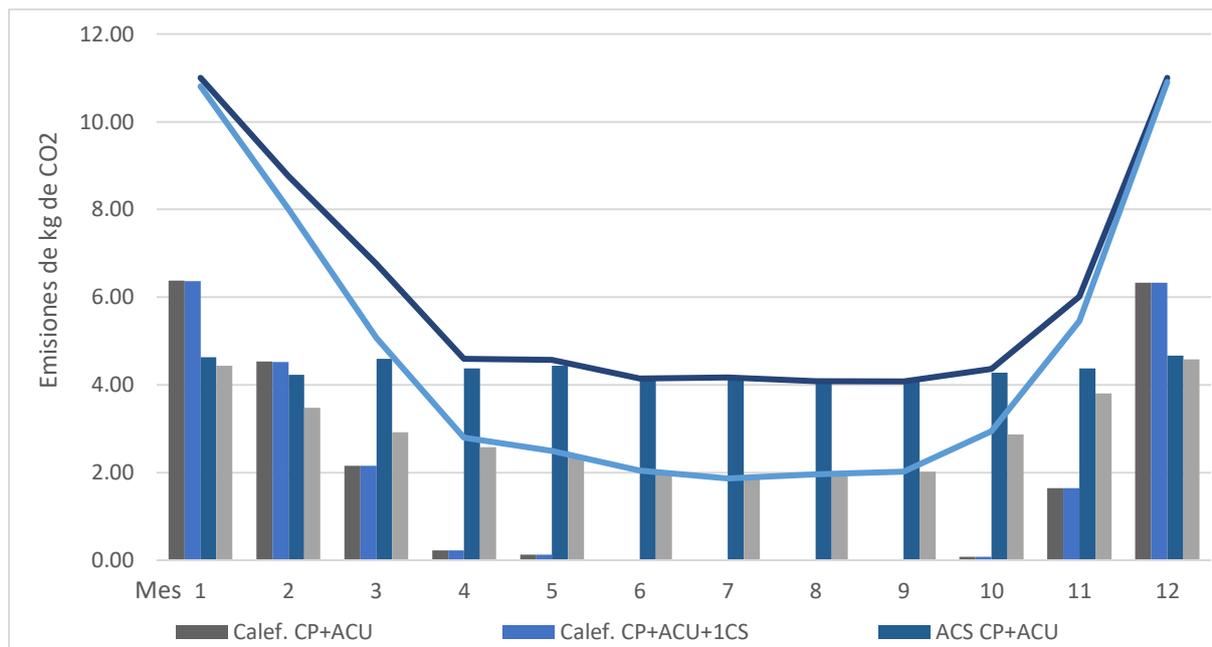


Gráfico 23: Comparativa de las emisiones de CO₂ de los casos 3 (CP+ACU) y 8 (CP+ACU+1CS)

2.4.3. Análisis comparativo

Para realizar el análisis comparativo se han tenido en cuenta otros factores como la energía primaria total o el consumo de energía primaria no renovable. En las siguientes figuras se muestran las comparaciones de todos los casos para cada factor.

A continuación, se puede ver el gráfico con la energía total mensual en todos los casos. Como se ve, los casos en los que se ha instalado la bomba de calor el consumo de energía total es menor. Se puede ver que en los casos donde se han instalado sistemas de energía solar térmica y/o fotovoltaica éstos ayudan a reducir el consumo energético. En verano, la diferencia es mucho mayor gracias a que la irradiancia solar es mayor.

