

GUÍAS

La bomba
de calor en la
rehabilitación
energética
de edificios

025



IDAIE

Instituto para la Diversificación
y Ahorro de la Energía



MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

www.idae.es

AFEC

www.afec.es



La bomba de calor en la rehabilitación energética de edificios



AUTOR: Esta guía ha sido redactada por la Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización (AFEC) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con el propósito de promocionar la rehabilitación energética de las instalaciones térmicas de los edificios mediante bomba de calor.

REVISIÓN TÉCNICA: Departamento de Hidroeléctrica, Geotermia y Energía Ambiente de IDAE

AGRADECIMIENTOS: Esta guía no habría sido posible sin la colaboración de las personas y empresas que han facilitado información y puesto su experiencia a disposición de esta publicación y en especial a D. Pedro Ruiz Romero y al comité técnico de AFEC.

La elaboración de este documento ha sido promovida por el IDAE. Aunque el IDAE ha supervisado la realización de los trabajos y ha aportado sus conocimientos y experiencia para su elaboración, el contenido de esta no representa necesariamente la opinión del IDAE sobre los temas que en ella se tratan.

Guía IDAE 025: La bomba de calor en la rehabilitación energética de edificios

Madrid, septiembre de 2023

NIPO: 665230383

Índice

1	Introducción	9
1.1.	Ventajas y beneficios de la bomba de calor	
2	Descripción de la tecnología	13
2.1.	Conceptos generales	
2.1.1.	Coeficientes, ratios y eficiencia energética estacional (η)	
2.1.2.	La bomba de calor y la energía renovable	
2.1.3.	Refrigerantes	
2.2.	Tipologías. Equipos generadores y emisores	
2.2.1.	Tipos de bombas de calor	
2.2.2.	Tipos de emisores	
2.3.	Reglamentos de diseño ecológico y etiquetado energético aplicables a bombas de calor	
2.3.1.	Reglamentos de diseño ecológico	
2.3.2.	Reglamento de etiquetado energético	
2.3.3.	Comparación de las condiciones climáticas establecidas en los reglamentos de diseño ecológico frente a las condiciones reales del proyecto	
2.4.	Hibridación o combinación de Bomba de calor con otras energías	
2.4.1.	Combinación con energía solar fotovoltaica	
2.4.2.	Hibridación con energía solar térmica	
2.4.3.	Captadores solares híbridos	
2.4.4.	Otras posibilidades de hibridación	
2.5.	Recuperación de energía	
2.5.1.	Recuperación de energía: conceptos básicos	
2.5.2.	Recuperación de energía para ACS	
2.5.3.	Recuperación de energía en todos los procesos	
3	Aspectos técnicos y de diseño para rehabilitación	103
3.1.	Evaluar la instalación existente y la potencia necesaria	
3.2.	La importancia de la mejora de la envolvente térmica del edificio	
3.3.	Esquemas de principio, instalaciones individuales y centralizadas	
3.3.1.	Bomba de calor, combinada con caldera como sistema híbrido	
3.3.2.	Bomba de calor, varios circuitos hidráulicos, separador hidráulico y bomba de calor para ACS	
3.3.3.	Bomba de calor con conexión directa al circuito de calefacción	
3.4.	Selección de los equipos	
3.4.1.	Selección de la bomba de calor en calefacción	
3.4.2.	Selección de la bomba de calor en ACS	
3.5.	Consideraciones técnicas de instalación	
3.5.1.	Instalación de las unidades exterior e interior	
3.5.2.	Selección de la unidad en función de la potencia necesaria en calefacción y refrigeración	
3.5.3.	Límites de operación	
3.5.4.	Consideraciones sobre el sistema hidráulico	
3.5.5.	Protecciones eléctricas y sección de conductores	
3.5.6.	Contratación de la potencia eléctrica	
3.6.	Documentación técnica de diseño y dimensionado de las instalaciones térmicas	
3.7.	Legalización, puesta en servicio, mantenimiento e inspección	

- 4.1. Breve resumen del Real Decreto 178/2021
- 4.2. Metodología común
 - 4.2.1. Cálculo de energía renovable
 - 4.2.2. Instalación
- 4.3. Datos comunes para los ejemplos de cálculos
 - 4.3.1. Constantes:
 - 4.3.2. Abreviaturas:
 - 4.3.3. Rendimientos (SCOP)
- 4.4. Resumen de casos tipo
- 4.5. Caso-tipo 1: residencial (vivienda unifamiliar)– CAL+ACS–D3 (CTE)/cálido (SHARES). Cambio de caldera de gasóleo por bomba de calor
 - 4.5.1. Descripción de la vivienda
 - 4.5.2. Necesidades climatización y ACS
 - 4.5.3. Descripción del sistema instalado
 - 4.5.4. Descripción del sistema propuesto
 - 4.5.5. Energía renovable
 - 4.5.6. Resultados y conclusión
- 4.6. Caso-tipo 2: residencial (piso) – CAL+ACS – D3 (CTE)/medio (SHARES). Cambio de caldera de gas natural a bomba de calor
 - 4.6.1. Descripción del edificio y viviendas
 - 4.6.2. Descripción del sistema instalado
 - 4.6.3. Descripción del sistema propuesto
 - 4.6.4. Resultados y conclusión
- 4.7. Caso-tipo 3: residencial (piso) – Solo ACS – B3 (CTE)/cálido (SHARES). De termo eléctrico a bomba de calor para ACS
 - 4.7.1. Descripción de edificio y viviendas
 - 4.7.2. Descripción del sistema instalado
 - 4.7.3. Descripción del sistema propuesto
 - 4.7.4. Obras necesarias
 - 4.7.5. Energía renovable
- 4.8. Caso-tipo 4: residencial colectivo, 75 viviendas – CAL+ACS D3 (CTE)/medio (SHARES). Hibridación calderas GN o gasóleo y bomba de calor
 - 4.8.1. Descripción del edificio
 - 4.8.2. Descripción del sistema instalado
 - 4.8.3. Descripción del sistema propuesto
- 4.9. Caso-tipo 5: residencial colectivo, 48 viviendas, - ACS - B3 (CTE)/cálido (SHARES). Cambio de caldera por bomba de calor (ACS)
 - 4.9.1. Descripción del edificio y necesidades de ACS
 - 4.9.2. Descripción del sistema propuesto
 - 4.9.3. Balance de energía renovable en ACS
- 4.10. Caso-tipo 6: terciario individual. Clínica de fisioterapia – CAL+REF – Clima D3 (CTE)/cálido (SHARES). Cambio de caldera por bomba de calor
 - 4.10.1. Descripción del edificio y necesidades de climatización
 - 4.10.2. Descripción del sistema propuesto
 - 4.10.3. Resultados y conclusión
- 4.11. Caso-tipo 7: terciario centralizado Hotel***, 50 habitaciones. – ACS – A3 (CTE)/medio (SHARES)
 - 4.11.1. Descripción del edificio y necesidades de climatización
 - 4.11.2. Descripción del sistema propuesto

- 4.11.3. Energía renovable
- 4.11.4. Resultados y conclusión

5 Casos reales de éxito 291

- 5.1. Sector residencial
 - 5.1.1. Vivienda unifamiliar
 - 5.1.2. Vivienda Colectiva (Instalación Centralizada)
 - 5.1.3. Piso en bloque de viviendas
 - 5.1.4. Bloque de viviendas con Bomba de calor y fotovoltaica
- 5.2. Sector servicios
 - 5.2.1. Restaurante
 - 5.2.2. CEIP
 - 5.2.3. Gimnasio
 - 5.2.4. Balneario
 - 5.2.5. Centro de salud
- 5.3. Sector terciario
 - 5.3.1. Edificios centrales de un polígono Industrial
 - 5.3.2. Lavadero industrial de camiones

6 Normativa aplicable 325

- 6.1. Legislación europea
 - 6.1.1. Directivas
 - 6.1.2. Reglamentos
 - 6.1.3. Decisiones
- 6.2. Legislación Nacional
- 6.3. Normas

7 Anexos 333

- 7.1. Problemas más frecuentes en las instalaciones con bomba de calor
- 7.2. Ejemplos de fichas técnicas
 - 7.2.1. Ficha técnica con base en el Reglamento de Ecodiseño 813/2013
 - 7.2.2. Ejemplo de ficha técnica con base en el Reglamento de Ecodiseño 814/2013
 - 7.2.3. Ejemplo de ficha de producto con base en el Reglamento Delegado 811/2013
 - 7.2.4. Ejemplo de ficha de producto en base al Reglamento Delegado 812/2013
 - 7.2.5. Etiqueta de clasificación energética
- 7.3. Detalle de cálculo por mejora de envolvente
- 7.4. Certificación de equipos y ensayos normalizados
 - 7.4.1. Métodos de ensayo para la medida de la potencia térmica
 - 7.4.2. (UNE-EN 14511) Determinación de las prestaciones de calefacción y refrigeración en condiciones estacionarias
 - 7.4.3. (UNE-EN 14825) Métodos de cálculo, condiciones y procedimientos de ensayo para la eficiencia energética estacional
 - 7.4.4. (UNE-EN 16147) Determinación de las prestaciones de agua caliente sanitaria
 - 7.4.5. Normas y métodos de ensayo para la determinación del nivel de potencia acústica

1 Introducción

Las nuevas políticas energéticas que se vienen desarrollando, tanto en España como en la Unión Europea, van encaminadas, por un lado, a reducir el consumo energético final en todos los sectores y, paralelamente, a aumentar la incorporación de las energías renovables al sector de la calefacción y refrigeración.

A nivel de la Unión Europea, la Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, modifica y refunde los cambios realizados en la Directiva 2009/28/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de la energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE; en su artículo 3 dicta que los Estados miembros velarán conjuntamente porque la cuota de energía procedente de fuentes renovables sea de, al menos, el 32% del consumo final bruto de energía de la Unión Europea en 2030 y, más concretamente, en su artículo 23, insta a cada Estado miembro a aumentar la cuota de energías renovables en el sector de la calefacción y refrigeración, en un porcentaje indicativo de 1,3 puntos de media anual (1,1% en caso de no considerar el calor residual) a partir de la cuota establecida en 2020. Por otra parte, se da cumplimiento al objetivo de ahorro energético fijado en el artículo 7 de la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, revisada por la Directiva 2018/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética.

A nivel nacional, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) incluye, entre sus objetivos energéticos, lograr en 2030 una presencia de las energías renovables sobre el uso final de energía del 42%, mediante inversiones en renovables eléctricas y térmicas, así como la reducción en el consumo final de energía resultado de los programas y medidas de ahorro y eficiencia en todos los sectores de la economía, con el objetivo a largo plazo de convertir a España en un país neutro en carbono en 2050. Además, el PNIEC fija el objetivo de rehabilitar energéticamente 1.200.000 viviendas para 2030, en línea con en la estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España.

En este sentido, el PNIEC prevé un importante avance de las energías renovables térmicas en este sector y, más concretamente, en lo referente a bombas de calor se plantea un aumento en la presencia de esta tecnología de 629 a 3.523 ktep en el año 2030, lo que supone multiplicar por cuatro la contribución energética de las bombas de calor en el sector de la calefacción y refrigeración en la próxima década. El PNIEC propone un marco para el desarrollo de las energías renovables térmicas, mediante el establecimiento de incentivos y programas de ayudas para este tipo de energías.

Este importante objetivo de la bomba de calor no se podrá alcanzar solo con la entrada de la bomba de calor en el segmento de la nueva construcción, sino que será necesario impulsar y fomentar su introducción en la rehabilitación energética de edificios existentes, mediante la renovación o sustitución de instalaciones de generación térmica con combustibles de origen fósil por soluciones globales

mediante bomba de calor. En la actualidad, el parque de edificios español consume el 30% de la energía final y tan solo el 0,3% de los edificios han realizado intervenciones en rehabilitación energética.

El Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) de España, aprobado por la Comisión Europea, permitirá la realización de reformas estructurales los próximos años, mediante cambios normativos e inversiones y, por lo tanto, supondrá un cambio del modelo productivo para la recuperación de la economía tras la pandemia causada por la covid-19. Este Plan tiene entre sus objetivos que España apueste por la «descarbonización», invirtiendo en infraestructuras verdes, de manera que el transite desde las energías fósiles hasta un sistema energético limpio, siendo la transición ecológica uno de sus cuatro ejes transversales.

Para lograr los ambiciosos objetivos de contribución energética de la bomba de calor y ayudar a canalizar de forma eficaz las reformas e inversiones que se proponen en el PRTR, se plantea la elaboración de esta guía técnica, en la que se describen los últimos avances de la tecnología y las barreras para su introducción en la rehabilitación de edificios y se definen casos tipo para sustituir los sistemas convencionales de climatización por nuevas soluciones mediante bomba de calor en función de la tipología y uso del edificio. El objetivo de la guía es que sirva a usuarios, profesionales del sector y administraciones públicas como herramienta de consulta y orientación para la planificación y elaboración de proyectos de rehabilitación energética, incluyendo también casos reales de éxito en diferentes climas, sectores y tipos de edificios.

1.1. Ventajas y beneficios de la bomba de calor

Las ventajas y prestaciones de la bomba de calor son ya ampliamente conocidas y aplicadas en nueva edificación. Sin embargo, en el sector de la rehabilitación, aun siendo igualmente adecuadas, todavía sus ventajas no están siendo totalmente aprovechadas y el grado de implantación todavía es bajo, en muchos casos por desconocimiento de la tecnología.

Aunque la tecnología de bomba de calor ya existe hace muchos años, el desarrollo y los avances técnicos que se han venido produciendo en los últimos años han permitido lograr unos niveles cada vez mayores de eficiencia energética en todo tipo de condiciones ambientales, alcanzando temperaturas de trabajo cada vez mayores y convirtiéndola, en consecuencia, en una opción cada vez más respetuosa con el medio ambiente.

Además, dado que esta tecnología se abastece generalmente de la red eléctrica, esto permite compatibilizar las instalaciones para autoconsumo, como por ejemplo los paneles fotovoltaicos, y aprovechar la autogeneración de energía eléctrica para hacer funcionar la bomba de calor y obtener energía térmica «gratuita» para los usos de calefacción, refrigeración y ACS. Además, como se describe más adelante en esta guía, cabe la posibilidad de almacenar posibles excedentes de energía eléctrica mediante acumuladores térmicos, lo que permite aprovechar esa energía en un momento diferente al de su producción, reduciendo todavía más los costes y permitiendo un mayor grado de autosuficiencia energética para el usuario.

Así pues, al instalar un sistema de climatización mediante bomba de calor, aparte de las ventajas mencionadas anteriormente, existen una serie de beneficios añadidos que se resumen a continuación:

- **Confort:** se consigue una mejor regulación de la temperatura al ajustarse mejor a la curva de demanda teórica de la vivienda o local y, además, mediante determinados equipos, se pueden controlar y contribuir así a la obtención de una óptima calidad del aire interior.
- **Versatilidad:** es capaz de adaptarse a diferentes entornos o instalaciones existentes, trabajar en un rango de temperaturas exteriores muy amplio (incluso en climas muy fríos) e hibridarse con otros sistemas ya instalados o con otras energías renovables.
- **Eficiencia:** multiplica su capacidad de generar calor o frío, transportando el calor del ambiente de forma altamente eficiente. Por cada kW eléctrico consumido, es capaz de generar una media de 4 kW para usos térmicos.
- **Ahorro:** gracias a su elevada eficiencia energética, el consumo energético de estos equipos es muy bajo y permite grandes ahorros respecto a los sistemas tradicionales basados en combustibles fósiles.
- **Sostenibilidad:** utiliza energía procedente de fuentes renovables, como es el calor contenido en el aire exterior o bajo la superficie de la tierra, reduciendo las emisiones de CO₂.
- **Funcionalidad:** un solo equipo es capaz de proporcionar calefacción, refrigeración y ACS a la misma vivienda, incluso determinados sistemas son capaces de aprovechar la energía residual, recuperando el calor expulsado en el proceso de refrigeración para producir calefacción o ACS, aumentando enormemente la eficiencia global del sistema.
- **Fiabilidad:** es el sistema más utilizado en los sectores con grandes necesidades de climatización. Su mantenimiento es relativamente sencillo, lo que contribuye a alargar su vida útil y, por ello, a aumentar el valor de la vivienda o edificio.
- **Revalorización de la vivienda:** contribuye a una mejora de la calificación energética del inmueble, lo que redonda en un aumento del valor del mismo.

Es importante destacar que, para lograr todos estos beneficios y alcanzar las máximas prestaciones de esta tecnología, es necesario realizar un adecuado diseño y correcta ejecución de todo el sistema de climatización con bomba de calor, que permita alcanzar las condiciones de eficiencia energética y confort en cualquier época del año y zona climática.

Esta tecnología trabaja en condiciones diferentes a los sistemas tradicionales de calefacción y ACS, por lo que puede ser necesario adaptar las instalaciones existentes. Hay que tener en cuenta factores de la envolvente térmica, estructura constructiva, espacio, conductos, salidas, contaminación acústica, etc., por lo que el diseño del sistema y la adopción de recomendaciones de buenas prácticas es esencial.

