



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

**Análisis económico y energético de la
climatización de viviendas con aerotermia
frente a calderas de gas**

Autor:

Martín López, Carlos

Tutor(es):

Vélez Jaramillo, Jhon Fredy
Bujedo Nieto, Luis Ángel (CARTIF)
Dpto. Ingeniería Energética y
Fluidomecánica

Resumen

Este trabajo presenta un estudio energético y económico que compara dos de los principales sistemas de calefacción de una vivienda en climas fríos: aerotermia (nuevo), frente a calderas de gas (habitual). Se considerará el impacto ambiental y las normativas por las que se rigen ambos sistemas. El análisis se realizó sobre una vivienda siguiendo los siguientes pasos: caracterización del caso de estudio, cálculo de cargas térmicas, modelado de equipos y análisis de resultados. El análisis se apoyó en las simulaciones realizadas con módulos del software de la empresa CYPE, de uso habitual en el sector construcción, con algunas de sus funcionalidades reconocidas por el Ministerio de Energía. Se explica en detalle el funcionamiento, componentes, tipos de equipos y las ventajas/desventajas de ambos sistemas. Destaca como principal resultado que, dependiendo de diversos factores estudiados, la aerotermia no siempre es la mejor opción frente a otras tecnologías.

Palabras clave

Análisis energético, climatización, CYPE, cargas térmicas, análisis económico

ABSTRACT

This work presents an energy and economic study that compares two of the main house heating systems in cold climates: aerothermal energy (new), versus gas boilers (usual). The environmental impact and the regulations governing both systems will be considered. The analysis was carried out on a house following: characterization of the case study, calculation of thermal loads, modeling of equipment and analysis of results. The analysis was based on simulations carried out with software modules from the CYPE Company, commonly used in the construction sector, with some of its functionalities recognized by the Ministry of Energy. The operation, components, types of equipment and the advantages/disadvantages of both systems are explained in detail. It stands out as the main result that, depending on various factors studied, aerothermal energy is not always the best option compared to other technologies.

Key words

Energy analysis, air conditioning, CYPE, thermal loads, economic analysis

Contenido

| | |
|--|----|
| 0. Introducción | 11 |
| 1. Objeto de estudio..... | 13 |
| 1.1 La energía en la actualidad | 13 |
| 1.2 Historia de las normativas | 16 |
| 2. Tecnologías a analizar | 19 |
| 2.1 Aerotermia | 19 |
| 2.1.1 Componentes | 19 |
| 2.1.2 Funcionamiento | 20 |
| 2.1.3 Tipos de bombas de calor | 23 |
| 2.1.4 Ventajas e inconvenientes | 25 |
| 2.2 Calderas de gas | 29 |
| 2.2.1 Componentes | 29 |
| 2.2.2 Funcionamiento | 31 |
| 2.2.3 Tipos de calderas de gas | 34 |
| 2.2.4 Ventajas e inconvenientes | 36 |
| 2.3 Otras tecnologías a analizar | 38 |
| 2.3.1 Paneles solares | 38 |
| 2.3.2 Radiadores | 40 |
| 2.3.3 Suelo radiante | 42 |
| 3. Descripción del caso de estudio..... | 45 |
| 3.1 Datos básicos y procedimiento de estudio..... | 45 |
| 3.1.1 Confort térmico..... | 46 |
| 3.1.2 Humedad | 46 |
| 3.1.3 Temperatura de bulbo seco | 47 |
| 3.2 Cargas sensibles y latentes por ventilación e infiltraciones | 47 |
| 3.3 Cargas por transmisión térmica a través de cerramientos | 49 |
| 3.4 Otros aspectos relativos a las cargas | 51 |
| 3.4.1 Sombras..... | 51 |
| 3.4.2 Cargas por radiación..... | 52 |
| 3.4.3 Cargas por iluminación y ocupación | 52 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4. | Cálculos y resultados..... | 53 |
| 4.1 | Cálculo de cargas térmicas..... | 53 |
| 4.1.1 | Ejemplo cálculo cargas térmicas a través de ventilación e infiltraciones..... | 53 |
| 4.1.2 | Ejemplo cálculo cargas térmicas a través de cerramientos | 56 |
| 4.2 | Interpretación de resultados | 59 |
| 4.3 | Elección de los equipos de calefacción | 62 |
| 4.3.1 | Demanda térmica mensual y coste energético | 62 |
| 4.3.2 | Presupuestos y datos técnicos de los equipos | 63 |
| 4.3.3 | Placas fotovoltaicas | 66 |
| 4.4 | Análisis económico y energético | 67 |
| 4.4.1 | Caso 1: Precios de energía medio (0,182 €kWh electricidad y 0,0558 €kWh gas) 55°C sin placas solares (PV). | 68 |
| 4.4.2 | Caso 2: Precios de energía (0,202 €kWh electricidad y 0,0717 €kWh gas) 55°C sin placas fotovoltaicas (PV)..... | 69 |
| 4.4.3 | Caso 3: Precios de energía (0,141 €kWh electricidad y 0,0717 €kWh gas) 55°C sin placas fotovoltaicas (PV)..... | 70 |
| 4.4.4 | Caso 4: Precios de energía (0,202 €kWh electricidad y 0,0558 €kWh gas) 35°C sin placas fotovoltaicas (PV)..... | 71 |
| 4.4.5 | Caso 5: Precio de energía (0,1413€kWh electricidad y 0,0717 €kWh gas) 35°C sin placas fotovoltaicas (PV)..... | 72 |
| 4.4.6 | Caso 6 Precio de energía medio (0,182 €kWh electricidad y 0,055 €kWh gas) 55°C con placas fotovoltaicas Octopus (PV) + subvención. | 73 |
| 4.4.7 | Caso 7: Precio de la energía medio (0,182 €kWh electricidad y 0,055 €kWh gas) 35°C con placas fotovoltaicas Octopus (PV) sin subvención. | 74 |
| 5. | Conclusiones y líneas futuras | 75 |
| 5.1 | Conclusiones..... | 75 |
| 5.2 | Líneas futuras..... | 76 |
| 6. | Bibliografía | 79 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1: Distribución de los sistemas de calefacción (%) en función de la zona climática [4]..... | 12 |
| Figura 2: Distribución de las provincias según zonas climáticas [4] | 12 |
| Figura 3: Número de equipos según su fuente térmica [2] | 12 |
| Figura 4: Estructura de generación [2]..... | 14 |
| Figura 5: Red de transporte [7]..... | 14 |
| Figura 6: Seguimiento de la demanda de energía eléctrica [6] | 15 |
| Figura 7: Representación de un ciclo simple de compresión [19]..... | 20 |
| Figura 8: Diagrama de funcionamiento de un fan coil [20]..... | 21 |
| Figura 9: Ciclo frigorífico real [19]..... | 21 |
| Figura 10: Bomba de calor reversible aire-agua (con fan coil de pared) [22]. | 22 |
| Figura 11: Esquema básico aerotermia [24] | 23 |
| Figura 12: Esquema proceso aire acondicionado convencional [22]..... | 23 |
| Figura 13: Gráfica temperatura (°C) vs profundidad (m) [25] | 24 |
| Figura 14: Emisiones de CO ₂ en función del tipo de refrigerantes [27] | 25 |
| Figura 15: Precios de la energía de los combustibles propuestos por CE3X .. | 27 |
| Figura 16: Rendimiento de la aerotermia en función de la temperatura del agua | 27 |
| Figura 17: Evolución de la producción bruta total por tecnología (GWh) [29] | 28 |
| Figura 18: Desglose de la producción bruta total (GWh) [29] | 28 |
| Figura 19: Componentes de una caldera de gas [30]..... | 30 |
| Figura 20: Esquema de una instalación de una caldera de gas [35] | 32 |
| Figura 21: Rendimientos en función del tipo de caldera [35]..... | 33 |
| Figura 22: Rendimientos mínimos de calderas según 92/42/CEE [36] | 33 |
| Figura 23: Calderas de gas según la ubicación de toma de aire para la combustión [38]..... | 34 |
| Figura 24: Clases de caldera de baja emisión [38]..... | 35 |
| Figura 25: Calderas de gas según el RD 275/1995 [38]..... | 35 |
| Figura 26: Emisiones en función del tipo de caldera [35] | 36 |
| Figura 27: Mapa de infraestructuras en España [40]..... | 36 |
| Figura 28: Esquema de funcionamiento de un panel solar térmico [44]..... | 38 |
| Figura 29: Esquema de funcionamiento de los paneles solares fotovoltaicos [46]..... | 39 |
| Figura 30: Curvas de funcionamiento de los módulos fotovoltaicos | 39 |
| Figura 31: Radiadores de alta temperatura de hierro fundido [35]..... | 40 |
| Figura 32: Radiadores de aluminio [35] | 40 |
| Figura 33: Radiadores tubulares [35] | 41 |
| Figura 34: Esquema funcionamiento radiadores [47] | 41 |
| Figura 35: Instalación de suelo radiante en vivienda [48] | 42 |

| | |
|--|----|
| Figura 36: Detalle constructivo suelo radiante [49]..... | 43 |
| Figura 37: Zonas climáticas España [56]..... | 50 |
| Figura 38: Valores de los coeficientes de útiles de transmisión térmica de los cerramientos [56] | 51 |
| Figura 39: Valores de los coeficientes de útiles de transmisión térmica de los cerramientos propuestos por CE3X | 51 |
| Figura 40: Diagrama psicrométrico sensible interior | 54 |
| Figura 41: Diagrama psicrométrico latente interior | 54 |
| Figura 42: Diagrama psicrométrico sensible exterior | 55 |
| Figura 43: Diagrama psicrométrico latente exterior..... | 55 |
| Figura 44: Plano del salón de la vivienda | 58 |
| Figura 45: Carga máxima de calefacción (14894 W)..... | 61 |
| Figura 46: Desglose de la carga máxima de calefacción en el salón | 61 |
| Figura 47: Valores de COP en función de la temperatura exterior del aire y de impulsión del agua en los equipos de Mitsubishi Electric | 64 |
| Figura 48: Amortización relación precios 3,26 y COP 3 | 68 |
| Figura 49: Amortización relación precios 2,82 y COP 3 | 69 |
| Figura 50: Amortización relación precios 1,97 y COP 3 | 70 |
| Figura 51: Amortización relación precios 3,6 y COP 4,5 | 71 |
| Figura 52: Amortización relación precios 1,97 y COP 4,5..... | 72 |
| Figura 53: Amortización precios medios y COP 2,9 con placas fotovoltaicas . | 73 |
| Figura 54: Amortización precios medios y COP 4,5..... | 74 |

Lista de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Velocidades del aire 1991-2020 [53] | 48 |
| Tabla 2: Valores caudal aire en función del tipo de recinto..... | 49 |
| Tabla 3: Transmitancia térmica de diferentes elementos | 51 |
| Tabla 4: Resumen de las cargas de calefacción de la zona: Zona 1 | 60 |
| Tabla 5: Demanda energética mensual | 62 |
| Tabla 6: Precios de la energía | 63 |
| Tabla 7: Presupuestos y datos técnicos en aerotermia | 65 |
| Tabla 8: Presupuestos y datos técnicos en calderas de gas | 65 |
| Tabla 9: Generación de energía eléctrica con placas fotovoltaicas | 66 |

0.Introducción

Actualmente se está hablando en gran medida de las bombas de calor gracias a los medios de comunicación o a través de los anuncios de las compañías energéticas, lo que ha movido a la sociedad hacia un nuevo cambio energético en todo tipo de climas. Se están realizando estudios de dichos equipos y se dice que son la tecnología del futuro con las cuales se tiene pensado aumentar la energía renovable producida en España de 629ktep en 2020 a 3523ktep en 2023 [1].

La mayoría de los medios hablan de los altísimos rendimientos que presentan las bombas de calor los cuales se encuentran en rangos de COP de 3 a 4 [2] lo cual es muy eficiente si lo comparamos con las calderas gas estándar o incluso con calderas de condensación las cuales tienen rendimientos máximos de 80% (sobre PCI) o 109% (sobre PCI) respectivamente [3], teniendo en cuenta que en un caso se están comparando energía térmica y energía eléctrica, lo cual no es del todo exacto, sin embargo, para poder estar seguros de la viabilidad económica y la sostenibilidad energética de los equipos, se deben tener en cuenta los precios de la energía, el coste de instalación, el coste de mantenimiento, la situación geográfica...

Se han elegido los sistemas de climatización con caldera de gas y con aerotermia por ser los equipos más utilizados para climatizar viviendas actualmente de forma mayoritaria en climas fríos. En la Figura 1 podemos encontrar datos publicados por el IDAE en los que se aprecia, para las diferentes zonas climáticas (Figura 2), que las bombas de calor reversibles y las calderas de gas son las claras ganadoras a la hora de climatizar una vivienda según la zona climática. Debemos tener en cuenta que la gran mayoría de edificios usan una combinación de dichos sistemas, tales como Calderas de gas-Radiadores, Bomba de calor reversible-Radiador-Panel solar o intercalando suelo radiante en lugar de radiadores de baja temperatura. Un punto muy interesante que podemos observar se encuentra en el diagrama de barras correspondiente a la bomba de calor reversible y a los paneles fotovoltaicas de la Figura 1, ya que como podemos ver, representan un porcentaje mucho más elevado en la zona Mediterránea que en zona Continental o Atlántico-Norte debido a que este primero tiene un clima cálido durante la mayor parte del año. Viendo esto y las dos primeras barras correspondientes a las calderas de gas, podemos intuir que para climas fríos se usan calderas de gas (generalmente) y en climas cálidos se usan bombas de calor (en general), dato que explicaremos en los capítulos siguientes.

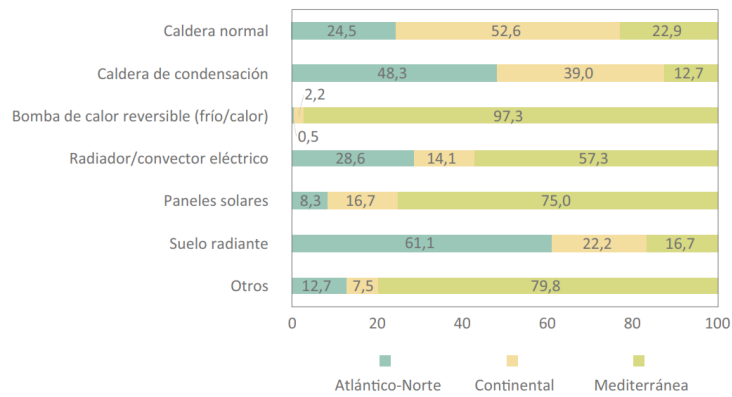


Figura 1: Distribución de los sistemas de calefacción (%) en función de la zona climática [4]



Figura 2: Distribución de las provincias según zonas climáticas [4]

En la Figura 1 se hablaba de bombas de calor reversibles entre las cuales se encuentra la aerotermia. Estudiaremos principalmente la aerotermia ya que como se ve en la Figura 3, representa casi el 78% de las instalaciones por bomba de calor.

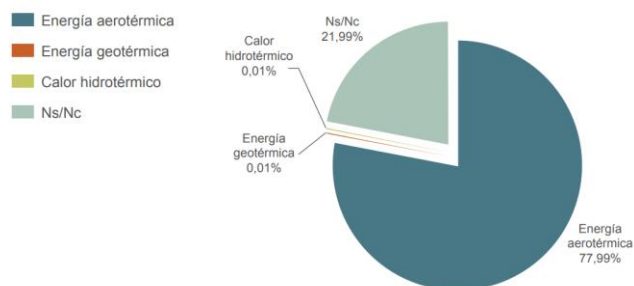


Figura 3: Número de equipos según su fuente térmica [2]

1. Objeto de estudio

El objeto de estudio de este trabajo trata de analizar la viabilidad económica y energética de la aerotermia frente a las calderas de gas teniendo en cuenta gran parte de las variables que influyen en la decisión.

1.1 La energía en la actualidad

No cabe ninguna duda de que la energía, principalmente la energía eléctrica, es uno de los bienes más preciados del planeta ya que la gran mayoría de los instrumentos ofertados en el mercado necesitan de energía para poder cumplir las funciones para las que han sido diseñados. Esto podemos verlo perfectamente en la vida cotidiana y es que, la mayoría de los dispositivos electrónicos que tenemos en casa, alumbrado público, motores, bombas hidráulicas y una cantidad enorme de equipos dependen total o parcialmente de la energía eléctrica. Esto ha hecho que exista una gran dependencia a la electricidad.

En los últimos años la energía ha sufrido grandes cambios en tres aspectos principales: generación, transporte y almacenamiento. Como podemos ver en la actualidad, hemos podido solucionar los dos primeros asuntos con un nivel moderado de eficiencia, sin embargo, el tercero es algo más complicado de tratar. Para ponernos en contexto y para abarcar este análisis energético debemos entender a rasgos generales la importancia de los tres aspectos anteriormente mencionados:

- La generación conlleva numerosas e ingeniosas formas de obtención de energía, ya sea mediante el uso de la velocidad del viento (energía eólica), mediante el uso del calor acumulado bajo la superficie de la Tierra (geotermia), mediante la quema de carbón... Como podemos ver hay multitud de formas de obtener energía, sin embargo, sufren cambios constantes debido a la aparición de nuevas normativas, escasez de materias primas... Por ejemplo, el uso del carbón puede tener numerosas ventajas tales como su seguridad, su abundancia o su competitividad económica [5], sin embargo, está siendo expuesto a normativas cada vez más exigentes para reducir gases de efecto invernadero, por lo que debemos encontrar alternativas a este método de producción de energía como, por ejemplo, las energías renovables. En la Figura 4 podemos ver que las nuevas normativas energéticas han surtido efecto para aumentar la energía generada mediante fuentes renovables (63,52%) y, aunque sea una gráfica del 17/05/2023 a las 21:00h, generalmente para el resto de los días del año no disminuye ese porcentaje por debajo de 50% [6]:

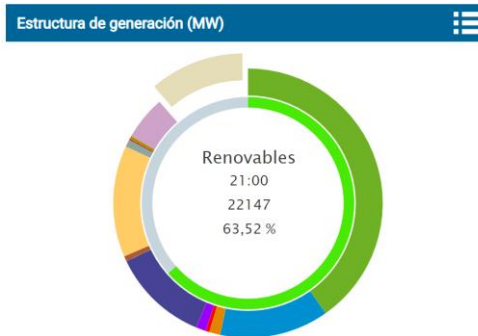


Figura 4: Estructura de generación [2]

- El transporte de energía no es tan sencillo como podría llegar a parecer ya que, por ejemplo, el transporte de electricidad se realiza mediante el conjunto de instalaciones de propiedad de REE que forman una “red neuronal” bastante compleja. En la Figura 5 podemos ver un esquema del transporte de electricidad.

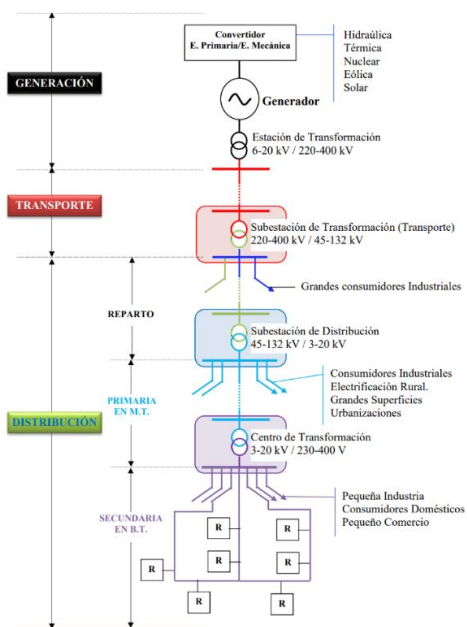


Figura 5: Red de transporte [7]

El calor perdido en el transporte está relacionado con el cuadrado de la intensidad de la forma que podemos ver en la ecuación 1:

$$Q = I^2 * t * R \quad (\text{Ec. 1})$$

Sabido esto es fácil deducir que para reducir pérdidas de calor podemos reducir el término de la intensidad aumentando el voltaje para así mantener la misma potencia transportada. Esta es la razón de la existencia de las líneas de transporte de alto voltaje, donde podemos ver que a mayor distancia de transporte mayor es el voltaje con el fin de reducir las pérdidas.

- El almacenamiento a gran escala es la operación más complicada de las tres. Cualquier persona podría pensar que se podría almacenar con algún tipo de batería especial, sin embargo, si se construye actualmente una batería para almacenar cantidades de energía tan grandes tendríamos una capacidad de almacenaje, unas dimensiones o un rendimiento excesivamente malos. Para mitigar este problema se ha optado por una solución un tanto radical, no almacenar dicha energía. Esto mismo es lo que hace Red Eléctrica Española (REE) tal como podemos ver en la Figura 6 :

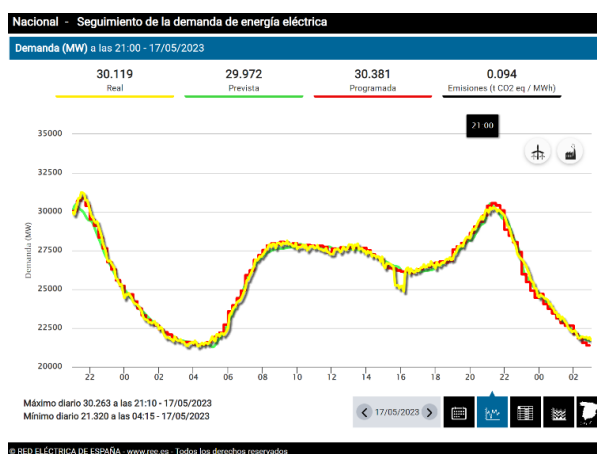


Figura 6: Seguimiento de la demanda de energía eléctrica [6]

En dicha figura podemos ver cómo REE realiza previsiones de demanda según factores tales como festividades, climatología o actividad económica. Podemos ver que la curva de previsiones (curva verde) se adapta bastante bien a la demanda real (curva amarilla) del día 17 de Mayo de 2023 a las 21:00h utilizando 36,48% de energías no renovables por lo que, 63,52% son energías renovables. Las formas que existen de “almacenar energía eléctrica a gran escala” son caras y algunas de ellas con periodos de vida cortos, basándose en hacer transformaciones químicas, mecánicas, térmicas... Estos procesos tienen rendimientos excesivamente malos.

Por estas tres razones añadido al coste económico que conllevan dichos procesos, hace que el tratamiento de las energías sea un asunto muy complicado de regular y de llevar a cabo satisfactoriamente, por lo que, se han ido creando normativas año tras año para poder tener el máximo control posible.

1.2 Historia de las normativas

Con toda esta demanda del mercado energético los países y, sobre todo la unión europea, han ido consolidando a lo largo de los años diferentes tipos de normativas para poder regular este mercado. Por ejemplo, en el ámbito inmobiliario la aplicación de nuevas normativas en el sector energético dictadas por las directivas europeas ha hecho que la construcción de edificios esté completamente condicionada por una serie de requerimientos.

Para poder ponernos en contexto y poner en contexto legislativo el presente trabajo, debemos introducir algunas de las exigencias energéticas más influyentes impuestas por las normativas y su influencia en el estudio realizado y los valores de referencia a adoptar. A continuación, se nombran algunas de ellas ordenadas por orden cronológico:

- En diciembre de 1988 se acordó que deberían diseñarse los equipos de calefacción, refrigeración y ventilación de forma que la energía necesitada para su uso fuese reducida en el ámbito de la construcción [8].
- En septiembre de 1993 gracias al perfeccionamiento de la eficacia energética se limitaron las emisiones de gases de CO_2 . Esto se consiguió con un Software Avanzado de Verificación Energética (SAVE). En la directiva, se establecen a mayores ideas complementarias para la determinación de la eficiencia energética, tales como realizar auditorías energéticas o realizar inspecciones periódicas en calderas [9].
- En 1997 se creó el protocolo Kioto, el cual tenía como finalidad que entre todos los países pertenecientes al protocolo sumaran un recorte total de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de al menos el 5% de media con respecto a los niveles de 1990-1995 en el primer periodo de compromiso de 2008-2012. El segundo periodo de compromiso sería de 2013-2020 y cada país debería adoptar las políticas y las medidas necesarias para conseguir una reducción media del 18% en gases de efecto invernadero con respecto a los niveles de 1990-1995 [10]. Dichos gases perjudiciales para el efecto invernadero son CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC , PFC y SF_6 .
- Para poder seguir con satisfacción el protocolo Kioto, el 16 de diciembre de 2002 se creó una nueva directiva para crear una metodología de cálculo de la eficiencia energética de edificios [11]. Esta directiva hizo que se creara un compromiso con los estados miembros para reducir las emisiones de GEI y mejorar la eficiencia energética de edificios mediante la imposición de requisitos energéticos a edificios de nueva construcción o a edificios con grandes obras de renovación.

- El 19 de enero de 2007 se diseñan procedimientos para la certificación energética de edificios acabados o en fase de proyecto. Este documento deroga al documento anterior (Directiva 2002/91/CE), por lo que, a partir de ese instante, únicamente el documento R.D. 47/2007 se considera como válido para determinar la metodología de cálculo [12]
- En diciembre de 2019 se aprueba el R.D. 732/2019, un documento que modifica el Código Técnico de la Edificación (CTE) [13]. Dicho CTE fue aprobado por el Real Decreto el 17 de marzo de 2006 [14] y con él se crea un *“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)”* [15]. En el documento de 2019 podemos apreciar aumentos de las exigencias para poder adaptarnos a los acuerdos que se tienen con la Unión Europea. Esto lo consiguen añadiendo nuevas exigencias básicas (HS6 y HEO) y modificando los documentos básicos (DB) ya existentes tales como HE1, HE2, HE3, HE4, HE5.