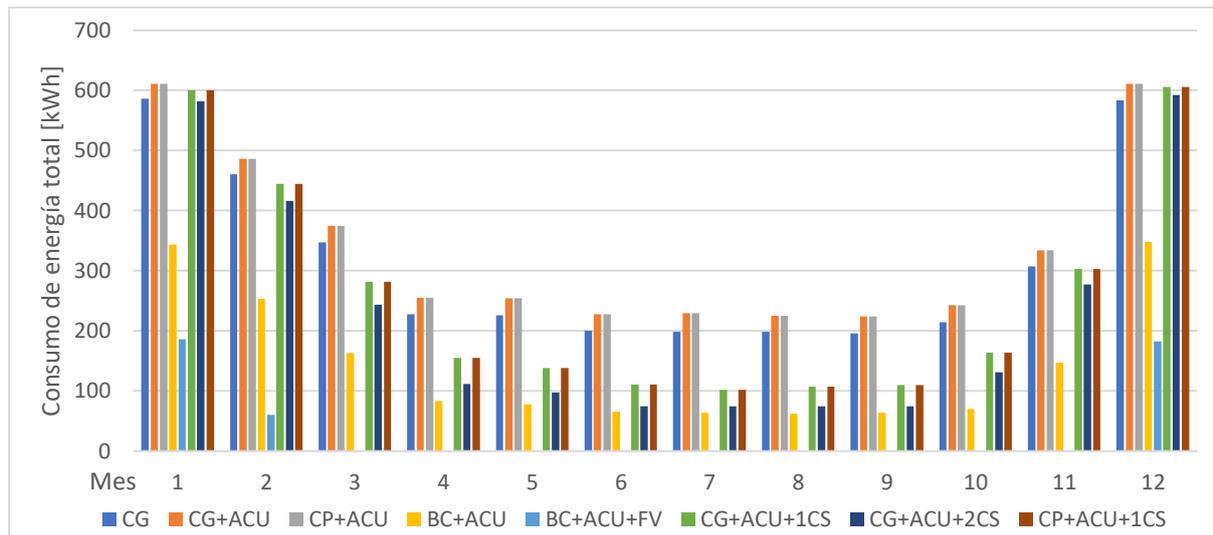


Gráfico 24: Consumo de energía total de todos los casos

A continuación, se puede ver la energía primaria para todos los casos que se han analizado. Para calcular estos parámetros se han utilizado los factores de conversión que se han mencionado anteriormente.

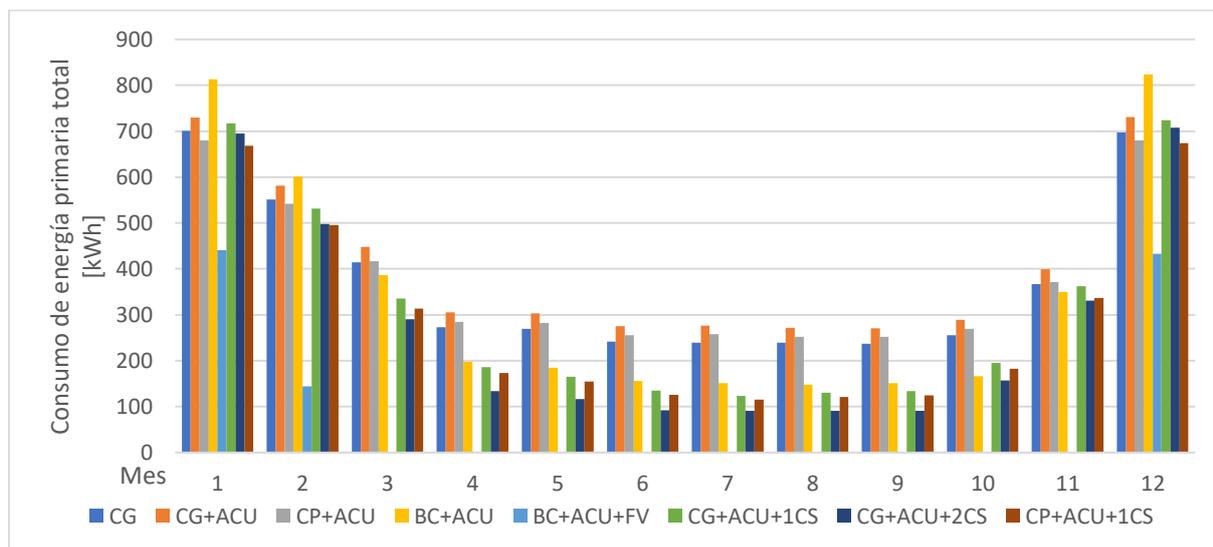


Gráfico 25: Consumo de energía primaria total de todos los casos

Por último, se ha calculado la energía primaria no renovable para todos los casos. Como se puede ver en la siguiente figura, la biomasa consume mucha menos energía no renovable que el resto de combustibles y el aporte de energía solar, tanto fotovoltaica como térmica, ayuda a reducir este consumo.

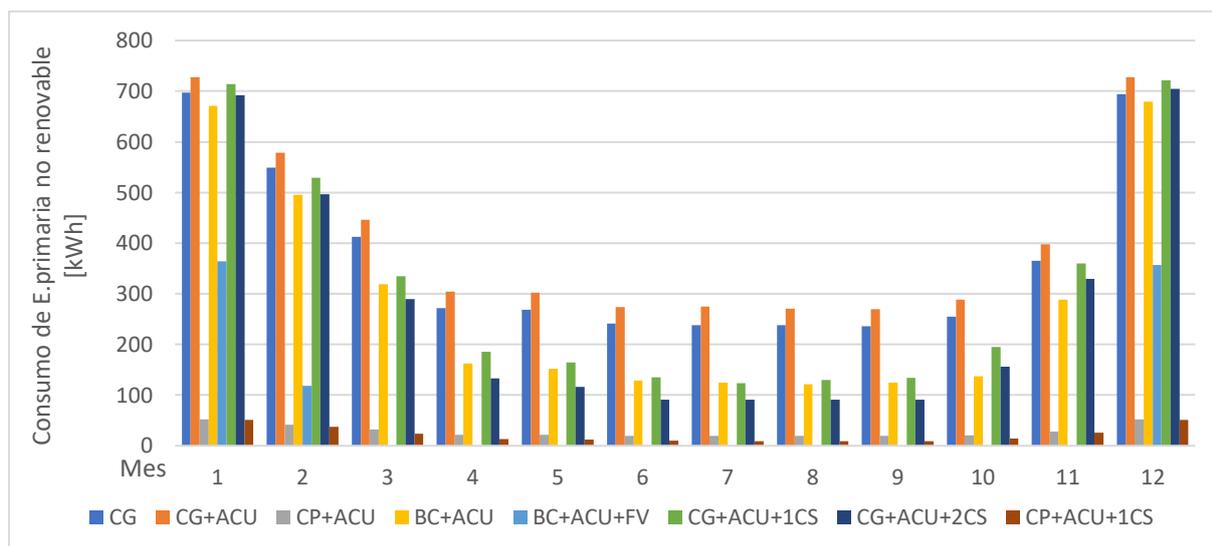


Gráfico 26: Consumo de energía primaria no renovable total de todos los casos

Para comparar todos los parámetros analizados de una forma visual y resumida, se ha creado una tabla donde se muestran datos anuales de energía y emisiones de CO₂.