2 Descripción de la tecnología

2.1. Conceptos generales

La bomba de calor es una máquina térmica que, utilizando un gas refrigerante en un ciclo termodinámico cerrado, transfiere calor de un entorno natural como el aire, el agua o la tierra, a un edificio o a aplicaciones industriales, invirtiendo el flujo natural del calor, de modo que fluya de una temperatura más baja a una más alta. El proceso consiste en extraer el calor de una fuente de energía renovable (aeroterminia, hidrotérminia o geotérminia), a través del evaporador, y transferirlo a un foco de mayor temperatura, a través del condensador. Las bombas de calor reversibles pueden trasladar calor de un edificio al entorno natural, enfriando así el recinto interior.

Los principales componentes del ciclo frigorífico de compresión, en los que se basa la bomba de calor, determinan las cuatro fases del mismo:

- **Evaporador (evaporación):** intercambiador de calor en el que se produce el cambio de fase del refrigerante de estado líquido a vapor (se evapora), gracias a la energía que le cede el medio que circula a su través. Para que esto sea posible, el refrigerante debe estar en unas condiciones de presión tales que su temperatura de evaporación sea inferior a la del medio, para que este pueda transferirle energía y provocar su cambio de estado.
- **Compresor (compresión):** motor que, utilizando un trabajo exterior (generalmente alimentación eléctrica), aspira el refrigerante en fase vapor producido en el evaporador y lo comprime. En este proceso de compresión se eleva la presión y la temperatura del refrigerante, transfiriéndole la energía necesaria para su movimiento a lo largo del circuito frigorífico.
- **Condensador (condensación):** intercambiador de calor donde el refrigerante en fase vapor a alta temperatura y alta presión se condensa gracias al calor que cede al medio en circulación. La temperatura a la que este refrigerante en estado vapor se condensa debe ser superior a la temperatura de entrada al intercambiador del fluido que se quiere calentar, para que este pueda extraer la energía y enfriar el vapor lo suficiente para que cambie de estado y se condense.
- **Válvula de expansión (expansión):** dispositivo situado a la salida del condensador, cuya función es regular la cantidad de refrigerante líquido que debe circular entre el condensador y el evaporador, para mantener los niveles de inundación, temperatura y presión adecuados para que el ciclo termodinámico funcione en las condiciones deseadas. Este elemento genera una pérdida de carga (regulada) que separa el lado de alta presión del condensador, del lado de baja presión del evaporador. Después del sistema de expansión, el refrigerante, ya en fase mixta líquido-vapor, se introduce en el evaporador para iniciar el ciclo de nuevo.

En el gráfico 2-1 se muestran los cuatro pasos mencionados.

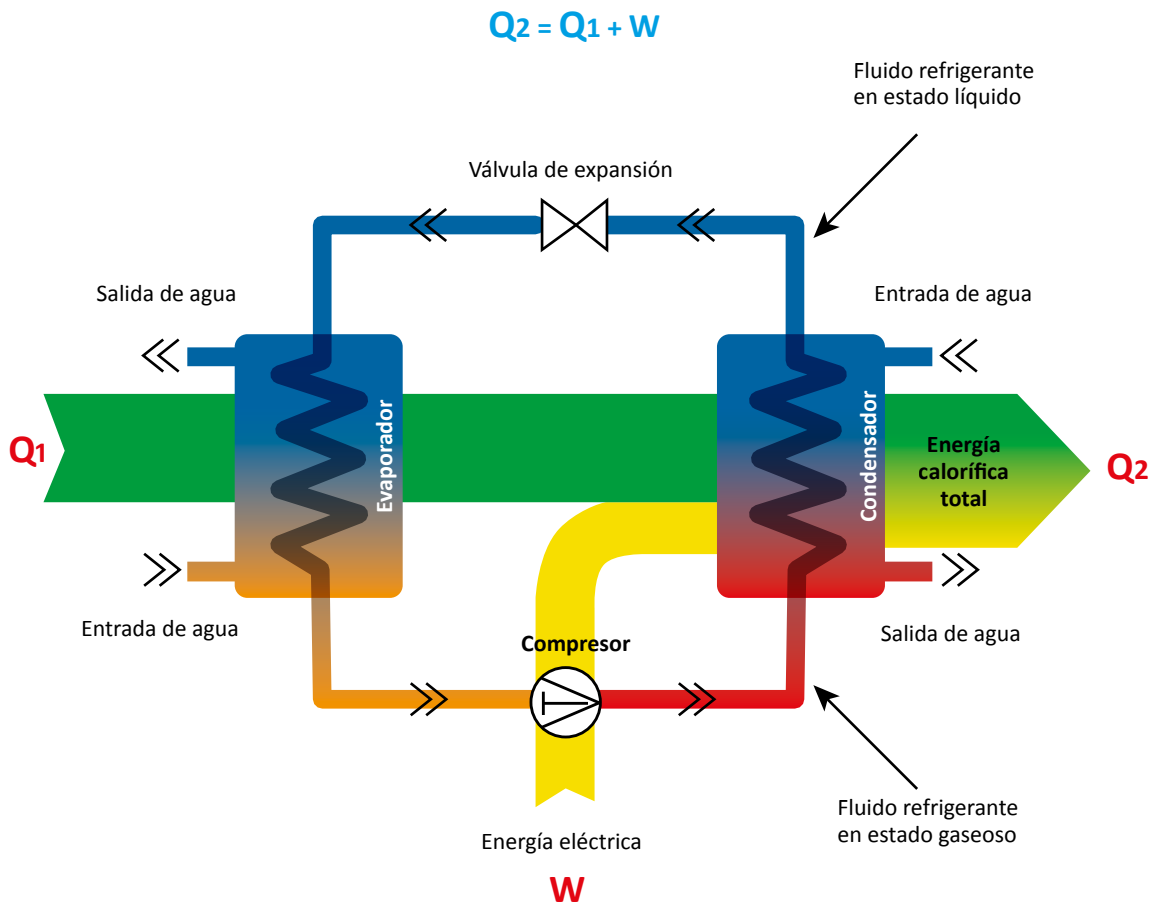


Gráfico 2-1. Ciclo frigorífico de compresión en calefacción, bomba de calor agua-agua

En el caso de bombas de calor reversibles, a este funcionamiento en calefacción es posible añadir un funcionamiento de la bomba de calor en modo refrigeración, invirtiendo el ciclo frigorífico mediante una válvula de 4 vías que permite que el refrigerante circule en uno u otro sentido, e invertir el flujo de calor entre el exterior y el interior. En este caso, cada uno de los intercambiadores de calor actúa como evaporador o como condensador en función del modo de funcionamiento. En modo refrigeración, el evaporador será el intercambiador situado en el espacio interior y el condensador situado en el exterior y, en modo calefacción, será de forma inversa (véase gráfico 2-2).

2.1.1. Coeficientes, ratios y eficiencia energética estacional (η)

La eficiencia energética de la bomba de calor en una instalación depende de las condiciones de trabajo (temperaturas, horarios, saltos térmicos, etc.), determinadas por la aplicación, la ubicación y, en el caso de bombas de calor aerotérmicas, la zona climática donde se encuentren.

Es necesario conocer estas condiciones para elegir la bomba o bombas de calor adecuadas, así como la estrategia de funcionamiento (individual, en cascada, en sistema híbrido u otros) y poder así alcanzar en la práctica los objetivos de ahorros de consumo, emisiones de CO_2 , etc. Además, dichas condiciones deben tenerse en cuenta para poder comparar la solución elegida con otras tecnologías



Gráfico 2-2. Modo de funcionamiento

Como se ha visto en el ciclo frigorífico de compresión, la bomba de calor, mediante un pequeño aporte de potencia eléctrica al compresor, transporta calor útil de forma altamente eficiente desde un foco «frío» a un foco «caliente». A modo de ejemplo, como se indica en el gráfico 2-3, en el caso de una bomba de calor aerotérmica, de cada 4 kW térmicos aportados a la vivienda, solo 1 kW procede de la red eléctrica, mientras que 3 kW proceden del aire exterior (renovable) (véase gráfico 2-3).

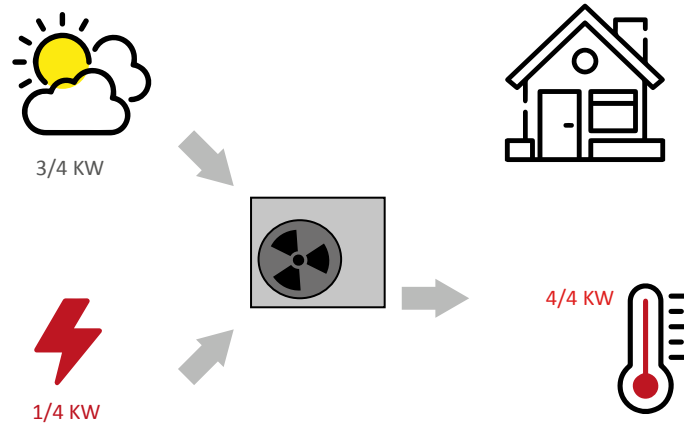


Gráfico 2-3. Aporte renovable de las bombas de calor

Su funcionamiento y rendimiento están ligados a varios factores, como la temperatura exterior, la de impulsión y el salto térmico, entre otros. En el caso de las bombas de calor aerotérmicas, su rendimiento y potencia varían significativamente a lo largo de un año, en función de la zona climática y el número de horas que el sistema trabaja a cada temperatura y en cada modo de funcionamiento.

En los últimos años el desarrollo de nuevos intercambiadores, ventiladores y el uso de nuevos refrigerantes están mejorando notablemente los rendimientos, especialmente en bombas de calor aerotérmicas y de pequeña potencia y, aún más, en climas medios y cálidos.

A continuación se describen los coeficientes y factores utilizados habitualmente.

2.1.1.1. Coeficientes

2.1.1.1.1. Coeficientes de rendimiento instantáneo

Los ratios de rendimientos instantáneos se denominan utilizando dos acrónimos:

- **COP** para el modo calefacción.
- **EER** para el modo refrigeración.

Se define **COP** (*Coefficient Of Performance/coeficiente de rendimiento*) como el cociente entre la potencia calorífica aportada y la potencia eléctrica consumida, ambas instantáneas, en unas condiciones específicas de temperatura de impulsión, salto térmico y capacidad del compresor (véase gráfico 2-4).

$$\text{COP} = \frac{\text{Potencia calorífica}}{\text{Potencia eléctrica consumida}}$$

Gráfico 2-4. Definición de COP

Se define **EER** (*Energy Efficient Ratio/factor de eficiencia energética*) como la relación entre la potencia frigorífica extraída y la potencia eléctrica consumida, ambas instantáneas, en unas condiciones específicas de temperatura de impulsión, salto térmico y capacidad del compresor (véase gráfico 2-5).

$$\text{EER} = \frac{\text{Potencia frigorífica}}{\text{Potencia eléctrica consumida}}$$

Gráfico 2-5. Definición de EER

2.1.1.1.2. Coeficientes de rendimiento estacional

Para optimizar las prestaciones de una bomba de calor, se deben adaptar sus condiciones de temperatura de impulsión y salto térmico continuamente, en función de la temperatura exterior y/o de las condiciones interiores. Este es el origen de los siguientes ratios estacionales frente a los instantáneos, vistos anteriormente.

- **SCOP** para el modo de producción de calor.
- **SEER** para el modo refrigeración.

2.1.1.1.2.1. En ACS, SCOP_{DHW}

En ACS, el coeficiente de rendimiento estacional se denomina SCOP_{DHW} y se obtiene mediante ensayo de la bomba de calor en las condiciones establecidas en la Norma UNE-EN 16147 o mediante métodos de cálculo reconocidos, como es el *Método de prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios* (IDAE).

En la citada Norma UNE EN 16147 se determinan las condiciones de ensayo, entre ellas: condiciones climáticas; temperatura de acumulación de ACS; perfiles de extracción de energía con horarios específicos; etc.

Dichas condiciones climáticas están también recogidas en el cuadro 9 del anexo VII del Reglamento Delegado 812/2013, en lo que respecta al etiquetado energético de los calentadores de agua, los depósitos de agua caliente y los equipos combinados de calentador de agua y dispositivo solar, establecidas para el funcionamiento de las bombas de calor en ACS para las tres localidades europeas de referencia (el ACS se utiliza todo el año) e indicadas para uso de aire exterior como condiciones climáticas medias (7 °C), más frías (2 °C) y más cálidas (14 °C) (véase gráfico 2-6.)

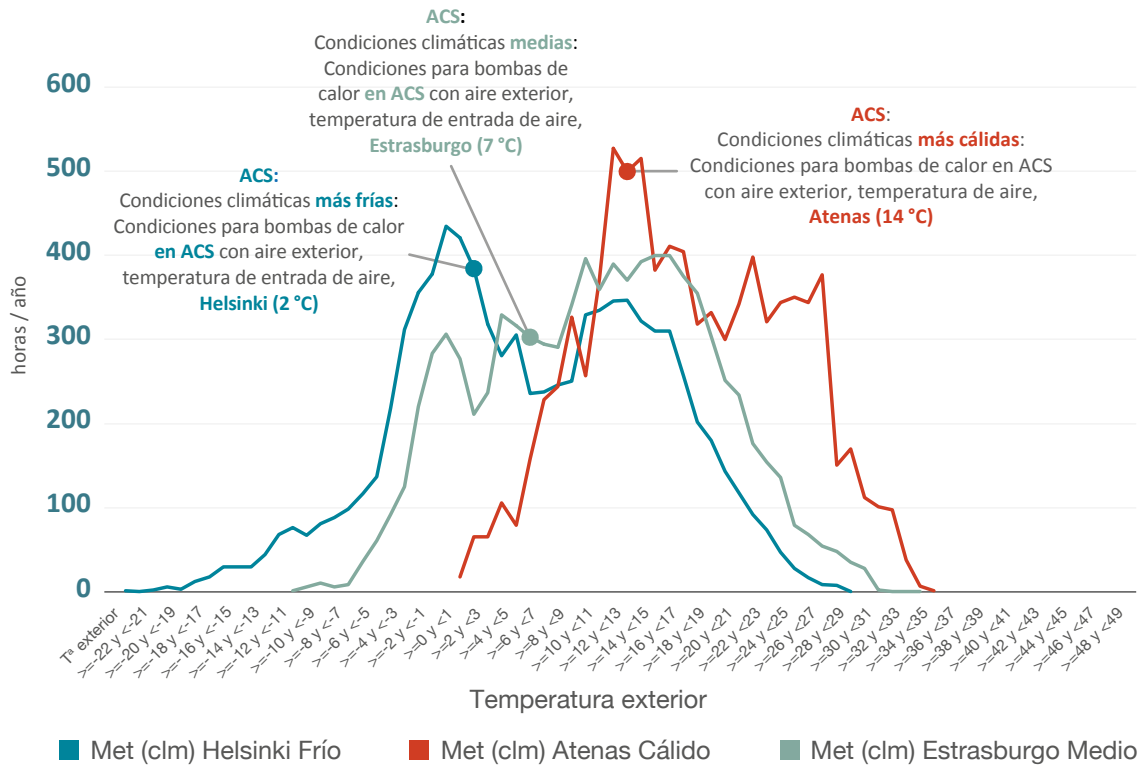


Gráfico 2-6. Temperaturas para establecer el rendimiento estacional de las bombas de calor en ACS según se indica en Reglamento Delegado 812/2011. Helsinki (condiciones climáticas frías, 2 °C), Estrasburgo, (condiciones climáticas medias, 7 °C) y Atenas (condiciones climáticas cálidas, 14 °C), donde el COP_{DHW} a esa temperatura equivale al $SCOP_{DHW}$

En resumen, de lo indicado por el Reglamento Delegado 812/2013, el Reglamento de Ecodiseño 814/2013 y la Norma UNE-EN 16147, el coeficiente de rendimiento COP_{DHW} obtenido con una temperatura de entrada de aire exterior de 2 °C, 7 °C y 14 °C (temperatura media diaria anual de la localidades consideradas) se considera como el rendimiento estacional en ACS, ($SCOP_{DHW}$) para las condiciones climáticas más frías (Helsinki), medias (Estrasburgo) y más cálidas (Atenas), respectivamente.

La tabla 2-1 muestra el resumen del total de energía diaria necesaria e indicada en la norma, según el perfil de extracción de ACS considerado y la demanda diaria establecida en el perfil de extracción de la norma UNE-EN 16147:2017.

UNE-EN 16147:2017	Unidades	3XS	2XS-S	M	L	XL	XXL	3XL	4XL
Energía necesaria en ACS)	kWh/día	0,34	2,1	5,84	11,65	19,07	24,53	46,76	93,52
Demanda diaria de ACS, calculada a una temperatura de entrada de agua fría a 10 °C y a una temperatura de acumulación a 55 °C	litros/día	6,61	40,23	111,97	223,28	365,33	469,92	895,79	1791,57

Tabla 2-1. Energía total diaria en ACS (UNE-EN 16147:2017) y estimación de demanda

En algunos casos, especialmente para grandes demandas, los horarios de extracción y energía recogidos en la norma pueden diferir con los de la tabla C del anejo D, «Perfil de uso de ACS de espacios en uso residencial privado», del documento básico HE del CTE, por lo que, para asegurar el correcto dimensionamiento de la acumulación y de la potencia necesarias se recomienda recabar información de los perfiles y consumos reales de la instalación que se va a rehabilitar (véase gráfico 2-7).