Como hemos podido ver, existen normativas que modifican y aumentan las exigencias de las ya existentes o incluso se crean nuevos acuerdos al paso del tiempo y la mejora tecnológica de los equipos. Con todo esto podemos sacar conclusiones rápidamente, y es que, todas estas exigencias están altamente ligadas con: la reducción de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), la mejora de la eficiencia energética y la optimización de procesos...

Como podemos apreciar, el asunto energético está en constante cambio y es que, el desarrollo acelerado de nuevas tecnologías hace que las tecnologías antiguas se queden atrás, por lo que se deben crear normativas para adaptar los niveles de emisiones y eficiencia de dichos equipos a los límites que marcan las nuevas técnicas. Un gran problema en este sector es la cantidad de variables que entran en juego a la hora de buscar un método de climatización óptimo, tales como condiciones climatológicas, situación geográfica, cultura, nivel de asilamientos, orientación, equipos de climatización, necesidades personales, gustos personales...

Esta gran cantidad de variables, principalmente del ámbito inmobiliario, hace que sea casi imposible actualmente tener un único sistema de climatización que sea óptimo para abarcar todas las posibles situaciones.

2. Tecnologías a analizar

En este apartado trataremos de explicar los conceptos básicos de las diferentes tecnologías que vamos a estudiar en este trabajo. Trataremos en profundidad las partes principales del estudio como pueden llegar a ser la aerotermia y las calderas de gas y para finalizar trataremos de forma más general el resto de las tecnologías tales como paneles solares, radiadores de alta temperatura y suelo radiante.

2.1 Aerotermia

La aerotermia es un tipo de bomba de calor aire-agua que sirve como sistema de climatización. Funciona mediante energía eléctrica siguiendo un proceso de expansión directa con el que se consigue aportar o extraer energía térmica de una determinada estancia. Según [16] la aerotermia aprovecha *“la energía térmica presente de manera natural y la energía acumulada en un ambiente confinado, que puede almacenarse en el aire ambiente (excluido el aire de salida) o en las aguas superficiales o residuales”* por lo que se trata de una forma de climatización renovable. Cabe aclarar que dentro de las bombas de calor se encuentra la aerotermia, la geotermia, la hidrotérmia...

2.1.1 Componentes

Antes de hablar de su principio de funcionamiento debemos explicar sus componentes principales:

- **Compresor:** Es el componente principal de la instalación. Este componente es el principal culpable del precio y de la potencia final de la instalación. Este elemento sirve para aumentar la presión de un fluido caloportador (en estado gaseoso) por lo que, según ley de gases ideales, también aumenta su temperatura.
- **Condensadores y evaporadores:** “Son sistemas que permiten el intercambio de calor entre el refrigerante y el medio que se pretende calentar y/o enfriar” [17]. Según la función que se quiera cumplir, calefactar o refrigerar, se ponen dentro o fuera de la estancia de una forma que comentaremos más adelante.
- **Refrigerante:** Es el fluido que circula por el circuito cerrado. Este fluido tiene muy buenas propiedades térmicas y es el encargado de intercambiar energía con el ambiente mediante cambio de fase en el condensador y en el evaporador [17].
- **Válvula de expansión:** Esta válvula sirve para reducir la presión del refrigerante y con ello su temperatura.

2.1.2 Funcionamiento

El proceso de expansión directa es un método que aprovecha el cambio de estado de vaporización de un fluido mediante la compresión de un fluido para intercambiar calor [18]. Para ayudarnos en la explicación podemos ver el ciclo de expansión directa de forma teórica en la Figura 7 (compresión isoentrópica, expansión isoentálpica y sin pérdidas de carga). Vamos a explicar el proceso de expansión directa suponiendo que queremos refrigerar la habitación de una vivienda mediante aerotermia:

- En el tramo 1-2 el refrigerante se pasa por el compresor el cuál realiza una compresión no isoentrópica que aumenta la presión y la temperatura del refrigerante en estado gaseoso. La temperatura de salida del compresor es superior a la exterior.
- En el tramo 2-3 el refrigerante pasa por el condensador cuya función es hacer que el refrigerante reduzca la temperatura a presión “constante”. Esto se consigue generalmente instando el condensador fuera de la vivienda y haciendo que el refrigerante intercambie calor con el aire del exterior, el cual está a una temperatura menor que el refrigerante. En este tramo el refrigerante pasa de estado gaseoso a estado líquido
- En el tramo 3-4 se produce una expansión no isoentálpica del fluido refrigerante por lo que se reduce su presión considerablemente. Según [23] esta reducción de la presión tan drástica hace que se reduzca también la temperatura del fluido refrigerante por debajo de la temperatura interior.

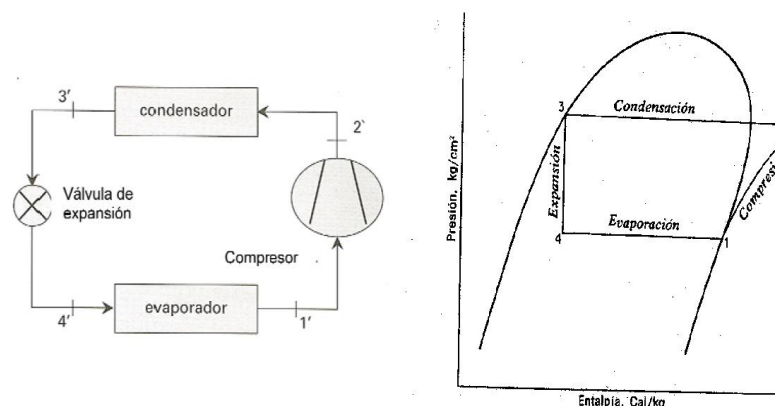


Figura 7: Representación de un ciclo simple de compresión [19]

- En el tramo 4-1 se produce un intercambio térmico entre el fluido refrigerante y el agua del circuito de la vivienda. Este agua pasaría por un fan coil (Figura 8) el cual, mediante un ventilador para favorecer la convección, enfriaría la estancia al hacer que el agua de las tuberías intercambie calor con el aire del interior de la habitación.

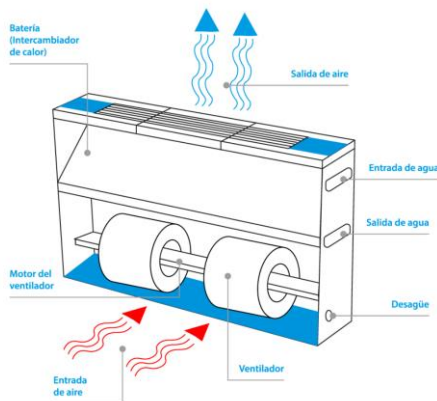


Figura 8: Diagrama de funcionamiento de un fan coil [20]

En la Figura 9 podemos ver el ciclo de refrigeración real donde se añaden pérdidas de cargas y rendimientos.

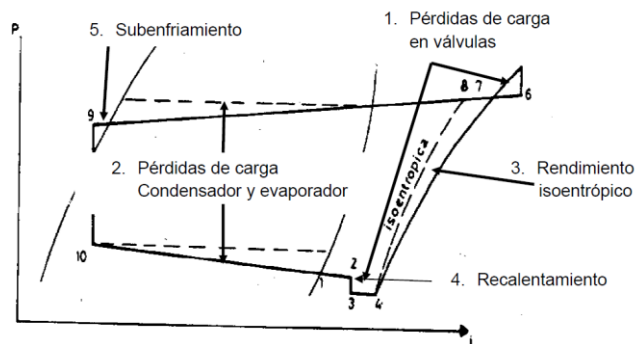


Figura 9: Ciclo frigorífico real [19]

Cabe recalcar que el aire de la estancia en contacto con las tuberías que portan el fluido refrigerante se condensa por lo que es necesario añadir sistemas de recogida de agua condensada en los equipos. Como dijimos anteriormente, pusimos el ejemplo de refrigeración en una vivienda, pero si queremos estudiar el caso de calefacción, únicamente hay que invertir el ciclo termodinámico mediante una válvula de 4 vías con lo que se consigue que el evaporador y el condensador intercambien funciones, tal como podemos ver en la Figura 10. Hemos explicado la bomba de calor aire-agua en modo refrigeración, sin embargo, para el modo calefacción usamos el mismo concepto con una pequeña excepción, la forma de intercambio, y es que, ahora se utilizarán radiadores, suelo radiante... Para poder utilizar aerotermia con radiadores convencionales o de alta temperatura suele ser necesario el uso de dos compresores para elevar la temperatura hasta los 60°C como máximo que debería portar el circuito [21].

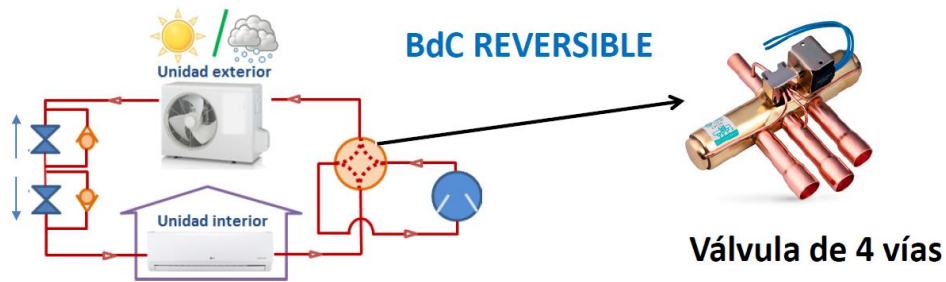


Figura 10: Bomba de calor reversible aire-agua (con fan coil de pared) [22]

Para el estudio de su rendimiento se tiene en cuenta varios coeficientes:

- COP: coeficiente de rendimiento (Coefficient of Performance) en modo calor.
- EER: Eficiencia Energética de Refrigeración. es el índice de eficiencia energética el cual relaciona la capacidad de refrigeración con la entrada eléctrica [23].
- SCOP: Es el valor del COP medido de forma estacional (un año).
- SEER: Es el valor del EER medido de forma estacional (un año).

$$COP = \frac{Q_c}{W} = \frac{\text{Calor aportado}}{\text{Potencia eléctrica consumida}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$EER = \frac{Q_f}{W} = \frac{\text{Calor extraído}}{\text{Potencia eléctrica consumida}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (\text{Ec. 3})$$

Cuanto mayor sean dichos índices, mayor será el rendimiento del equipo por lo que se moverá mayor cantidad de energía térmica con la misma cantidad de energía. Generalmente “el COP más frecuente se encuentra en el rango de 3 a 4; alcanzando un peso del 66,5% para el sector industrial y disminuyendo hasta el 51,3% en las actividades anexas al transporte” [2], por lo que podemos deducir que tienen rendimientos muy altos.

Una instalación básica de aerotermia la podemos apreciar en la Figura 11. En ella podemos notar que hace falta un depósito de inercia para almacenar agua caliente la cual se bombea a un suelo radiantes, radiador o equipo similar.

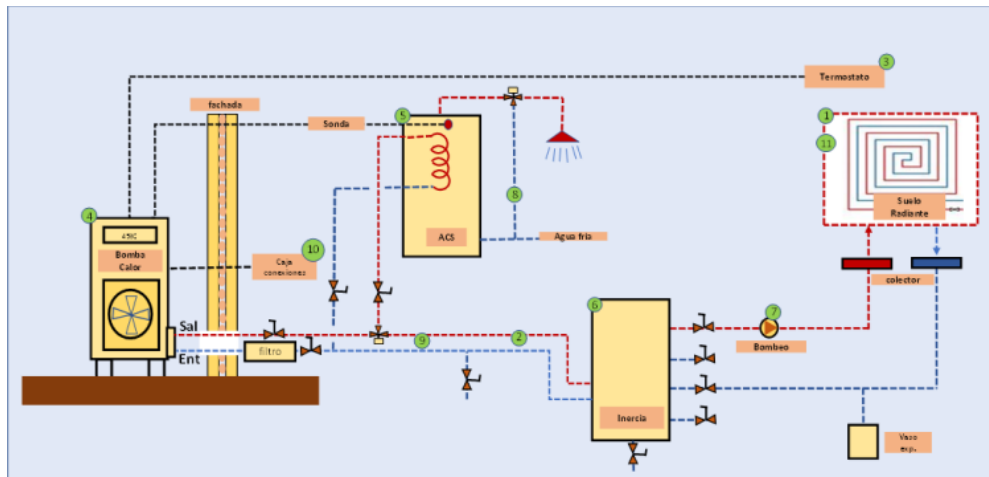


Figura 11: Esquema básico aerotermia [24]

2.1.3 Tipos de bombas de calor

Como hemos dicho anteriormente, la aerotermia es un tipo de bomba de calor la cual “bombee” calor de un lugar a otro de la manera que se satisfagan nuestras necesidades, sin embargo, no es el único tipo de bomba de calor que existe en el mercado. En el caso de la aerotermia los medios utilizados para el proceso son aire-refrigerante-agua, sin embargo, como el refrigerante suele aparecer siempre se denomina aire-agua. Los diferentes tipos de bombas de calor se diferencian principalmente por el medio de intercambio. Otros tipos de bombas de calor son:

- Bombas de calor aire-aire: Puede ser el ejemplo más conocido ya que es el proceso que utilizan los aires acondicionados habituales. Su funcionamiento es exactamente el mismo que el mencionado anteriormente, sin embargo, este tipo de bombas de calor no utilizan un intercambiador para enfriar o calentar el agua de la instalación si no que es el propio refrigerante el que se encarga de transmitir el calor al aire de la estancia (si estamos en modo calefacción) Figura 12.

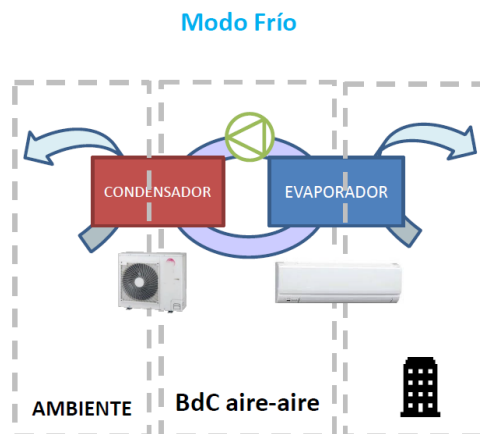


Figura 12: Esquema proceso aire acondicionado convencional [22]

- Bomba de calor agua-agua (hidrotérmia): Este tipo de bombas de calor utilizar la energía almacenada en el agua para como fluido caloportador. Esta agua, puede encontrarse como residual de un edificio o incluso podemos aprovechar el agua que se encuentre por debajo de la superficie terrestre y aprovechar su calor para beneficiarnos de ello.
- Bomba de calor tierra-agua (geotérmia): Concepto y funcionamiento igual que el resto de las bombas de calor. En este caso obtenemos la energía térmica a través del terreno a una determinada profundidad. En la Figura 13 podemos ver la relación que existe entre la temperatura y la profundidad a la que incorporemos las tuberías del equipo donde se sigue la siguiente correspondencia: Enero rojo, Marzo magenta, Junio azul y Septiembre amarillo.

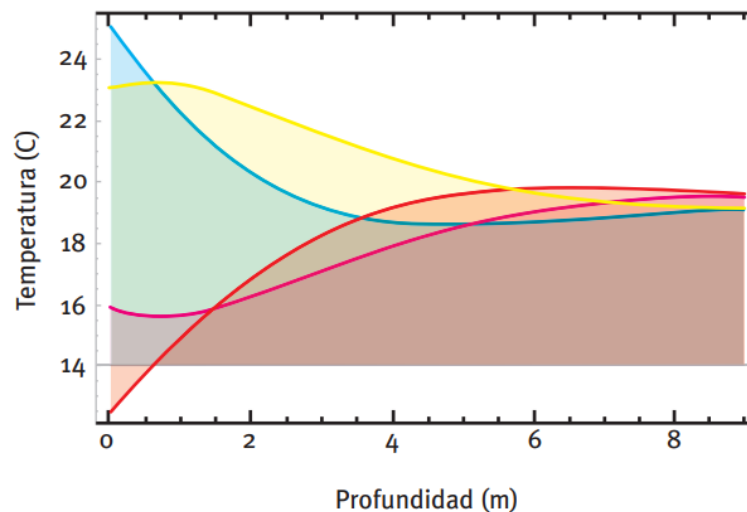


Figura 13: Gráfica temperatura (°C) vs profundidad (m) [25]

Otra forma de clasificar las bombas de calor puede ser [22]:

- -Bomba de calor no reversible: Aporta frío o calor según la función que se necesite. Puede ser apta para climas muy cálidos.
- -Bomba de calor reversible: Aporta frío o calor a las estancias en función de las necesidades. Utiliza la ya mencionada válvula de 4 vías por lo que es muy polivalente. Lo hace de forma no simultánea.
- -Bomba de calor a tres tubos: Es una bomba de calor que puede generar a la vez frío y calor. Puede resultar interesante para climatizar diferentes locales con necesidades completamente opuestas

2.1.4 Ventajas e inconvenientes

Las principales ventajas de la aerotermia son las siguientes:

1. Posee rendimientos exageradamente altos en comparación con las calderas de gas. Es tal la diferencia que el rendimiento de la aerotermia puede ser del 300% o 400%, es decir, por cada unidad de potencia eléctrica suministrada, se producen 3 o 4 unidades de potencia calorífica. Por el contrario, las de calderas de gas de alto rendimiento llegan como máximo hasta rendimientos de 109% sobre PCI ya que aprovechan hasta el Poder Calorífico Superior (PCS) debido a la aparición de calor latente al condensar el vapor de agua [3]. Estos grandes rendimientos hacen que sean unos equipos generalmente rentables a largo plazo.
2. Es una fuente de energía renovable, lo cual puede ser una ventaja bastante significativa ya que en los últimos años se está dando mucha más importancia al cuidado ambiental que en años precedentes. Esto se dictó en 2009 gracias a [26]. La constante investigación en refrigerantes hace que se creen nuevos fluidos caloportadores con mejores prestaciones tal como ha estado haciendo Vaillant, los cuales han introducido el R290 para algunos de sus equipos. En la Figura 14 podemos ver una comparación de emisiones de CO_2 en función de los principales refrigerantes utilizados en las bombas de calor. Gracias a ser una fuente de energía renovable puede disponer de mayor cantidad de subvenciones del estado para ser implantadas.

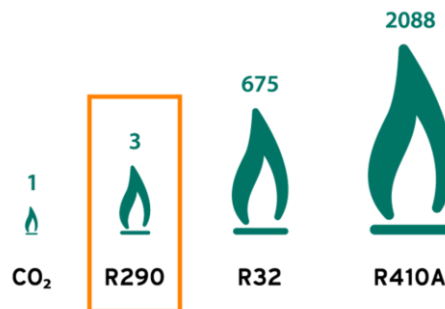


Figura 14: Emisiones de CO_2 en función del tipo de refrigerantes [27]

3. Obtiene la energía principalmente del aire. Como hemos dicho anteriormente, aprovecha que el aire se encuentra a una temperatura diferente a la del condensador y evaporador para generar un flujo de calor. Este factor ha hecho que se tome a la aerotermia como un proceso renovable.
4. Puede llegar a enfriar y calentar una estancia. Esto es debido a la válvula de 4 vías que explicamos anteriormente, la cual se encarga de conseguir que el fluido refrigerante recorra sentidos de circuito diferentes. Esto

hace que, según nuestras necesidades, el evaporador actúe de condensador o viceversa.

5. No generan humos. Esto es así ya que se trata de un ciclo cerrado en el que el fluido refrigerante no se escapa de ningún tipo de forma a excepción de fugas. Este hecho es algo muy destacable respecto a las calderas de gas ya que en ellas sí que se producen humos, los cuales deben ser expulsados lo que produce que se liberen gases poco adecuados al ambiente.

Algunas de sus desventajas son:

1. Suelen estar diseñados para radiadores de baja temperatura o suelo radiante, por lo que, si nuestra instalación ya existente cuenta con radiadores de alta temperatura (caso habitual) para usar calderas y queremos incorporar aerotermia, necesitaríamos sumar costes de cambio de radiadores o implementar suelo radiante. Si por el contrario queremos conservar los radiadores de alta temperatura existentes en la instalación, seguramente tengamos que añadir un compresor al sistema de aerotermia para poder alcanzar la temperatura mínima que necesitan dichos radiadores, por lo que aumenta el precio de inversión considerablemente. Los radiadores de baja temperatura suelen ser más caros que los de alta temperatura. Lo bueno es que se pueden utilizar radiadores de baja temperatura para refrigerar. Si en vez de reforma, nos encontramos en obra nueva, no es tan notable la diferencia y se rentabiliza rápidamente
2. Fluidos refrigerantes óptimos. Encontrar un refrigerante óptimo no es nada fácil debido a la gran cantidad de variables que hay que tener en cuenta, tales como precio, potencial de destrucción de capa de ozono (ODP), potencial de calentamiento global (PCA o GWP), criterios termodinámicos, criterios medioambientales... Para los equipos de aerotermia de marcas como Panasonic, Mitsubishi, Hitachi o Toshiba se usan refrigerantes tales como R-410A, R-290 o incluso R-32, donde este último es el más utilizado debido a su buena optimización de todas las variables de diseño. Los refrigerantes pueden tener fugas, situación que no sería muy agradable debido a la posible dificultad de encontrar el fluido refrigerante necesario [28].
3. Precio de la materia prima. Funcionan gracias a la electricidad y esto puede suponer un problema debido a las grandes variaciones que sufre el precio de la electricidad en cada momento, por suerte la empresa distribuidora nos suele fijar un precio fijo de energía que hará que aumente el precio de la factura en función del consumo que tengamos. Esto es una desventaja ya que hay materias primas más baratas tales como el gas natural, pellets, biocarburante o GLP tal como podemos ver en la Figura 15.

Definición de los parámetros económicos

Precio asociado a los diferentes combustibles

| | | |
|------------------------------|--------|-------|
| Gas Natural | 0.0717 | €/kWh |
| Gasóleo-C | 0.0934 | €/kWh |
| Electricidad | 0.18 | €/kWh |
| GLP | 0.1095 | €/kWh |
| Carbón | 0.15 | €/kWh |
| Biocombustible | 0.0934 | €/kWh |
| Biomasa no densificada | 0.05 | €/kWh |
| Biomasa densificada (pelets) | 0.05 | €/kWh |

Figura 15: Precios de la energía de los combustibles propuestos por CE3X

4. Su reciente implantación en las viviendas ha hecho que los precios de instalación y de adquisición de equipos sean superiores de los que se darían para una instalación de caldera de gas. Esto es así ya que con aerotermia se suele incorporar una instalación de suelo radiantes o radiadores de baja temperatura, lo cual actualmente es algo más caro que un radiador convencional para caldera.
5. Rendimientos muy influenciados por las condiciones exteriores: Como dijimos anteriormente una de las mejores cualidades de la aerotermia es su rendimiento, sin embargo, los rendimientos de la aerotermia disminuyen en gran medida al aumentar la temperatura del agua del sistema de calefacción como podemos ver en la Figura 16. Si en una vivienda ya existente se dispone de radiadores convencionales se debe instalar un equipo de aerotermia de alta temperatura con rendimientos entorno al 250%. En el caso de que en la vivienda estudiada se cambien los radiadores de alta temperatura por unos de baja temperatura asumiendo los gastos que ello conlleva, podríamos tener aerotermia de baja temperatura con rendimientos superiores.

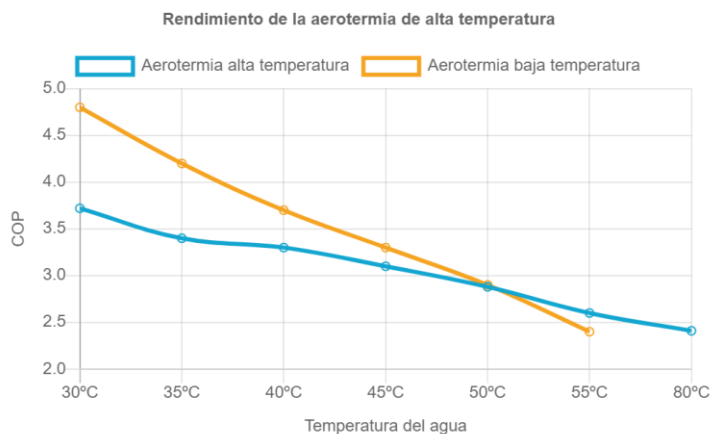


Figura 16: Rendimiento de la aerotermia en función de la temperatura del agua

6. Emisiones de CO_2 al generar la energía eléctrica. Ser un sistema renovable es una de las principales características de la aerotermia ya que aprovecha la energía almacenada en el aire reduciendo en gran medida sus emisiones de CO_2 , por lo que la gran parte de la sociedad piensa que reduce al 100% las emisiones de CO_2 , sin embargo, hay que tener en cuenta que la aerotermia utiliza electricidad para poder realizar el ciclo. En la Figura 17 podemos apreciar que la generación eléctrica española en 2021 fue principalmente gracias a combustibles fósiles de donde casi el 75% viene de la quema de gas natural como podemos ver en la Figura 18. Esto no es una desventaja estrictamente ya que las calderas de gas generan mayor cantidad de CO_2 , sin embargo, es una aclaración que debe conocerse.