	Instalación	Consumo E. Final (kWh)	Consumo E. Primaria Total (kWh)	Consumo E. P. no renovable (kWh)	Emisiones (kg CO ₂)
Caso 1	CG	3754,99	3387,21	4468,44	946,26
Caso 2	CG+ACU	4084,76	4881,29	4860,86	1029,36
Caso 3	CP+ACU	4084,76	4546,34	347,20	73,53
Caso 4	BC+ACU	1742,75	4126,83	3405,33	576,85
Caso 5	BC+ACU+FV	429,81	1017,79	839,85	142,27
Caso 6	CG+ACU+1CS	3131,27	3741,87	3726,21	789,08
Caso 7	CG+ACU+2CS	2758,75	3296,71	3282,91	395,21
Caso 8	CP+ACU+1CS	3131,27	3485,10	266,16	56,36

Tabla 22: Datos anuales de energía y emisiones de CO₂ de todos los casos

Como se puede observar en la tabla, el sistema que menos consumo de energía total tiene es el sistema del caso de la bomba de calor con acumulador y módulos fotovoltaicos. En cuanto a la energía primaria total también es el mismo caso el que menos consumo tiene. La energía solar fotovoltaica tiene un papel importante para ello, aún así si se comparan los casos sin sistemas de energía solar la bomba de calor también es el que menos energía total y primaria consume comparando con las calderas de gas y pellets.

Por otra parte, el caso en el que hay menos consumo de energía no renovable es el de caldera de pellets con un captador solar, pero sin el sistema de energía solar térmica la caldera de biomasa también es el que menos energía no renovable consume con mucha diferencia.

2.4.4. Cumplimiento del CTE

Al tratarse de una vivienda unifamiliar de nueva construcción, para garantizar unas condiciones aceptables de seguridad y habitabilidad debe seguir las especificaciones del CTE, más específicamente el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE), que busca asegurar que el confort de sus ocupantes se alcance con un uso racional de la energía en los edificios.

Como se ha explicado en el apartado de análisis del estado del arte, el DB-HE contiene varias secciones. El **DB-HE0** habla de la limitación del consumo energético y el **DB-HE1** sobre las condiciones para el control de la demanda energética. Estas dos secciones se aplican prácticamente en todos los edificios de nueva construcción, por lo que se han tenido en cuenta para este análisis.

De todas formas, como se ha mencionado anteriormente una de las condiciones que se han puesto a la hora de realizar el análisis de los diferentes casos es el cumplimiento del DB-HE1, que es el mismo en todos los casos. En la siguiente figura se muestran las condiciones de la vivienda para cumplir con el DB-HE1:

HE1 Condiciones para el control de la demanda energética

K	0,41	kWh/m ² año	K_{lim}	0,58	kWh/m ² año	Sí cumple
q_{sol,jul}	0,49	kWh/m ² año	q_{sol,jul,lim}	2,00	kWh/m ² año	Sí cumple
n₅₀	5,98	1/h	n_{50,lim}	6,00	1/h	Sí cumple

V/A	1,73	m ³ /m ²	V_{inf}	341,12	m ³
V	405,12	m ³	D_{ref}	1,73	kWh/m ² año
D_{cal}	9,36	kWh/m ² año			

- K** Coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica
- K_{lim}** Valor límite para el coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica según el apartado 3.1.1 de la sec. HE1
- q_{sol,jul}** Control solar de la envolvente térmica del edificio
- q_{sol,jul,lim}** Valor límite para el control solar de la envolvente térmica según el apartado 3.1.2 de la sección HE1
- n₅₀** Relación de cambio de aire con una presión diferencial de 50Pa
- n_{50,lim}** Valor límite para la relación de cambio de aire con una presión diferencial de 50Pa según el apartado 3.1.3 de la sección HE1
- V/A** Compacidad o relación entre el volumen encerrado por la envolvente térmica del edificio y la suma de las superficies de intercambio térmico con el aire exterior o el terreno de dicha envolvente.
- V** Volumen interior de la envolvente térmica
- V_{inf}** Volumen de los espacios interiores a la envolvente térmica para el cálculo de las infiltraciones
- D_{cal}** Demanda de calefacción
- D_{ref}** Demanda de refrigeración

Tabla 23: Condiciones de la vivienda para cumplir con el DB-HE1

El **DB-HE2** trata sobre las condiciones de las instalaciones térmicas. Esta sección busca un diseño y uso eficientes de las instalaciones térmicas que permita asegurar el confort higrotérmico y una adecuada calidad del aire haciendo un uso racional de la energía. Esta exigencia se desarrolla en el vigente Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). El programa HULC no hace cálculos en cuanto a esta sección se refiere. Al fin y al cabo, se supone que en una simulación los sistemas están cumpliendo con este reglamento, aunque en un caso real sí sería posible evaluar las condiciones de estas instalaciones. Por lo tanto, no se ha tenido en cuenta en este apartado.