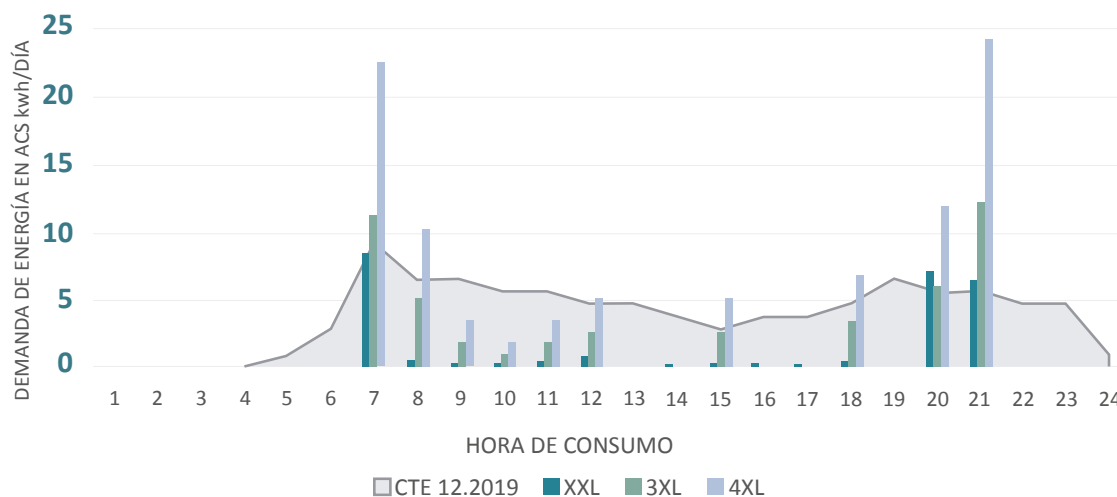


Gráfico 2-7. Comparación de perfiles de demanda de ACS, CTE vs. UNE-EN 16147:2017

Así mismo, la Norma UNE-EN 16147:2017 no contempla indicación de perfil horario y extracción de energía para demandas superiores a 1.800 litros/día. Para demandas superiores, se recomienda realizar un estudio con un método conservador. En edificios no residenciales (gimnasios, hoteles, residencias, etc.), el perfil de extracción debe determinarse caso por caso.

Este estudio del perfil de demanda es necesario para dimensionar correctamente el conjunto de potencia térmica y acumulación.

Para más información sobre la determinación de las prestaciones de agua caliente sanitaria según la UNE-EN 16147:2017, consultar el anexo 8 de esta guía «Certificación de equipos y ensayos normalizados».

2.1.1.1.2.2. En calefacción, SCOP

En calefacción, el coeficiente de rendimiento estacional se denomina SCOP (*Seasonal Coefficient Of Performance* o coeficiente estacional de rendimiento) y se obtiene mediante ensayo de la bomba de calor en las condiciones establecidas en la Norma UNE-EN 14825 o mediante métodos de cálculo reconocidos, como es el *Método de prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios* (IDAE) (véase gráfico 2-8).

$$\text{SCOP} = \frac{\text{365 Días}}{\text{365 Días}} = \frac{\text{Demanda anual de calefacción (kWh)}}{\text{Consumo anual de energía (kWh)}}$$

Gráfico 2-8. Definición de SCOP

Este dato de rendimiento considera una variación de la potencia aportada por el generador en calefacción en función de la temperatura exterior, con su consiguiente variación de temperatura de impulsión en las condiciones establecidas para las tres temporadas de calefacción europeas definidas en la norma y reflejadas en el Reglamento Delegado 811/2013.

Según la UNE-EN 14825:2014, el cálculo del SCOP (véase gráfico 2-9) debe hacerse con base en el $SCOP_{net}$ y $SCOP_{on}$, donde:

- $SCOP_{net}$: es el coeficiente de rendimiento estacional sin hacer uso del calefactor de apoyo. Este es el rendimiento sobre el que se basa la cantidad de energía renovable aportada por una bomba de calor, según se indica en la 2013/114/UE: Decisión de la Comisión, de 1 de marzo de 2013. Este rendimiento estacional $SCOP_{net}$ es equivalente al factor «SPF», sobre el que se detalla más información en el apartado 2.1.2.
- $SCOP_{on}$: es el coeficiente de rendimiento medio de la unidad en modo activo para la estación de calefacción designada, establecido a partir del coeficiente de rendimiento a carga parcial, del coeficiente del rendimiento de la potencia calorífica del dispositivo de calefacción eléctrica de reserva (cuando se requiera) y de los coeficientes de rendimiento específicos del periodo ($COP_{bin}(T_j)$), y ponderando con la ayuda de las horas por periodo en las condiciones del periodo.
 - Modo activo es el modo correspondiente a las horas con una carga de refrigeración o calefacción del edificio y para la cual se activa la función de refrigeración o calefacción de la unidad.
- El SCOP no incluye consumos del control de la instalación o de las bombas de captación de agua en caso de hidrotermia.

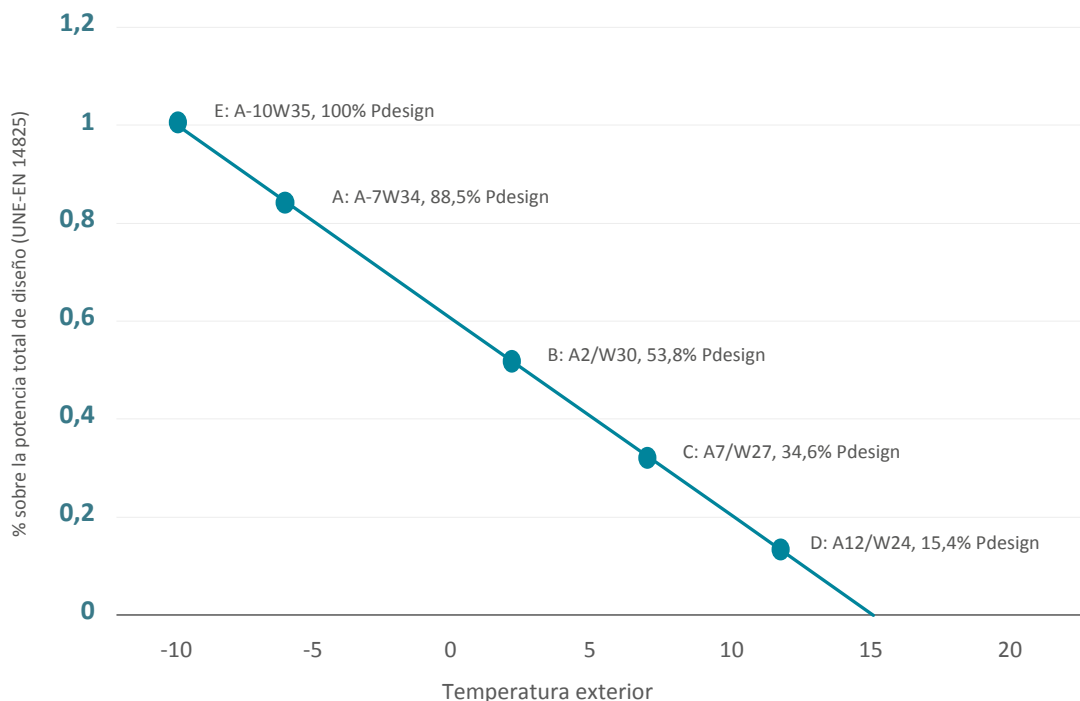


Gráfico 2-9. Ejemplo de las condiciones estipuladas para obtener el dato del SCOP a baja temperatura de impulsión (35 °C) de una bomba de calor aire-agua en condiciones climáticas medias (Estrasburgo). Puede apreciarse la filosofía de funcionamiento mediante la que se varía la potencia y temperatura de impulsión en función de la temperatura exterior, donde “A” es aire, “W” es agua y el número a continuación de la letra es la temperatura en °C. El porcentaje se refiere a la potencia térmica aportada. La temperatura exterior para el inicio de la calefacción es de 15 °C

2.1.1.1.2.3. En refrigeración, SEER

En refrigeración, el factor de rendimiento estacional se denomina SEER (*Seasonal Energy Efficiency Ratio* o Factor de Eficiencia Energética Estacional) y se obtiene mediante ensayo de la bomba de calor en las condiciones establecidas en la norma UNE-EN 14825 (véase gráfico 2-10).

$$\text{SEER} = \frac{\text{Demanda Anual de Refrigeración (kWh)}}{\text{Consumo Anual de Energía (kWh)}}$$

Gráfico 2-10. Definición de SEER

Su cálculo se basa en el cálculo del SEER_{on} , «eficiencia en modo activo (ON)», que está definida, según la norma UNE-EN 14825, como el «modo correspondiente a las horas con una carga de refrigeración o calefacción del edificio y para la cual se activa la función de refrigeración o calefacción de la unidad». No incluye los consumos de modo de dispositivo de calentamiento de cárter, modo de espera, modo desactivado, termostato, etc.

El SEER no incluye los consumos de bombeo de pozo en bombas de calor hidrotérmicas.

Puede encontrarse más información en el anexo 8 de esta guía, apartado 8.3, «Métodos de cálculo, condiciones y procedimientos de ensayo para la eficiencia energética estacional (UNE-EN 14825)», así como en la propia norma.

2.1.1.2. Eficiencia Energética Estacional η (Eta)

Para poder comparar la eficiencia energética de diferentes tecnologías, es necesario utilizar coeficientes basados en un criterio común, como por ejemplo el uso que se hace de la energía primaria, además de incluir factores de corrección que pueden no haberse considerado en los rendimientos instantáneos o estacionales.

Esta comparación es posible mediante el uso del dato de la Eficiencia Energética Estacional, η (Eta), que sí aporta información sobre el uso de la energía primaria consumida, en porcentaje, en lugar de sobre el uso de la energía final, además de incluir correcciones de consumo. Cada uso (ACS, calefacción, refrigeración) dispone de su correspondiente rendimiento: η_{wh} (Eta-wh) para ACS, $\eta_{\text{s,h}}$ (Eta-s) para calefacción y $\eta_{\text{s,c}}$ (Eta-s,c) para refrigeración.

Para los equipos sujetos a los reglamentos de etiquetado, este dato de Eficiencia Energética Estacional es la base para establecer la Clasificación Energética (A, A+, A++, A+++, etc.).

2.1.1.2.1. En ACS: η_{wh}

Tal y como se indica en el Reglamento de Ecodiseño 814/2013, de 2 de agosto de 2013, por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para calentadores de agua y depósitos de agua caliente, para los perfiles considerados en dicho reglamento, la «eficiencia energética del caldeo de agua» (η_{wh}), es la relación entre la

energía útil aportada por un calentador de agua y la energía necesaria para su generación, expresada en %; y se obtiene de la fórmula:

$$\eta_{wh} = \frac{Q_{ref}}{(Q_{fuel} + CC \times Q_{elec}) \times (1 - SCF \times Smart) + Q_{cor}}$$

Donde:

- η_{wh} : es la relación entre la energía útil aportada por un calentador de agua y la energía necesaria para su generación, expresada en %.
- Q_{ref} : es la energía de referencia; suma del contenido de energía útil de las salidas de agua, expresada en kWh, en un determinado perfil de carga, conforme a lo especificado en el anexo III, cuadro 1 de dicho Reglamento 814/2013.
- Q_{fuel} : consumo de combustible a lo largo de 24 horas consecutivas con el perfil de carga declarado, expresado en kWh en términos de poder calorífico superior. Para bombas de calor de accionamiento eléctrico, $Q_{fuel}=0$.
- CC: valor del coeficiente de conversión, en porcentaje, de energía primaria, con valor de 2,5, valor que se espera se actualice a 1,9 en las próximas revisiones de los reglamentos de ecodiseño y etiquetado.
- Q_{elec} : consumo de electricidad a lo largo de 24 horas consecutivas con el perfil de carga declarado, expresado en kWh de energía final.
- SCF: factor de control inteligente; aumento de la eficiencia del caldeo de agua gracias al control inteligente en las condiciones indicadas en el punto 3 del anexo III del Reglamento de Ecodiseño 814/2013.
- Smart: conformidad con el control inteligente, para calentadores de agua equipados con controles inteligentes que cumplen el criterio establecido en el punto 4 del anexo IV del Reglamento de Ecodiseño 814/2013.
- Q_{cor} : factor de corrección ambiente; factor que tiene en cuenta el hecho de que el lugar donde se instala el calentador de agua no es un lugar isotérmico, expresado en kWh y que se calcula de la expresión:
 - $Q_{cor} = -k \cdot 24h \cdot P_{stby}$, donde:
 - $K = 0,23$ para todos los perfiles excepto el XXL y superiores, donde toma el valor $K=0$.
 - P_{stby} = pérdida de calor de un calentador de agua con bomba de calor en estado de funcionamiento sin demanda de calor, expresada en kW y que se obtiene de la expresión:
 - $P_{stby} = CC \times P_{es}$, donde:
 - CC es el coeficiente de conversión.
 - P_{es} : es la potencia total absorbida del aparato o durante el ensayo a régimen estable y que incluye la potencia absorbida para compensar las pérdidas de calor y la absorbida por cualquier equipo auxiliar.

Asimismo, en la norma UNE- EN 16147 se indica que Q_{elec} :

$$Q_{elec} = \frac{Q_{ref}}{Q_{LP}} \times W_{EL-LP}$$

Donde W_{EL-LP} es el consumo de energía eléctrica total y Q_{LP} es la energía útil

Por lo que:

$$Q_{ref} = \frac{Q_{elec} \times Q_{LP}}{W_{EL-LP}}$$

Si consideramos que:

$$COP_{DHW} = \frac{Q_{LP}}{W_{EL-LP}}$$

Al despejar W_{EL-LP} :

$$W_{EL-LP} = \frac{Q_{LP}}{COP_{DHW}}$$

y unirlo a la expresión anterior:

$$Q_{ref} = \frac{Q_{elec} \times Q_{LP}}{W_{EL-LP}} = \frac{Q_{elec} \times Q_{LP}}{\left(\frac{Q_{LP}}{COP_{DHW}}\right)} = Q_{elec} \times COP_{DHW}$$

De la expresión de la eficiencia energética de caldeo de agua:

$$\eta_{wh} = \frac{Q_{ref}}{(Q_{fuel} + CC \times Q_{elec}) \times (1 - SCF \times Smart) + Q_{cor}}$$

Al sustituir se obtiene:

$$\eta_{wh} = \frac{Q_{elec} \times COP_{DHW}}{(Q_{fuel} + CC \times Q_{elec}) \times (1 - SCF \times Smart) + Q_{cor}}$$

Puesto que, en ACS y para bombas de calor aerotérmicas, el COP_{DHW} se considera como $SCOP_{DHW}$ para las temperaturas de entrada de aire a 2 °C, 7 °C y 14 °C (temperaturas medias diurnas anuales) de Helsinki, de Estrasburgo y Atenas, que establecen las condiciones climáticas más frías, medias y más cálidas para ACS, respectivamente, según se indica en el Reglamento Delegado 812/2013), al sustituir en la expresión se obtiene:

$$\eta_{wh} = \frac{Q_{elec} \times SCOP_{DHW}}{(Q_{fuel} + CC \times Q_{elec}) \times (1 - SCF \times Smart) + Q_{cor}}$$

A título de ejemplo, si tomamos $Q_{fuel}=0$ y para equipos sin función de control inteligente $SCF=0$:

$$\eta_{wh} = \frac{Q_{elec} \times SCOP_{DHW}}{(CC \times Q_{elec}) + Q_{cor}}$$

Al sustituir Q_{cor}

$$\eta_{wh} = \frac{Q_{elec} \times SCOP_{DHW}}{(CC \times Q_{elec}) - (k \times CC \times 24 \times P_{es})}$$

Queda la siguiente expresión, que define la eficiencia energética estacional en función de las diferentes variables antes consideradas.

$$H_{wh} = \frac{Q_{elec} \times SCOP_{DHW}}{CC \times (Q_{elec} - (k \times 24 \times P_{es}))}$$

En el caso de perfiles XXL y superiores, donde $K = 0$, la anterior expresión de la eficiencia energética del caldeo de agua (η_{wh}) quedaría del siguiente modo:

$$\eta_{wh} = \frac{1}{CC} \times SCOP_{DHW}$$

A título ilustrativo se incluye aquí una tabla de ejemplo como la que se puede encontrar en la documentación técnica habitual de los fabricantes, en la que se muestra la Eficiencia Energética Estacional (η_{wh}) en ACS de un modelo de bomba de calor para el calentamiento en ACS con una acumulación determinada, para las tres condiciones climáticas y para un perfil de extracción concreto, en este caso perfil L.