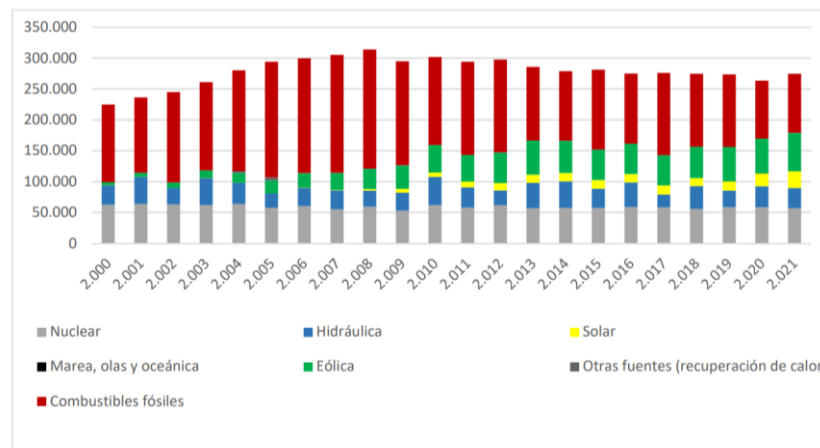


Figura 17: Evolución de la producción bruta total por tecnología (GWh) [29]

Tabla 1.5 Desglose de la Producción bruta total (GWh).

| Desglose de la Producción bruta total (GWh) | 2020 | 2021 | % | |
|---|----------------|----------------|----------------|-------|
| Total | 263.373 | 274.312 | 100,00% | |
| Nuclear | 58.299 | 56.564 | 20,6% | |
| Hidráulica | 33.998 | 32.847 | 13,1% | 100% |
| <i>por bombeo</i> | 3.491 | 3.221 | | 9,8% |
| Solar | 20.667 | 27.098 | 9,9% | |
| *Marea, olas y oceánica | 27 | 19 | 0,01% | |
| Eólica | 56.444 | 62.061 | 22,6% | |
| Combustibles fósiles | 93.778 | 95.443 | 33,6% | 100% |
| <i>Carbón</i> | 6.149 | 6.014 | | 6,3% |
| <i>Fuel</i> | 10.704 | 10.044 | | 10,5% |
| <i>Gas Natural</i> | 69.739 | 71.502 | | 74,9% |
| <i>Biocombustible y residuos</i> | 7.186 | 7.883 | | 8,3% |
| Otras fuentes (recuperación de calor) | 160 | 280 | 0,1% | |

Figura 18: Desglose de la producción bruta total (GWh) [29]

2.2 Calderas de gas

La caldera de gas es un equipo de calefacción utilizado en la mayoría de los edificios anteriores al CTE en climas fríos, sin embargo, el aumento de exigencias ambientales y energéticas propuestas por las normativas anteriormente mencionadas junto con el avance de nuevas tecnologías ha llevado a que su implantación se reduzca en gran medida. Cada vez se recomienda usar menos esta forma de calefactor la vivienda y se recomienda apostar por equipos accionados por energía renovables y con mayor rendimiento.

El principio básico de las calderas es la quema de gas, generalmente gas natural, el cual se calienta hasta una temperatura específica y cede calor al agua de los circuitos de calefacción. La definición formal de caldera según [30] es: “Todo aparato a presión en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en utilizable, en forma de calorías, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor”.

Como se hizo con la aerotermia, se va a explicar el funcionamiento de una caldera de gas, sus componentes, criterios de clasificación y algunas ventajas y desventajas respecto a la aerotermia teniendo como referencia a [31], [32] y [33].

2.2.1 Componentes

Los principales componentes de una caldera de gas convencional son:

- Quemador: Es el elemento encargado de provocar la combustión. Como toda combustión es necesario comburente y combustible. De este último hablaremos a continuación. Los quemadores se suelen clasificar numéricamente según la IGU [19]:
 - 1º Cifra: Modo de formación de la mezcla aire-gas
 - 2º Cifra: Categorías de presión de alimentación en aire y en gas
 - 3º Cifra: Derrame de aire-gas en los orificios de salida
 - 4º Cifra: Manera de estabilizar la llama
 - 5º Cifra: Localización de la combustión
 - 6º Cifra: Precalentamiento o no del aire de combustión
- Combustible: Es el elemento gaseoso que se somete a la combustión. Dicha reacción exotérmica cede energía al fluido caloportador del circuito de calefacción mediante intercambiadores. Los combustibles como tal pueden ser sólidos como el carbón y la biomasa, líquidos como la gasolina o el gas licuado del petróleo, sin embargo, en las calderas se

usarán combustibles gaseosos tales como gas natural, gas propano... La característica principal de los combustibles es el poder calorífico que nos da una idea del calor liberado por unidad de volumen o masa del combustible [19]. Podemos diferenciar entre el PCS y el PCI, en donde solo el primero de los dos tiene en cuenta el calor latente del vapor de agua.

- Fluido caloportador: Es el fluido encargado de recorrer el circuito del domicilio para ceder la energía adquirida por la combustión hacia la estancia que pretendemos calefactar. Este fluido suele ser generalmente agua y suele circular por radiadores o incluso por suelo radiante.
- Bomba: la bomba sirve para poder mover el fluido caloportador de un punto a otro dentro del sistema de calefacción. La bomba principalmente hace que se continúe con el ciclo de renovación de la caldera. Se puede decir que la bomba no es un elemento esencial en el proceso de transmisión de calor o de combustión, sin embargo, es importante nombrarlo parte del circuito principal ya que es una parte fundamental en la instalación en su conjunto.

Para realizar el proceso de aporte y transferencia de calor se necesitan esos componentes, sin embargo, podemos añadir ciertos elementos para poder tener una instalación completa tales como: sistema de extracción de los gases quemados, detectores de presión, filtros, purgadores... El agua caliente sanitaria circula por tuberías diferentes a las de calefacción. En la Figura 19 podemos apreciar los diferentes elementos que pueden llegar a formar parte de una caldera de gas en una vivienda habitual usando como gas de combustible. El caudal de humos sale por la parte superior de la caldera impulsado por un extractor que los “empuja”

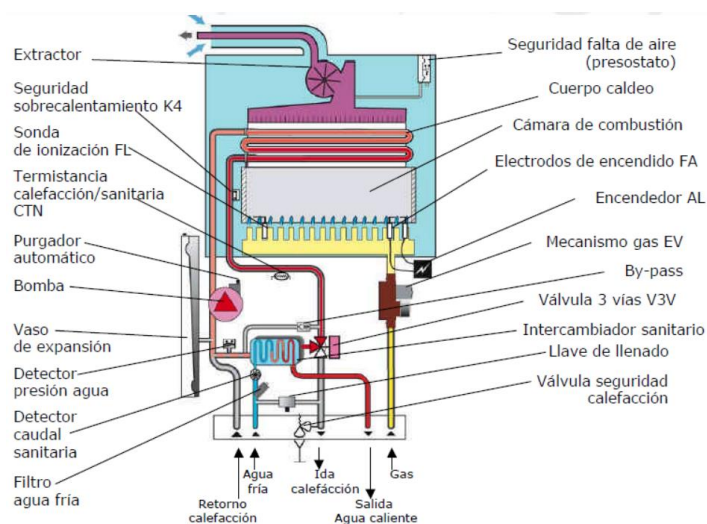


Figura 19: Componentes de una caldera de gas [30]

2.2.2 Funcionamiento

El funcionamiento de una caldera de gas sigue un principio muy diferente al que usan las bombas de calor, en el que teníamos un fluido caloportador en un circuito cerrado que cambia de estado para aportar o extraer energía térmica. En el caso de las calderas de gas, el procedimiento es algo más sencillo de entender ya que se trata de hacer combustionar un gas mediante un quemador y comburente para producir una llama y que se ceda calor al fluido caloportador (generalmente agua) que circula por las tuberías del sistema. El proceso de combustión debe estar previamente identificado y estudiado mediante reacciones de combustión para así poder determinar el oxígeno estequiométrico, los humos estequiométricos, los poderes caloríficos superior e inferior...

A diferencia de las bombas de calor de ciclo cerrado en este proceso podemos diferenciar perfectamente un principio y un fin del proceso. La secuencia del proceso sigue los siguientes pasos:

- 1) Llegada del gas natural a la vivienda: Esto se consigue mediante las instalaciones del sistema gasista y la red básica de gas natural dictadas en [31]. En la red básica de gas natural podemos encontrar gasoductos de transporte de gas natural de alta presión, plantas de regasificación de gas natural licuado que puedan suministrar el gas suficiente al sistema y almacenamientos de gas natural [32].
- 2) Combustión del gas: Una vez entra el gas natural a la caldera como podemos apreciar en la Figura 20, se procede a la quema de dicho gas. Este proceso se consigue mediante la reacción de dicho gas con el oxígeno del aire (21% en volumen). El nitrógeno (79% en volumen) se asume que no reacciona a excepción de que la temperatura sea demasiado elevada donde se producirían NO_x [33]. Gracias a las reacciones de combustión podemos saber la cantidad de CO_2 que desprende el proceso, así como otras variables de interés.
- 3) Al quemar el gas se produce una llama la cual transmite calor hacia el agua que generalmente circula por las tuberías de la vivienda. Esta agua caliente es el que luego circula por los radiadores o suelo radiante de la vivienda para transmitir su energía al ambiente. La temperatura a la que suele estar el agua que circula por los radiadores está entre 60-70°C mientras que para suelo radiante y fancoils se encuentra entre 35-45°C y 50-60°C respectivamente [34], lo que permite que pueda aparecer un mejor rendimiento en el proceso. Cabe aclarar que los gases quemados se transmiten al ambiente lo que hace que las emisiones de CO_2 sean mayores que en la aerotermia. Este último tipo de sistemas debido a su bajo valor de temperatura podrían emplearse con bombas de calor,

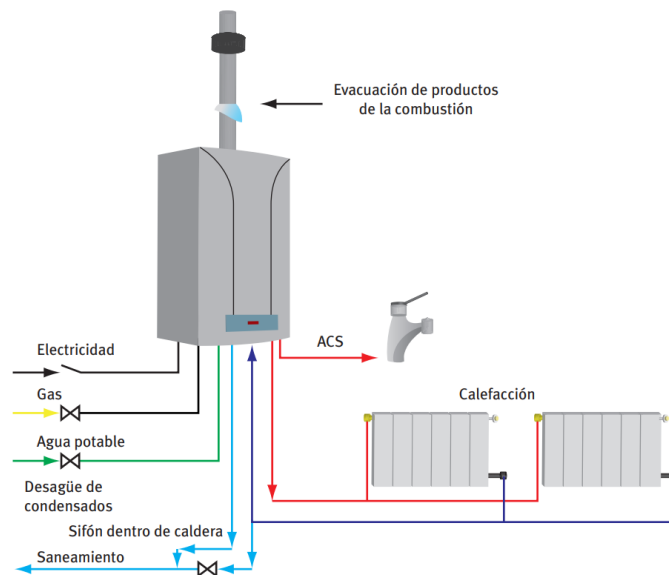


Figura 20: Esquema de una instalación de una caldera de gas [35]

Como podemos intuir las calderas de gas sirven únicamente para poder calefactar la vivienda imposibilitando la refrigeración de cualquier tipo de estancia. El proceso de combustión por lo general es un proceso con un rendimiento muy reducido en comparación con el proceso de expansión directa usado por las bombas de calor. El rendimiento de las calderas de gas tiene varias formas de medirse entre las cuales podemos encontrar el método directo [30]:

$$\eta = \frac{\text{Energía Aprovechada}}{\text{Energía Aportada}}$$

Esta forma de calcular el rendimiento en una caldera puede servir para ver el proceso de forma general y puede ser un valor bastante fácil de entender ya que no diferencia entre los diferentes tipos de pérdidas en el proceso [30]. Otra forma de analizar el rendimiento del proceso es el llamado método indirecto:

$$\eta = 100 - \%_{inq} - \%_{sens} - \%_{conv} - \%_{rad}$$

Es la forma de calcular el rendimiento del proceso que más información aporta y en la que se pueden proponer mayor cantidad de mejoras ya que se obtienen valores de las pérdidas sensibles, de convección, de radiación o por quemados [30]. Por esta razón es el método más utilizado.

En la Figura 21 podemos observar el rendimiento entre los diferentes tipos de calderas, los cuales explicaremos más adelante, en función de su grado de carga y de la potencia. El buen rendimiento de las calderas de condensación

se consigue gracias a que aprovechan el calor latente que aparece en los humos de la combustión y el PCS del combustible, lo cual, tiene como consecuencia directa el elevado rendimiento de las calderas de condensación cercanos al 100% sobre PCS. Cabe aclarar que al aplicar la Directiva ErP (Energy Related Products) la referencia para medir el rendimiento de las calderas de condensación es el PCS por ello podemos encontrar en algunas fuentes valores de rendimientos de 109% sobre PCI (forma obsoleta) o de 98% sobre PCS (actual).

Algo muy importante a tener en cuenta es el grado de carga ya que cuanto mayor sea la carga a la que se somete el equipo, menor es el rendimiento. En todo caso podemos ver que la caldera de condensación trabajando al 100% tiene mejor rendimiento que la caldera de bajas emisiones trabajando al 30% de carga.

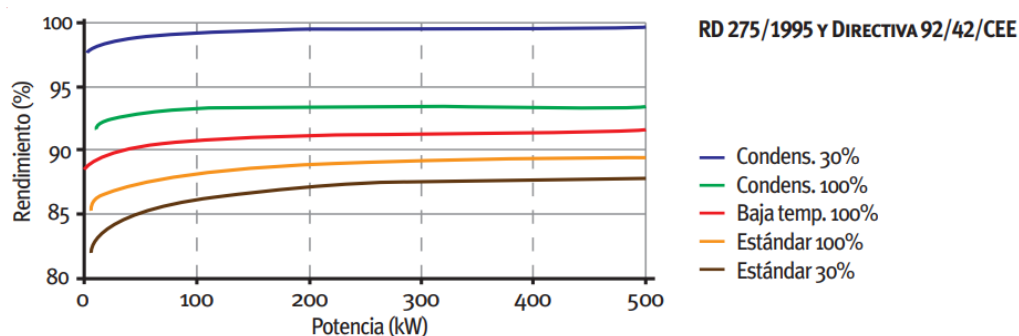


Figura 21: Rendimientos en función del tipo de caldera [35]

En la Figura 22 encontramos los valores mínimos de rendimiento para calderas los cuales están medidos sobre PCS. Para valores de potencia superiores a 400 kW se exigen los mismos rendimientos mínimos que para 400 kW

| Rendimientos mínimos de calderas según 92/42/CEE | | | | | | | | | | | |
|--|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
| Potencia | 70 kW | | 100 kW | | 200 kW | | 300 kW | | 400 kW | | |
| % Carga | 100% | 30% | 100% | 30% | 100% | 30% | 100% | 30% | 100% | 30% | |
| Estándar | ST* | 87,69 | 85,54 | 88,00 | 86,00 | 88,60 | 86,90 | 88,95 | 87,43 | 89,20 | 87,81 |
| | ST** | 90,69 | 88,54 | 91,00 | 89,00 | 91,60 | 89,90 | 91,95 | 90,43 | 92,20 | 90,81 |
| | ST*** | 93,69 | 91,54 | 94,00 | 92,00 | 94,60 | 92,90 | 94,95 | 93,43 | 95,20 | 93,81 |
| | ST**** | 96,69 | 94,54 | 97,00 | 95,00 | 97,60 | 95,90 | 97,95 | 96,43 | 98,20 | 96,81 |
| Baja temperatura | 90,27 | 90,27 | 90,50 | 90,50 | 90,95 | 90,95 | 91,22 | 91,22 | 91,40 | 91,40 | |
| Condensación | 92,85 | 98,85 | 93,00 | 99,00 | 93,30 | 99,30 | 93,48 | 99,48 | 93,60 | 99,60 | |
| IT.IC.04 (1981) | 80 | | 80 | | 83 | | 83 | | 83 | | |
| IT.IC.04 (1981) | <60 | 75 | <150 | 80 | <800 | 83 | <2.000 | 85 | >2.000 | 87 | |

Figura 22: Rendimientos mínimos de calderas según 92/42/CEE [36]

2.2.3 Tipos de calderas de gas

Las calderas de gas han ido sufriendo cambios hasta que se ha dado con la tecnología más adecuada posible hasta el momento y se trata de las nombradas calderas de condensación. Para explicar los diferentes tipos de calderas de gas vamos a ayudarnos de la Figura 23 en la que podemos ver de forma esquemática el funcionamiento de las calderas.

La primera distinción de calderas que podemos hacer trata de clasificar las calderas por la ubicación de la toma de aire para producir la combustión. En esta distinción tenemos la caldera atmosférica o abierta que es aquella que toma el aire de la estancia, sin embargo, se ha reducido su instalación debido a las restringidas exigencias que se le apropian ya que se necesitan grandes caudales de ventilación. Las calderas estancas o cerradas cogen aire del exterior gracias a una diferencia de presiones entre la caldera y el ambiente [37]

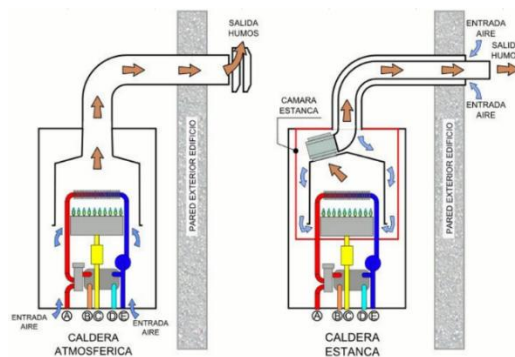


Figura 23: Calderas de gas según la ubicación de toma de aire para la combustión [38]

Otra forma muy interesante de clasificar las calderas de gas es mediante el Real Decreto 275/1995 ya que se clasifican principalmente en función de eficiencia energética. Según este criterio tendríamos:

- Calderas estándar: Son un tipo de calderas que trabajan como mínimo a 50°C en las que el rendimiento a carga parcial es menor que a carga total. Al evacuar los gases de la combustión se desaprovecha gran parte de la energía que contiene el vapor de agua. Con estas temperaturas de operación se evitan los riesgos de condensación [37].
- Caldera de baja emisión NO_x : Este estilo de calderas pueden trabajar a temperaturas un tanto menores que en una caldera estándar o convencional ya que se encuentra en un rango de temperaturas de entre 35-45 °C. Suelen incorporar un sistema de refrigeración en el quemador lo que tiene una consecuencia directa en la disminución de la temperatura de los humos. Son calderas estancas y pueden llegar a

tener rendimientos de hasta 95% sobre PCI [39]. Podemos diferenciar 5 clases en función de las emisiones de NO_x según la Figura 24:

| CALDERAS DE BAJO NO_x | |
|-------------------------|-------------------|
| CLASE | EMISION DE NO_x |
| Clase 1 | <260 mg/KWh |
| Clase 2 | <200 mg/KWh |
| Clase 3 | <150 mg/kWh |
| Clase 4 | <100 mg/KWh |
| Clase 5 | <70 mg/KWh |

Figura 24: Clases de caldera de baja emisión [38]

- Calderas de condensación: Son las calderas de gas de mayor rendimiento en comparación con los otros dos tipos de calderas descritos anteriormente. Este tipo de tecnología aprovecha casi la totalidad del PCS del combustible por lo que se tienen rendimientos de hasta 109% sobre PCI. Al aprovechar la energía del calor latente del vapor de agua hace que sean el tipo de calderas más avanzado en la actualidad y muy adecuadas para su uso con suelo radiante y emisores de baja temperatura.

En la Figura 25 podemos apreciar un esquema de dos de las tres calderas mencionadas anteriormente. Como podemos apreciar, en la caldera de condensación disponemos de una tubería adicional que sirve como desagüe de condensados.

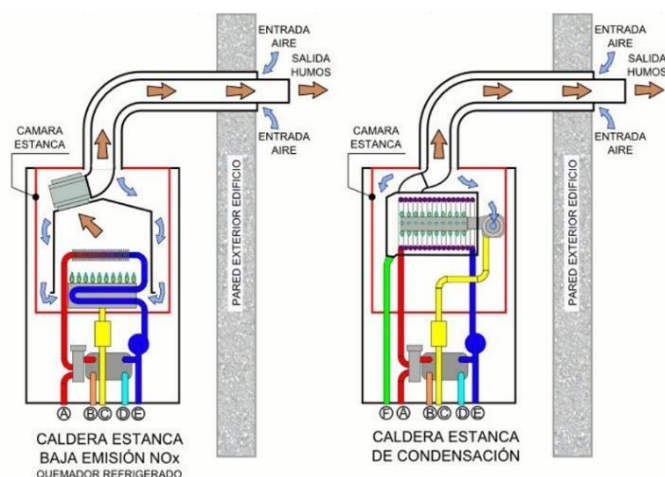


Figura 25: Calderas de gas según el RD 275/1995 [38]

Las calderas de gas, tal como venimos detallando a lo largo del estudio, son tecnologías con altas emisiones de CO_2 . En la Figura 26 podemos hacernos una idea de las emisiones de CO_2 y NO_x en función del tipo de caldera y del tipo de combustible. Queda demostrado que las calderas de condensación

emiten menos gases nocivos que las calderas estándar. Podemos ver a mayores, que la caldera de condensación de gas natural es la tecnología que menos emisiones de CO_2 tiene de las seis.



Figura 26: Emisiones en función del tipo de caldera [35]

2.2.4 Ventajas e inconvenientes

Ventajas de las calderas de gas:

- **Precio:** El precio de inversión y de instalación de las calderas de gas es una de sus mejores características. Esto es así ya que una de caldera de gas junto con su instalación no suele superar los 3000 €, sin embargo, los equipos de aerotermia junto con su instalación suelen alcanzar el doble o incluso el triple de dicho precio. Esta gran inversión inicial es una de las grandes consecuencias de que la sociedad se decante por instalar este tipo de tecnologías en su vivienda principal o en las casas que destinen al alquiler.
- **Suministro de gas:** Tanto el gas como la electricidad son fuentes de energía disponibles en cualquier momento del día. Esto es una gran ventaja acerca de la comodidad del suministro ya que otros tipos de combustibles como podría ser el GLP o los pellets son recursos que deben ser adquiridos en ciertos momentos a lo largo del día. Gracias al sistema de gasoductos del país podemos estar cubiertos de suministro en la gran parte del país. En la Figura 27 podemos ver el mapa de infraestructuras de España.



Figura 27: Mapa de infraestructuras en España [40]

- **Facilidad en mantenimiento o reparación:** Este tipo de tecnología tiene mayor cantidad de instaladores o profesionales que tengan conocimientos sobre ellas debido a su amplia distribución en todo el país y a su elevada implantación a lo largo de los años. Esto puede ser una ventaja a la hora de realizar mantenimientos, reparaciones o incluso si se necesita comprar un equipo nuevo ya que se encontrará con mayor facilidad que algún otro equipo de calefacción.
- **Espacio:** Generalmente las calderas de gas ocupan menor espacio que el resto de los sistemas de climatización. Esto es bueno tenerlo en cuenta ya que, por ejemplo, si te encuentras en una vivienda de limitados metros cuadrados cada espacio ocupado es importante. En el caso de la aerotermia, gran parte de los equipos necesitan una unidad interior dentro de la vivienda y otro fuera de la vivienda lo cual va a ocupar un gran espacio y, en el caso de que haya una solución más compacta, esta será a mayor precio.

Desventajas:

- Una de las principales desventajas que la mayor parte de la sociedad asocia a las calderas de gas son las grandes emisiones de CO_2 que tienen. Este asunto se está intensificando ya que las grandes directivas han ido creando año tras año normativas para la reducción de este tipo de gases lo que implica un aumento en el precio de los equipos. También este tema puede estar expuesto a que se creen nuevas leyes que prohíban la implantación de este tipo de sistemas de calefacción en las viviendas.
- Otra de las grandes desventajas de estos sistemas es la imposibilidad de refrigerar una estancia y es que, los procesos de combustión son puramente exotérmicos por lo que en ningún caso es posible refrigerar un espacio. En este punto cabe destacar que si nos situamos en un clima donde predominan las temperaturas bajas durante la mayor parte del año, esta desventaja no llega a ser tan importante.
- **Periodicidad de mantenimiento:** Se debe hacer un mantenimiento periódico del funcionamiento de la caldera para asegurarnos de que todo funciona correctamente. Esto es una acción obligatoria y está detallada en los manuales de mantenimiento del fabricante. Este servicio puede realizarse por técnicos homologados o por las distribuidoras. Este tipo de mantenimientos son algo que suele causar gran rechazo en los clientes debido a que se deben realizar revisiones cada dos años según el RITE, así como una revisión de la instalación de gas cada 5.

2.3 Otras tecnologías a analizar

En este apartado se introducirán algunas tecnologías que son complementarias a los dos elementos de generación indicados anteriormente.

2.3.1 Paneles solares

Los paneles solares son dispositivos que utilizan la energía solar para producir energía térmica o eléctrica. Las placas solares al necesitar energía solar dependen de la orientación respecto al sol por ello pueden ponerse fijas o pueden orientarse haciendo un seguimiento solar. En función de la energía final que proporcionan, los podemos clasificar de dos maneras diferentes:

- Panel solar térmico. Este dispositivo utiliza la energía del sol en forma de radiación para calentar un fluido caloportador el cual, mediante un intercambiador, cede calor a un tanque de almacenamiento donde se acumula el agua utilizable. En la Figura 28 podemos ver un esquema de funcionamiento de dicho proceso. El colector se encarga de utilizar la mayor cantidad de energía solar gracias al uso de diferentes características tales como materiales de alta absorción. Este tipo de placas solares tienen usos muy limitados ya que su energía final es energía térmica.