El **DB-HE3** habla sobre las condiciones de las instalaciones de iluminación. La vivienda que estamos analizando estaría obligada a cumplir con este apartado, pero el objetivo de este proyecto es analizar los sistemas de calefacción y ACS por lo que no se han analizado las instalaciones de iluminación.

El **DB-HE4** trata sobre la contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de ACS. Esta sección es aplicable a todos los edificios de nueva construcción que tengan un consumo de ACS mayor al de 100 litros/día. Como el caso que se ha analizado consume 117 litros/día tiene que cumplir con esta sección.

Por último, el **DB-HE5** habla sobre la generación mínima de energía eléctrica. Este requisito se establece para edificios con uso distinto al residencial privado tanto nuevos como existentes, cuando se superen los 3000 m² construidos. Aunque los edificios de uso residencial privado no están incluidos en el ámbito de aplicación de esta sección, sí pueden necesitar producción eléctrica para cumplir los límites de consumo establecidos en la sección HE0.

Por lo tanto, este análisis se centra en los apartados HE1 (que lo cumplen todos los casos), HE0 y HE4. En la siguiente página se puede ver una tabla con el cumplimiento de HE0 y HE4 de todos los casos.

- $RER_{ACS;nrb}$: Contribución de energía procedente de fuentes renovables para el servicio de ACS.
- Cep_{nren} : Consumo de energía primaria no renovable.
- Cep_{tot} : Consumo de energía primaria total.

	Instalaciones	HE0				HE4			
			Valor	Límite	¿Cumple?		Valor	Mínimo	¿Cumple?
Caso 1	CG	Cep,nren (kWh/m ² año)	35,8	32	No	RER ACS;nrb (%)	0	60	No
		Cep,tot (kWh/m ² año)	36,2	64	Sí				
		%horas fuera consigna	3,89	4	Sí				
Caso 2	CG+ACU	Cep,nren (kWh/m ² año)	38,9	32	No	RER ACS;nrb (%)	0	60	No
		Cep,tot (kWh/m ² año)	39,3	64	Sí				
		%horas fuera consigna	3,89	4	Sí				
Caso 3	CP+ACU	Cep,nren (kWh/m ² año)	3,6	32	Sí	RER ACS;nrb (%)	92,4	60	Sí
		Cep,tot (kWh/m ² año)	36,6	64	Sí				
		%horas fuera consigna	3,89	4	Sí				
Caso 4	BC+ACU	Cep,nren (kWh/m ² año)	27,5	32	Sí	RER ACS;nrb (%)	68,2	60	Sí
		Cep,tot (kWh/m ² año)	50,1	64	Sí				
		%horas fuera consigna	3,99	4	Sí				
Caso 5	BC+ACU+FV	Cep,nren (kWh/m ² año)	6,8	32	Sí	RER ACS;nrb (%)	96	60	Sí
		Cep,tot (kWh/m ² año)	35,6	64	Sí				
		%horas fuera consigna	3,99	4	Sí				
Caso 6	CG+ACU+1CS	Cep,nren (kWh/m ² año)	30	32	Sí	RER ACS;nrb (%)	38,8	60	No
		Cep,tot (kWh/m ² año)	38,5	64	Sí				
		%horas fuera consigna	3,89	4	Sí				
Caso 7	CG+ACU+2CS	Cep,nren (kWh/m ² año)	26,6	32	Sí	RER ACS;nrb (%)	54,6	60	No
		Cep,tot (kWh/m ² año)	38,4	64	Sí				
		%horas fuera consigna	3,89	4	Sí				
Caso 8	CP+ACU+1CS	Cep,nren (kWh/m ² año)	3	32	Sí	RER ACS;nrb (%)	95,3	60	Sí
		Cep,tot (kWh/m ² año)	36,5	64	Sí				
		%horas fuera consigna	3,89	4	Sí				

Tabla 24: Cumplimiento de las secciones DB-HE0 y DB-HE4 de todos los casos

3. ASPECTOS ECONÓMICOS

3.1. COSTE INICIAL DE LAS INSTALACIONES

Para realizar el análisis económico de las diferentes instalaciones se ha hecho un estudio de mercado para saber los precios de las instalaciones analizadas. En algunas ocasiones no se ha encontrado un sistema con las mismas especificaciones que los sistemas simulados, pero se ha intentado escoger aquellos cuyas especificaciones eran parecidas a los sistemas analizados.

En la siguiente tabla se muestra el modelo y el precio de las instalaciones que se han decidido tomar como referencia en cuanto a precio.