Uso de la bomba de calor en ACS (Uso todo el año) Según UNE-EN 16147:2017	Clasificación Energética	Perfil	η_{wh}	SCOP _{DHW}
Condiciones climáticas más cálidas Tª exterior anual media (14 °C)	A	L	131	3,28
Condiciones climáticas medias Tª exterior anual media (7 °C)	A	L	105	2,62
Condiciones climáticas más frías Tª exterior anual media (2 °C)	A	L	95	2,40

Tabla 2-2. Ejemplo de datos para ACS (simulados)

2.1.1.2.2. En calefacción: $\eta_{s,h}$

Le eficiencia energética estacional en calefacción ($\eta_{s,h}$) es equivalente a Eta-s (η_s), según se indica en la norma UNE-EN 14825, sección 7.1. Para bombas de calor en modo calefacción se define $\eta_{s,h}$ como un valor estacional normalizado, que indica el rendimiento sobre la energía primaria consumida e incluye correcciones por consumo de elementos de control. En el caso de bombas de calor hidrotérmicas, incluye la corrección estimada por consumo de las bombas de captación de agua subterránea.

Este ratio es más preciso y riguroso y permite comparar la eficiencia energética de sistemas con diferentes tecnologías de generadores de calor (calderas de gas o gasóleo, termo eléctrico, bomba de calor, etc.), pues incluye información de la eficiencia sobre el uso de la energía primaria.

Su fórmula se encuentra en la Comunicación de la Unión Europea 2017/C 229/01, en la que se indica que:

$$\eta_{s,h} = \frac{1}{CC} \cdot SCOP - \sum F(i)$$

Donde:

- $\eta_{s,h}$: eficiencia energética estacional de calefacción, expresada en %.
- CC: coeficiente de conversión, según el Anexo I del Reglamento (UE) 2016/2281, cuyo valor actualmente es de 2,5, valor que se espera se actualice a 1,9 en las próximas revisiones de los reglamentos de ecodiseño y etiquetado.
- SCOP: coeficiente de rendimiento estacional en calefacción, expresado en porcentaje.
- F(i): factores de corrección, según el punto 3.3 de la citada comunicación, y expresados en porcentaje.
 - En su apartado a) se define el factor (F1), el cual refleja una contribución negativa a la eficiencia energética estacional de calefacción o refrigeración de espacios de los productos debido a las contribuciones ajustadas de los controles de temperatura, equivalente al 3%, que aplicaría a aerotermia, geotermia e hidrotermia.
 - En su apartado b) se expone el factor F(2), el cual tiene en cuenta una contribución negativa adicional por el consumo de electricidad de la bomba o bombas de agua subterránea de un 5%, por lo que en el caso de hidrotermia el sumatorio F(i), $\Sigma F(i)$, supone un 8%.

2.1.1.2.3. En refrigeración: $\eta_{s,c}$

Su fórmula se encuentra en la Comunicación de la Unión Europea 2017/C 229/01, en la que se indica que:

$$\eta_{s,c} = \frac{SEER}{CC} - \sum F(i)$$

Donde

- $\eta_{s,c}$: eficiencia energética estacional de refrigeración, expresada en %.
 - CC: coeficiente de conversión, según el Anexo I del Reglamento (UE) 2016/2281 cuyo valor actualmente
 - es de 2,5, valor que se espera se actualice a 1,9 en las próximas revisiones de los reglamentos de ecodiseño y etiquetado
 - SEER: eficiencia energética estacional de refrigeración de espacios en modo activo expresada en porcentaje.
 - F(i): factores de corrección a aplicar, según el punto 3.3 de la citada comunicación, y expresados en porcentaje.
 - En el apartado a) del citado punto 3.3 se define el factor F(1), el cual refleja una contribución negativa a la eficiencia energética estacional de calefacción o refrigeración de espacios de los productos debido a las contribuciones ajustadas de los controles de temperatura, equivalente a 3%, que aplicaría a aerotermia, geotermia e hidrotermia.
 - En su apartado b) del citado punto 3.3 se expone el factor F(2), el cual tiene en cuenta otra contribución negativa adicional por el consumo de electricidad de la bomba o bombas de agua subterránea de un 5% (hidrotermia)

2.1.1.2.4. Eficiencia energética estacional mínima (η). Reglamentos de ecodiseño

La eficiencia energética estacional mínima permitida en calefacción se establece en los Reglamentos de Ecodiseño 813/2013, para aparatos de calefacción y calefactores combinados con una potencia calorífica nominal de ≤ 400 kW, y para ACS mediante el Reglamento de Ecodiseño 814/2013 para calentadores de agua con una potencia calorífica nominal ≤ 400 kW y depósitos de agua caliente con una capacidad ≤ 2.000 litros.

Esta eficiencia mínima permitida se corresponde con un etiquetado concreto en los Reglamentos Delegados 811/2013 y 812/2013.

Requisitos mínimos de eficiencia energética para bombas de calor en calefacción				
	Bombas de calor de baja temperatura o para aplicaciones a baja temperatura (35 °C)		Aparatos de calefacción con bomba de calor y calefactores combinados con bomba de calor, a excepción de las bombas de calor de baja temperatura: (55 °C)	
Reglamento que lo regula	813/2013 Anexo II. Punto b	811/2013 Anexo II. Cuadro 2	813/2013 Anexo II. Punto b	811/2013 Anexo II. Cuadro 1
Concepto	Eficiencia estacional mínima $\eta_{s,h}$	Clasificación energética mínima, en función de lo establecido en el Reglamento de Ecodiseño	Eficiencia estacional mínima $\eta_{s,h}$	Clasificación energética mínima, en función de lo establecido en el Reglamento de Ecodiseño
Bombas de calor	$\eta_{s,h} \geq 125\%$	A+ ($123 \leq \eta_{s,h} < 150$)	$\eta_{s,h} \geq 110\%$	A+ ($98 \leq \eta_{s,h} < 125$)

Tabla 2-3. Rendimientos mínimos establecidos en los reglamentos de ecodiseño y etiquetado equivalente, calefacción

Requisitos de diseño ecológico para calentadores de agua y etiquetado energético en ACS									
Perfil de carga declarado									
3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL	3XL	4XL
Eficiencia energética mínima de caldeo del agua de los calentadores de agua en función de los perfiles de carga declarados, η_{wh} en %. Reglamento de Ecodiseño 814/2013 de 2 de agosto de 2013, por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para calentadores de agua y depósitos de agua caliente ANEXO II. Punto 1. b y 1.c).									
32%	32%	32%	32%	36%	37%	38%	60%	64%	64%
Etiquetado energético correspondiente a la eficiencia energética mínima, establecida en el Reglamento de Ecodiseño 814/2013, sobre el cuadro II del anexo I del Reglamento Delegado 812/2013, de 18 de febrero de 2013 por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al etiquetado energético de los calentadores de agua, los depósitos de agua caliente y los equipos combinados de calentador de agua y dispositivo solar.									
B $32 \leq \eta_{wh} < 35$	B $35 \leq \eta_{wh} < 38$	C $36 \leq \eta_{wh} < 45$	C $37 \leq \eta_{wh} < 50$	C $38 \leq \eta_{wh} < 55$	B $60 \leq \eta_{wh} < 85$	Sin etiqueta			

Tabla 2-4. Rendimientos mínimos establecidos en los reglamentos de ecodiseño y etiquetado equivalente, ACS

2.1.2. La bomba de calor y la energía renovable

La bomba de calor transporta la energía procedente de fuentes renovables, gratuitas e inagotables (aire, tierra y agua), y la convierte en energía calorífica útil para su aprovechamiento en climatización o ACS. Este aprovechamiento permite una reducción del consumo de energía final frente a otro tipo de tecnologías convencionales, de emisiones de CO₂ y de la dependencia de combustibles fósiles.

Para calcular la cantidad de energía aerotérmica, geotérmica o hidrotérmica capturada por bombas de calor que debe considerarse energía procedente de fuentes renovables, debe deducirse la energía no renovable usada para el funcionamiento de las bombas de calor, es decir, la energía consumida de la red para accionamiento del compresor, entre otros.

En el Anexo VII de la Directiva 2018/2001, titulado «Balance energético de las bombas de calor», se recoge cómo calcular la cantidad de energía renovable aportada a partir del factor de rendimiento medio estacional (SPF).

De conformidad con el mencionado anexo y con la Decisión de la Comisión 2013/114, la cantidad de energía renovable suministrada mediante tecnologías de bomba de calor (E_{RES}), se calcula con la fórmula:

$$E_{RES} = Q_{usable} * \left(1 - \frac{1}{SPF}\right)$$

Siendo:

- Q_{usable} : el calor útil total estimado proporcionado por bombas de calor conformes a los criterios mencionados en el artículo 7, apartado 3, de la Directiva 2018/2001 con la siguiente restricción: solo se tendrán en cuenta las bombas de calor para las que $SPF > 1.15 * 1/\eta$.
 - η : el cociente entre la producción total bruta de electricidad y el consumo primario de energía para la producción de electricidad, y se calculará como una media de la Unión Europea basada en datos de Eurostat.

- SPF: factor de rendimiento medio estacional estimado para dichas bombas de calor.

Del mismo modo y tal como se recoge en la mencionada Decisión 2013/114, «De conformidad con el anexo VII de la Directiva, los Estados miembros se cerciorarán de que solo se tengan en cuenta las bombas de calor con un SPF superior a $1,15 * 1/\eta$ ». La Decisión de la Comisión fija el valor de la eficiencia del sistema de energía (η) en 0,455 (45,5%) para el año 2010. Como consecuencia, el SPF mínimo de corte ($SCOP_{net}$) de las bombas de calor accionadas eléctricamente que debe considerarse, para que estas capturen energía renovable, es 2,5. Para bombas de calor accionadas mediante energía térmica (bien directamente, bien mediante la combustión de combustibles), el SPF mínimo ($SPER_{net}$) de ese tipo de bombas es 1,15.

Según indica la propia Directiva 2018/2001, la Comisión adoptará actos delegados de conformidad con el artículo 35 con el fin de completar dicha Directiva, estableciendo una metodología para calcular la cantidad de energía renovable utilizada para la refrigeración y la refrigeración urbana y para modificar el anexo VII, por lo que estos valores pueden verse modificados en un futuro.

2.1.2.1. Energía renovable en ACS

Para los perfiles de consumo en ACS recogidos en el Reglamento de Ecodiseño 814/2013, el coeficiente de rendimiento estacional de la bomba de calor para la producción de ACS es el $SCOP_{DHW}$, tal y como se indica en la norma UNE-EN 16147:2017, “Bombas de calor con compresor accionado eléctricamente. Ensayos y requisitos para el marcado de equipos para agua caliente sanitaria”, por lo que la eficiencia energética estacional de caldeo mínima para tener la consideración de energía renovable en ACS y el etiquetado correspondiente para los perfiles de extracción con bomba de calor más habituales sería la siguiente:

Para calentamiento de ACS mediante bomba de calor y para los perfiles de carga indicados en el Reglamento de Ecodiseño 814/2013						
Perfil de carga declarado por el fabricante	M	L	XL	XXL	3XL	4XL
η_{wh} : eficiencia energética estacional en ACS	Para poder tener consideración de energía renovable, $\eta_{wh} \geq 100\%$					
Clases de eficiencia energética mínima de caldeo del agua de los calentadores de agua en función de los perfiles de carga declarados, η_{wh} en %, para ser considerado energía renovable	A+ ($100 \leq \eta_{wh} < 130$)	A ($75 \leq \eta_{wh} < 115$)	A ($80 \leq \eta_{wh} < 123$)	A ($85 \leq \eta_{wh} \leq 131$)	Fuera del alcance del Reglamento Delegado 812/2013 de etiquetado	

Tabla 2-5. Eficiencia energética requerida en ACS

2.1.3. Refrigerantes

El ciclo frigorífico de la bomba de calor puede funcionar con distintos refrigerantes. Para elegir el más adecuado para cada diseño o aplicación, no solo se valoran las propiedades termodinámicas, sino que además se tiene que buscar una optimización y un equilibrio entre múltiples factores, como por ejemplo rango de funcionamiento, seguridad, normativas, rendimiento, diseño ecológico, impacto ambiental, compatibilidad con compresor, aceites y componentes, coste de vida útil, etc.

Los refrigerantes comercializados en España deben estar oficialmente inscritos en el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, mediante un registro público que incluye una serie de datos que sirven posteriormente para clasificar los refrigerantes según criterios de toxicidad, inflamabilidad, composición, potencial de calentamiento atmosférico (PCA), etc. Tanto en equipos como para el mantenimiento de los mismos, solo deben utilizarse refrigerantes inscritos en dicho registro.

En cuanto a su composición, los refrigerantes pueden ser inorgánicos y orgánicos:

Inorgánicos	Orgánicos		
	Fluorados		No fluorados
Agua	Halocarbonos	Hidrofluorolefinas	
Amoniaco			
Dióxido de Carbono	HFC	HFO	Hidrocarburos

Tabla 2-6. Clasificación de los refrigerantes según su composición

En lo referente a seguridad, los refrigerantes se clasifican:

- Según su inflamabilidad:
 - Categoría 1: no inflamables.
 - Categoría 2: inflamables.
 - En la versión más reciente del *Reglamento de Seguridad para Instalaciones Frigoríficas y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (RSIF)*, aprobado mediante el Real Decreto 192/2019, se ha incluido el grupo 2L, ligeramente inflamables, que, para las mismas condiciones, permite mayor carga de refrigerante que los del grupo 2.
 - Categoría 3: muy inflamables.
- Según su toxicidad:
 - Categoría A: refrigerantes cuya concentración media en el tiempo no tiene efectos adversos para la mayoría de los trabajadores que pueden estar expuestos al refrigerante durante una jornada laboral de 8 horas diarias y 40 horas semanales y cuyo valor es igual o superior a una concentración media de 400 ml/m³ [400 ppm. (V/V)].
 - Categoría B: refrigerantes cuya concentración media en el tiempo no tiene efectos adversos para la mayoría de los trabajadores que puedan estar expuestos al refrigerante durante una jornada laboral de 8 horas diarias y 40 horas semanales y cuyo valor es inferior a una concentración media de 400 ml/m³ [400 ppm. (V/V)].

		Baja toxicidad	Alta Toxicidad
Incremento de riesgo de inflamabilidad ↓	Sin propagación de llama	A1	B1
	Baja inflamabilidad	A2L	B2L
	Media inflamabilidad	A2	B2
	Alta inflamabilidad	A3	B3
		Incremento de riesgo de toxicidad →	

Tabla 2-7. Clasificación de los refrigerantes según inflamabilidad y toxicidad

Teniendo en cuenta ambas clasificaciones, el *Reglamento de Seguridad para Instalaciones Frigoríficas (RSIF)* define los siguientes grupos de seguridad para los refrigerantes:

- Grupo L1 de alta seguridad: A1.
- Grupo L2 de media seguridad: A2L, A2, B1, B2L, B2.
- Grupo L3 de baja seguridad: A3, B3.

La seguridad de la instalación se garantiza mediante límites de carga máxima de los equipos, dependiendo del grupo de seguridad del fluido frigorígeno, del tamaño, tipo y accesibilidad del local, de la ubicación de los sistemas, etc. A los equipos con gases 2L, por ser ligeramente inflamables, se les aplican restricciones menos estrictas que al resto de los del grupo 2 (inflamables). A este respecto, se puede encontrar información detallada en el RSIF.

En la siguiente tabla se presentan algunos de los más utilizados en bombas de calor, así como sus principales características.

Refrigerante	Tipo	PCA	Grupo de seguridad	Presión
R-134a	HFC puro	1.430	A1	Normal
R-410A	HFC mezcla	2.088	A1	Normal
R-32	HFC puro	675	A2L	Normal
R-452B	HFC-HFO mezcla	698	A2L	Normal
R-454B	HFC-HFO mezcla	466	A2L	Normal
R-1234ze	HFO puro	7	A2L	Baja
R-744	CO ₂	1	A1	Muy alta
R-717	NH ₃ amoníaco	0	B2L	Normal
R-290	Propano	3	A3	Normal

Tabla 2-8. Tabla comparativa de refrigerantes

2.2. Tipologías. Equipos generadores y emisores

2.2.1. Tipos de bombas de calor

De forma general, las bombas de calor accionadas eléctricamente se pueden clasificar según:

- El método de extracción de calor o cesión de calor.
- Criterios de seguridad.
- La naturaleza del medio con el que intercambian calor con el exterior.
- La construcción.
- El modo de operación.

A continuación se desarrollan las citadas clasificaciones.

2.2.1.1. Según el método de extracción de calor o cesión de calor

Según el artículo 6 del 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*, los sistemas de refrigeración se clasifican en «directos» o «indirectos», de acuerdo con el método de extracción de calor (enfriamiento) o cesión de calor (calentamiento) a la atmósfera o al medio a tratar.

Sistemas directos: cuando el evaporador o el condensador del sistema de refrigeración está en contacto directo con el medio que se enfría o calienta o sistemas en los que el fluido de transferencia de calor está en contacto directo con partes del circuito primario que contienen refrigerante y el circuito secundario está abierto a un espacio ocupado. Dentro de este sistema, se encontrarían las bombas de calor aire-aire, los equipos de volumen variable de refrigerante, etc. También son conocidos como sistemas de expansión directa.