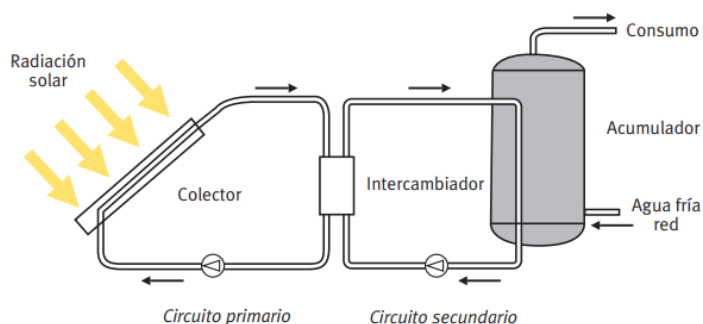


Figura 28: Esquema de funcionamiento de un panel solar térmico [41]

- Panel solar fotovoltaico. Este tipo de paneles solares son los más utilizados ya que su energía final es energía eléctrica, por lo que podemos aprovecharla en mayor medida. Un panel solar fotovoltaico según [42] es un dispositivo que “aprovecha la radiación solar transformándola directamente en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico, que consiste en la emisión de electrones por un material cuando se le ilumina con radiación electromagnética (en este caso radiación solar).” En la Figura 29 podemos ver el funcionamiento de una placa fotovoltaica. Primero, los fotones de la luz llegan a las células

fotoeléctricas las cuales forman en su conjunto el panel solar. Al llegar la energía de los fotones a las células, se produce electricidad gracias al efecto fotoeléctrico. Esta electricidad en corriente continua pasa por un regulador de carga que ajusta la potencia. Después del regulador podemos tener unas baterías para almacenar el exceso de energía en corriente continua o incluso podemos vender la electricidad sobrante. Una vez tenemos la energía necesaria para nuestro beneficio, hay que transformarla en corriente alterna por lo que se implanta un inversor para poder ejecutar este proceso. Esto es necesario ya que la mayoría de los dispositivos que utilizamos funcionan con corriente alterna ya sean televisiones, microondas, frigoríficos... Como ejemplo de dispositivos que utilizar corriente continua tenemos mandos de televisión, ratones inalámbricos para ordenadores.

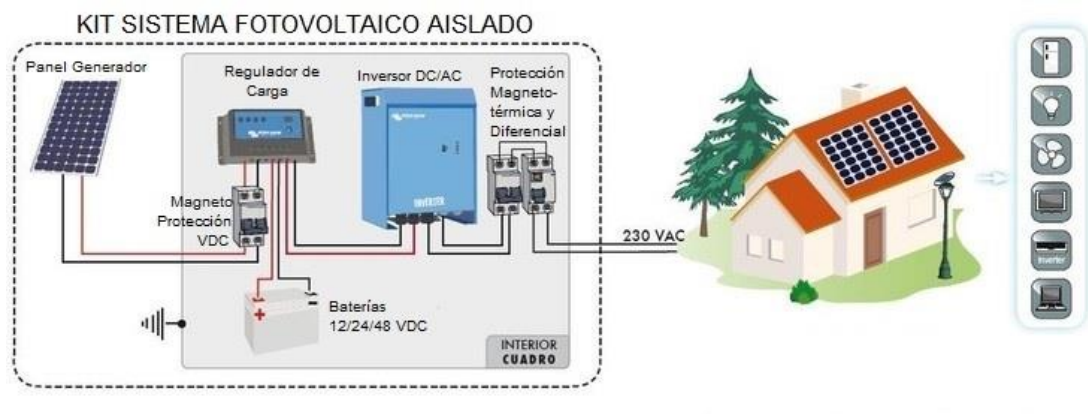


Figura 29: Esquema de funcionamiento de los paneles solares fotovoltaicos [43]

Como podemos ver en la Figura 30 , las características técnicas dadas por los fabricantes dependen en gran medida de las condiciones exteriores. Para una irradiancia solar alta se produce un aumento en la intensidad, sin embargo, un aumento en la temperatura ambiente produce una disminución en el voltaje.

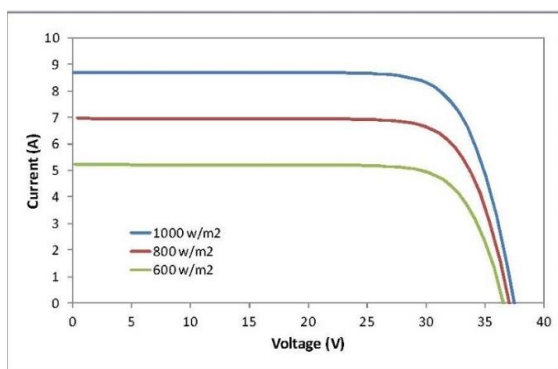


Figura Fa. Curvas I-V para distintos valores de la irradiancia solar Temperatura constante de la célula (25° C)

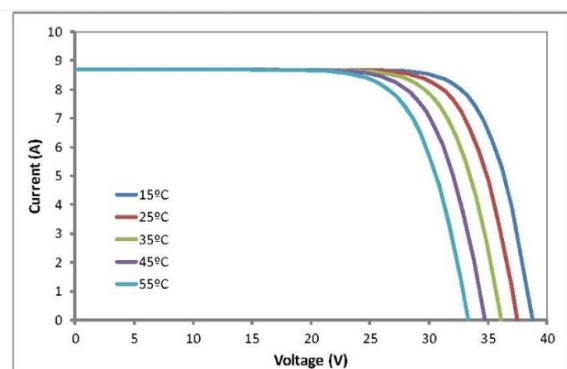


Figura Fb. Curvas I-V para distintas temperatura de la célula Valor de irradiancia solar constante (1000 W/m²)

Figura 30: Curvas de funcionamiento de los módulos fotovoltaicos

2.3.2 Radiadores

Los radiadores de alta temperatura son un sistema de transmisión de calor dedicado principalmente a calefactar estancias utilizando el agua caliente que circula por su interior y aprovechando su gran superficie de intercambio. Podemos encontrarnos diferentes tipos de radiadores [35]:

- Radiadores de hierro fundido: Este tipo de dispositivo ha sido utilizado antiguamente para calefactar estancias. El estar hecho por fundición hace que sea muy resistente a la corrosión y, a mayores, hace que se tenga una altísima inercia térmica lo que los hace idóneos para espacios que necesiten de calefacción durante una gran parte del tiempo. En la Figura 31 podemos ver un ejemplo de radiador de hierro fundido.



Figura 31: Radiadores de alta temperatura de hierro fundido [35]

- Radiadores de aluminio: Este tipo de radiadores ha sido muy utilizado en la actualidad debido a su ligereza y a su bonita estética. Poseen una gran relación peso - transmisión y podemos fabricarlos en elementos independientes por lo que podemos adecuar cada necesidad con facilidad. Para tener una imagen de ello podemos fijarnos en la Figura 32. Este tipo de emisores pueden tener problemas de pares galvánicos o por dilataciones



Figura 32: Radiadores de aluminio [35]

- Radiadores tubulares: Este tipo de radiadores han sido bastante utilizados en cuartos de baño como toalleros debido a su estética. Este tipo de radiadores sirve como una alternativa a los radiadores de hierro fundido o a los de aluminio. Se trata de un tipo de radiador formado por tubos soldados. En la Figura 33 podemos ver un ejemplo de ello.



Figura 33: Radiadores tubulares [35]

Para ver un esquema de funcionamiento de un sistema de radiadores podemos fijarnos en la Figura 34 donde se puede apreciar cómo el agua caliente circula por los diferentes radiadores cediendo calor a la estancia. El agua fría cae por efecto de la gravedad y se impulsa de nuevo al equipo que la calienta. En este caso se ha hecho el esquema con una caldera, sin embargo, la forma de generación de calor es indiferente.

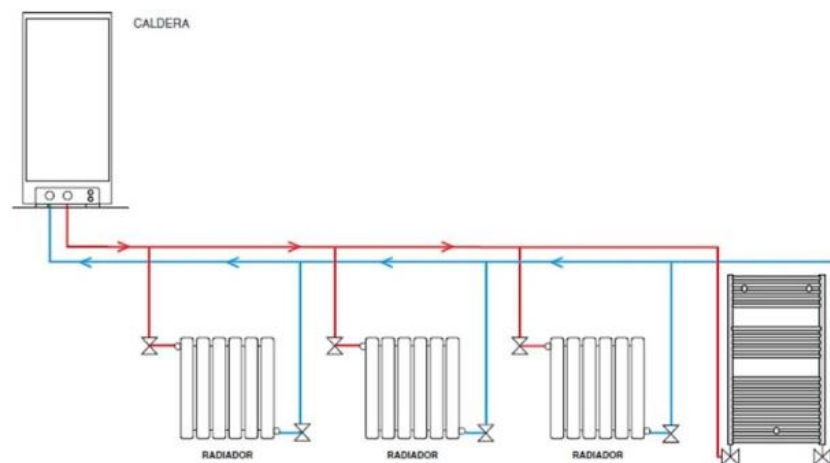


Figura 34: Esquema funcionamiento radiadores [44]

El calor cedido depende directamente de la superficie de transmisión y de la diferencia de temperaturas entre otros. Debido a este factor es de entender que cuanto mayor es la temperatura del agua de impulsión, mayor es el flujo de calor que se intercambia con el ambiente, sin embargo, una temperatura idónea para utilizar adecuadamente un radiador de alta temperatura está en el rango 60 - 70°C según [34]. En el caso de que los días no sean muy fríos se puede poner una temperatura de impulsión del agua dentro del rango de 50-60 °C según [21].

2.3.3 Suelo radiante

El suelo radiante sigue un principio diferente al de los radiadores, mientras que los radiadores trabajan principalmente por convección, el suelo radiante trabaja principalmente por radiación. Este tipo de emisores han ido extendiéndose con el tiempo debido a su elevada inercia térmica y debido a que aumentan el espacio utilizable de la vivienda al situarse debajo del suelo. Este sistema consta principalmente de tubos de plástico que se colocan bajo el pavimento, los cuales transportan el agua que se utilizará para calentar la estancia.

En la Figura 35 podemos ver un ejemplo de instalación de suelo radiante en una vivienda de Segovia. Podemos notar la gran superficie de intercambio que tenemos. Un tema para destacar del suelo radiante es que puede trabajar con temperaturas de impulsión del agua relativamente bajas en torno a 35°C y pueden trabajar en modo refrigeración.

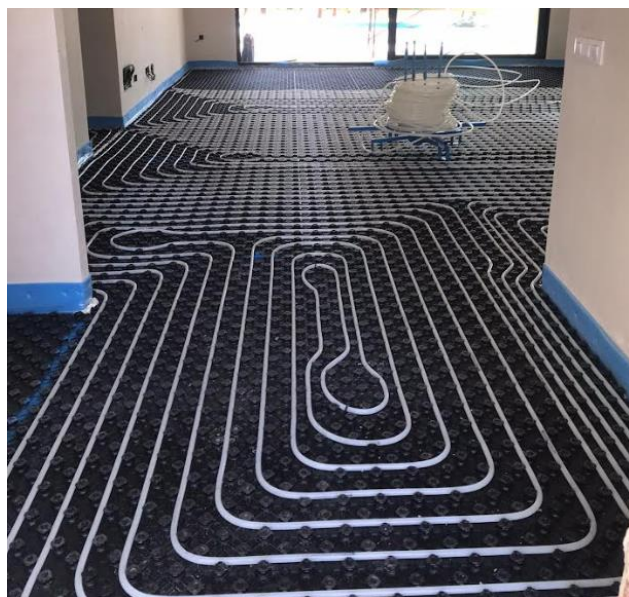


Figura 35: Instalación de suelo radiante en vivienda [45]

En la Figura 36 tenemos un detalle constructivo de dicho sistema de calefacción en que se pueden ver los diferentes elementos que forman el conjunto. Se puede apreciar en la propia figura que este tipo de solución es muy estética y cómoda.

Este sistema tiene buen confort térmico ya que el calor procede directamente del suelo y gracias a la poca densidad del aire caliente hace que suba y se vaya enfriando poco a poco por lo que el flujo de calor es el idóneo, sin embargo, en modo refrigeración puede no alcanzarse el confort térmico ya que la sensación de “pies fríos” no es muy confortable.

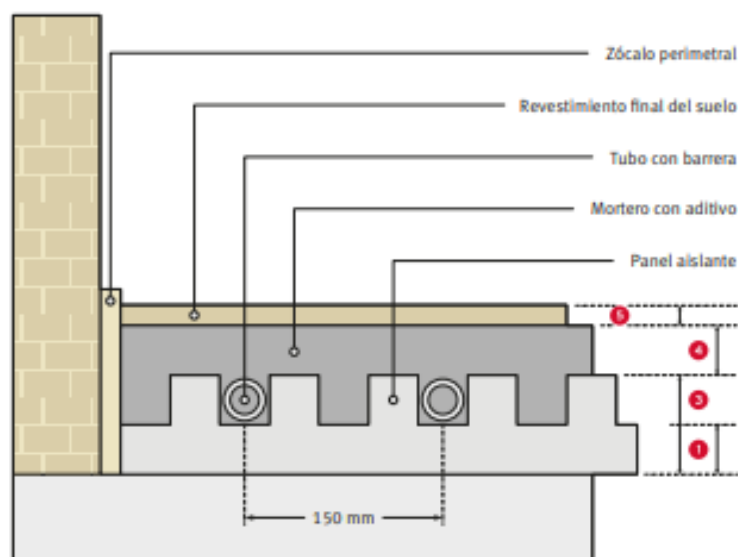


Figura 36: Detalle constructivo suelo radiante [46]

Las desventajas que supone el suelo radiante nos llevan esencialmente a su propia instalación ya que, al estar implantado dentro del suelo su reparación, modificación o instalación a posteriori es compleja.

Este sistema es idóneo para viviendas de nueva obra donde se implemente el serpentín de tubos desde el principio ya que si queremos implantarlo en una reforma puede ser bastante caro y tedioso.

3. Descripción del caso de estudio

3.1 Datos básicos y procedimiento de estudio

Una vez que se han repasado las tecnologías clave, se va a proceder a describir el caso de estudio, así como las hipótesis que se han adoptado.

En el estudio se va a analizar principalmente una vivienda unifamiliar ya existente en clima continental que cuenta con dos alturas. La vivienda en cuestión consta de una cocina, dos salones, tres baños, un garaje y seis habitaciones, donde cuatro de ellas son dormitorios. La distribución en planta del edificio se puede ver representada en los planos que se muestran en el apartado 1 de los anexos, así como un diseño 3D de la misma y fotografías en su estado actual.

La vivienda se encuentra orientada en dirección Este, se construyó en 1994 por lo que no cuenta con las limitaciones mínimas impuestas por el CTE, sin embargo, se va a realizar el estudio en base a su normativa vigente. La vivienda cuenta con una superficie gráfica de $527 m^2$ según datos oficiales de la sede electrónica del catastro, de donde cerca de $120 m^2$ son los protagonistas de este estudio. Los cálculos y demostraciones se realizarán mediante el Método de las Series Temporales Radiantes (RTSM), propuesto por ASHRAE a través del software “Cype” y de sus variantes Cypetherm Loads, IFC Builder, CypeTherm HE Plus. Esto será complementado con AutoCAD para la realización de los planos de la vivienda.

Los apartados 0 y 4 seguirán la siguiente estructura:

- Explicar qué es el confort térmico y las variables principales que se le asocian.
- Detallar las condiciones de diseño para el interior de la vivienda y cálculo de ciertos parámetros para tenerlos en cuenta el cálculo de cargas térmicas.
- Añadir los valores de diseño en Cypetherm Loads para dimensionar de la forma más real posible las cargas térmicas que va a sufrir la vivienda en cuestión. Dichos valores se calcularán manualmente de forma adicional.
- Sincronizaremos el modelo BIM y las cargas térmicas en Cypetherm HE Plus para calcular la demanda de calefacción y de refrigeración de dicha vivienda y así poder encontrar equipos adecuados para el análisis.
- Realizaremos el análisis de viabilidad entre calderas de gas y de aerotermia teniendo en cuenta la mayor cantidad de costes posibles para sacar valores cercanos a la realidad.

3.1.1 Confort térmico

El confort térmico es el factor fundamental para poder dimensionar los sistemas de climatización de una vivienda. Como definición técnica del confort térmico podemos tomar la siguiente:

“La sensación térmica experimentada por un ser humano está relacionada, principalmente, con el equilibrio térmico global de su cuerpo. Tal equilibrio depende de la actividad física y de la vestimenta del sujeto, así como de los parámetros ambientales: temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire y humedad del aire.” [47]. En otras palabras, podemos decir que el confort térmico aparece en el momento en el que el calor que se “escapa” de nuestro cuerpo, se encuentra en equilibrio con el calor que “entra”. Como bien comentamos, este equilibrio depende de varios factores como la actividad física que se esté realizando, la vestimenta...

Para poder hablar del confort térmico en el interior de una vivienda deberíamos tener en cuenta algunas variables psicrométricas del aire tales como “Humedad relativa” o “Temperatura de bulbo seco”.

3.1.2 Humedad

La humedad relativa es una variable psicrométrica del aire que “nos relaciona la presión de vapor del aire y la de saturación a la misma temperatura” [5], es decir, nos da un porcentaje de la cantidad de agua que hay en el aire frente a la cantidad de agua máxima que puede contener ese aire a unas condiciones climatológicas dadas.

La humedad puede afectar en gran medida a la sensación térmica que perciba una persona en un ambiente determinado. La humedad relativa puede tener consecuencias como:

- Sequedad en la piel o en los ojos si la humedad es baja. Esto es debido a que nuestro cuerpo necesita mantenerse hidratado. Como efecto negativo puede que se creen problemas dermatológicos.
- Problemas de moho en las paredes de una vivienda lo cual puede llevar a problema de salud en personas con cierto riesgo.
- Desajuste de la conformidad térmica debido a la excesiva sudoración por una alta humedad relativa. Esto es así ya que, si el ambiente posee demasiada cantidad de agua, no es posible que nuestro cuerpo evapore el sudor que genera y nos podamos sentir incómodos. Este disconfort puede afectarnos a la hora de conciliar el sueño y llegar a ser bastante perjudicial.

Por lo tanto, la humedad a efectos teóricos es una variable muy importante a tener en cuenta a la hora de encontrar las condiciones de diseño apropiadas en una vivienda. Debido a este razonamiento tendremos en cuenta los valores generados gracias a la humedad relativa para el cálculo de cargas latentes y sensibles. Estos valores los obtendremos de la situación geográfica de la vivienda.

3.1.3 Temperatura de bulbo seco

La temperatura de bulbo seco es la variable principal que vamos a tener en cuenta para este estudio ya que es la variable más significativa a la hora de encontrar el confort térmico. Según [48] la temperatura de bulbo seco se define como: *“la temperatura del aire indicada por el termómetro, que no está afectada por el vapor de agua contenido en el aire”*.

Para poder encontrar unas condiciones de diseño adecuadas podemos usar los valores extraídos de [49], donde se detalla con rigor las diferentes condiciones interiores de diseño las cuales dependen de la época del año.

Para calefactar la vivienda tenemos una temperatura operativa de 21-23 °C y una humedad relativa de 40-50% por lo que tomaremos valores de 22°C y una humedad del 45% como condiciones interiores del estudio.

3.2 Cargas sensibles y latentes por ventilación e infiltraciones

Debido a la gran carga térmica que puede suponer la ventilación es imposible no tenerla en cuenta, sin embargo, al tratarse de una vivienda anterior al CTE de 2006 no dispone de formas de ventilación mecánicas o híbridas que proporcionen un caudal mínimo y constante de aire de renovación, por lo que podemos suponer una serie de hipótesis para poder obtener un dato lo más real posible acerca del caudal de aire necesario para el renovar aire del recinto. Las hipótesis serán las siguientes:

- 1) Supondremos que en la vivienda se abren las ventanas una media de 9 minutos al día.
- 2) Supondremos una cierta área efectiva de ventilación ya que no se va a abrir todo el conjunto de ventanas en su totalidad. Podemos aproximarlo y decir que el área por el que va a circular el aire de ventilación es de 2 m^2 , donde 1 m^2 serían de la planta principal y 1 m^2 para la otra planta.

Con esta superficie y con la diferencia de presiones se ventilaría la casa perfectamente.

- 3) Supondremos que la velocidad del viento es constante tomando el valor más restrictivo que se tenga. La velocidad media del viento podemos obtenerla de datos históricos proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) desde el año 1991 hasta el año 2020 [50]. Para el indicativo de Ávila (2444) nos encontramos el valor de la mediana más restrictivo de 12km/h (3.34 m/s) como vemos en la Tabla 1: Velocidades del aire 1991-2020 Tabla 1:

| Indicativo | parámetro | enero | febrero | marzo | abril | mayo | junio | julio | agosto | septiembre | octubre | noviembre | diciembre |
|-----------------------|-------------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| 2444 | Número datos | 27 | 28 | 26 | 28 | 27 | 25 | 26 | 27 | 23 | 28 | 27 | 25 |
| | Velocidad Mínima | 4.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 6.0 | 7.0 | 7.0 | 7.0 | 6.0 | 5.0 | 7.0 | 6.0 |
| | Quintil 1 | 8.0 | 9.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 9.2 | 9.0 | 8.6 | 8.8 | 7.8 | 8.0 | 8.0 |
| | Quintil 2 | 9.0 | 10.0 | 11.0 | 11.0 | 11.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 9.0 | 9.0 | 9.2 | 9.0 |
| | Quintil 3 | 10.0 | 11.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 11.0 | 11.0 | 11.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 9.6 |
| | Quintil 4 | 11.0 | 13.0 | 13.6 | 13.0 | 12.0 | 12.0 | 11.6 | 11.0 | 10.0 | 11.0 | 11.4 | 11.0 |
| | Velocidad máxima | 16.0 | 16.0 | 16.0 | 14.0 | 13.0 | 13.0 | 13.0 | 12.0 | 11.0 | 12.0 | 15.0 | 12.0 |
| | Velocidad Mediana | 9.0 | 11.0 | 12.0 | 12.0 | 11.0 | 10.0 | 10.0 | 11.0 | 9.0 | 9.0 | 10.0 | 9.0 |
| | Velocidad Media | 9.7 | 10.8 | 11.8 | 11.6 | 11.0 | 10.4 | 10.2 | 10.0 | 9.2 | 9.1 | 9.9 | 9.2 |
| | Desviación típica | 2.27 | 2.32 | 2.01 | 1.62 | 1.70 | 1.50 | 1.50 | 1.49 | 1.38 | 1.75 | 2.06 | 1.76 |
| Coeficiente variación | 0.23 | 0.21 | 0.17 | 0.14 | 0.15 | 0.14 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.19 | 0.21 | 0.19 | |

Tabla 1: Velocidades del aire 1991-2020 [50]

Calculamos el caudal de aire a partir de la velocidad del viento y el área:

$$Q = v * A = 3.34 * 2 \left[\frac{m}{s} * m^2 \right] = 6.68 \frac{m^3}{s} = 6680 \frac{l}{s}$$

Como decimos, se trata de una aproximación para poder obtener las cargas térmicas de la vivienda y así poder dimensionar una instalación adecuada. Este cálculo no busca precisión, pero sí que busca asemejarse a la realidad en la medida de lo posible. En el supuesto que hemos definido antes, vamos a abrir las ventanas unos 9 minutos (540 s) al día por lo que renovaremos el siguiente caudal de aire:

$$Vol = 6680 * 540 \left[\frac{l}{s} * s \right] = 3.6072 * 10^6 l \approx 3.6 * 10^6 l$$

En nuestro caso, con 2 m^2 de área efectiva, una velocidad del aire de 3.34 m/s y abriendo las ventanas 10 min al día, deberíamos mover unos $4.008 * 10^6 l$ de aire para permitir su renovación y así eliminar la posibilidad de

aparición de humedades o de contaminantes. Para pasarlo a caudal constante a lo largo del día podemos:

$$Q = 3.6 * 10^6 \frac{l}{día} * \frac{1día}{86400s} = 41.67 \frac{l}{s} \approx 42 \frac{l}{s}$$

Al abrir ventanas por toda la casa podemos distribuir este caudal en partes iguales en los cinco recintos (ya que no hay ventilación mecánica o híbrida que de un caudal diferente en función del tipo de recinto): Cocina, salones, habitaciones, baños y zonas comunes. Seguiremos la distribución de la Tabla 2 para poder introducir los datos debidamente en Cypetherm Loads.

| Recinto | Caudal (l/s) |
|----------------------|--------------|
| Cocina | 5 |
| Salón | 5 |
| Dormitorio 1 | 4 |
| Dormitorio principal | 4 |
| Baño 1 | 4 |
| Baño 2 | 4 |
| Baño 3 | 4 |
| Recibidor 1 | 4 |
| Recibidor 2 | 4 |
| Zona común | 4 |
| TOTAL | 42 |

Tabla 2: Valores caudal aire en función del tipo de recinto

El código técnico de la edificación obliga a cumplir condiciones más exigentes de las que se producirían con normativas anteriores como es el caso ya que, por ejemplo, para garajes impone un caudal de 120 l/s por cada plaza de garaje para reducir los gases generados por monóxidos de carbono y óxidos de nitrógeno [51].

Para las infiltraciones, “cantidad de aire que entra en el edificio directamente desde el exterior” [52] podemos tomar la hipótesis de impermeabilidad en la vivienda y así poder despreciarlas o, en su defecto, podemos asumir que en el caudal de ventilación se tiene en cuenta el caudal de infiltraciones. La principal diferencia entre infiltración y ventilación es que esta última se incorpora a la vivienda de manera controlada.

3.3 Cargas por transmisión térmica a través de cerramientos

A través de los cerramientos, particiones interiores o huecos de una vivienda circula un flujo de calor que, generalmente, es la causa principal de

dimensionado de equipos de climatización. La mayor o menor pérdida de calor depende directamente de la conductividad térmica del cerramiento ya que cuanto menor sea la conductividad térmica del material mayor resistencia que aparece frente a la conducción de calor por lo que se pierde menos energía, con lo cual se debe aportar menos calor para mantener los niveles deseados de temperatura.