Instalación	Modelo	Precio	Referencia
Caldera de gas	Vaillant Ecotec Pure 236	1699€	[15]
Caldera de pellets	DOMUSA Bioclass Ic 25	4069€	[16]
Aeroterminia	Inst. PackGeniaAirSplit4	7159€	[17]
Acumulador	INTERACUMULADOR MURAL VERTICAL 150 L	549€	[18]
Instalación FV	PACK ZERO+™ AONG.1P.4K.0 - XUNZEL	2890€	[19]
Colector solar	Colector solar Escosol 2800 XBA 2.8 m2	469€	[20]

Tabla 25: Coste inicial de las instalaciones

3.2. COSTE MENSUAL DE LAS INSTALACIONES

Para realizar este análisis se han calculado los costes mensuales para gas, electricidad y pellets. Cabe mencionar que con la situación económica y política que está viviendo Europa estos valores pueden variar mucho en poco tiempo. Los precios que se han tenido en cuenta son los del verano de 2022.

3.2.1. Coste mensual de la caldera de gas

Para calcular el coste mensual de la caldera de gas se ha tenido en cuenta una factura de verano de 2022 y se han adaptado los consumos de los casos que se han analizado a estos precios.

Para obtener el precio final se han hecho los siguientes cálculos:

$$\text{Coste gas natural(€)} = \text{Consumo} - \text{Descuento} + \text{Disponibilidad} + \text{Otros conceptos} + \text{Impuestos}$$

$$\text{Coste consumo (€)} = \text{Consumo de gas (kWh)} * 0.09730546(\text{€/kWh})$$

$$\text{Descuento (€)} = \text{Coste consumo(€)} * 2\%$$

$$\text{Disponibilidad} = 0,18706849 * \text{N}^\circ \text{ Días}$$

$$\text{Alquiler de equipos(€)} = \text{N}^\circ \text{ Días} * 1,02\text{€/54}$$

$$\text{Tasa de hidrocarburos(€)} = \text{Consumo de gas(kWh)} * 0,0036(\text{GJ})/0,65(\text{€/GJ})$$

$$\text{Impuestos} = \text{IVA } 21\%$$

Con estos cálculos el precio de gas es de aproximadamente 0,1424€/kWh.

En el siguiente gráfico se pueden ver los costes económicos mensuales para todos los casos en los que se ha instalado una caldera de gas. Como se puede observar el coste aumenta o disminuye dependiendo del consumo de gas.

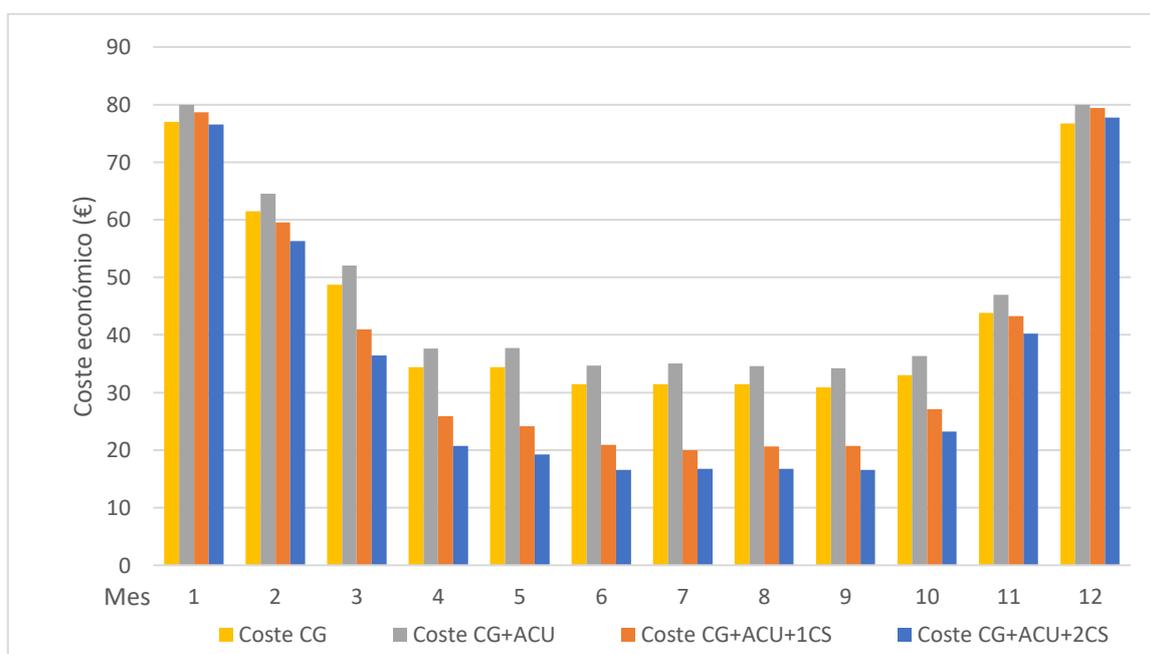


Gráfico 27: Coste económico mensual para todos los casos que contienen la caldera de gas (1, 6 y 7)

3.2.2. Coste mensual de la caldera de pellets

Por otra parte, para calcular el coste económico mensual de la caldera de pellets, se ha tenido en cuenta el precio de 357€ por 70 sacos de 15kg. Es decir, al precio de 0,34€/kg y el fabricante dice que el poder calorífico de su producto es de 4,6kWh/kg.

$$\text{Coste pellets(€)} = \frac{0,34€/kg}{4,6kWh/kg} = 0,07391304 \text{ €/kWh}$$

En el siguiente gráfico se puede ver el coste económico mensual de los casos en los que se ha instalado una caldera de biomasa densificada. Como se puede observar la instalación del captador solar ayuda a disminuir el coste mensual.