Sistemas indirectos: cuando el evaporador o el condensador del sistema de refrigeración, situado fuera del local en donde se extrae o cede calor al medio a tratar, enfría o calienta un fluido secundario que se hace circular por unos intercambiadores para enfriar o calentar el medio citado, sin contacto directo del fluido secundario con el medio a enfriar o calentar.

En este grupo se encontrarían, por ejemplo, las bombas de calor aire-agua, geotérmicas, hidrotérmicas, enfriadoras, etc.

2.2.1.2. Criterios de seguridad

Atendiendo a criterios de seguridad, indicados en el Real Decreto 552/2019, de 27 de septiembre, los sistemas de refrigeración y las bombas de calor se clasifican en los siguientes tipos, según su emplazamiento:

Tipo 1: sistema de refrigeración con en el que todas las partes que contienen refrigerante están situadas en un espacio ocupado por personas.

Tipo 2: sistema de refrigeración con los compresores, recipientes y condensadores situados en una sala de máquinas no ocupada por personas o al aire libre. Los enfriadores, las tuberías y las válvulas pueden estar situados en espacios ocupados por personas.

Tipo 3: sistema de refrigeración en el que todas las partes que contienen refrigerante están situadas en una sala de máquinas no ocupada por personas o al aire libre.

Tipo 4: sistema de refrigeración en el que todas las partes que contienen refrigerante están situadas en el interior de una envolvente ventilada.

2.2.1.3. Según el medio exterior con el que intercambian calor

Se pueden clasificar en:

- *Bombas de calor aerotérmicas*: obtienen el calor de la energía contenida en el aire ambiente.
- *Bombas de calor hidrotérmicas*: extraen el calor de la energía que tienen las aguas superficiales, lagos, mares y ríos.
- *Bombas de calor geotérmicas*: obtienen el calor de la energía del subsuelo.

Para su denominación se utilizan dos palabras separadas por un guión, por ejemplo, aire-agua, agua-aire, etc.

La primera indica el tipo de fluido o medio, aire o agua, con el que la máquina intercambia calor con el exterior (tomándolo en modo calefacción o cediéndolo en modo refrigeración); la segunda indica el medio o fluido interior, aire o agua, al que se transfiere el calor de la bomba de calor (cediéndolo en modo calefacción o tomándolo en modo refrigeración).

A continuación, se recogen las diferentes tipologías.

2.2.1.3.1. Bomba de calor que intercambia energía con el aire

2.2.1.3.1.1. Bombas de calor aire-aire

En modo calefacción, estos equipos toman el calor del aire exterior para cederlo de forma directa al aire interior. Si el equipo es reversible, en modo refrigeración funciona en sentido inverso, proporcionando aire frío al recinto.

Ambos intercambios, con el exterior y el interior, se realizan por medio del aire que, impulsado por ventiladores, atraviesa los dos intercambiadores de calor de tubos aleteados, denominados baterías, por los que circula el gas refrigerante que transporta el calor a lo largo del circuito.

Fueron las bombas de calor tradicionales hasta hace unos años. Dentro de este grupo se encuentran las bombas de calor *split*, las bombas de calor compactas, las bombas de calor de volumen variable de refrigerante y los equipos *rooftop*, entre otras.

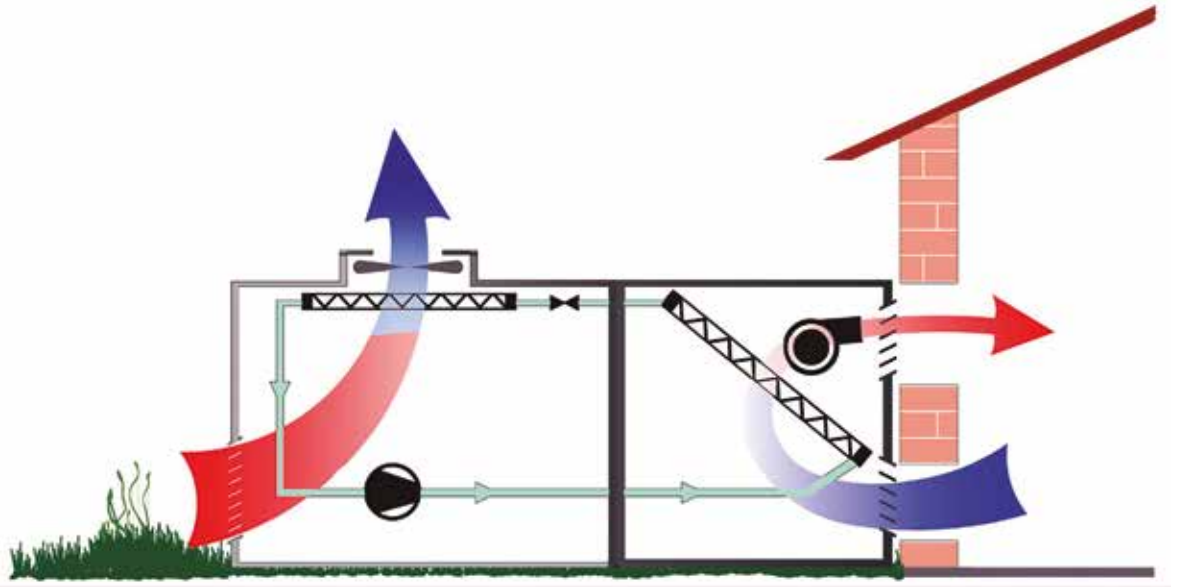


Gráfico 2-11. Bombas de Calor aire-aire

2.2.1.3.1.2. Bombas de calor aire-agua

En modo calefacción, estos equipos toman el calor del aire exterior y lo transfieren a un circuito de agua. El agua caliente se distribuye a unidades terminales, tales como radiadores, suelo radiante o ventiloconvectores (también llamados *fancoils*), que a su vez ceden el calor de esa agua al ambiente interior del recinto a calefactar.

En modo refrigeración, el intercambiador interior absorbe el calor del ambiente, calentando el agua del circuito que circula hasta el intercambiador exterior, donde ese calor se transfiere al aire. Es decir, estos equipos incorporan dos intercambiadores o baterías, uno refrigerante-aire y otro refrigerante-agua. En el caso de las bombas de calor de ACS, el intercambio de energía se realiza siempre en el depósito de acumulación.

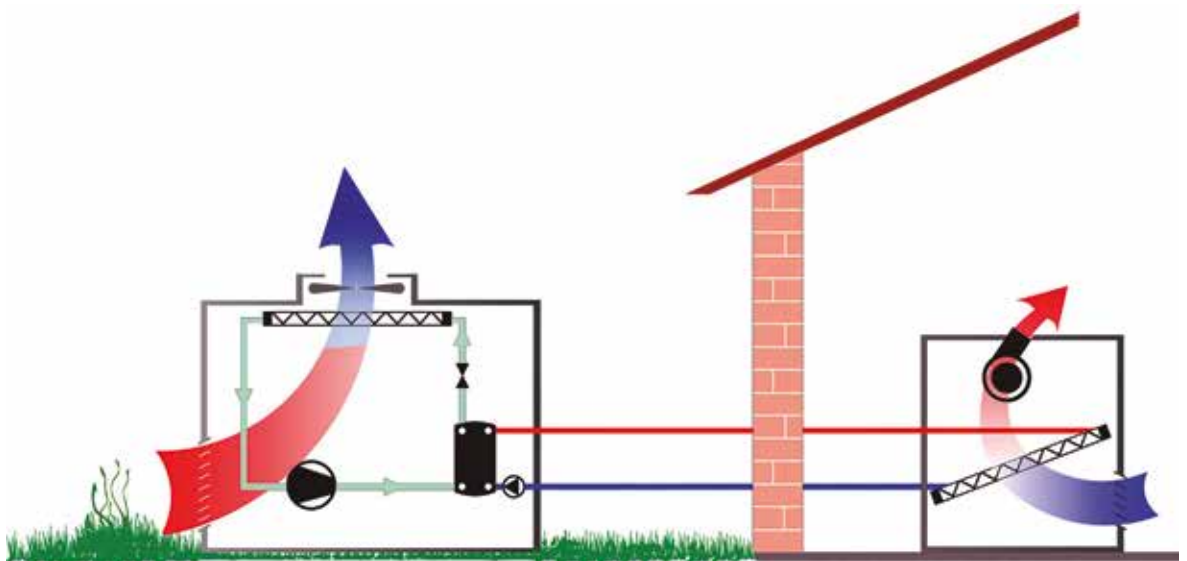


Gráfico 2-12. Bombas de Calor aire-agua

En este grupo de bombas de calor entrarían las bombas de calor aerotérmicas, que se integran con sistemas de distribución de calor basados en agua, suelo radiante, radiadores, *fancoils*, unidades de tratamiento de aire, techos y paneles radiantes, radiadores de baja temperatura, etc.

2.2.1.3.1.3. Proceso de desescarche en bombas de calor que intercambian calor con el aire

En el caso particular de las bombas de calor aerotérmicas en modo calefacción o ACS, hay momentos, a lo largo del año, en los que el aire que atraviesa el intercambiador de la unidad exterior se enfría hasta alcanzar temperaturas inferiores a las del punto de rocío. En ese momento, el vapor de agua contenido en el aire se condensa en forma de gotas de agua sobre las aletas del intercambiador y, por gravedad, se acaba depositando en la bandeja de condensados, donde se recogen y se evalúan.

En el gráfico 2-13 se puede observar la variación de condiciones psicrométricas de una masa de aire cuando esta atraviesa el intercambiador de una unidad exterior de una bomba de calor aerotérmica que trabaja en modo calefacción.

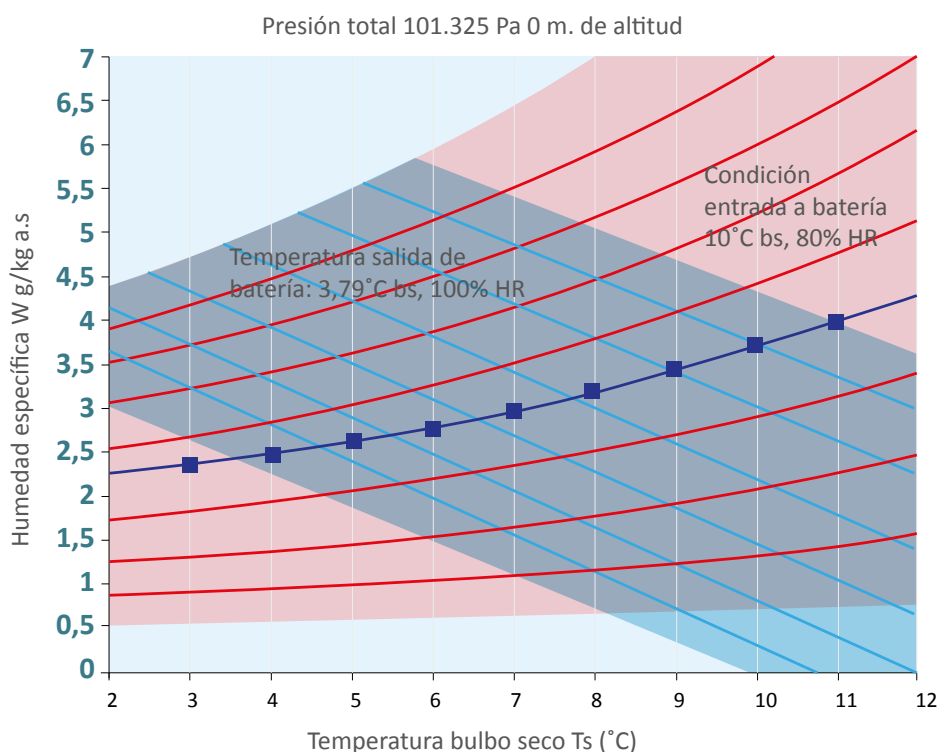


Gráfico 2-13. Condiciones psicrométricas del aire exterior al atravesar un intercambiador refrigerante-aire, sin aparición de escarcha

En él se indican las condiciones iniciales de entrada y salida de la batería (intercambiador) y se muestran los siguientes datos:

- Su humedad relativa, concepto que indica el porcentaje de humedad contenido en la masa de aire en ese momento, si se compara con su máxima humedad admisible a esa temperatura.

- Su temperatura de bulbo seco (bs), en grados centígrados °C.
- Su humedad específica, que es la masa de agua (W) contenida en esa masa de aire, cuyas unidades son gramos de agua por kilogramos de aire seco (a.s.).

Si en este gráfico se analizan los datos de las condiciones iniciales, intermedias (donde empiezan a aparecer procesos de condensación de vapor de agua) y finales, se observa que, una vez que esta masa de aire ha atravesado el intercambiador, parte de la energía extraída al enfriar el aire se ha dedicado a condensar el vapor de agua a razón de 1 gramo de agua por kilogramo de aire desplazado. En este ejemplo, esta será la masa de agua condensada que habrá que evacuar.

Condiciones de la masa de aire que atraviesa el intercambiador		Iniciales	Intermedias (aire totalmente saturado de humedad)	Finales
Temperatura (bs)	°C	10	6,2	3,8
Humedad relativa	%	80	100	100
Humedad específica	gramos H ₂ O por kilogramos de aire seco	6,1	6,1	5,1

Tabla 2-9. Condiciones iniciales y finales de entrada de aire en una batería de intercambio aire-refrigerante

En el gráfico 2-14 se observa este mismo proceso, pero con una temperatura de entrada de aire inferior.

Formación de hielo en la batería

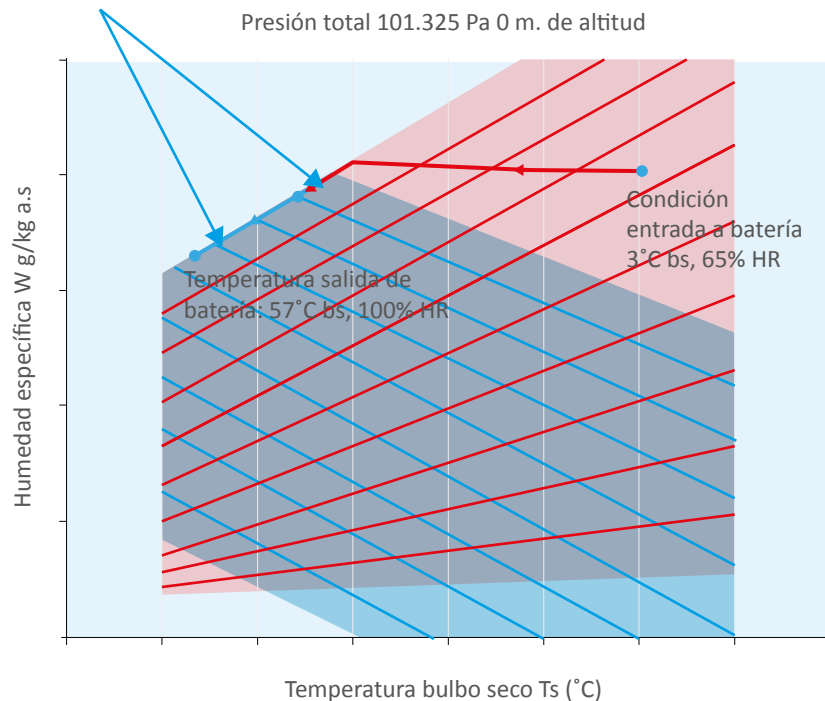


Gráfico 2-14. Condiciones psicrométricas del aire exterior al atravesar un intercambiador refrigerante-aire, con aparición de escarcha

En este gráfico se observa que la temperatura del aire es ya lo suficientemente baja como para que el agua condensada se congele y forme paulatinamente escarcha sobre las aletas del intercambiador. Este proceso es dinámico y la escarcha desaparece cuando las temperaturas de aire vuelven a subir, cuando cambian las condiciones de evaporación, la frecuencia de compresor, etc.



Para optimizar el rendimiento del equipo, el sistema de control de la bomba de calor monitoriza constantemente la situación de la temperatura de líquido en la batería de intercambio y el recalentamiento del vapor, así como regula el ventilador, el compresor, el sistema de expansión y la bomba circuladora para minimizar o evitar la congelación y su efecto. Cuando la cantidad de escarcha en el intercambiador reduce el rendimiento por debajo del mínimo establecido y es necesario descongelar la escarcha acumulada, el sistema de control activa el modo «desescarche».

En las primeras bombas de calor (años 90), el proceso de desescarche era rudimentario y poco eficiente y se realizaba de modo periódico por temporización simple, incluso sin la presencia de escarcha en las aletas de los intercambiadores.