Los valores de la conductividad de la fachada los obtenemos de la norma vigente en el año de fabricación del edificio (1994) [53]. Para obtener este dato tenemos que fijarnos en qué zona climática nos encontramos, lo cual vamos a observar en la Figura 37 y vemos que Ávila se sitúa en la zona “Z”

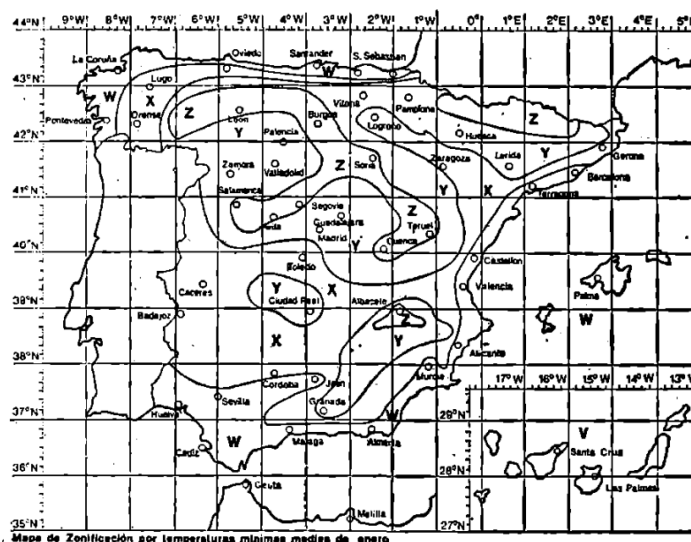


Figura 37: Zonas climáticas España [53]

A partir de ese dato y de los valores de la Figura 38 , tenemos un valor de la transmitancia de $U = 1,4 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ para la zona climática de Ávila (Z). Este valor es exageradamente alto comparado con el valor que nos exigiría el CTE en su sección HE-1 para edificios de nueva construcción cuyo valor sería de $U = 0,41 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ [54] para la misma zona climática, es decir, actualmente se ha reducido el factor de transmitancia térmica respecto a edificios antiguos de al menos 3.4 veces, por lo que se reducen las pérdidas de potencia térmica de forma drástica. Con este dato podemos llegar a saber que la mayor pérdida de energía se va a producir a través de los cerramientos. Para poder tomar como válido este valor podemos corroborarlo con softwares como CE3X (reconocido para la realización de certificados de eficiencia energética [55]) que proponen valores de transmitancia térmica en función de la zona climática y de la norma de aplicación (Figura 39).

| Tipo de cerramiento | | Zona climática según Mapa 2 (art. 13.º) | | | |
|--|--|---|-------------|-------------|-------------|
| | | V y W | X | Y | Z |
| Cerramientos exteriores | Cubiertas | 1,20 (1,40) | 1,03 (1,20) | 0,77 (0,90) | 0,60 (0,70) |
| | Fachadas ligeras ($\leq 200 \text{ kg/m}^2$) | 1,03 (1,20) | 1,03 (1,20) | 1,03 (1,20) | 1,03 (1,20) |
| | Fachadas pesadas ($> 200 \text{ kg/m}^2$) | 1,55 (1,80) | 1,38 (1,60) | 1,20 (1,40) | 1,20 (1,40) |
| | Forjados sobre espacio abierto | 0,86 (1,00) | 0,77 (0,90) | 0,69 (0,80) | 0,60 (0,70) |
| Cerramientos con locales no calefactados | Paredes, Suelos o techos | 1,72 (2,00) | 1,55 (1,80) | 1,38 (1,60) | 1,38 (1,60) |
| | | — (—) | 1,20 (1,40) | 1,03 (1,20) | 1,03 (1,20) |

Valores máximos de K en kcal/h m² °C (W/m² °C)

Figura 38: Valores de los coeficientes de útiles de transmisión térmica de los cerramientos [53]

Muro de fachada

Nombre: Zona:

Dimensiones

Superficie: m²
 Longitud: m
 Altura: m

Características

Orientación:
 Patrón de sombras:

Parámetros característicos del cerramiento

Propiedades térmicas: Transmitancia térmica: W/m²K

Figura 39: Valores de los coeficientes de útiles de transmisión térmica de los cerramientos propuestos por CE3X

Para elementos complementarios como puertas, huecos o tejados podemos utilizar los valores de la siguiente Tabla 3 con su respectiva referencia:

| Elemento | Transmitancia térmica (W/m ² K) | Referencia |
|--|--|------------|
| Huecos (marco, vidrio y cajón de persiana) | 1.8 | CTE [54] |
| Puertas | 5.7 | CTE [54] |
| Tejado | 0.7 | CE3X |
| Suelo y forjado | 1 | CE3X |
| Particiones interiores | 1.2 | CTE [54] |

Tabla 3: Transmitancia térmica de diferentes elementos

Introduciendo estos valores debidamente en Cype podemos realizar el estudio que nos proponemos. Cype posee una biblioteca enorme de datos por lo que si tenemos la composición exacta de la vivienda podremos realizar un estudio mucho más preciso sin necesidad de realizar este tipo de estimaciones.

3.4 Otros aspectos relativos a las cargas

3.4.1 Sombras

La vivienda a estudiar no dispone de elementos colindantes o próximos que se encuentren dentro de su patrón de sombras de forma significativa. Las

sombras existentes van a ser las propias del edificio, las cuales, son calculadas por CypeTherm Loads. A mayores, en IFC Builder podemos ver una representación gráfica de las sombras que se generan en la vivienda. Esto lo podemos ver en el apartado 2.2 de los anexos.

3.4.2 Cargas por radiación

Las cargas por radiación se tendrían en cuenta principalmente para refrigerar la vivienda, sin embargo, la refrigeración no la vamos a tratar en este estudio. De todos modos, el RTSM propuesto por ASHRAE e implantado en el software CypeTherm Loads tiene en cuenta el calor aportado por la radiación del sol, cosa que es muy interesante a la hora de calcular las cargas térmicas de calefacción. Este tipo de cargas hacen que el aporte de energía térmica disminuya.

3.4.3 Cargas por iluminación y ocupación

Este tipo de cargas son muy leves y no aumentan de manera significativa la energía demandada por la vivienda. Como hemos visto anteriormente, nuestra vivienda fue construida en 1994 por lo que no dispone de la normativa propuesta por el CTE, la cual era bastante restrictiva. Con esto podemos suponer que las cargas producidas por la iluminación o por ocupación pueden despreciarse debido a que no van a suponer aumentos o disminuciones de potencia si lo comparamos con el flujo de energía que puede fluir a través de los cerramientos los cuales tienen transmitancias térmicas muy elevadas.

4. Cálculos y resultados

4.1 Cálculo de cargas térmicas

El cálculo de cargas térmicas de este apartado va a servir para poder dimensionar los equipos del estudio. Dichos equipos van a tener que cubrir la cantidad de energía que se pierde por cada unidad de tiempo (J/s), es decir, la potencia (W) que demanda la vivienda para poder conseguir unas condiciones de diseño establecidas. Debido a que el cálculo de cargas térmicas no es el objetivo principal de este análisis, podemos calcular la potencia mediante estimaciones tomando como referencia los valores límite que proponen la normativa en el año de construcción de la vivienda a analizar [53]. Para el cálculo, vamos a utilizar el Método de las series temporales radiantes recomendado por la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Ashrae) donde se tendrá en cuenta la potencia generada por: transmisión de calor a través de cerramientos, ventilación e infiltraciones, sombras y radiación solar. En los siguientes apartados haremos un cálculo manual de manera similar a como lo calcula internamente Cype. Los valores de Cype los encontramos en el apartado 3 de los anexos.

4.1.1 Ejemplo cálculo cargas térmicas a través de ventilación e infiltraciones

Para poder entender cómo Cype hace el cálculo de cargas térmicas de ventilación e infiltraciones se va a poner un ejemplo. Para dicho apartado utilizaremos las ecuaciones siguientes:

$$\dot{Q}_{vent_sens} = \frac{\dot{V}}{v} * (h_{int} - h_{ext})_{sens} \quad (Ec. 4)$$

$$\dot{Q}_{vent_lat} = \frac{\dot{V}}{v} * (h_{int} - h_{ext})_{lat} \quad (Ec. 5)$$

Para obtener los valores que necesitamos para calcular la carga térmica que va a producir la ventilación, necesitamos de cierta información que detallaremos a continuación:

- El del caudal de aire (\dot{V}) lo hemos obtenido anteriormente con la Tabla 2 dando un valor de $42 \frac{l}{s}$ o $0,042 \frac{m^3}{s}$.
- Para el caso del volumen específico (v) y las entalpías interiores y exteriores (h_{int} y h_{ext}) usaremos el diagrama psicrométrico de [56] representado en: Figura 40, Figura 41, Figura 42, Figura 43. El lugar de estudio se encuentra a 827 m de altitud según [57]. Las condiciones

interiores son: $T_{Bulbo\ seco}^a = 22^{\circ}C$ y $Hum_{relat} = 45\%$ como se ha indicado anteriormente.

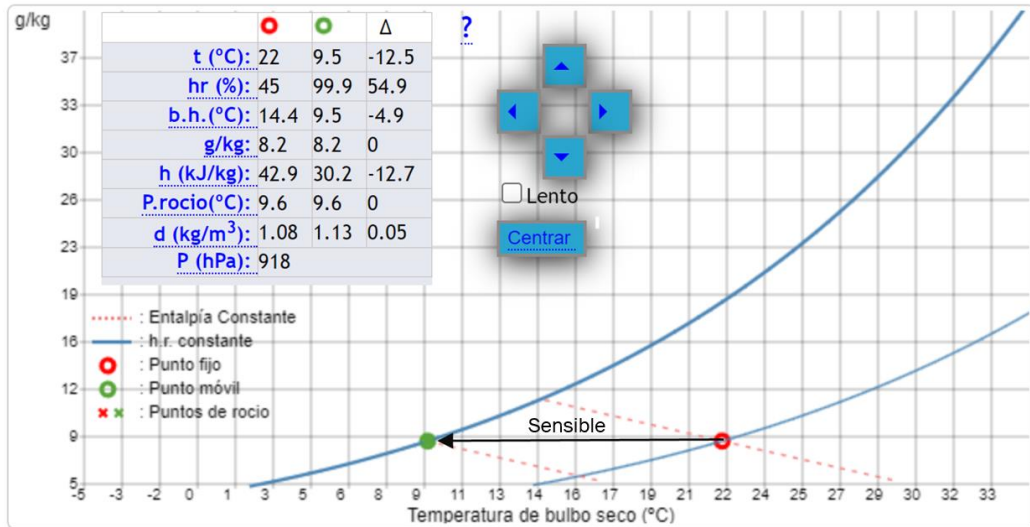


Figura 40: Diagrama psicrométrico sensible interior

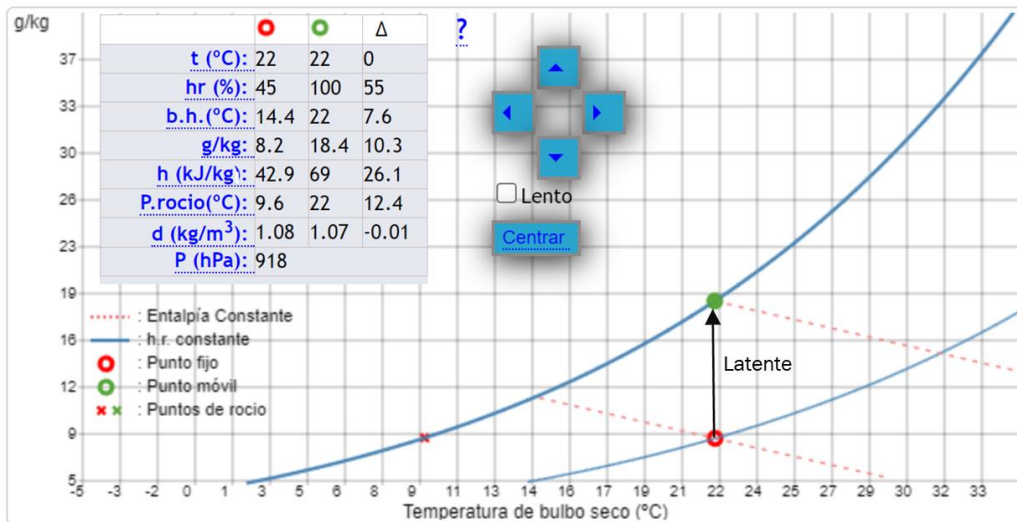


Figura 41: Diagrama psicrométrico latente interior

Las condiciones del aire exterior en las condiciones de diseño se obtienen de [58] por lo que obtenemos los valores siguientes $TS_{99} = -4.5^{\circ}C$ y $HUM_{coin} = 85.3\%$. Introduciendo los valores obtenemos lo siguiente:

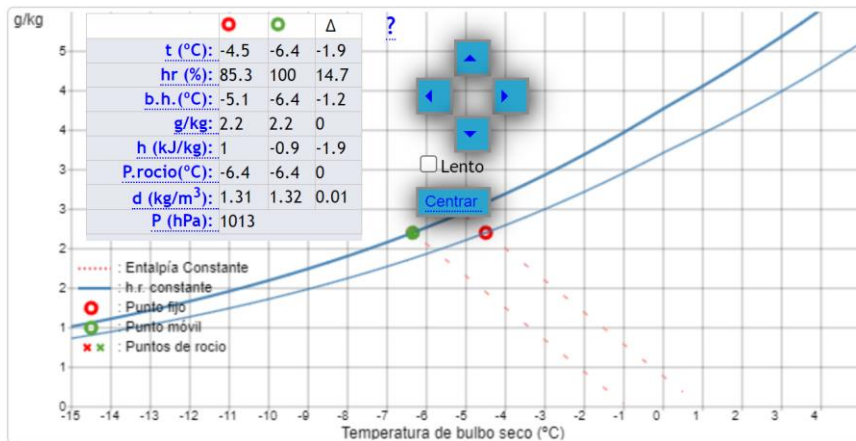


Figura 42: Diagrama psicrométrico sensible exterior

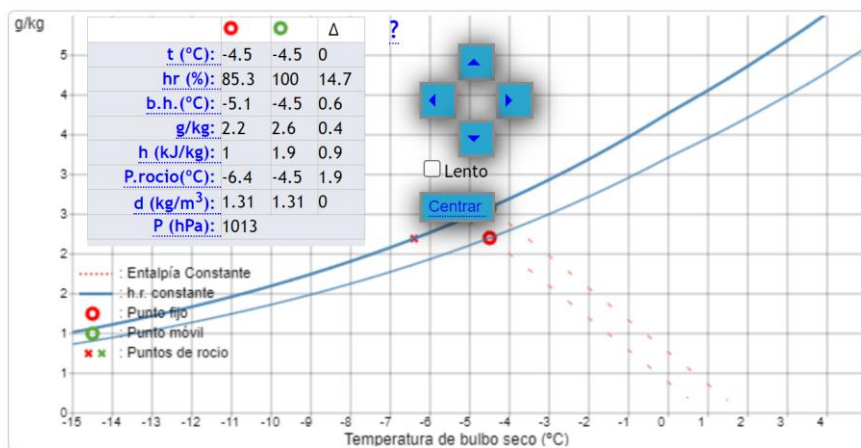


Figura 43: Diagrama psicrométrico latente exterior

Con las cuatro imágenes podemos obtener los valores que nos faltaban por completar, por lo que tenemos:

- Volumen específico: $v = \frac{1}{1.31} = 0.76 \left[\frac{m^3}{Kg} \right]$
- Entalpía sensible: Tenemos que distinguir dos casos:
 - Entalpía sensible interior: $h_{sens\ int} = 42.9 - 30.2 = 12.7\ KJ/Kg$
 - Entalpía sensible exterior: $h_{sens\ ext} = 1 - (-0.9) = 1.9\ KJ/Kg$
- Entalpía Latente:
 - Entalpía latente interior: $h_{lat\ int} = 69 - 42.9 = 26.1\ KJ/Kg$
 - Entalpía latente exterior: $h_{lat\ ext} = 1.9 - 1 = 1\ KJ/Kg$

Sustituimos los valores en las ecuaciones 4 y 5 y obtenemos el flujo de calor sensible y latente de la vivienda:

$$\dot{Q}_{vent_sens} = \frac{0.042 \frac{m^3}{s}}{0.76 \left[\frac{m^3}{Kg}\right]} * (12.7 - 1.9) \left[\frac{KJ}{Kg}\right] = 596 W$$

$$\dot{Q}_{vent_lat} = \frac{0.042 \frac{m^3}{s}}{0.76 \left[\frac{m^3}{Kg}\right]} * (26.1 - 1) \left[\frac{KJ}{Kg}\right] = 1387 W$$

Los valores que nos da Cype según el apartado 8.3.2 en la primera y segunda página son:

$$\dot{Q}_{vent_sens} = 692 W ; \dot{Q}_{vent_lat} = 1344 W$$

Como se puede ver hay una ligera diferencia en los valores que se debe a que Cype ha usado valores diferentes para el cálculo tal como podemos ver en el apartado 3.2.2.2 de los anexos. Estos valores son:

- Humedad relativa del 90%
- Temperatura de bulbo seco de -4.7°C
- Mayoración en la carga sensible y latente del 5%

Esto hace que se hayan tomado otros valores del volumen específico o de entalpías interiores y exteriores, por lo que podemos tomar estos valores como válidos para el estudio. Nos vale principalmente para tener una idea de la magnitud de los valores que podríamos tener en la vivienda y para ver una forma de calcularlo para el caso de carga máxima de calefacción.

4.1.2 Ejemplo cálculo cargas térmicas a través de cerramientos

Tal como hemos hecho para el cálculo de cargas térmicas de ventilación e infiltraciones, veremos cómo Cype ha calculado las cargas térmicas de la vivienda poniendo un ejemplo de ello para poder saber cuál es el procedimiento que se sigue. Para ello vamos a utilizar la Figura 44 en la que podemos ver la vista en planta del salón de la vivienda. El calor cedido a través de los cerramientos se calcula mediante la ecuación 6:

$$Q = U * A * \Delta T \quad (\text{Ec. 6})$$

En la expresión anterior se aprecia que el flujo de calor depende directamente del área de las paredes, de la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior y del coeficiente global de transferencia de calor. Como podemos

apreciar, la manera más radical de disminuir el flujo de calor para aislar la vivienda depende principalmente del coeficiente global de transferencia de calor ya que es el parámetro que podemos modificar con mayor facilidad.

El coeficiente global de transferencia de calor es un parámetro que nos expresa la “resistencia” que presenta en este caso, la pared del salón, para permitir o no el flujo de calor a través de ella. Mediante la ecuación 7 podemos ver cómo se calcula:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \sum_{j=1}^n \frac{e_j}{k_j} + \frac{1}{h_{ext}}} \quad (Ec.7)$$

Gracias a la anterior expresión podemos ver que el coeficiente global de transmisión va a disminuir si reducimos el coeficiente de película (h), si disminuimos la conductividad térmica (k) o si aumentamos el espesor del material. Todo esto hace que se reduzca “U”, por lo que se reduce el flujo de calor que atraviesa el material en cuestión.

Para empezar con la demostración, vamos a calcular los diferentes parámetros que intervienen en el cálculo de la carga máxima de calefacción:

- El coeficiente global de transferencia de calor máximo lo tenemos estipulado en [53], donde obtenemos $U_{Fachada} = 1,4 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ y $U_{ventanas} = 1,8 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
- La diferencia de temperaturas la obtenemos de [58] tal como hicimos en el apartado anterior, por lo que tenemos las siguientes condiciones exteriores $TS_{99} = -4.5^\circ C$ y $HUM_{coin} = 85.3\%$. Las condiciones interiores son $T_{Bulbo\ seco}^a = 22^\circ C$ y $Hum_{relat} = 45\%$. Como vimos anteriormente, los valores exteriores son un tanto diferentes a los que usa Cype, sin embargo, nos sirve para poder corroborar resultados con otras fuentes y así demostrar el procedimiento de dicho software.
- El área efectiva de transferencia de calor lo calcularemos utilizando la Figura 44. Hay que tener en cuenta que la fachada contiene a los huecos por lo que hay que diferenciar el área de la fachada y el área de los huecos ya que tienen diferentes coeficientes globales de transferencia. La altura del suelo al techo es de 2,9 m.
 - $A_{Fachada\ sur} = (5,68 * 2,9) - (1,1 * 1,14) = 15,218\ m^2$
 - $A_{Fachada\ oeste} = (7,23 * 2,9) - (2,65 * 1,14) - (1,36 * 1,14) = 16,4\ m^2$
 - $A_{Ventana\ sur} = 1,1 * 1,14 = 1,254\ m^2$
 - $A_{Ventana\ oeste\ grande} = 2,65 * 1,14 = 3,021\ m^2$
 - $A_{Ventana\ oeste\ pequeña} = 1,36 * 1,14 = 1,5504\ m^2$



Figura 44: Plano del salón de la vivienda

Utilizando la ecuación 6 podemos sustituir los valores para obtener el flujo de calor a través de los diferentes elementos. Cabe recalcar que la diferencia de temperatura entre el salón y las estancias calefactadas es cero por lo que teóricamente no existe flujo de calor.

$$\text{Fachada Sur: } Q = U * A * \Delta T = 1,4 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 15,218 m^2 * (22 - (-4,5))^\circ C = 564,58W$$

$$\text{Fachada Oeste: } Q = U * A * \Delta T = 1,4 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 16,4m^2 * (22 - (-4,5))^\circ C = 608,44W$$

$$\text{Ventana sur: } Q = U * A * \Delta T = 1,8 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 1,254 m^2 * (22 - (-4,5))^\circ C = 59,81 W$$

$$\text{Ventana oeste grande: } Q = U * A * \Delta T = 1,8 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 3,021 m^2 * (22 - (-4,5))^\circ C = 144,1W$$

$$\text{Ventana oeste pequeña: } Q = U * A * \Delta T = 1,8 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 1,55 m^2 * (22 - (-4,5))^\circ C = 74W$$

Los valores proporcionados por Cype respectivamente son: 571W, 606W, 60W, 160W y 82W. Como dijimos anteriormente las diferencias en los valores obtenidos se debe a las siguientes hipótesis:

- Temperatura de bulbo seco de $-4.7^\circ C$
- Factores de corrección en función de la orientación (e_k)
- Áreas efectivas limitadas por el diseño 3D del modelo

Teniendo todo esto en cuenta podemos entender que haya diferencia entre los valores calculados manualmente y los que proporciona Cype

Para el cálculo de cargas en una estancia a través de espacios no calefactados, Cype obtiene factores de reducción los cuales se añaden en la ecuación 6 multiplicando a toda la expresión debido a que no se conoce la temperatura del espacio no calefactado. Estos factores se obtienen de una forma un poco tediosa como podemos ver en el apartado 3.3 de los anexos, sin embargo, para el cálculo se puede suponer que la temperatura “exterior” del espacio no calefactado se obtiene haciendo la media entre la temperatura exterior y la de diseño.

4.2 Interpretación de resultados

Para este apartado nos vamos a guiar principalmente de los datos proporcionados por Cype (apartado 3.2.1.2 de los anexos)

Como podemos ver en la Tabla 4 creada a partir del apartado “**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**”, la carga sensible proporcionada a través de los cerramientos es muy superior a la carga que pueda producir el viento y esto se debe al alto coeficiente global de transferencia de calor. Viendo estos valores podemos suponer como buena la hipótesis tomada anteriormente de despreciar las cargas que pueda llegar a producir la ocupación ya que, por ejemplo, la carga térmica sensible que produciría una persona andando sería de unos 75W y la carga latente serían unos 55W [59].

Resumen de las cargas de calefacción de la zona: Zona 1

| | Externas | | | | Ventilación | | | Totales | | | |
|--|------------------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|--------------|------------------------------|--------------|
| | A (m ²) | Conducción (W) | Inf. lat. (W) | Inf. sens. (W) | Caudal (l/s) | Lat. (W) | Sens. (W) | Lat. (W) | Sens. (W) | Total (W/m ²) | Total (W) |
| Carga máxima de calefacción por recinto | | | | | | | | | | | |
| Cocina | 11.6 | 1613 | 0 | 0 | 5 | 82 | 160 | 86 | 1862 | 167.64 | 1948 |
| Salón | 39.3 | 3326 | 0 | 0 | 5 | 82 | 160 | 86 | 3660 | 95.45 | 3747 |
| Dormitorio 1 (Habitación 1) | 14.6 | 1160 | 0 | 0 | 4 | 66 | 128 | 69 | 1353 | 97.62 | 1422 |
| Baño 1 (Baños) | 4.1 | 572 | 0 | 0 | 4 | 66 | 128 | 69 | 736 | 195.90 | 805 |
| Baño 2 (Baños) | 2.1 | 297 | 0 | 0 | 4 | 66 | 128 | 69 | 447 | 240.73 | 516 |
| Baño 3 (Baños) | 6.2 | 1264 | 0 | 0 | 4 | 66 | 128 | 69 | 1462 | 247.34 | 1531 |
| Recibidor 1 (Zonas comunes) | 2.3 | 535 | 0 | 0 | 4 | 66 | 128 | 69 | 696 | 335.50 | 766 |

| | Externas | | | | Ventilación | | | Totales | | | |
|--|-------------------|------------|-----------|------------|-------------|------|-------|------------|--------------|---------------------|--------------|
| | A | Conducción | Inf. lat. | Inf. sens. | Caudal | Lat. | Sens. | Lat. | Sens. | Total | Total |
| | (m ²) | (W) | (W) | (W) | (l/s) | (W) | (W) | (W) | (W) | (W/m ²) | (W) |
| Carga máxima de calefacción por recinto | | | | | | | | | | | |
| Recibidor 2 (Zonas comunes) | 10.9 | 451 | 0 | 0 | 4 | 66 | 128 | 69 | 609 | 62.32 | 678 |
| Zona común (Zonas comunes) | 12.7 | 1728 | 0 | 0 | 4 | 66 | 128 | 69 | 1950 | 159.45 | 2019 |
| Dormitorio principal (Habitación principal) | 12.1 | 1198 | 0 | 0 | 4 | 66 | 128 | 69 | 1393 | 120.66 | 1462 |
| Carga máxima simultánea de calefacción para el conjunto de recintos | | | | | | | | | | | |
| Zona 1 | 115.8 | | | | 42 | | | 726 | 14168 | 128.59 | 14894 |

Tabla 4: Resumen de las cargas de calefacción de la zona: Zona 1

Otra forma de visualizar las cargas térmicas en cada estancia son los diagramas circulares de la Figura 45 donde se representan las cargas térmicas máximas de calefacción en función del tipo de estancia de la vivienda. Es de destacar que más de $\frac{1}{4}$ de la carga térmica máxima que atraviesa la vivienda se produce en el salón ya que es el espacio que cuenta con mayor cantidad de superficie. Con esta representación tan visual del modelo podemos ver qué partes son las que presentan mayores demandas y por lo tanto las zonas prioritarias en un estudio de mejoras. En este caso si actuamos directamente sobre el salón, mejorando el aislamiento o disminuyendo las condiciones de consigna entre otras opciones, podremos reducir la carga térmica que deberán suministrar los equipos de climatización de forma rápida y eficaz.