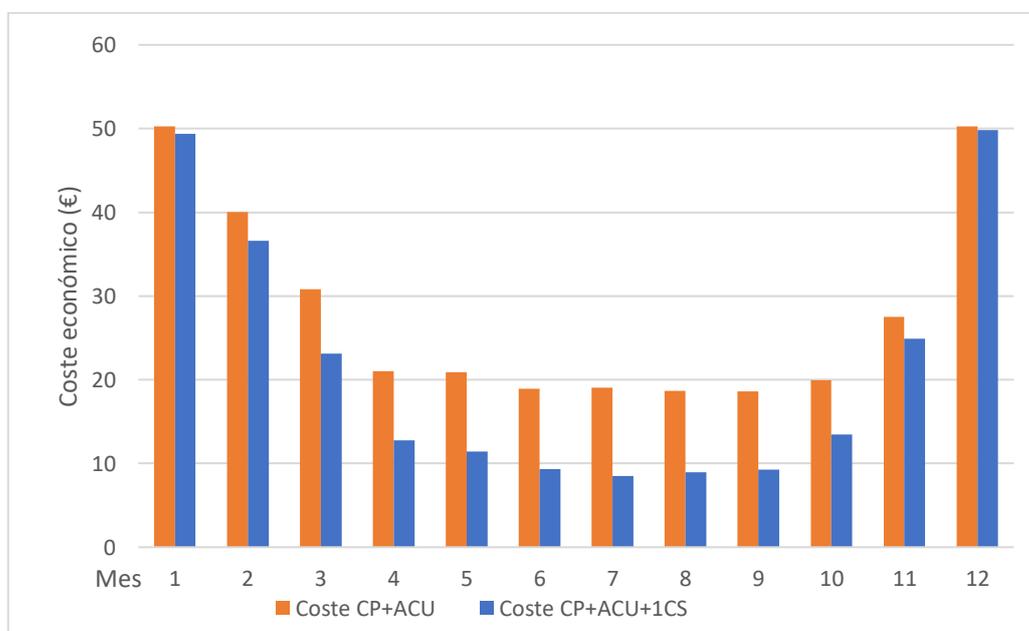


Gráfico 28: Coste económico mensual para todos los casos que contienen la caldera de biomasa densificada (caso 3 y 8)

3.2.3. Coste mensual de la bomba de calor

Por último, se ha calculado el coste económico del consumo de electricidad para los casos en los que se han instalado las bombas de calor o aerotermia. Para ello se ha decidido tomar una referencia actualizada del coste medio de 0,369€/kWh. En el siguiente gráfico se puede ver el coste económico mensual para los casos donde se ha instalado la aerotermia. Comparando con los otros casos en invierno el coste económico es

considerablemente mayor. También se puede ver que con la instalación solar muchos meses sale totalmente gratis la instalación.

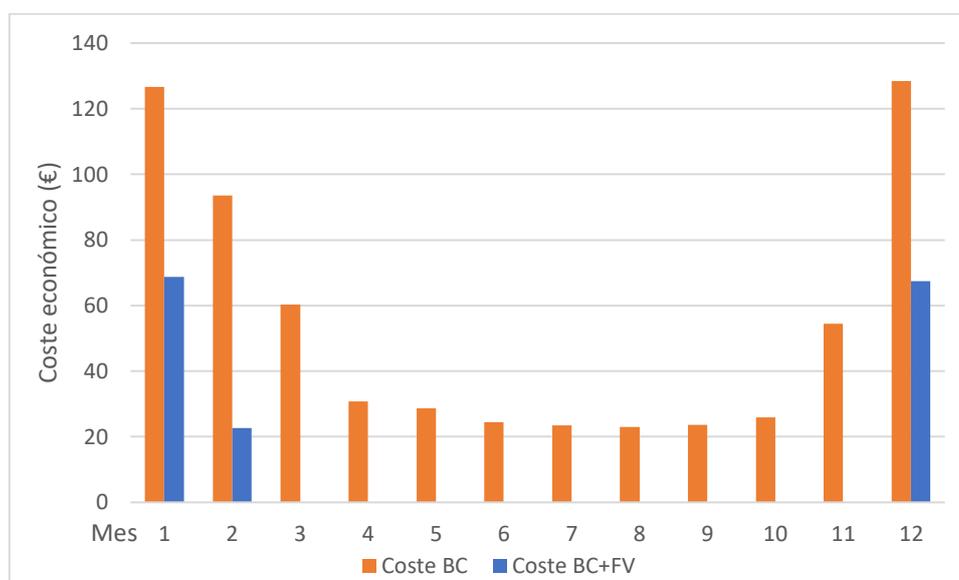


Gráfico 29: Coste económico mensual para todos los casos que contienen la bomba de calor aire-agua (caso 4 y 5)