Desde hace ya varios años, sin embargo, el desescarche solo se activa cuando es imprescindible y funciona de manera eficiente, gracias a la conjugación de numerosos factores, entre otros: *software* de control avanzado; válvulas de expansión electrónicas; ventiladores con motores EC con control de revoluciones para regular el caudal de aire en circulación; intercambiadores de aletas optimizados para calefacción, con superficie de intercambio sobredimensionada y separaciones entre las aletas que reducen el número de desescarches necesarios o favorecen desescarches pasivos; geometrías que favorecen el reparto correcto de refrigerante y evitan la aparición prematura o asimétrica de escarcha; tratamientos hidrófugos que eliminan más rápidamente el agua al condensar; unidades exteriores con control de dispositivos de calentamiento de bandeja o con calentamiento por gas caliente para evitar el efecto «montaña de hielo»; y, especialmente, gracias a la

combinación de todos esos factores conjuntamente con compresores con regulación en potencia (*inverter*). Por ejemplo, gracias a esto, cuando es necesaria una menor cantidad de refrigerante en circulación, el evaporador actúa como un evaporador sobredimensionado y permite reducir el número de desescarches necesarios.

La influencia del desescarche puede observarse si se comparan las curvas de potencia que aparecen en los datos técnicos de bombas de calor diferentes, geotermia y aerotermia.

Primer ejemplo: curvas de potencia aportada por una bomba de calor geotérmica, de compresor fijo, a tres diferentes temperaturas de impulsión en función de la temperatura de entrada del sistema de captación geotérmico.

En este ejemplo, la potencia que debe aportar en condiciones de proyecto (7 kW) se alcanza en las condiciones de retorno de pozo (0 °C) y 35 °C de temperatura de impulsión, con un salto térmico de 4K y 5K respectivamente. Como nota de interés, en catálogos este dato de potencia aportada aparece como referenciado a (B0/W35), donde «B» hace referencia a «Brine» (salmuera) y «W» es «Water» (agua).

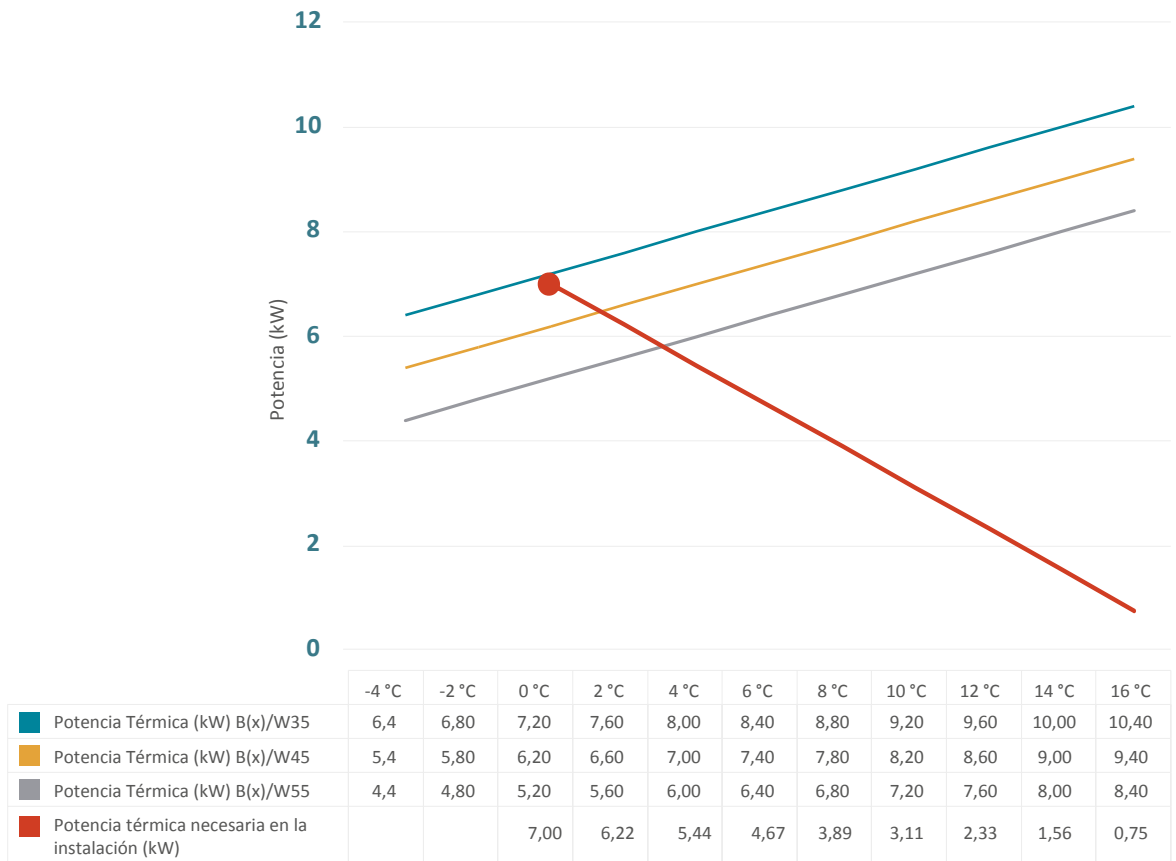


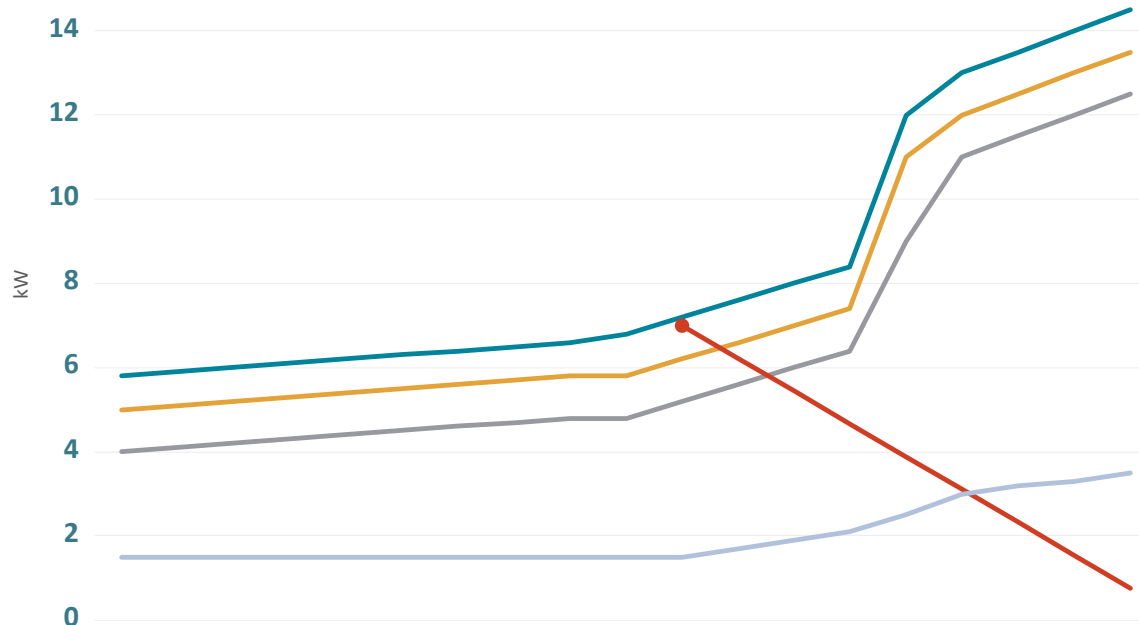
Gráfico 2-16. Curvas de potencia disponible en bomba de calor geotérmica vs. potencia necesaria en calefacción

En el gráfico se observa que la potencia aportada por la bomba de calor varía de modo lineal, y casi paralelo, solo debido a la variación de la temperatura de retorno del sistema de captación. Cabe mencionar que el sistema de captación geotérmico se compone de un bucle cerrado de instalación hidráulica por donde circula glicol bombeado a través del intercambiador de la bomba de calor. El glicol es una mezcla de agua, sales e inhibidores de corrosión que reducen el punto de congelación

del agua hasta -10 °C/ -20 °C, en función de la concentración deseada, para evitar la congelación del intercambiador de la bomba de calor. En el caso de bombas de calor geotérmicas no hay, por tanto, dependencia de las condiciones exteriores, ni en contra, ni a favor.

Segundo ejemplo: curvas de potencia que corresponden a una bomba de calor aerotérmica de tipo *inverter*, del tipo aire-agua. Este tipo de bomba de calor ofrece una potencia nominal, una potencia máxima y una potencia mínima, en función de la modulación del compresor, para unas mismas condiciones de temperatura exterior y de temperatura de impulsión. La potencia nominal necesaria de 7 kW se alcanza a la temperatura exterior de proyecto, 0 °C, y puede observarse la no linealidad de la curva de las potencias máximas y nominal, afectadas por los desescarches que están ya considerados en ella.

Puede observarse que, cuando la potencia aportada por el compresor se reduce debido a su modulación *inverter*, se reduce también el efecto del desescarche en la curva, al disponer de una mayor superficie de intercambio y un mayor caudal de aire, para un menor desplazamiento de refrigerante.



	-20 °C	-18 °C	-16 °C	-14 °C	-12 °C	-10 °C	-8 °C	-6 °C	-4 °C	-2 °C	0 °C	2 °C	4 °C	6 °C	8 °C	10 °C	12 °C	14 °C	16 °C
■ Potencia Térmica (kW)A(x)/W35	5,8	5,9	6	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,80	7,20	7,60	8,00	8,40	12,00	13,00	13,50	14,00	14,50
■ Potencia Térmica (kW)A(x)/W45	5,00	5,10	5,20	5,30	5,40	5,50	5,60	5,70	5,80	5,80	6,20	6,60	7,00	7,40	11,00	12,00	12,50	13,00	13,50
■ Potencia Térmica (kW)A(x)/W55	4,00	4,10	4,20	4,30	4,40	4,50	4,60	4,70	4,80	4,80	5,20	5,60	6,00	6,40	9,00	11,00	11,50	12,00	12,50
■ Potencia Térmica necesaria en la instalación (kW)											7,0	6,22	5,44	4,67	3,89	3,11	2,33	1,56	0,75
■ Potencia Térmica (mínima) (kW)A(x)/W35	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,70	1,90	2,10	2,50	3,00	3,20	3,30	3,50

Gráfico 2-17. Variación de potencia disponible en una bomba de calor inverter (mínimo-nominal-máxima), en función de la temperatura de entrada de aire a la unidad exterior y potencia necesaria en la instalación

La influencia del efecto del desescarche que se observa en el gráfico está ya cuantificada e incluida en los datos de rendimiento estacional en calefacción de los equipos (la energía necesaria para el

desescarche ya está integrada en el rendimiento estacional), información que se encuentra en la documentación facilitada por los fabricantes.

Los procedimientos comúnmente utilizados para la realización del desescarche se describen a continuación.

Inversión de ciclo

En las bombas de calor reversibles, el proceso de desescarche se realiza invirtiendo el ciclo del refrigerante, es decir, durante un breve periodo de tiempo, el vapor caliente que sale del compresor se conduce, mediante una válvula de cuatro vías, hacia el intercambiador de aletas de la unidad exterior para fundir la escarcha. Para este proceso se necesita muy poca energía, que se extrae del edificio, y solo una pequeña fracción de la misma (una cuarta parte o inferior) es energía eléctrica (según se ha visto en el capítulo correspondiente a los coeficientes de rendimiento).

En el caso particular de los equipos aire-agua, donde el medio que circula a través del intercambiador interior es agua, es crítico para el buen funcionamiento del desescarche el disponer de:

- Un caudal de agua constante, mínimo y suficiente a través del evaporador, para mantener un régimen turbulento de circulación de agua correcto, garantizar el intercambio con toda la superficie del intercambiador e impedir con él la formación de hielo y daños en el mismo.
- Una energía acumulada suficiente en el agua (temperatura y volumen), que permita completar el proceso de desescarche sin enfriar el agua por debajo de los 20 °C (cuando se hace un desescarche se extrae energía del agua).
- Un proceso de evaporación eficiente, que no precise hacer uso de resistencias eléctricas.

En la práctica, esto se asegura con la presencia en la instalación de un volumen de agua mínimo siempre disponible para la bomba de calor, bien como depósito de inercia interpuesto en paralelo como compensador hidráulico, bien como depósito de inercia en serie (en línea) junto con una válvula de presión diferencial. De este modo, este volumen de agua mínimo necesario estará siempre disponible cualquiera que sea el estado de los elementos terminales (abiertos o cerrados). No debe confundirse el caudal mínimo con el caudal nominal, especialmente en equipos aire-agua o agua-agua. En este contexto el concepto de «caudal nominal» se refiere al indicado por el fabricante para alcanzar la potencia necesaria con el salto térmico de diseño del equipo, y es el que permite alcanzar los valores de ahorro energético y rendimiento deseados, el concepto «caudal mínimo» aplicado a bomba de calor solo protege el equipo de congelaciones.

En los equipos aire-aire el proceso de desescarche es similar, excepto que en este caso no existe riesgo de congelación de los intercambiadores ya que ahora es el aire el encargado de aportar la energía necesaria. En función de la cantidad de energía necesaria, la velocidad del ventilador interior se reduce o se detiene si es posible, con el fin de evitar molestias al usuario (durante el invierno, cualquier corriente de aire frío es molesta).

Los equipos de gran potencia normalmente incorporan dos o más circuitos frigoríficos separados, intercambiadores de aletas de diferente capacidad, tamaño y posición, entre otras medidas, para el incremento de la eficiencia energética, lo que les permite establecer estrategias aún más eficientes, como la ampliación o reducción del número de intercambiadores utilizados, desescarche alternativo

en cada circuito por separado, etc. De esta manera se puede mitigar o incluso compensar el efecto de la refrigeración durante el desescarche, por lo que en el local no se percibe merma de confort.

Inyección de gas caliente

En los equipos con bomba de calor no reversible (por ejemplo, algunos modelos de bomba de calor compacta con acumulador para ACS), el procedimiento de desescarche utilizado es el denominado «inyección de gas caliente», que consiste en inyectar, cuando es necesario, el vapor caliente del compresor a la entrada del evaporador.

2.2.1.3.2. Bombas de calor agua-aire

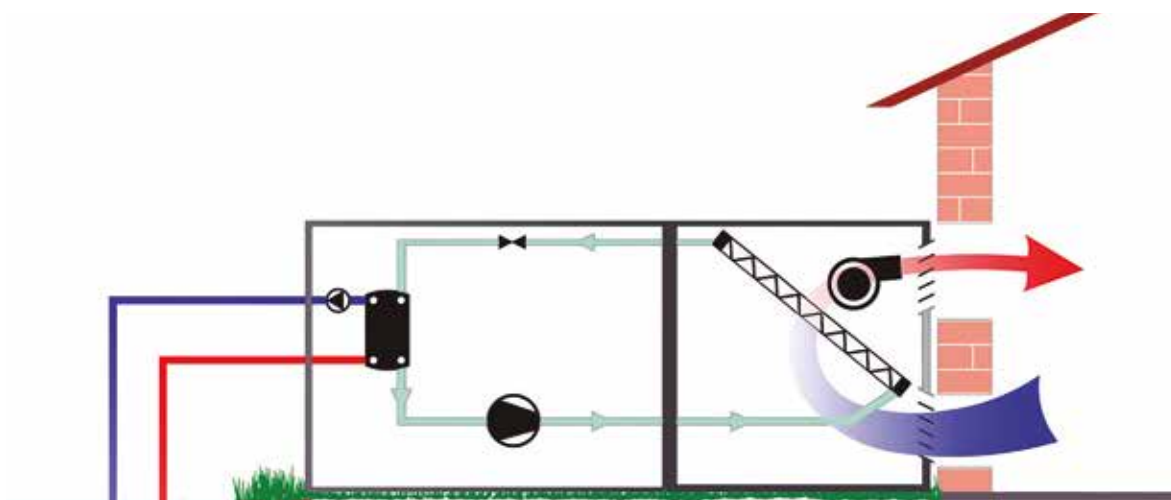


Gráfico 2-18. Bombas de Calor agua-aire

En modo calefacción, estos equipos toman el calor de un circuito exterior de agua procedente de un lago, río o acuífero y lo transfieren al interior, impulsando aire caliente.

En modo refrigeración ceden el calor al circuito exterior de agua, produciendo en la zona interior del edificio aire frío de forma directa. La disipación del calor del agua caliente del circuito exterior se realiza mediante torres de refrigeración, sistemas geotérmicos, acuíferos, etc.

Como en el caso anterior, estos equipos incorporan dos intercambiadores o baterías, uno refrigerante-aire y otro refrigerante-agua.

Las bombas de calor agua-aire no tienen necesidad de realizar desescarches.

2.2.1.3.3. Bombas de calor agua-agua

Las bombas de calor agua-agua intercambian calor, tanto con el exterior como con el interior, mediante circulación de agua.

En modo calefacción toman el calor del circuito exterior, que puede proceder de un lago, río o del subsuelo, y producen agua caliente en el circuito interior para calentar el espacio interior de forma indirecta, mediante *fancoils*, radiadores, suelo radiante, etc.

En modo refrigeración producen agua fría en el circuito interior, cediendo calor al circuito de agua exterior. El calor del circuito exterior se disipa mediante torres de refrigeración, sistemas geotérmicos o acuíferos.

Las bombas de calor agua-agua llevan incorporados dos intercambiadores refrigerante-agua. Dentro de este tipo de bombas se encuentran las bombas de calor hidrotérmicas.

Las unidades terminales son similares a las de las bombas de calor aire-agua.