El tener el reparto de demanda por estancias nos permite además calcular la potencia de los elementos finales presentados anteriormente. En el caso de los radiadores, podemos calcular el número de elementos necesarios, o en el caso de un suelo radiante, la separación y el diámetro de los tubos.

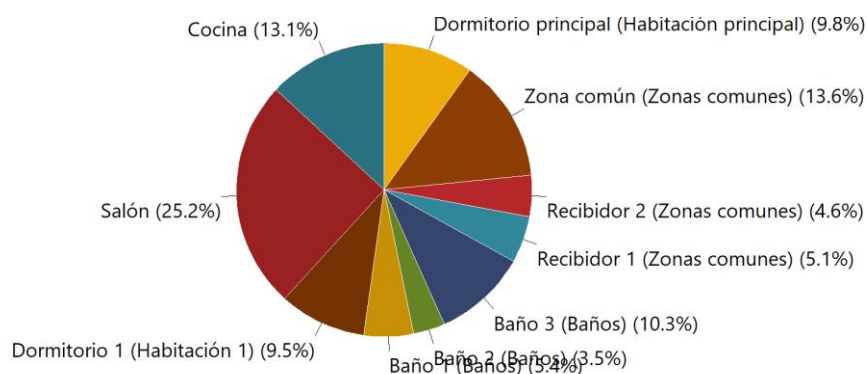


Figura 45: Carga máxima de calefacción (14894 W)

Como bien hemos dicho, en el salón se debe suministrar mayor cantidad de energía por parte de los equipos de calefacción para poder cumplir las condiciones de consigna. En la Figura 46 se representa de una forma mucho más visual la importancia de la envolvente opaca. El día de máxima calefacción, es decir, el día del año que la temperatura de bulbo seco es más reducida en el ambiente, se produce la mayor transferencia de calor por parte de los cerramientos. Como vimos en el apartado “3.3: Cargas por transmisión térmica a través de cerramientos”, con el nuevo código Técnico de la Edificación se reduce el coeficiente global de transferencia de calor 3.4 veces por lo que la carga térmica se reduciría en gran medida si se cumpliera la actual normativa. Esto pone en evidencia la importancia que tiene un buen aislamiento térmico tanto en fachada como en huecos.

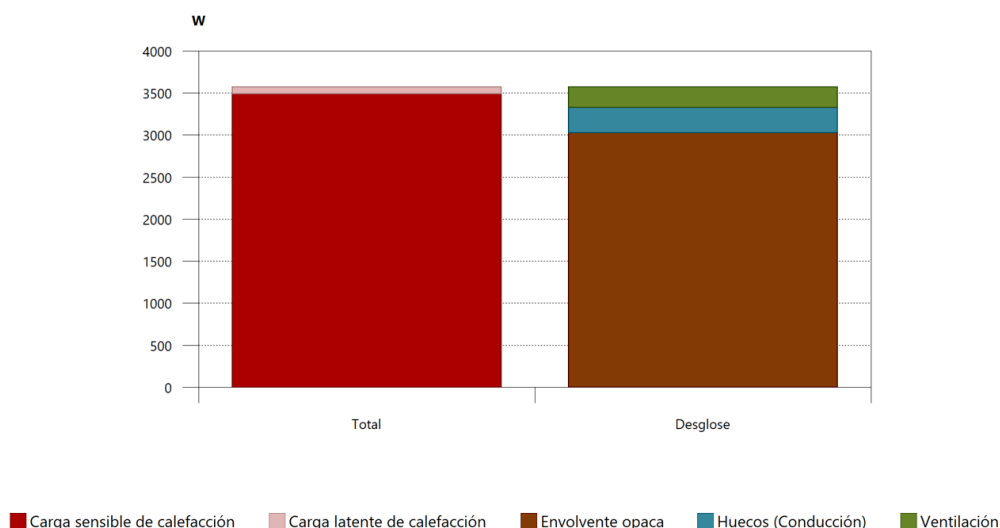


Figura 46: Desglose de la carga máxima de calefacción en el salón

4.3 Elección de los equipos de calefacción

Siguiendo los valores obtenidos por CypeTherm Loads expuestos anteriormente, se puede obtener la energía anual que va a demandar la vivienda, este paso lo realizaremos con Cypetherm HE Plus. Dicha demanda anual es de $16237 \frac{kWh}{año}$ o $140.19 \frac{kWh}{m^2 año}$. Estos valores son bastante elevados, sin embargo, como hemos repetido varias veces, al tratarse de una vivienda anterior al CTE situada en una zona climática principalmente fría son valores perfectamente razonables. A partir de dichos valores podemos dimensionar equipos de aerotermia y de calderas de gas para poder seguir con el estudio. Para hacer el estudio más realista, se ha optado por obtener los datos económicos de los equipos a través de diferentes empresas instaladoras.

4.3.1 Demanda térmica mensual y coste energético

Gracias al software CypeTherm HE Plus se han podido obtener los datos de la demanda energética de la vivienda, cuyos valores se encuentran recogidos en la Tabla 5 y de forma más detallada en el apartado 3.4 de los anexos. Como podemos ver en los datos proporcionados por Cype del apartado “**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**”, nos encontramos con que la mayor parte del calor aportado por la calefacción se “escapa” a través de los cerramientos de la vivienda. Esto es así ya que, como vimos anteriormente en el apartado “Cargas por transmisión térmica a través de cerramientos”, la transmitancia térmica que proponía la norma para los cerramientos en el año de construcción de la vivienda era muy reducida.

| Calendario | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|---------|--------|--------|------|-------|-------|--------|-------|---------|-----------|-----------|---------|
| Mes | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Octubre | Noviembre | Diciembre | Anual |
| Días | 31 | 28 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | |
| Demanda Calorífica (kWh) | 3313,2 | 2430,1 | 2061,1 | 1348,1 | 694 | 0 | 0 | 0 | 0 | 867,7 | 2279,4 | 3243,7 | 16237,3 |
| Demanda por superficie S=116,85 m ² (kWh/m ²) | 28,35 | 20,80 | 17,64 | 11,54 | 5,94 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7,43 | 19,51 | 27,76 | 138,96 |

Tabla 5: Demanda energética mensual

Para evaluar económicamente el estudio es necesario definir los precios de la energía que van a entrar en juego. Este tema es algo difícil de tratar ya que existe una gran cantidad de empresas que ofrecen, en el caso de la electricidad, tarifas muy variadas. Por otro lado, como se pudo ver en el apartado de normativa, el sector energético sufre cambios legislativos de manera frecuente. Podemos encontrar valores del precio de la electricidad muy diferentes principalmente en función de la hora del día, sin embargo, los más interesantes son las horas punta y llanas ya que es donde más se utiliza la

energía eléctrica a la hora de calefactar una vivienda. En la Tabla 6 podemos ver diferentes precios en función de la fuente de donde han sido obtenidos, por lo que tenemos las siguientes fuentes:

- Precio del gas y de la electricidad obtenido de dos facturas de una vivienda.
- Precio del gas y de la electricidad en función de los valores implantados en CE3X (Documento Reconocido para la Certificación Energética de Edificios Existentes).
- Precio del gas obtenido de la Tarifa de Último Recurso (TUR).
- Precio de la electricidad obtenido de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC). Se han cogido valores de diferentes empresas comercializadoras.

| Coste energía | | Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|--|-------------------|-----------|---------------|---------------|--------|------------------|------------------|----------|
| Variable | Facturas (local y vivienda) | CE3X | TUR 3 GAS NATURAL | Iberdrola | Naturgy Punta | Naturgy Llano | Sweno | Gesternova Punta | Gesternova Llano | MEDIA |
| Precio electricidad (€/kWh) | 0,19641 | 0,18 | - | 0,1413 | 0,2022 | 0,1473 | 0,1628 | 0,243368 | 0,187726 | 0,182638 |
| Precio gas (€/kWh) | 0,056276 | 0,0717 | 0,0397 | - | - | - | - | - | - | 0,055892 |

Tabla 6: Precios de la energía

4.3.2 Presupuestos y datos técnicos de los equipos

Como se comentó al inicio del presente apartado, para hacer el estudio más real se ha optado por solicitar diferentes presupuestos de equipos de aerotermia y de calderas de gas a marcas comercializadoras tales como Vaillant, Baxi, Saunier Duval... En la Tabla 7 se nombran los diferentes equipos de aerotermia con sus características técnicas obtenidas de catálogos comerciales y del repositorio de datos de Cypetherm HE Plus junto con sus precios de instalación y de adquisición del equipo.

Para evaluar el COP de cada equipo vamos a proceder de dos formas diferentes ya que el salto térmico entre el aire exterior y el agua de impulsión es de gran influencia tal como podemos ver en la Figura 47. Viendo dicha figura podemos apreciar que para el régimen de giro nominal (por ejemplo), tenemos un COP de 1,95 para temperatura de aire exterior de -7°C y de 55°C para la impulsión del agua. Por otro lado, se aprecia que tenemos valores de COP de hasta 8,47 para saltos de temperatura de 5°C (Temperatura aire exterior de 20°C y temperatura agua impulsión de 25°C). Debido a estos grandes cambios en el COP se ha optado por hacer una media de los valores obtenidos mediante las especificaciones técnicas del equipo propuestas por el fabricante y los valores de consumo eléctrico que propone Cype para cumplir la demanda térmica en la vivienda en base a diferentes criterios.

| | | Temperatura de impulsión [°C] | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 25 | | 35 | | 40 | | 45 | | 50 | | 55 | | 60 | |
| Rég. | T° | Cap. | COP | Cap. | COP | Cap. | COP | Cap. | COP | Cap. | COP | Cap. | COP | Cap. | COP |
| | [°C] | [kW] | | [kW] | | [kW] | | [kW] | | [kW] | | [kW] | | [kW] | |
| Máx. | -28> | - | - | 9,5 | 1,93 | 9,3 | 1,70 | 9,0 | 1,50 | - | - | - | - | - | - |
| | -25> | - | - | 9,7 | 1,96 | 9,5 | 1,73 | 9,3 | 1,53 | - | - | - | - | - | - |
| | -20> | - | - | 10,2 | 2,02 | 10,0 | 1,79 | 9,7 | 1,57 | - | - | - | - | - | - |
| | -15> | - | - | 11,9 | 2,30 | 11,6 | 2,04 | 11,2 | 1,80 | 10,8 | 1,56 | 10,4 | 1,35 | - | - |
| | -10> | 12,8 | 2,34 | 12,2 | 2,12 | 11,9 | 2,13 | 11,5 | 2,13 | 11,2 | 2,01 | 10,8 | 1,74 | - | - |
| | -7> | 12,8 | 2,62 | 12,2 | 2,37 | 11,9 | 2,38 | 11,5 | 2,39 | 11,2 | 2,25 | 10,8 | 1,95 | - | - |
| | 2> | 12,3 | 2,62 | 11,7 | 3,16 | 11,4 | 2,87 | 11,2 | 2,60 | 10,8 | 2,25 | 10,4 | 1,94 | 9,9 | 1,68 |
| | 7 | 13,8 | 4,88 | 13,1 | 4,07 | 12,7 | 3,52 | 12,3 | 3,05 | 11,8 | 2,64 | 11,4 | 2,28 | 10,9 | 1,98 |
| | 12 | 16,1 | 5,50 | 15,2 | 4,58 | 14,7 | 3,97 | 14,2 | 3,44 | 13,7 | 2,98 | 13,2 | 2,57 | 12,6 | 2,23 |
| | 15 | 17,4 | 5,86 | 16,4 | 4,88 | 15,9 | 4,23 | 15,4 | 3,66 | 14,8 | 3,17 | 14,3 | 2,74 | 13,7 | 2,37 |
| 20 | 19,9 | 6,46 | 18,8 | 5,39 | 18,2 | 4,67 | 17,6 | 4,04 | 16,9 | 3,50 | 16,3 | 3,03 | 15,6 | 2,62 | |
| Nom. | -28> | - | - | 9,5 | 1,93 | 9,3 | 1,70 | 9,0 | 1,50 | - | - | - | - | - | - |
| | -25> | - | - | 9,7 | 2,00 | 9,5 | 1,73 | 9,3 | 1,53 | - | - | - | - | - | - |
| | -20> | - | - | 10,2 | 2,02 | 10,0 | 1,79 | 9,7 | 1,57 | - | - | - | - | - | - |
| | -15> | - | - | 11,2 | 2,37 | 11,2 | 2,05 | 11,2 | 1,80 | 10,8 | 1,56 | 10,4 | 1,35 | - | - |
| | -10> | 11,2 | 3,57 | 11,2 | 2,98 | 11,2 | 2,58 | 11,2 | 2,26 | 11,2 | 2,01 | 10,8 | 1,74 | - | - |
| | -7> | 11,2 | 4,01 | 11,2 | 3,34 | 11,2 | 2,89 | 11,2 | 2,54 | 11,2 | 2,25 | 10,8 | 1,95 | - | - |
| | 2> | 11,2 | 3,86 | 11,2 | 3,22 | 11,2 | 2,90 | 11,2 | 2,60 | 10,8 | 2,25 | 10,4 | 1,94 | 9,9 | 1,68 |
| | 7 | 11,2 | 5,35 | 11,2 | 4,46 | 11,2 | 3,87 | 11,2 | 3,39 | 11,2 | 3,01 | 11,2 | 2,71 | 10,9 | 1,98 |
| | 12 | 11,2 | 6,56 | 11,2 | 5,46 | 11,2 | 4,74 | 11,2 | 4,15 | 11,2 | 3,68 | 11,2 | 3,32 | 11,2 | 2,84 |
| | 15 | 11,2 | 7,26 | 11,2 | 6,05 | 11,2 | 5,24 | 11,2 | 4,60 | 11,2 | 4,08 | 11,2 | 3,67 | 11,2 | 3,14 |
| 20 | 11,2 | 8,47 | 11,2 | 7,06 | 11,2 | 6,12 | 11,2 | 5,37 | 11,2 | 4,76 | 11,2 | 4,29 | 11,2 | 3,67 | |

Figura 47: Valores de COP en función de la temperatura exterior del aire y de impulsión del agua en los equipos de Mitsubishi Electric

- Valor del COP mediante la relación demanda/consumo: Para obtener el consumo eléctrico del equipo de aerotermia en las condiciones de demanda, disponemos en CypeTherm HE Plus de una biblioteca llamada "Open BIM Systems" donde podemos encontrar los equipos de aerotermia de las principales marcas comercializadoras. Añadiendo en el software dicho sistema de climatización con su debido emisor en función de la temperatura de impulsión del agua podemos obtener datos mensuales de consumo eléctrico del sistema. La demanda térmica la dividimos entre el consumo eléctrico y podemos obtener el COP que ha usado Cype para el cálculo. Dichos valores los tomamos como primera referencia. En el caso del equipo de Domusa no se tienen datos en Cype por lo que se usará el dato de sus especificaciones técnicas
- Valor del COP mediante especificaciones técnicas: Se ha tenido en cuenta una temperatura de 35°C para suelo radiante y de 55°C para radiadores convencionales. Como segundo valor de referencia del COP podemos usar el que proponen los fabricantes en las especificaciones técnicas de los equipos. En dichas especificaciones se usan las anotaciones A2W35, A7W55 que sirven para detallar la temperatura del aire (Ax) y la temperatura del agua de impulsión (Wxx).

Haciendo una media de los valores del COP podemos obtener unos datos finales usados para el cálculo. En la Tabla 7 podemos ver los presupuestos de los equipos, así como los valores de los rendimientos que hemos obtenido.

| Aeroterminia | Presupuestos y especificaciones AEROTERMIA | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Equipo | Monobloc Plus 2 - 12MR Baxi | Monobloc Plus 2 - 16MR Baxi | Arotherm Split 12 kW Vaillant | Arotherm plus 12 Compacta Vaillant | Arotherm plus 12 Compacta Vaillant | Genia Air Max 12 Saunier Duval | Arotherm plus 12 Compacta Vaillant | Genia Air Max 8 Saunier Duval | Dual Klima 9HT Domusa | Arotherm plus 8 Compacta Vaillant |
| Potencia Calorífica (kW) | 12,1 | 15,9 | 12,23 | 11,6 | 11,6 | 11,6 | 11,6 | 7,37 | 9,15 | 7,37 |
| COP Clima frío W35 (Baja Tª) | 4,94930 | 4,63304 | 4,16647 | 4,7312 | 4,73128 | 4,73120 | 4,7312 | 4,36695 | 4,3 | 4,3453 |
| COP Clima frío W55 (Alta Tª) | 2,95271 | 3,07491 | 2,840342 | 2,875382 | 2,875382 | 3,250212 | 2,875382 | 2,948096 | 2,9 | 2,586827 |
| Coste equipo + instalación (€) | 12000 | 12000 | 12624,66 | 12656,6 | 16998,88 | 16558,25 | 16889,42 | 14448,47 | 9438 | 15578,75 |
| Coste específico [€/kW] | 991,74 | 754,72 | 1.032,27 | 1.091,09 | 1.465,42 | 1.427,44 | 1.455,98 | 1.960,44 | 1.031,48 | 2.113,81 |

Tabla 7: Presupuestos y datos técnicos en aeroterminia

Para el caso de las calderas de gas podemos ver que tanto las características de los equipos como sus precios son bastante similares. En la Tabla 8 podemos ver la información comentada anteriormente donde la diferencia más notable con respecto a la aeroterminia se encuentra en el rendimiento y en el precio de inversión. Otro dato por destacar es el rendimiento, el cual se mantiene constante ya que las calderas de gas obtienen el calor de la combustión, por lo que su rendimiento no depende en gran medida de las condiciones climatológicas exteriores.

| Caldera | Presupuestos y especificaciones CALDERAS DE GAS | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|
| Equipo | EcoTEC pure 286 Vaillant | Puma Condens 24-28 MKV Protherm | VMW 32CS 1-5 ecoTEC plus Vaillant | MicraPlus Condens 30 Hermann | Semia Condens 30 Saunier Duval | Caldera Thema Condens 31-CS/1 (N-ES) Saunier Duval | NEODENS PLUS 28/28 F ECO Baxi | NEODENS PLUS 33/33 F ECO Baxi | 6000 25-28 Bosch | 6000 25-32 Bosch |
| Potencia Calorífica min (kW) | 7,5 | 6,9 | 3,5 | 0 | 6 | 3,4 | 3,8 | 4,7 | 0 | 0 |
| Potencia Calorífica máx. (kW) | 24 | 25,9 | 27 | 25 | 25 | 25 | 24 | 28 | 24 | 24 |
| Rendimiento (%) | 97 | 93 | 97,8 | 94 | 98,2 | 98 | 87,9 | 88,1 | 94 | 94 |
| Potencia Combustión min (kW) | 7,7319 | 7,41935 | 3,5780 | 0 | 6,1099 | 3,46938 | 4,32309 | 5,3346 | 0 | 0 |
| Potencia Combustión máx. (kW) | 24,74 | 27,8437 | 27,60796 | 26,59468 | 25,45827 | 25,51008 | 27,30377 | 31,78203 | 25,53189 | 25,53 |
| Coste equipo + instalación (€) | 3088,74 | 2799,75 | 3921,96 | 2931,76 | 3229,76 | 3842,75 | 2860,7 | 2.939,75 | 3193,29 | 3273,49 |

Tabla 8: Presupuestos y datos técnicos en calderas de gas

4.3.3 Placas fotovoltaicas

En este apartado se va a evaluar la instalación de placas fotovoltaicas como ayuda complementaria para los sistemas de aerotermia. Como sabemos, la aerotermia funciona gracias a la electricidad por lo que la instalación de placas fotovoltaicas afecta en gran medida a dichos equipos excluyendo por completo a las calderas de gas. Las calderas de gas tienen aportes de electricidad para su funcionamiento, sin embargo, no se va a tener en cuenta en el estudio debido a que se tratan con valores muy reducidos al compararlos con el gasto de gas natural.

Para este estudio se han solicitado presupuestos a dos empresas instaladoras de placas fotovoltaicas. La energía eléctrica obtenida de dichas placas la vamos a obtener gracias a los datos proporcionados por las empresas y a su vez se van a corroborar los valores utilizando el Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica (PVGIS) [60] propuesto por la Comisión Europea. Los datos de generación de electricidad a través de las placas fotovoltaicas son los que encontramos en la Tabla 9.

| Calendario | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|-------|
| Mes | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | ANUAL |
| Días | 31 | 28 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | |
| Generación eléctrica Octopus (kWh/día) | 5,9 | 8,4 | 12 | 15,2 | 18,7 | 20,5 | 22,1 | 20,1 | 14,7 | 10 | 6,3 | 5 | |
| Generación eléctrica Octopus (kWh) | 182,9 | 235,2 | 372 | 456 | 579,7 | 615 | 685,1 | 623,1 | 441 | 310 | 189 | 155 | 4689 |
| Generación eléctrica Selectra (kWh) | 500 | 530 | 730 | 740 | 820 | 830 | 940 | 930 | 800 | 700 | 490 | 520 | 8010 |

Tabla 9: Generación de energía eléctrica con placas fotovoltaicas

La generación eléctrica de las placas se representa por meses debido a la gran diferencia de energía que se genera en verano frente al invierno. La gran parte de la energía anual de las placas fotovoltaicas se genera en verano, cosa que no es deseable ya que en verano no es necesaria la calefacción. Vamos a tomar la hipótesis de que la energía generada durante el día se va a aprovechar para el uso total de la aerotermia y que, durante la noche con producción cero, se supondrá que la aerotermia no funciona.

El procedimiento se basará en la compensación del consumo energético mensual de la aerotermia con el valor de la generación eléctrica de las placas fotovoltaicas.

4.4 Análisis económico y energético

Para realizar dicho análisis vamos a tratar de proponer diferentes casos de estudio. Esto lo hacemos ya que existe una altísima cantidad de variables que influyen en mayor o menor medida en el estudio. Como bien sabemos, el rendimiento de los equipos de aerotermia es 2,5 o 4,5 veces superior al rendimiento que pueden llegar a darnos las calderas de gas teniendo en cuenta que en un caso la base es térmica y en el otro eléctrica, por lo que a la hora de analizar la viabilidad y poder comparar ambos sistemas, es necesario comparar los precios de ambos. Así el precio de la electricidad es 2 o 3'6 veces superior al precio del gas según los precios obtenidos en la Tabla 6, lo cual puede llevar a que la aerotermia no sea tan rentable en todos los escenarios de estudio como se puede llegar a pensar. Debido a esto es necesario analizar varios casos con diferentes precios de las energías ya que cuanto mayor sea la diferencia entre ambos precios, menos rentable serán los equipos de aerotermia. A mayores de los casos iniciales usando precios diferentes de energías para temperaturas de impulsión de 35°C y 55°C, se hará otro estudio añadiendo placas fotovoltaicas.

4.4.1 Caso 1: Precios de energía medio ($0,182 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ electricidad y $0,0558 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ gas) 55°C sin placas solares (PV).

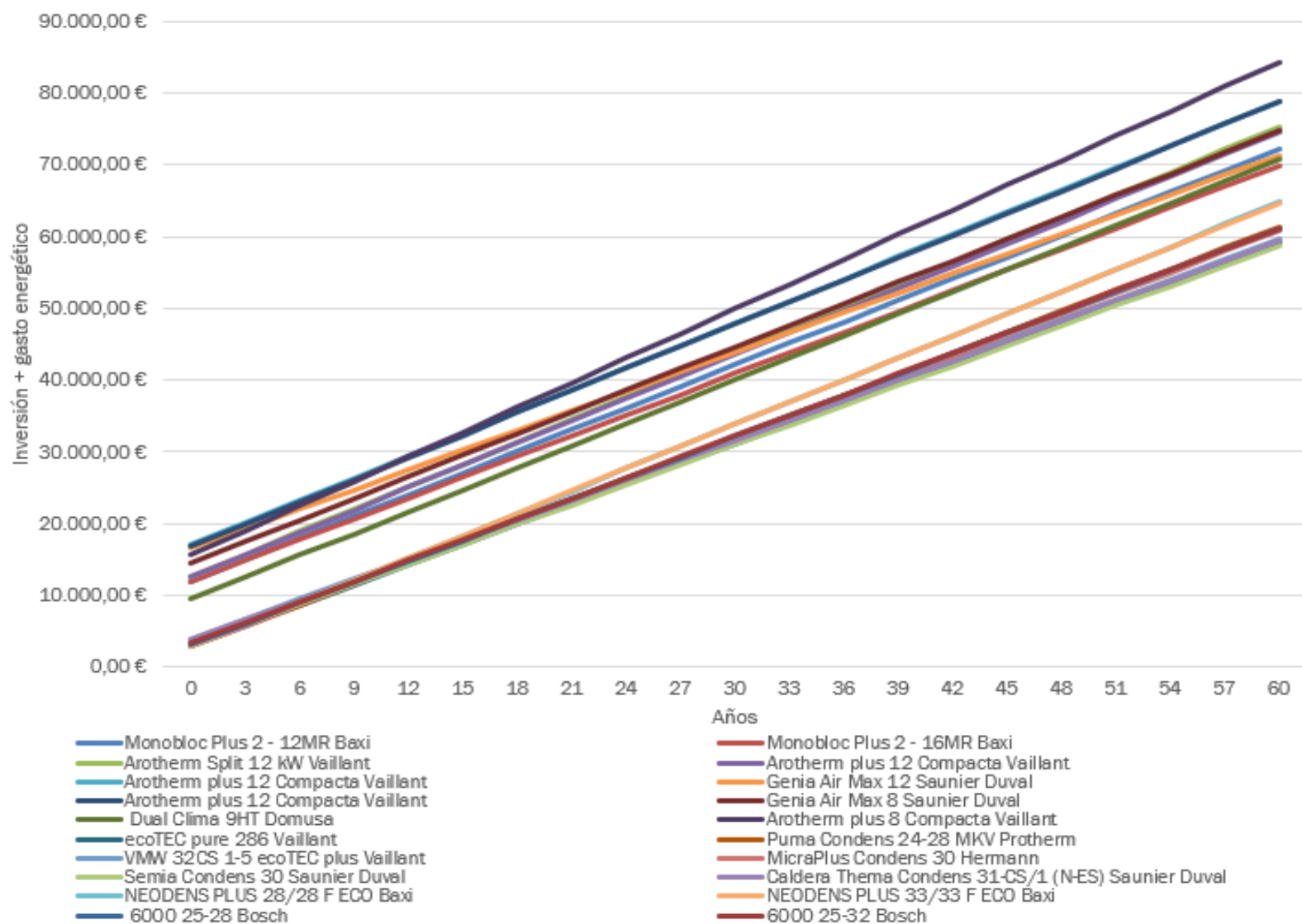


Figura 48: Amortización relación precios 3,26 y COP 3

Para este caso de estudio, se ha considerado los precios medios de la electricidad y del gas natural a temperatura de impulsión del agua 55°C sin placas fotovoltaicas. Como podemos ver, las rectas de las calderas de gas y de la aerotermia no cortan como cabría esperar y esto es gracias a que el COP a 55°C de impulsión del agua rondaba valores cercanos a 3. La relación $\frac{\text{Precio Electricidad}}{\text{Precio Gas Natural}}$ se encuentra en 3,26.