3.3. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Para realizar el estudio económico de las instalaciones de calefacción y ACS que se han implementado y ver si la inversión inicial de dichas instalaciones es rentable, se ha tomado de referencia el sistema más convencional y con menor inversión inicial, que en este caso sería la caldera de gas sin acumulador (Caso1).

Para realizar este análisis se ha comparado la inversión inicial con el ahorro que supone la inversión durante 20 años. Teniendo en cuenta que el dinero no vale lo mismo en la actualidad que dentro de 20 años, se ha considerado el tipo de interés de los Bonos del Estado a 3 años, para actualizar los flujos monetarios durante veinte años al momento en el que se hace la inversión (año 0).

En otras palabras, se ha realizado este análisis para ver en el momento en que se hace la inversión cuál de los sistemas puede ser más rentable teniendo en cuenta la pérdida de valor del dinero.

Para ello se han tenido en cuenta los siguientes parámetros: la tasa interna de retorno y el valor actualizado neto. La tasa interna de retorno (TIR) es la rentabilidad que ofrece una

inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. Por otra parte, el valor actualizado neto (VAN) es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión. [21] [22]

Instalación	Inversión inicial	Sobrecoste de la instalación	Coste anual energía	Ahorro anual	Vida útil	Tasa interés de descuento	VAN	TIR
CG	1,699.00 €		534.86 €	-	20	-	-	-
CG+ACU	2,248.00 €	-549.00 €	573.84 €	-38.98 €	20	1,88	-1,171.79 €	-
CP+ACU	4,618.00 €	-2,919.00 €	336.03 €	198.83 €	20	1,88	363.29 €	3,14%
BC	7,159.00 €	-5,460.00 €	665.42 €	-130.56€	20	1,88	-7,479.16 €	-
BC+FV	10,049.00 €	-8,350.00 €	165.01 €	369.85 €	20	1,88	-2,190.62 €	-1,13
CG+ACU+1CS	2,717.00 €	-1,018.00 €	461.13 €	73.73 €	20	1,88	197.98 €	3,82%
CH+ACU+2CS	3,186.00 €	-1,487.00 €	417.09 €	117.77 €	20	1,88	452.68 €	4,85%
CP+ACU+1CS	5,087.00 €	-3,388.00 €	257.59 €	277.27 €	20	1,88	1,176.51 €	5,23%

Tabla 26: Análisis de rentabilidad de todos los casos analizados

El sistema que más rentabilidad ofrece es el de la caldera de biomasa densificada. Tiene una tasa interna de retorno del 5,23% y teniendo en cuenta el valor actualizado neto se ahorrarían 1176,51€ respecto al sistema de caldera de gas. La caldera de pellets también ofrece una buena rentabilidad aún sin instalar ningún captador solar, aunque el ahorro sería menor.

Por otra parte, la caldera de gas con acumulador no es una buena opción desde el punto de vista económico. Este sistema consume al año 38,98€ más que sin el acumulador, es decir, la inversión es mayor y el coste anual también. No obstante, si a la caldera de gas con acumulador se le añaden colectores solares, tanto si es uno o dos, el sistema sí que supone un ahorro.

Por último, en cuanto a la bomba de calor la subida del precio de la electricidad hace que suponga un mayor coste económico mensual respecto al caso de referencia. Además, teniendo en cuenta el alto coste inicial que supone el sistema no es rentable. Por otro lado, el mismo sistema con una instalación de energía solar fotovoltaica ofrece un ahorro mensual de 369,85€. Aun así, no se recupera la inversión realizada.

4. CONCLUSIONES

En la realización de este proyecto se han obtenido varias conclusiones que se muestran a continuación:

Por un lado, una constatación obvia pero que hay que mencionar es que el consumo energético es mayor en invierno que en verano debido al consumo de calefacción. Los sistemas captación de energía solar (solar térmica y fotovoltaica) consiguen un mayor aporte de energía en verano que en invierno debido a que la irradiancia solar es mayor.

También se ha constatado que la instalación de un acumulador al necesitar una temperatura de impulsión sanitaria de 60°C para soslayar los problemas sanitarios que pudiera ocasionar la presencia de Legionella implica un ligero aumento del consumo de energía.

Por otro lado, un sistema módulos fotovoltaicos en los meses más cálidos es capaz de abastecer completamente la demanda de ACS y calefacción si esta última fuera necesaria. Así mismo, la instalación de un colector solar supone un ahorro importante en el consumo de energía para ACS a pesar de no cubrir toda la demanda. No obstante, la instalación de un segundo colector no supone un aumento significativo del ahorro energético.