En el caso de las bombas de calor de ACS, el intercambio de energía se realiza siempre en el depósito de acumulación.

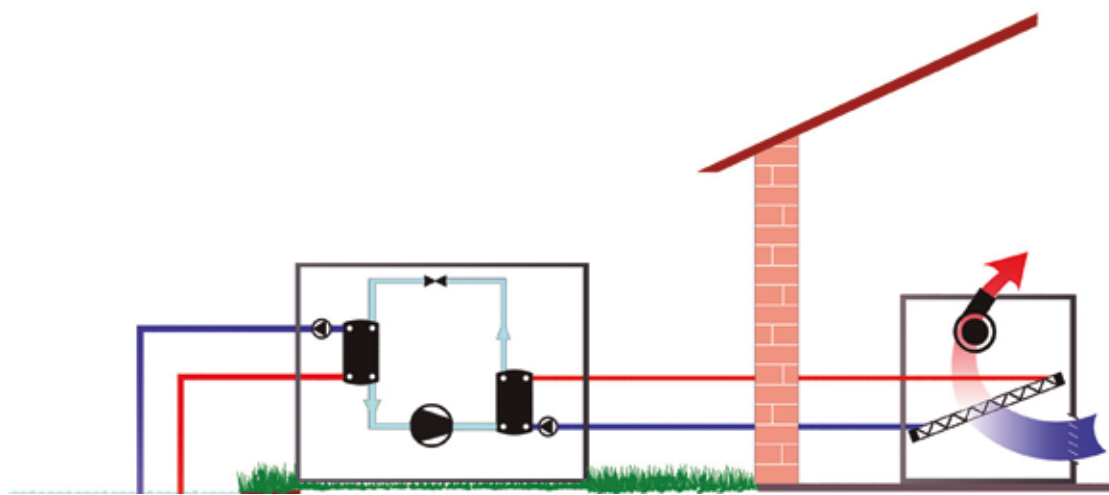


Gráfico 2-19. Bomba de Calor agua-agua

2.2.1.3.4. Bombas de calor geotérmicas

La característica diferencial de las bombas de calor geotérmicas es la utilización del terreno del entorno de la instalación como fuente de calor, en modo calefacción, o como sumidero de calor, en modo refrigeración.

Esta operación se realiza a través de un fluido caloportador que absorbe la energía del terreno y la transmite al circuito frigorífico de la máquina. Este fluido puede ser el mismo gas refrigerante de la bomba de calor, el agua de un acuífero subterráneo en circuito abierto o el agua o mezcla de agua con anticongelante contenida en una sonda de perforación en un circuito cerrado.

En función de la conductividad del terreno, de la capacidad de intercambio de la sonda con el terreno, del número de horas de uso, la temperatura de retorno del pozo podrá ser mayor o menor a lo largo de la temporada de calefacción, estando establecidas en el Reglamento de Ecodiseño para el cálculo de la eficiencia energética como 0 °C de temperatura de entrada a la bomba de calor y -3 °C de salida. Por este motivo, los circuitos de captación precisan de glicol para evitar su congelación. Al respecto del dimensionamiento de captadores de calor geotérmicos puede consultarse la «*Guía técnica. Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado*».

Como resumen, la zona del terreno afectada por el intercambio térmico tampoco se comporta realmente como un foco de calor inagotable. El mismo funcionamiento de la bomba de calor puede acabar

alterando la temperatura del propio terreno, modificando la capacidad de transmisión de calor en el intercambiador enterrado y, consecuentemente, afectando con el paso del tiempo al rendimiento del sistema. Para evitarlo, se deben considerar en el diseño ciertas medidas que garanticen que la instalación mantenga sus prestaciones, como son: promover la utilización de un funcionamiento dual, calefacción y refrigeración (lo que permitirá regenerar el terreno, devolviéndole en la temporada de verano la energía extraída en invierno), controlar la existencia de acuíferos o proyectar una adecuada distribución y distancia suficiente de las diferentes captaciones para que no haya afecciones entre ellas.

Solo considerando estos factores en el diseño y ejecutando el intercambiador enterrado de forma adecuada, la instalación será capaz de mantener sus condiciones nominales a lo largo del tiempo y proporcionar unos rendimientos muy altos, permitiendo un gran ahorro energético.

Dentro de esta tipología, los equipos más comúnmente usados responden a la configuración de bomba de calor agua-agua. En ellos, el agua o agua con anticongelante que es empleada como fluido de transferencia de calor con el terreno circula por el intercambiador enterrado. En el intercambiador del interior del edificio circula agua caliente en invierno o agua refrigerada en verano.

En cuanto a su disposición constructiva, las bombas de calor agua-agua habitualmente usadas para instalaciones geotérmicas son equipos compactos. Su envolvente suele tener un cuidadoso diseño para minimizar pérdidas y, normalmente, están concebidas para instalaciones de interior.

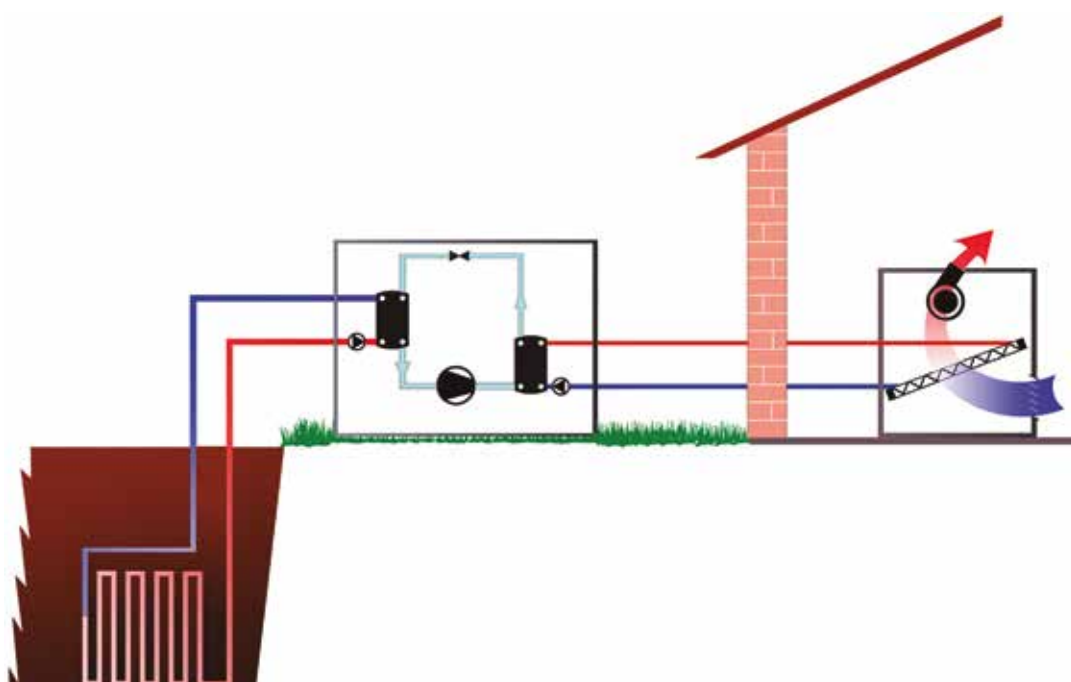


Gráfico 2-20. Bombas de calor geotérmicas

2.2.1.3.5. Bombas de calor mixtas

La tecnología actual permite combinar varios tipos de bomba de calor en una sola; como ejemplo, equipos de volumen variable de refrigerante con módulos hidráulicos, tanto para aportar calor a sistemas de interior, como para ACS, captar energía, sistemas con recuperación de calor, etc.

2.2.1.4. Según la construcción de los equipos

Los equipos de bomba de calor pueden ser de tipo partido o *split* y de tipo compacto.

2.2.1.4.1. Equipos partidos o *split*

Los generadores de tipo partido o *split* se componen, generalmente, de una unidad exterior y de una o varias unidades interiores, conectadas entre sí mediante tuberías de refrigerante.

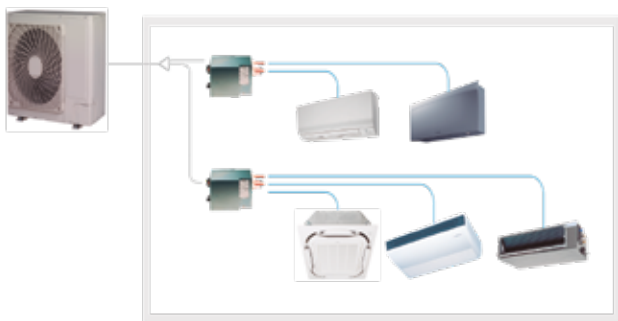


Gráfico 2-21. Bombas de calor aire-aire multisplit



Gráfico 2-22. Sistema de volumen variable de refrigerante, con recuperación de calor

Se denominan generalmente *split* cuando solo hay un conjunto compuesto de una unidad exterior y una unidad interior; y se denominan *multisplit* cuando con una misma unidad exterior se combinan con varias unidades interiores.

Un caso especial es el de equipos de volumen variable de refrigerante, con varias unidades exteriores e interiores conectadas en el mismo circuito de refrigerante.

Las unidades interiores pueden ser de aire o hidrónicas.

En el caso particular de las bombas de calor aerotérmicas *split*, la unidad exterior está provista, en general, de un compresor, una válvula de expansión (que también puede encontrarse en las unidades interiores en función del tipo de equipo) y un intercambiador de calor aire-refrigerante. Además de la unidad exterior, es preciso una unidad interior, que suele incorporar las conexiones hidráulicas y que se encuentra unida a la unidad exterior, además de electrónicamente, por medio de tuberías por las que circula el refrigerante.

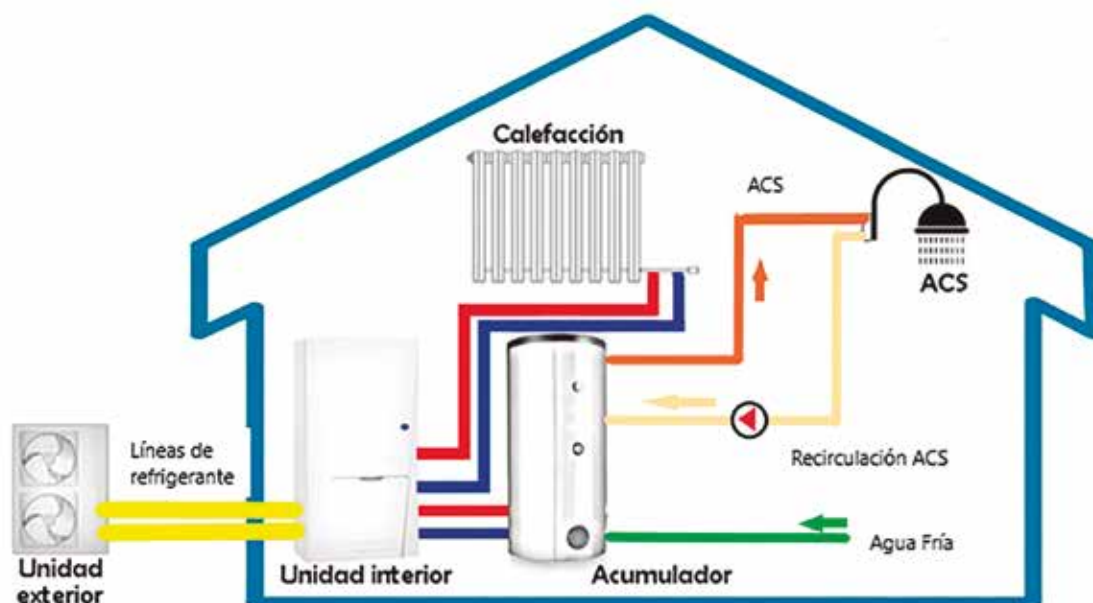


Gráfico 2-23. Ejemplo simplificado bomba de calor aire-agua de tipo partido (split)

En las unidades interiores con módulo hidráulico, la unidad interior de las bombas de calor de aerotermia consta, principalmente, de una válvula de expansión, un intercambiador de calor y, en algunos casos, una bomba de circulación de agua.

Dentro de esta unidad interior se realiza el intercambio de calor con el fluido que calienta las estancias mediante elementos terminales de varios tipos (radiadores, suelo radiante, etc.).

2.2.1.4.2. Equipos compactos

Los generadores de tipo compacto, instalados generalmente en el exterior, integran todos los elementos en un único equipo: compresor, válvulas de expansión, dos intercambiadores y, en algunos casos, una bomba de circulación de agua, por lo que el refrigerante se encuentra exclusivamente en el equipo exterior y fuera de la zona ocupada, vivienda, etc. De esta manera se ahorra espacio en el interior y se evita la manipulación de refrigerante y sus correspondientes conexiones. Es muy conveniente cuando la ubicación de la unidad compacta exterior está muy cerca del cuarto técnico (véase gráfico 2-24).

Los equipos compactos pueden llevar ventiladores centrífugos o axiales, así como conectarse directamente a elementos terminales interiores, como una enfriadora o bomba de calor tradicional aire-agua; si desde la unidad exterior disponen de bomba circuladora no precisan de módulo hidráulico interior, solo unidades terminales (véase gráfico 2-25).

Un caso especial de equipos de bomba de calor compactas son las bombas de calor geotérmicas, que incorporan los módulos hidráulicos del sistema de captación y circulación interior en un solo módulo (véase gráfico 2-26).

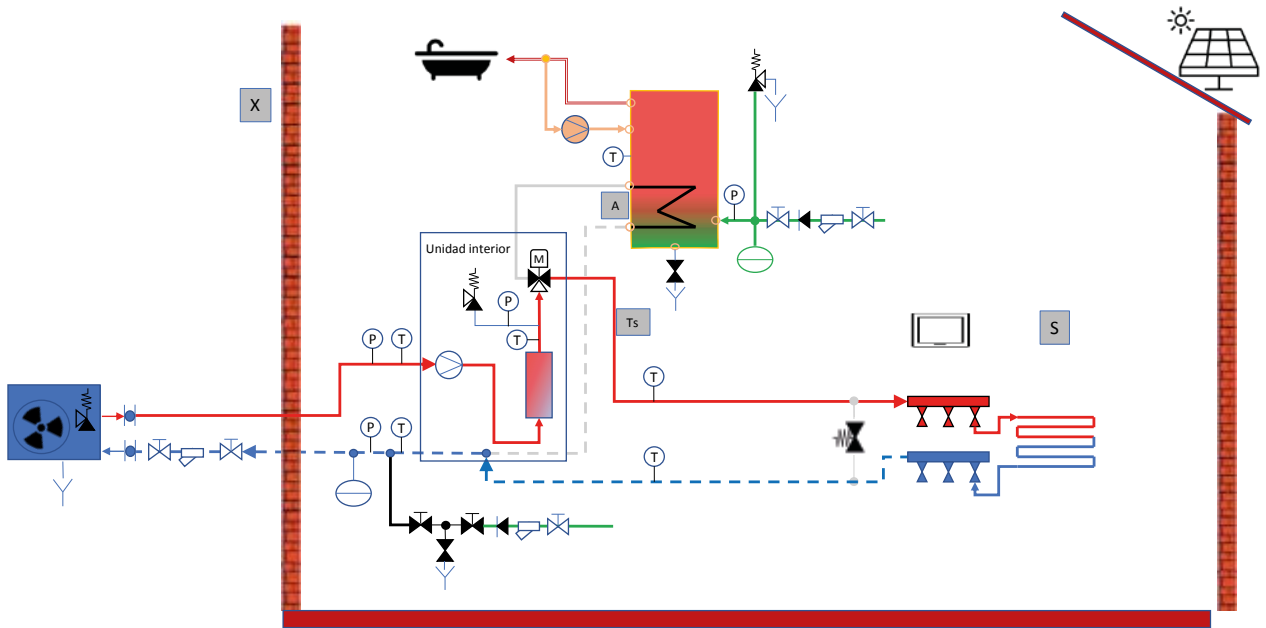


Gráfico 2-24. Ejemplo de instalación bomba de calor aerotérmica doméstica compacta



Gráfico 2-25. Bomba de calor compacta agua-aire

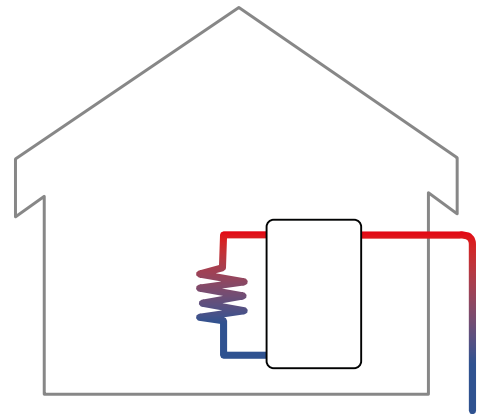


Gráfico 2-26. Ejemplo bomba de calor geotérmica

2.2.1.5. Según el modo de operación de los equipos

Atendiendo a este criterio, están las siguientes categorías:

2.2.1.5.1. Bombas de calor solo para calefacción

Equipos no reversibles diseñados para proporcionar únicamente calefacción. Están compuestos por un compresor, una válvula de expansión y dos intercambiadores (véase gráfico 2-27).