Resultado: NO RENTABLE

4.4.2 Caso 2: Precios de energía ($0,202 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ electricidad y $0,0717 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ gas) 55°C sin placas fotovoltaicas (PV).

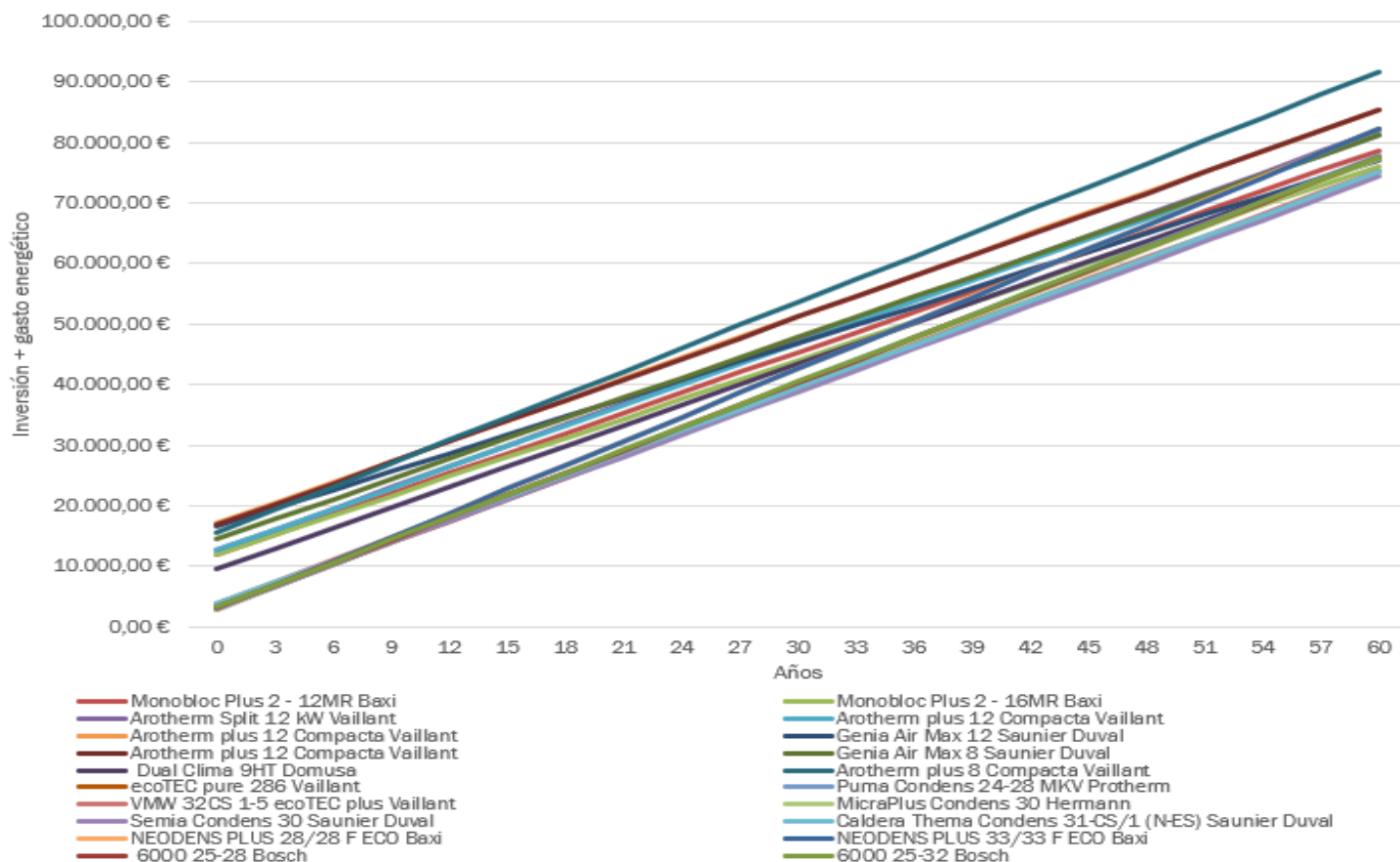


Figura 49: Amortización relación precios 2,82 y COP 3

El COP ronda el valor de 3 y la relación $\frac{\text{Precio Electricidad}}{\text{Precio Gas Natural}}$ da un valor de 2,82. Hay algún equipo que corta con la recta de las calderas de gas, sin embargo, no es un dato muy notable ya que algún equipo no llega a amortizarse en 60 años como podría ser el equipo Arotherm plus 8 Compacta Vaillant. Resultado: NO RENTABLE

4.4.3 Caso 3: Precios de energía ($0,141 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ electricidad y $0,0717 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ gas) 55°C sin placas fotovoltaicas (PV).

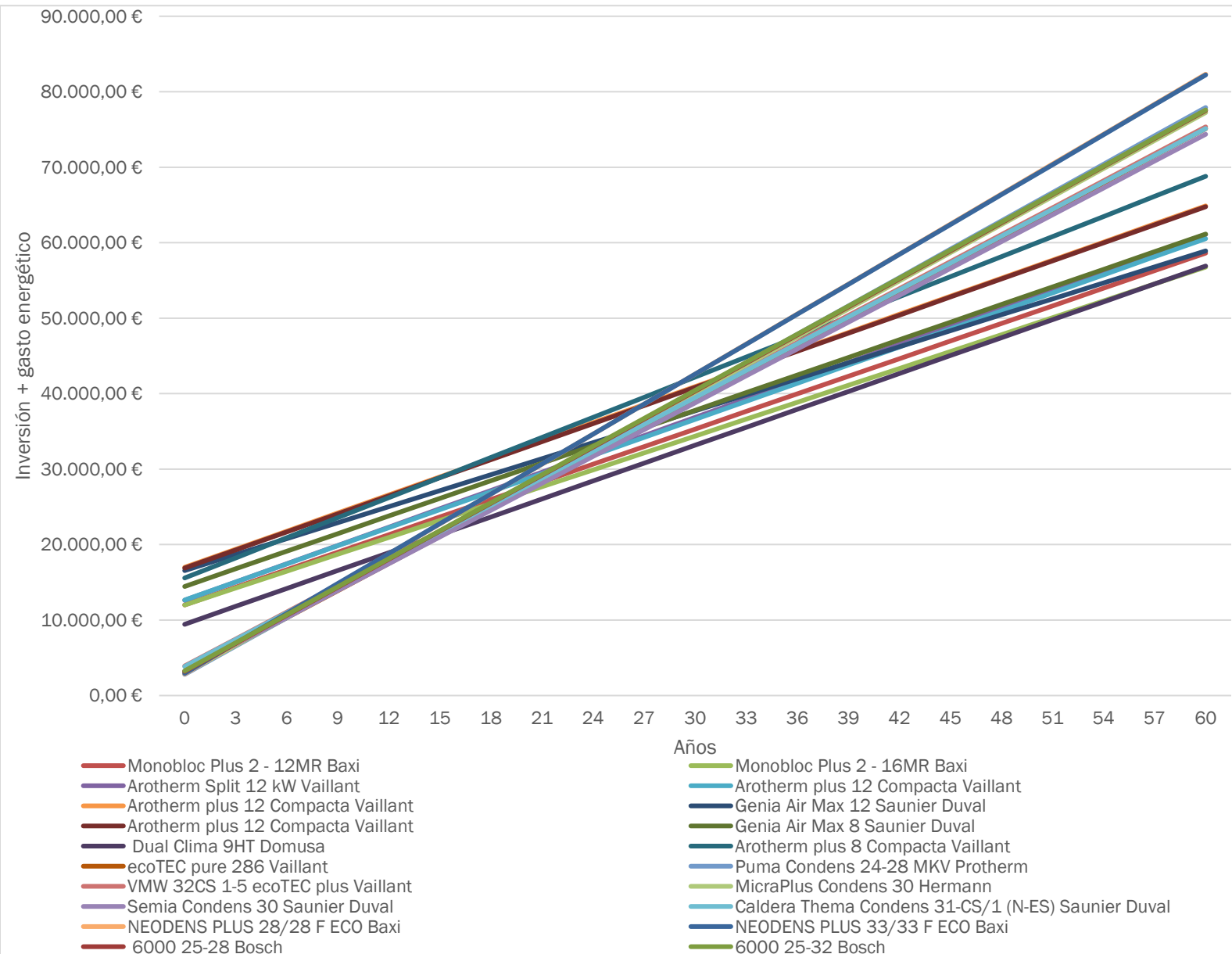


Figura 50: Amortización relación precios 1,97 y COP 3

El COP ronda el valor de 3 y la relación $\frac{\text{Precio Electricidad}}{\text{Precio Gas Natural}}$ da un valor de 1,97. Como podemos apreciar, en este caso las rectas se cortan claramente. Esto quiere decir que con dichos precios de la energía, 55°C y sin placas fotovoltaicas, la aerotermia saldría rentable en un plazo máximo de 41 años (corte de Arotherm plus 8kW de Vaillant con la caldera Semia Condens 30 de Saunier Duval). Resultado: RENTABLE

4.4.4 Caso 4: Precios de energía ($0,202 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ electricidad y $0,0558 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ gas) 35°C sin placas fotovoltaicas (PV).

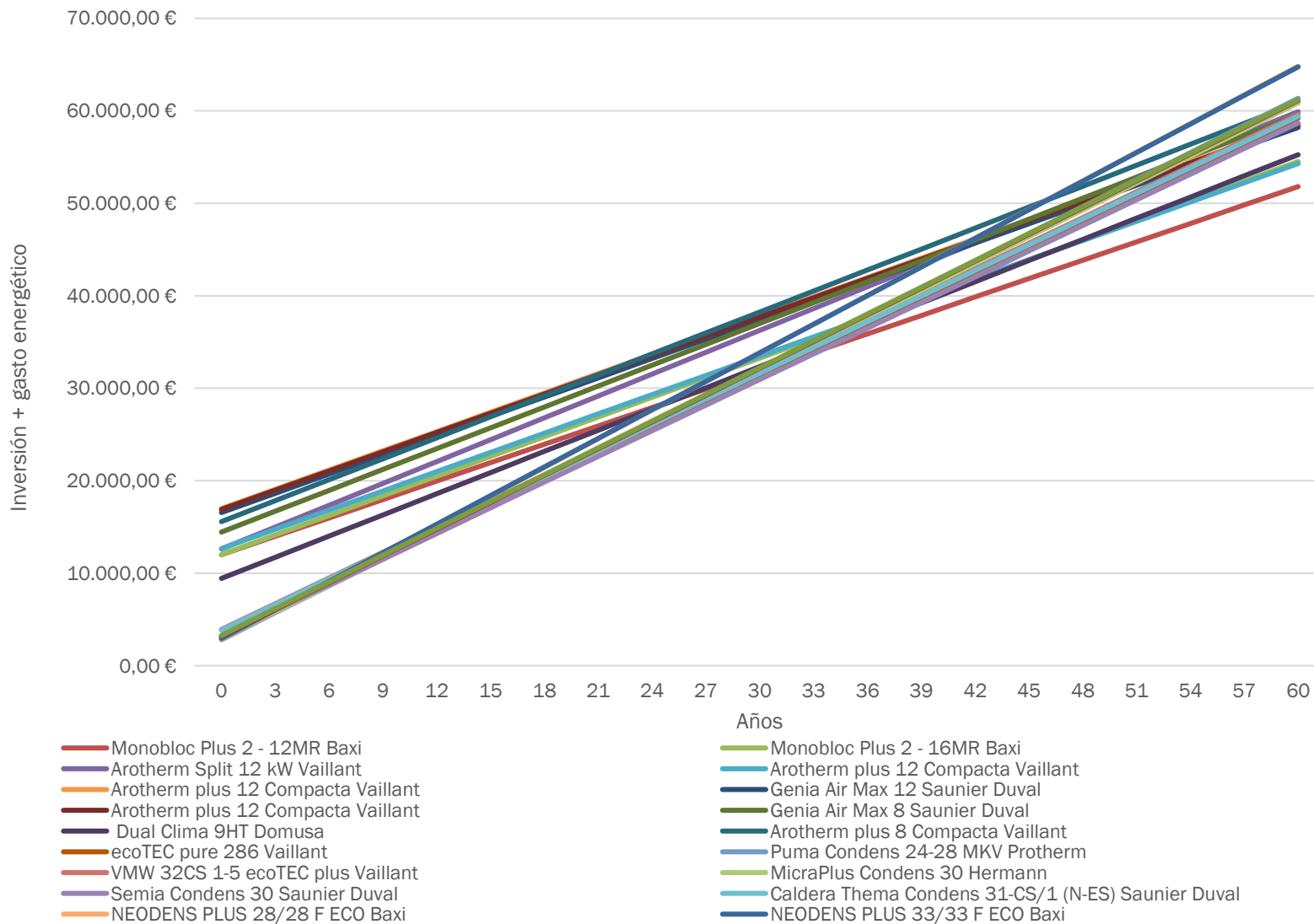


Figura 51: Amortización relación precios 3,6 y COP 4,5

$\frac{\text{Precio Electricidad}}{\text{Precio Gas Natural}} = 3,6$ y COP 4,5. Con estos valores de baja temperatura vemos que se cortan las rectas empezando en unos 25 años y acaban cortando gran parte de los equipos de aerotermia al final del periodo de estudio, sin embargo, no se ve una clara ventaja en la aerotermia en este supuesto. Hay que decir que el precio de la electricidad es bastante elevado, sin embargo, es posible. Resultado: NO RENTABLE

4.4.5 Caso 5: Precio de energía ($0,1413 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ electricidad y $0,0717 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ gas) 35°C sin placas fotovoltaicas (PV)

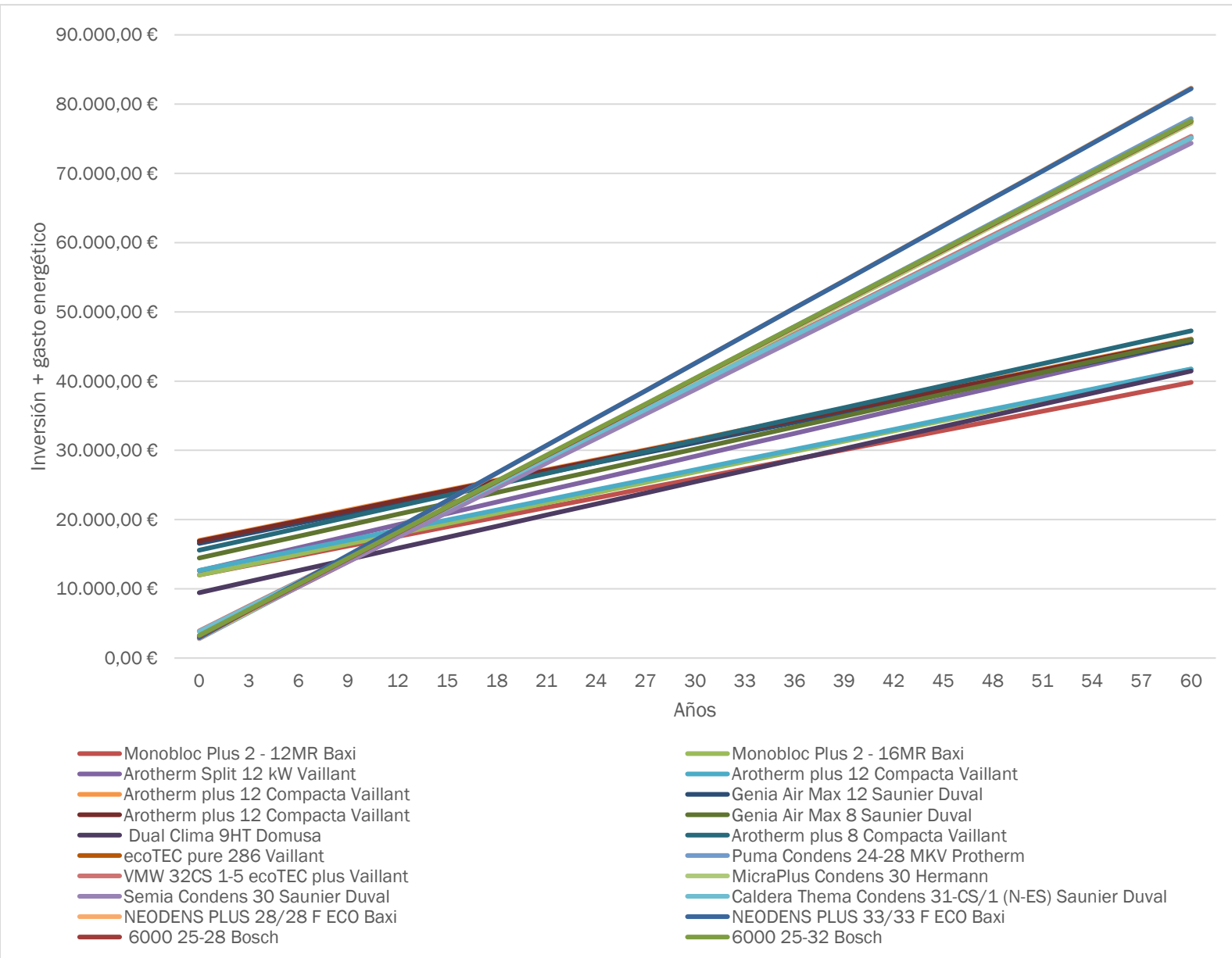


Figura 52: Amortización relación precios 1,97 y COP 4,5

$\frac{\text{Precio Electricidad}}{\text{Precio Gas Natural}} = 1,97$ y COP 4,5. Para este caso en el que la relación entre las energías ha disminuido y el COP se ha mantenido elevado se ve una clara ventaja en la aerotermia, llegando a amortizarse incluso en 9 años.
Resultado: RENTABLE

4.4.6 Caso 6 Precio de energía medio ($0,182 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ electricidad y $0,055 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ gas) 55°C con placas fotovoltaicas Octopus (PV) + subvención.

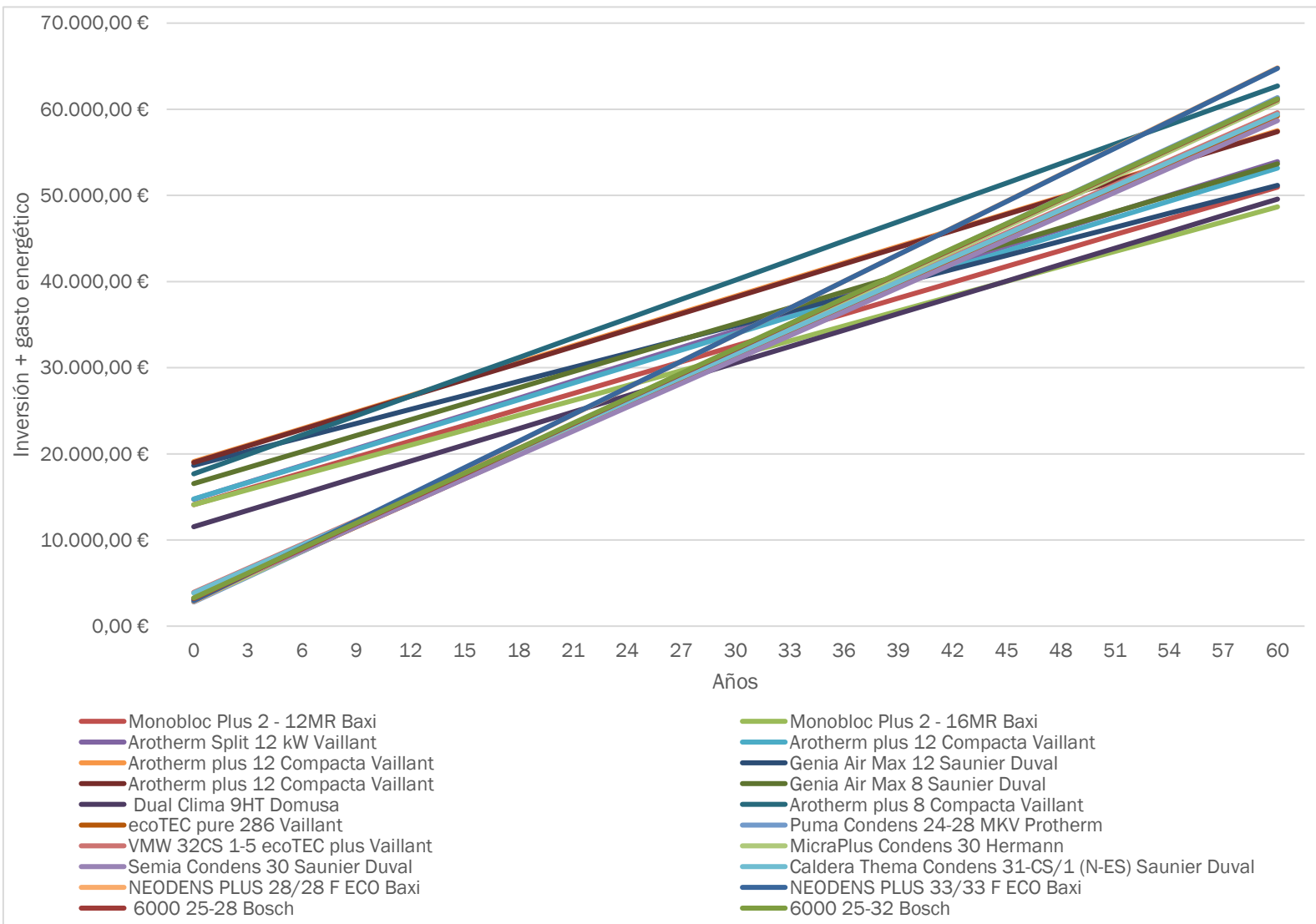


Figura 53: Amortización precios medios y COP 2,9 con placas fotovoltaicas

Añadiendo placas fotovoltaicas se ve un aumento en la inversión inicial, sin embargo, se aprecia una pendiente más favorable que beneficia a la aerotermia. Para el caso de precios medios, a 55°C con placas fotovoltaicas subvencionadas no se ve una clara rentabilidad por lo que quizás este sistema no sea el más adecuado para instalar en una vivienda.

Resultado: NO RENTABLE.

4.4.7 Caso 7: Precio de la energía medio ($0,182 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ electricidad y $0,055 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ gas) 35°C con placas fotovoltaicas Octopus (PV) sin subvención.