Hay que resaltar que las calderas de biomasa densificada o pellets son las que menos kg de CO₂ emiten a la atmósfera y las calderas de gas las que más emisiones producen.

La bomba de calor o aerotermia es el sistema que menos energía final consume, pero su consumo de energía primaria total es muy similar al resto. En caso de instalar una caldera de gas es obligatorio instalar sistemas de energía renovable como la solar térmica o la fotovoltaica para cumplir con los requisitos que establece el DB-HE del CTE. En el presente estudio ni con dos colectores solares se ha llegado al 60% de generación de energía mediante fuentes renovables en los casos de las instalaciones con calderas de gas. Por el contrario, la caldera de pellets y la aerotermia no necesitan ninguna instalación adicional para cumplir con la normativa.

Por último, hay que constatar que la instalación de una caldera de biomasa densificada junto con un colector solar es económicamente la mejor opción como se cree que ha quedado demostrado en el análisis de rentabilidad

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] IDAE, «Guía práctica sobre instalaciones centralizadas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) en edificios de viviendas,» 2008.
- [2] CTE, «CTE, Código Técnico de la Edificación,» [En línea]. Available: <https://www.codigotecnico.org/>.
- [3] B. Ferreras, «Emergencia energética en Euskadi: dependencia y alto consumo industrial como claves de la incertidumbre,» *ElDiario.es*, 13 agosto 2022.
- [4] «instalacionesyeficienciaenergetica.com,» [En línea]. Available: <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/calderas-de-condensacion-baja-temperatura/>.
- [5] *ocu.org*, «*ocu.org*,» 05 julio 2018. [En línea]. Available: <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/energia-renovable/noticias/microgeneracion-domestica>.
- [6] P. Espiñeira, «*caloryfrío.com*,» 06 Abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/bomba-de-calor/bomba-de-calor.html>.
- [7] IDAE, «Guía Técnica de Energía Solar Térmica,» Madrid, 2020.
- [8] CTE, «Guía de Aplicación DB-HE,» 2019.
- [9] IDAE, «Manual de usuario Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC)».
- [10] CTE, «Guía de Aplicación del DB-HE Ejemplos (I),» 2019.
- [11] «*certificadosenergeticos.com*,» 21 12 2018. [En línea]. Available: <https://www.certificadosenergeticos.com/coeficientes-de-paso-rite-energia-final-primaria-emisiones-co2>.
- [12] «*tucundco.com*,» 05 Julio 2018. [En línea]. Available: <https://www.tuandco.com/aprendeymejora/como-funciona-un-acumulador-de-agua-caliente/>.
- [13] E. Commission, «PVGIS,» [En línea]. Available: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/.
- [14] IDAE, «FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ y COEFICIENTES DE PASO A ENERGÍA PRIMARIA DE DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA FINAL CONSUMIDAS EN EL SECTOR DE EDIFICIOS EN ESPAÑA,» 2016.

- [15] L. Merlin, «Ecotec Pure 236,» [En línea]. Available: <https://www.leroymerlin.es/fp/82136702/caldera-de-condensacion-vaillant-ecotec-pure-vmw-236>.
- [16] L. Merlin, «DOMUSA Bioclass Ic 25,» [En línea]. Available: <https://www.leroymerlin.es/fp/88109748/caldera-de-pellets-domusa-bioclass-ic-25-dr-de-25-3-kw#fichaTecnica>.
- [17] L. Merlin, «PackGeniaAirSplit4,» [En línea]. Available: https://www.leroymerlin.es/fp/83051955/inst-packgeniaairsplit4-miproha4-5-os-230v-b3-ha-6-5-stb-ac-s-integrado-190I?keyword=&ds_kid=92700068915560555&ds_ag=Todas+Categorias&ds_c=L_M_Empoderar_AO_SmartShopping_Todas_Categoria/final_Google_Conversion_OMD&sour.
- [18] L. Merlin, «Interacumulador mural vertical de 150 litros,» [En línea]. Available: https://www.leroymerlin.es/fp/89078943/interacumulador-mural-vertical-de-150-litros?from=kelloo&utm_source=awin&utm_medium=afiliacion&utm_term=366479&awc=20598_1663455653_f617544d6c64541b03267a32aae1eb89.
- [19] L. Merlin, «XUNZEL ZERO+ AONG.1P.4K.0 13.680 Wh monofase,» [En línea]. Available: https://www.leroymerlin.es/fp/83006302/conjunto-solar-xunzel-zero-aong-1p-4k-0-13-680-wh-monofase?keyword=&ds_kid=92700068915556277&ds_ag=Todas+Categorias&ds_c=LM_Empoderar_AO_SmartShopping_Todas_Categoria/final_Google_Conversion_OMD&source=google&adtype=.
- [20] Todoensolar, «Colector solar Escosol 2800 XBA 2.8 m2,» [En línea]. Available: <https://www.todoensolar.com/Colector-solar-Escosol-FMAX-20-selectivo>.
- [21] A. S. Arias, «economipedia,» [En línea]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>.
- [22] V. V. Morales, «economipedia,» [En línea]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>.