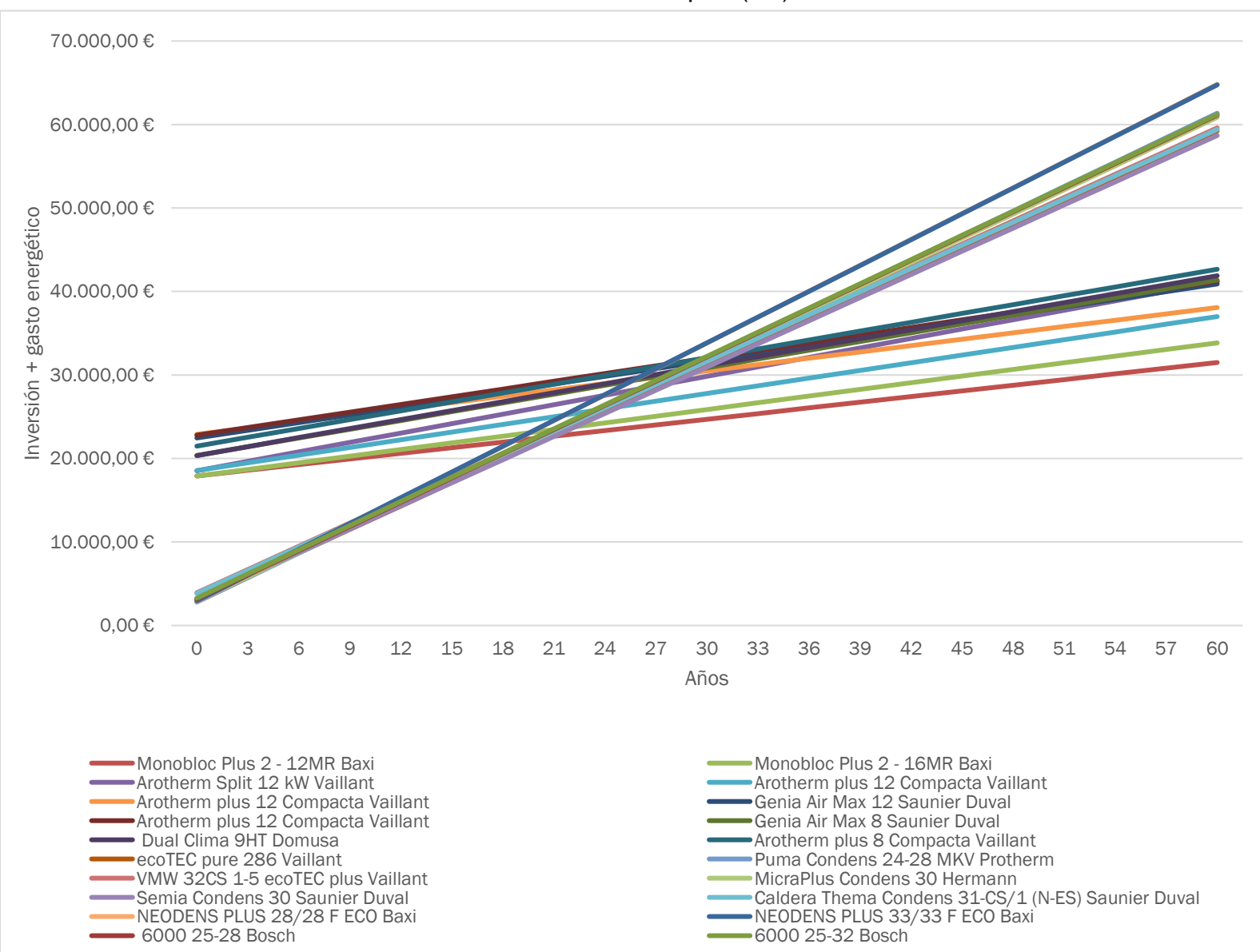


Figura 54: Amortización precios medios y COP 4,5

En este ejemplo sin subvenciones podemos apreciar una clara ventaja en el sistema de aerotermia frente a la caldera de gas. Como hemos visto, el COP es bastante alto y esto se debe principalmente a la temperatura de impulsión del agua que se establece en 35°C. El primer corte de la curva aparece sobre los 18 años y el último cerca de los 33 años. Se puede decir que sin subvenciones se amortiza nuestro peor equipo de aerotermia con facilidad. Si se añaden subvenciones, se amortiza en un máximo de unos 26 años. RENTABLE.

5. Conclusiones y líneas futuras

5.1 Conclusiones

Para conseguir la amortización de la aerotermia frente a las calderas de gas se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Relación entre los precios de la energía eléctrica y del gas natural. **Cuanto mayor sea la relación $\frac{\text{Precio Electricidad}}{\text{Precio Gas Natural}}$ menor será la rentabilidad que presenta la aerotermia frente a las calderas de gas.** Este valor no lo podemos controlar con facilidad ya que depende del precio que estipule la empresa a la que contratemos los servicios. Estos precios se pueden ver muy afectados por causas ajenas a nosotros como por ejemplo guerras, escasez, impuestos, situación personal... Al tratarse de una variable con tanta fluctuación, no sería aconsejable basarse en los precios de las energías para tomar una decisión final.
- Salto térmico entre la temperatura ambiente y el agua de impulsión. Como se ha visto **cuanto mayor sea el incremento de temperaturas entre el aire exterior y el agua de impulsión, menor será el rendimiento proporcionado por la aerotermia** pudiendo llegar a ser un valor ridículo si se habla de saltos térmicos muy elevados. Frente a este problema se pueden adoptar soluciones tales como **la implantación de radiadores de baja temperatura** (barato y con poca inercia térmica) **o suelo radiante** (caro y con alta inercia térmica)
- Placas fotovoltaicas. Según las gráficas que hemos visto se observa que, si se espera el tiempo suficiente, las placas fotovoltaicas reducen el consumo eléctrico del sistema por lo que se puede ver una clara amortización de los equipos frente a la caldera de gas, sin embargo, se debería tener en cuenta que las placas fotovoltaicas tienen una vida útil de 25-30 años [61], por lo que habría que tener en mente otra inversión en nuevas placas fotovoltaicas después de dicho periodo. Algo que está claro es que, **si las placas fotovoltaicas se complementan con una adecuada relación de precios de las energías y con subvenciones, se consigue una alta rentabilidad.**
- Transmitancia térmica del cerramiento. Es un tema del que no se ha hablado en este apartado, sin embargo, es uno de los puntos más interesantes del estudio. Como vimos en el cálculo de cargas térmicas, la transmitancia térmica de la vivienda a estudiar era excesivamente alta si la comparáramos con valores actuales del CTE. Esto conlleva mayores demandas de energía y, por lo tanto, mayores consumos e inversiones en equipos de mayor potencia. **En el momento en el que se mejoran los aislamientos de la vivienda** reduciendo sus pérdidas de calor, las demandas térmicas se reducen de forma radical por lo que **los equipos de aerotermia**

tardarían más tiempo en ser rentables. Esto es así ya que el punto fuerte de los equipos de aerotermia es el alto rendimiento y el punto débil es su alto precio de inversión por lo que, si la demanda y el consumo disminuyen, no hay tiempo de “reacción” para que el rendimiento sea determinante.

Teniendo todo esto en cuenta, podemos afirmar que la aerotermia complementada con placas fotovoltaicas y emisores de baja temperatura sería una solución idónea para climas cálidos en los que se actúa principalmente en modo refrigeración siempre y cuando estemos dispuestos a asumir inversiones tan elevadas. Destaca por sus altos rendimientos y por su elevado coste de inversión

Por otro lado, la caldera de gas sería idónea en segundas viviendas con climatologías principalmente frías y con pocas horas de sol, en las que se tenga una demanda de energía reducida. Destaca por su reducido precio de inversión y de instalación.

Para el caso de climas medios la solución no es tan clara, sin embargo, cabe destacar que la aerotermia es una clara ganadora en periodos de tiempo elevados, por lo que si el COP, la relación entre los precios de energía, y el asilamiento son adecuados, la aerotermia es una solución más rentable.

5.2 Líneas futuras

En el estudio realizado se ha visto que se necesita tener en cuenta una cantidad muy elevada de variables, las cuales, no siempre podemos controlar. Para poder tener una visión más profunda del tema en líneas futuras, se podrían añadir más variables de influencia como podrían ser:

- Un tema que se tendrá en cuenta en líneas futuras y del que no se ha hablado en este estudio es el efecto de los impuestos u otros servicios sobre la rentabilidad de la inversión, por ejemplo, en el caso de la electricidad una parte de la factura va destinada al bono social, al impuesto de la electricidad, alquiler de contadores, peajes de transporte y distribución, IVA...
- Otra cuestión que sería muy interesante de analizar trataría acerca de realizar el estudio energético y económico con previsiones de aumento de temperatura en los próximos años debido al cambio climático ya que, como hemos visto, la rentabilidad de la aerotermia depende directamente del COP, el cual depende a su vez del salto térmico entre el aire y el agua de impulsión y la demanda de las condiciones exteriores.

- Sería interesante, extender el estudio detallado en diferentes zonas climáticas y ver cómo reaccionaría el COP de los equipos para dichas temperaturas de operación.
- Otro punto a tener en cuenta para el estudio sería el efecto del aislamiento. Sería interesante analizar los casos en los que los aislamientos de la vivienda sean mejores. Esto se traduce en disminuir la demanda aumentando el precio de inversión. Como se ha visto, cuanto menor sea la demanda, mayor es el tiempo que necesita la aerotermia para poder ser rentable.

Como es de intuir, todas estas ideas dan lugar a una grandísima cantidad de posibles combinaciones de estudio, sin embargo, es bueno tratar el máximo número de variables posibles para converger en datos mucho más certeros. Con esto podría se podría detallar de forma definitiva las situaciones en las que un equipo sería rentable frente a otro.

6. Bibliografía

- [Gobierno de España, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «La energía en España,» 2019. [En línea]. Available: <https://energia.gob.es/balances/Balances/LibrosEnergia/libro-energia-espana-2019.pdf>.]
- [Gobierno de España, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, «Síntesis del Estudio Parque de Bombas de Calor en España,» [En línea]. Available: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Bombas-de-calor_FINAL_04ee7f42.pdf. [Último acceso: 17 Abril 2023].]
- [Comunidad de Madrid, Consejería de Economía y Hacienda , «Guía Básica de Calderas de Condensación,» [En línea]. Available: <https://gestiona3.madrid.org/bvirtual/BVCM015008.pdf>. [Último acceso: 18 Abril 2023].]
- [Gobierno de España, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), «SPAHOUSEC II: Análisis estadístico del consumo de gas natural en las viviendas principales con calefacción individual,» 2019. [En línea]. Available: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/estudio_spahousec-ii_270619.pdf. [Último acceso: 17 Abril 2023].]
- [Junta de Castilla y León, «Importancia del carbón,» [En línea]. Available: <https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/importancia-carbon.html>. [Último acceso: 5 Marzo 2023].]
- [Red Eléctrica Corporación, S.A., «Seguimiento de la demanda de energía eléctrica,» 17 Mayo 2023. [En línea]. Available: <https://demanda.ree.es/visiona/peninsula/nacional/total/2023-05-17>. [Último acceso: 19 Mayo 2023].]
- [Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Valladolid, *EL SECTOR ELÉCTRICO. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA class notes for 42641*, 2022.]
- [Gobierno de España, «Directiva del Consejo 89/106/CEE de 21 de diciembre de 1988, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros sobre los productos de construcción,» Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, [En línea]. Available: <https://www.boe.es/doue/1989/040/L00012-00026.pdf>. [Último acceso: 15 Abril 2023].]
- [Gobierno de España, «Directiva 93/76/CEE del Consejo, de 13 de septiembre de 1993, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE),» Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, [En línea]. Available: <https://www.boe.es/doue/1993/237/L00028-00030.pdf>. [Último acceso: 16 Abril 2023].]

- [Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, «¿Qué es el
1 Protocolo de Kyoto?,» [En línea]. Available: https://unfccc.int/es/kyoto_protocol.
0 [Último acceso: 2 Abril 19].
]
- [Gobierno de España, «Directiva 2002/91/CE del parlamento europeo y del
1 consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los
1 edificios,» Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, [En línea]. Available:
] <https://www.boe.es/doue/2003/001/L00065-00071.pdf>. [Último acceso: 16
Abril 2023].
- [Gobierno de España, «REAL DECRETO 47/2007, de 19 de enero, por el que se
1 aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de
2 edificios de nueva construcción.,» Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, [En
] línea]. Available: [https://www.boe.es/boe/dias/2007/01/31/pdfs/A04499-
04507.pdf](https://www.boe.es/boe/dias/2007/01/31/pdfs/A04499-04507.pdf). [Último acceso: 16 Abril 2023].
- [Gobierno de España, «Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se
1 modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto
3 314/2006, de 17 de marzo,» Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, [En línea].
] Available: [https://www.boe.es/boe/dias/2019/12/27/pdfs/BOE-A-2019-
18528.pdf](https://www.boe.es/boe/dias/2019/12/27/pdfs/BOE-A-2019-18528.pdf). [Último acceso: 17 Abril 2023].
- [Gobierno de España, «REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se
1 aprueba el Código Técnico de la Edificación,» Agencia Estatal Boletín Oficial del
4 Estado , [En línea]. Available:
] <https://www.boe.es/boe/dias/2006/03/28/pdfs/A11816-11831.pdf>. [Último
acceso: 16 Abril 2023].
- [Gobierno de España, «¿Qué es el CTE?,» Ministerio de Transportes, Movilidad y
1 Agenda Urbana , [En línea]. Available:
5 <https://www.codigotecnico.org/QueEsCTE/QueEsEICTE.html>. [Último acceso: 17
] Abril 2023].
- [Asociación de Fabricantes de Generadores y Emisores de Calor , «Sistemas
1 Eficientes y Renovables,» Abril 2022. [En línea]. Available:
6 [http://www.observatorio2030.com/sites/default/files/2022-
\] 11/Sistemas%20Eficientes%20y%20Renovables%20en%20Edificaci%C3%B3n_3
.pdf. \[Último acceso: 18 Abril 2023\].](http://www.observatorio2030.com/sites/default/files/2022-11/Sistemas%20Eficientes%20y%20Renovables%20en%20Edificaci%C3%B3n_3.pdf)
- [Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica, Universidad de
1 Valladolid, *Tecnología de la Producción del Frío class notes for 42614*, 2022.
7
]
]
- [Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica, Universidad de
1 Valladolid, *Generación de frío class notes for 42641*, 2022.
8
]

- [F. J. Rey, J. F. S. José, E. Velasco, A. Tejero y M. A. Chicote, Ingeniería Térmica
1 ISBN: 84-617-1729-5, Valladolid: Grupo de Termotecnia de la Universidad de
9 Valladolid.
]
- [L. Daikin Industries, «Aeroterminia con Fan Coils,» [En línea]. Available:
2 https://www.daikin.es/es_es/daikin-altherma/aeroterminia-con-fancoils.html.
0 [Último acceso: 18 Abril 2023].
]
- [M. Iturbe, «¿Cuál es la temperatura ideal de la calefacción y el ACS?,» Calor y Frío
2 , 3 Octubre 2022. [En línea]. Available:
1 <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/herramientas-y-regulacion/cual-es-la-temperatura-ideal-calefaccion.html#:~:text=En%20una%20instalaci%C3%B3n%20de%20radiadores,de%20entre%2035%20y%2040%C2%BAC>. [Último acceso: 18 Abril 2023].
]
- [Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica, Universidad de
2 Valladolid, *Generación de Calor class notes for 42641*, 2022.
2
]
- [A. S. o. H. R. a. A.-C. E. Robert McDowall, «Fundamentals of HVAC Systems,» 2006.
2 [En línea]. Available:
3 <https://azaranstore.com/download/articles/038%20Fundamentals%20of%20HVAC%20Systems.PDF>. [Último acceso: 18 Abril 2023].
]
- [Prointer Murcia, «AEROTERMIA, LA FORMA MÁS SOSTENIBLE DE ADAPTAR TU
2 HOGAR AL MEDIO AMBIENTE,» [En línea]. Available:
4 <https://prointermurcia.es/aeroterminia-forma-sostenible-adaptar-hogar-medio-ambiente/>. [Último acceso: 2023 Abril 19].
]
- [Gobierno de España, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía,
2 «Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado,» Junio 2012.
5 [En línea]. Available:
] https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_14_Guia_tecnica_diseno_de_sistemas_de_intercambio_geotermico_de_circuito_cerrado_1d03dc08.pdf.
[Último acceso: 18 Abril 2023].
- [Gobierno de España, «DIRECTIVA 2009/28/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y
2 DEL CONSEJO de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía
6 procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las
] Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE,» Agencia Estatal Boletín Oficial del
Estado, [En línea]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=SK%2030https://preciogas.com/instalaciones/aeroterminia>. [Último acceso: 18 Abril 2023].
- [Vaillant Group, «Refrigerante R290,» [En línea]. Available:
2 <https://www.vaillant.es/r290/>. [Último acceso: 28 Abril 2023].
7
]

- [Gobierno de España, «Real Decreto 552/2019, de 27 de septiembre, por el que se aprueban el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias.» Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2019/10/24/pdfs/BOE-A-2019-15228.pdf>. [Último acceso: 19 Abril 2023].
- [Gobierno de España, «BALANCE ENERGÉTICO DE ESPAÑA 1990-2021,» Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 9 Enero 2023. [En línea]. Available: https://energia.gob.es/balances/Balances/balandeenergeticoanual/Balance-Energetico-Espana-2021_v0.pdf. [Último acceso: 27 Abril 2023].
- [Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica, Universidad de Valladolid, *Tecnología de la Combustión class notes for 42614*, 2022.
- [Gobierno de España, «Ley 34/1998, de 7 de octubre, del sector de hidrocarburos,» Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 19 Octubre 2022. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/pdf/1998/BOE-A-1998-23284-consolidado.pdf>. [Último acceso: 26 Abril 2023].
- [Gobierno de España, «El Gas Natural - Transporte y Distribución,» Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, [En línea]. Available: <https://energia.gob.es/gas/Paginas/transporte-distribucion.aspx>. [Último acceso: 26 Abril 2023].
- [Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica, Universidad de Valladolid, *Combustión class notes for 42614*, 2022.
- [BAXI CLIMATIZACION SL., «¿CUÁL ES LA TEMPERATURA IDEAL DE UNA CALDERA?» [En línea]. Available: <https://www.baxi.es/ayuda-y-consejos/calderas/cual-es-la-temperatura-ideal-de-una-caldera#:~:text=Radiadores%3A%20En%20sistemas%20de%20calefacci%C3%B3n,que%20nunca%20supere%20los%2050%C2%BAC>. [Último acceso: 27 Abril 2023].
- [Gobierno de España, «Guía práctica sobre instalaciones individuales de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) en edificios de viviendas,» Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Febrero 2011. [En línea]. Available: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11821_GPIInstallIndividualesACS_2011_A_efbd9f43.pdf. [Último acceso: 26 Abril 2023].
- [Gobierno de España, «Guía técnica - Diseño de centrales de calor eficientes,» Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Junio 2010. [En línea]. Available: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11_Guia_tecnica_de_di

- seno_de_centrales_de_calor_eficientes_e53f312e.pdf. [Último acceso: 28 Abril 2023].
- [Gobierno de España, «Instalaciones de calefacción individual,» Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Junio 2012. [En línea]. Available: 3
7 [https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/docum](https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_16_Climatizacion_Guia_Tecnica_Instalaciones_Calefaccion_Individual__f1cefbe6.pdf)
] [entos_16_Climatizacion_Guia_Tecnica_Instalaciones_Calefaccion_Individual__f1](https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_16_Climatizacion_Guia_Tecnica_Instalaciones_Calefaccion_Individual__f1cefbe6.pdf)
] [cefb6.pdf](https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_16_Climatizacion_Guia_Tecnica_Instalaciones_Calefaccion_Individual__f1cefbe6.pdf). [Último acceso: 22 Abril 2023].
- [Construye 2020+, «Sistemas de Climatización,» [En línea]. Available: 3
3 [http://construye2020plus.eu/wp-content/uploads/2022/03/Training-](http://construye2020plus.eu/wp-content/uploads/2022/03/Training-manual_Air-conditioning-systems.pdf)
8 [manual_Air-conditioning-systems.pdf](http://construye2020plus.eu/wp-content/uploads/2022/03/Training-manual_Air-conditioning-systems.pdf). [Último acceso: 26 Abril 2023].
]
- [Naturgy Energy Group, S. A., «Calderas de baja temperatura,» [En línea]. Available: 3
3 https://www.naturgy.es/hogar/calderas_de_baja_temperatura. [Último acceso: 9
9 29 Abril 2023].
]
- [Enagás, S. A., «Infraestructuras preparadas para la transición energética,» [En 4
4 línea]. Available: [https://www.enagas.es/es/transicion-energetica/red-](https://www.enagas.es/es/transicion-energetica/red-gasista/infraestructuras-energeticas/)
0 [gasista/infraestructuras-energeticas/](https://www.enagas.es/es/transicion-energetica/red-gasista/infraestructuras-energeticas/). [Último acceso: 28 Abril 2023].
]
- [Gobierno de España, «Energía Solar Térmica,» Instituto para la Diversificación y 4
4 Ahorro de la Energía, [En línea]. Available:
1 https://dl.idae.es/Publicaciones/10374_Energia_solar_termica_A2006.pdf.
]
- [Gobierno de España, «SOLAR FOTOVOLTAICA,» Instituto para la Diversificación y 4
4 Ahorro de la Energía, [En línea]. Available:
2 [https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-electrico/solar-](https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-electrico/solar-fotovoltaica)
] [fotovoltaica](https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-electrico/solar-fotovoltaica).
- [INGENIERIA CONSULTORIA Y FORMACION SL, «Instalación Solar Fotovoltaica para 4
4 Vivienda,» [En línea]. Available:
3 <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>.
]
- [Madrid Sur Arquitectura Y Obras, S.L., «DIFERENTES SISTEMAS DE CALEFACCIÓN 4
4 CON RADIADORES,» 19 Junio 2016. [En línea]. Available:
4 <https://madridsurarquibras.es/blog/?p=123>. [Último acceso: 29 Mayo 2023].
]
- [Construcciones Rodrigo S.L., Muñopedro (Segovia), 2023.
4
5
]
- [SAUNIER DUVAL CLIMA SA, «Sistema radiante,» [En línea]. Available:
4 [https://www.saunierduval.es/downloads/suelo-radiante/sd-ficha-tecnica-suelo-](https://www.saunierduval.es/downloads/suelo-radiante/sd-ficha-tecnica-suelo-radiante-panel-termoconformado-2103-v1-2054601.pdf)
6 [radiante-panel-termoconformado-2103-v1-2054601.pdf](https://www.saunierduval.es/downloads/suelo-radiante/sd-ficha-tecnica-suelo-radiante-panel-termoconformado-2103-v1-2054601.pdf). [Último acceso: 2 Junio
] 2023].

- [AENOR, *Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local*, Madrid: Aenor, 2006.
4
7]
- [Aenor, *Calderas. Términos y definiciones.*, Madrid: Aenor, 1987.
4
8]
- [Gobierno de España, «Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.» Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2021/03/24/pdfs/BOE-A-2021-4572.pdf>. [Último acceso: 22 Abril 2023].
- [Gobierno de España, «Estadística de las variables meteorofenológicas.» Agencia Estatal de Meteorología, [En línea]. Available: https://www.aemet.es/es/datos_abiertos/estadisticas/estadistica_meteorofenologicas. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, «Código Técnico de la Edificación - Documento Básico HS Salubridad,» 14 Junio 2022. [En línea]. Available: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HS/DBHS.pdf> . [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [Gobierno de España, «Condiciones de Aceptación de Procedimientos Alternativos a Lider y Calener,» Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Mayo 2009. [En línea]. Available: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_CALENER_08_Condiciones_proc_altern_A2009_A_ba596e72.pdf. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [Gobierno de España, «REAL DECRETO 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios.» Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 22 Octubre 1979. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/1979/10/22/pdfs/A24524-24550.pdf>. [Último acceso: 25 Abril 2023].
- [Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, «Código Técnico de la Edificación - Documento Básico HE Ahorro de Energía,» 14 Junio 2022. [En línea]. Available: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DBHE.pdf>. [Último acceso: 27 Abril 2023].
- [Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «Energía y desarrollo sostenible,» [En línea]. Available: <https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx>. [Último acceso: 27 Abril 2023].
- [Herramientas de ingeniería, «DIAGRAMA Y CALCULADORA DE PARÁMETROS PSICROMÉTRICOS ONLINE,» [En línea]. Available:

- 6 <https://www.herramientasingeneria.com/onlinecalc/spa/psicrometricos/psicrometricos.html>. [Último acceso: 20 Junio 2023].
- [Diputación de Ávila, «Arévalo,» [En línea]. Available:
- 5 <https://www.diputacionavila.es/la-provincia/nuestros-pueblos/arevalo.html>.
- 7 [Último acceso: 20 Junio 2023].
-]
- [Gobierno de España, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, «Guía
- 5 técnica - Condiciones climáticas exteriores de proyecto,» Junio 2010. [En línea].
- 8 Available:
-] https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12_Guia_tecnica_condiciones_climaticas_exteriores_de_proyecto_e4e5b769.pdf. [Último acceso: 20
- Mayo 2023].
- [J. D.Spitler., Load Calculation Applications Manual. ASHRAE. ISBN 978-1-933742-
- 5 72-4, (2010).
- 9
-]
- [Comisión Europea, «PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM,» 1
- 6 Marzo 2022. [En línea]. Available: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/.
- 0 [Último acceso: 25 Junio 2023].
-]
- [SELECTRA MADRID ENERGIA SL, «Autoconsumo solar: ahorra con las placas
- 6 solares,» [En línea]. Available: <https://selectra.es/autoconsumo>. [Último acceso:
- 1 2 Mayo 2023].
-]
- [Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, «Inventario Nacional
- 6 de Gases de Efecto Invernadero (GEI),» [En línea]. Available:
- 2 [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/es_nir_edicion2022_tcm30-523942.pdf)
-] [espanol-de-inventario-sei-/es_nir_edicion2022_tcm30-523942.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/es_nir_edicion2022_tcm30-523942.pdf). [Último
- acceso: 2023 Abril 5].
- [Ferroli España, S.L.U. Grupo Ferroli., «Ferroli,» [En línea]. Available:
- 6 <https://www.ferroli.com/es>. [Último acceso: 29 Abril 2023].
- 3
-]
- [Ferroli España, S.L.U. Grupo Ferroli., «TP3 COND,» [En línea]. Available:
- 6 [https://www.ferroli.com/media/caldera-alta-potencia-tp3-cond-manual-](https://www.ferroli.com/media/caldera-alta-potencia-tp3-cond-manual-4-instalacion-y-uso.pdf)
- 4 [instalacion-y-uso.pdf](https://www.ferroli.com/media/caldera-alta-potencia-tp3-cond-manual-4-instalacion-y-uso.pdf). [Último acceso: 30 Abril 2023].
-]
- [Ferroli España, S.L.U. Grupo Ferroli., «Enfriadora y bomba de calor aerotérmica
- 6 aire-agua RCO/RNO 200-400,» [En línea]. Available:
- 5 <https://www.ferroli.com/media/ficha-tecnica-rco-rno-200-400.pdf>. [Último
-] [acceso: 1 Mayo 2023](https://www.ferroli.com/media/ficha-tecnica-rco-rno-200-400.pdf)].