En el caso de bombas de calor aire-agua solo para calefacción se incorpora internamente una válvula de 4 vías, ya que se necesita invertir el ciclo durante la función de desescarche (véase gráfico 2-28).

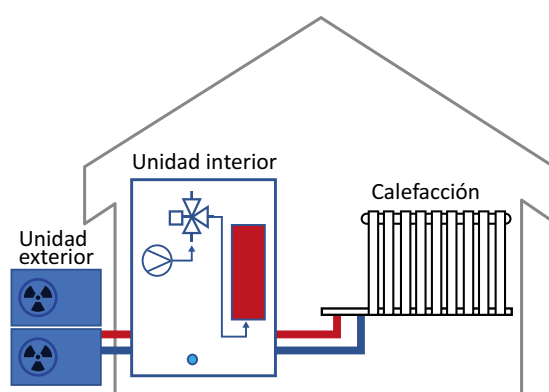


Gráfico 2-27. Bomba de calor compacta solo calefacción



Gráfico 2-28. Válvula de 4 vías

2.2.1.5.2. Bombas de calor para calefacción, refrigeración y ACS

Estas bombas reversibles pueden ser compactas o partidas (*split*). En este caso, la válvula de 4 vías es la que realiza la inversión del ciclo para cambiar el modo de funcionamiento de calefacción a refrigeración y viceversa (véase gráficos 2-29 y 2-30).

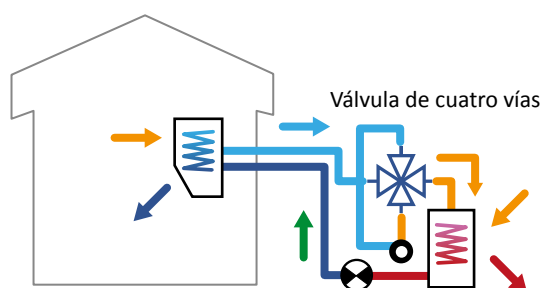


Gráfico 2-29. Funcionamiento bomba de calor reversible en modo refrigeración

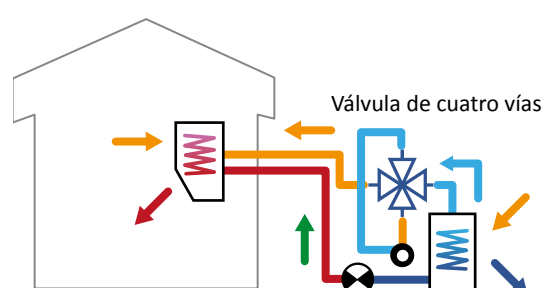


Gráfico 2-30. Funcionamiento bomba de calor reversible en modo calefacción

Bombas de calor para calefacción, refrigeración y ACS

También llamadas multitarea, además de suministrar calefacción y refrigeración son capaces de dar servicio de ACS. Suelen estar formadas por tres componentes: la unidad exterior, la unidad interior y un interacumulador de ACS. Este interacumulador puede ser externo, aunque hay versiones en las que se aúnan la unidad interior y el interacumulador formando una única unidad interior más compacta. Normalmente los servicios nunca son simultáneos salvo secuencia de varias bombas de calor y/o recuperación de calor, sino que se suele priorizar el cubrir la demanda de ACS frente al resto de demandas posibles (calefacción, refrigeración, piscina, etc.). Un elemento necesario para dar servicio a diferentes temperaturas será el uso de separadores hidráulicos o preferentemente depósitos de inercia, como se verá más adelante (véase gráfico 2-31).

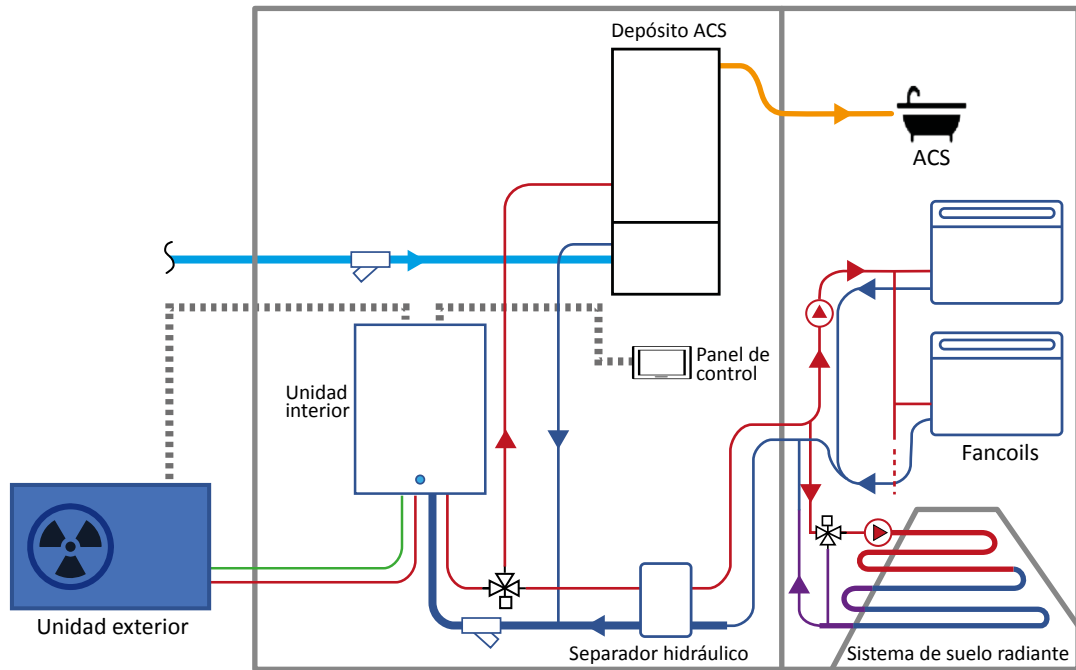


Gráfico 2-31. Ejemplo de sistema con bomba de calor para tres servicios, ACS, S. Rad. y fancoils

2.2.1.5.3. Bombas de calor solo para ACS

Están diseñadas exclusivamente para este servicio, realizándose el intercambio de energía siempre en el depósito de acumulación. Se clasifican por sus diferentes potencias y por sus volúmenes de acumulación. Dentro de esta categoría se pueden encontrar bombas partidas y compactas.

2.2.1.5.3.1. Bombas de calor de ACS partidas

Constan de una unidad exterior (bomba de calor) y de una unidad interior (interacumulador), conectadas mediante una tubería de gas refrigerante.

En este caso, la unidad interior es más pequeña que los equipos compactos puesto que a excepción del condensador, los elementos propios de la bomba de calor, compresor, evaporador, etc. se encuentran en la unidad exterior, que debe ubicarse en fachada o en cubierta (véase gráfico 2-32).

- Necesitan conducciones de gas refrigerante.
- No necesitan canalización de aire.
- La unidad interior es de muy baja potencia sonora.
- Es necesaria una unidad exterior.
- Debe respetarse la limitación de distancias entre unidad exterior e interior indicada por el fabricante, diámetros de tuberías, etc.

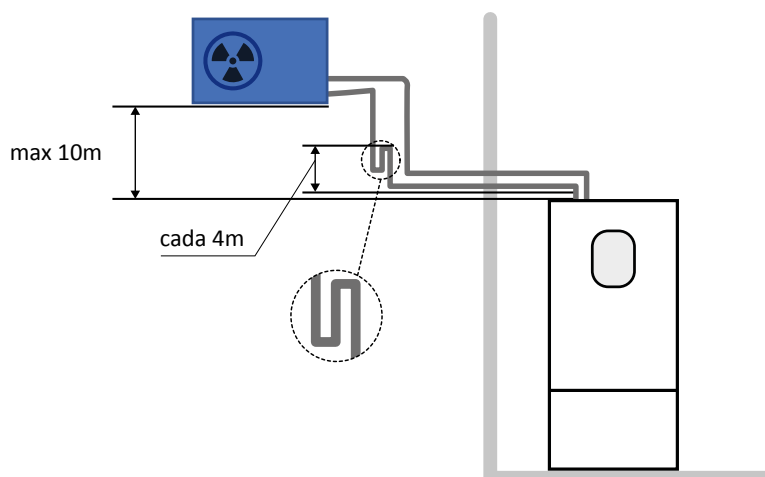


Gráfico 2-32. Bomba de calor de solo ACS partida con detalle altura máxima y de trampa de aceite cada 4 m, a instalar en la tubería de vapor del circuito de refrigerante, en este caso

2.2.1.5.3.2. Bombas de calor de ACS compactas

Solo constan de una unidad interior que alberga la propia bomba de calor y el interacumulador de ACS (véase gráfico 2-33).

- No necesitan conducciones de gas refrigerante.
- Necesitan canalización del aire que utiliza la bomba de calor.

Sistema compacto

Todos los componentes que realizan el ciclo frigorífico se encuentran en el mismo aparato en el que está el acumulador de agua caliente, separados de forma segura.

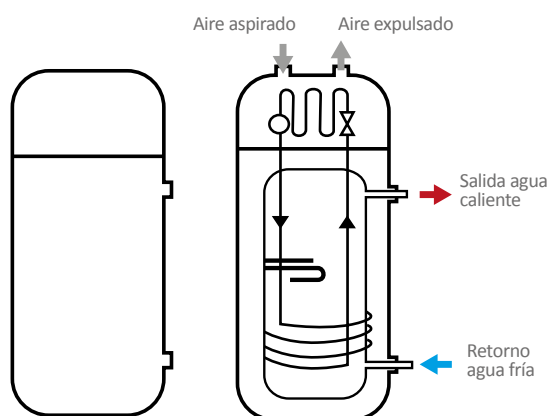


Gráfico 2-33. Bomba de calor de ACS compacta

2.2.1.6. Según su tecnología de control de potencia

En función del control de potencia, las bombas de calor pueden clasificarse como bombas de calor «todo/nada» o bombas de calor con modulación de potencia.

En el primer grupo se encuentran las bombas de calor con compresores (todo/nada) que actúan mediante elementos electromecánicos del tipo «ON/OFF», bien como compresor unitario bien en tándem, generalmente simétrico.

Este tipo de bombas de calor requiere un dimensionamiento muy preciso en cuanto a la potencia que necesita aportarse a la instalación, especialmente para evitar el exceso de la misma y tener previsión de, en los momentos en los que se precise una potencia menor, disponer de sistemas que garanticen tiempos largos de parada y tiempos largos de funcionamiento (evitar ciclos cortos de compresor), por ejemplo mediante acumulación del excedente de la energía sobre depósitos de inercia, uso de equipos en secuencia, uso de equipos auxiliares para evitar el sobredimensionamiento, etc.

En el segundo grupo se encuentran bombas de calor con sistemas control de modulación de potencia, esto es, bombas de calor donde el volumen de refrigerante desplazado varía en función de la potencia requerida en la instalación, siempre dentro de unos límites para garantizar la estabilidad del sistema. Aquí las tecnologías más habituales en el sector doméstico son las del uso de la tecnología *inverter*, uso de sistemas de compresión «digital Scroll», sistemas en tándem, entre otros.

Mediante la tecnología *inverter* se varían las condiciones de frecuencia y tensión al compresor o compresores para controlar sus revoluciones y potencia regulando la cantidad de vapor de refrigerante desplazado. En los sistemas «digital Scroll», la potencia se modula en función de la posición mecánica de la caracola de compresión y, mediante los sistemas en tándem, la bomba de calor incorpora varios compresores (ON/OFF) que funcionan en secuencia. Todas estas tecnologías pueden combinarse entre sí en una misma bomba de calor para obtener los mejores resultados.

Esta modulación de potencia aportada por la bomba de calor permite una mejor adaptación a las cambiantes condiciones de temperatura de impulsión desde el generador, que son la base de la eficiencia tanto en calefacción como en refrigeración.

Es de destacar que incluso con sistemas de modulación de potencia o mediante el uso de sistemas de inercia, etc., es necesario seleccionar correctamente la bomba de calor y evitar un sobredimensionamiento en potencia de la misma. Este error puede provocar no solo un encarecimiento innecesario de la instalación, problemas de espacio o contratación eléctrica elevada, entre otras desventajas, sino también problemas de funcionamiento durante la mayor parte de uso de la instalación, una reducción de la vida útil del compresor por ciclos cortos, mayor consumo del esperado, picos de arranque, etc.

A este respecto, para un correcto dimensionamiento de los equipos puede ser recomendable planificar la instalación combinando la bomba de calor con otros sistemas auxiliares, para que únicamente funcionen unas pocas horas al año cubriendo las puntas consumo. Esto permite elegir bombas de calor que se adaptan mejor a los periodos de menor demanda y responder a las puntas de potencia consumida sin merma de confort. Este punto se analiza un poco más en profundidad en el apartado 3.3.1.

Cada modelo de bomba de calor dispone de una curva característica de variación de potencia y rendimiento en función de su diseño, técnica de compresión, etc., siendo especialmente eficientes cuanto menor sea la diferencia de temperatura entre el foco frío y el foco caliente. Estos datos están a disposición del profesional en la documentación del fabricante y son esenciales para conocer el efecto que tienen la reducción de la temperatura de entrada a la unidad exterior y la eficiencia del equipo.

2.2.1.7. Según la energía de accionamiento del compresor

Esta clasificación se divide en dos clases: aquellas en las que su compresor se acciona mediante energía eléctrica (tipología de bomba de calor objeto de esta guía) y las no accionadas eléctricamente.

Las bombas de calor que no utilizan electricidad precisan bien combustibles líquidos o gaseosos para accionar el compresor o bien un proceso de adsorción/absorción (basado en la combustión de combustibles líquidos o gaseosos, o en la utilización de energía geotérmica/solar-térmica o calor residual).

2.2.2. Tipos de emisores

Cuando se proyecta una rehabilitación, la temperatura requerida en el emisor, el salto térmico, la instalación hidráulica existente o el periodo de uso son variables que hay que tener en cuenta para elegir la bomba de calor o el sistema híbrido más adecuado.

Según el alcance de las bombas de calor actuales, para calefacción, el rango de temperaturas de impulsión se encuentra entre los 35 °C y los 60 °C habitualmente, pudiendo incluso alcanzar temperaturas mayores con determinados refrigerantes. No hay que olvidar que el rendimiento en calefacción será mayor cuanto menor sea la temperatura de impulsión requerida y viceversa, dependiendo también de la temperatura exterior y de la tipología de la bomba de calor. Por esto, para conseguir el máximo rendimiento del sistema se debe procurar evitar el uso de temperaturas fijas de impulsión. El proceso correcto es el de variar la temperatura de impulsión desde la bomba de calor y aprovechar así sus características de mayor rendimiento. Dicho de otro modo, aportar al edificio solo la energía que el edificio está perdiendo, variando la temperatura de impulsión desde el generador. En refrigeración, el rango de temperatura varía entre los 7 °C y 18 °C, aumentando el rendimiento de la bomba de calor cuanto mayor sea la temperatura de impulsión.

La producción de agua, calentada o enfriada, se transporta a los elementos que actúan como emisores dentro del espacio que se quiere climatizar. En este caso, existen principalmente tres tipos de emisores térmicos que son compatibles con la tecnología bomba de calor: el suelo radiante, los radiadores y los *fancoils*.

La inercia térmica es la propiedad que indica la cantidad de calor que puede conservar un sistema y la velocidad con la que se calienta o se enfría. Depende de la masa de los elementos que lo constituyen, de su conductividad térmica, de la capacidad calorífica específica y de la ubicación relativa de cada uno de los componentes que configuran el sistema.

Dicha inercia térmica, que en definitiva es la resistencia al cambio térmico que tienen los diferentes sistemas, no es la misma para instalaciones de suelo radiante, *fancoils* o radiadores. Las instalaciones de suelo radiante, por lo general, presentan una alta inercia térmica, mientras que las instalaciones de *fancoils* o radiadores reflejan los cambios térmicos mucho más rápidamente. Si no se emplean medidas correctoras como el disponer de un volumen de agua suficiente siempre disponible para la bomba de calor, la elección de un sistema de baja inercia térmica implica una mayor cantidad de arranques y paradas del compresor que podrían contribuir a un envejecimiento prematuro de los equipos, una falta de energía para realizar desescarches en momentos puntuales, etc.

Es importante destacar que el RITE, tras su actualización mediante el Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo, en su IT.1.2.4.2.9 «Emisores térmicos», indica que «los emisores térmicos se dimensionarán para temperaturas de entrada en calefacción inferiores a 60 °C y de entrada en refrigeración superiores a 7 °C».

2.2.2.1. Suelo radiante para calefacción y refrescamiento

Actualmente la Norma UNE-EN 1264 (Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies) define el suelo radiante como un «sistema de calefacción por el

suelo, en el que los tubos, que transportan agua con o sin aditivos como fluido calefactor, están ocultos bajo dicho suelo». Según esta definición, el hilo radiante (calefacción eléctrica) no se considera suelo radiante.

El suelo radiante es un tipo de emisor térmico muy eficiente, de baja temperatura, por lo que combina perfectamente con la bomba de calor y permite obtener los mayores rendimientos estacionales, tanto en invierno como en verano (véase gráfico 2-34).

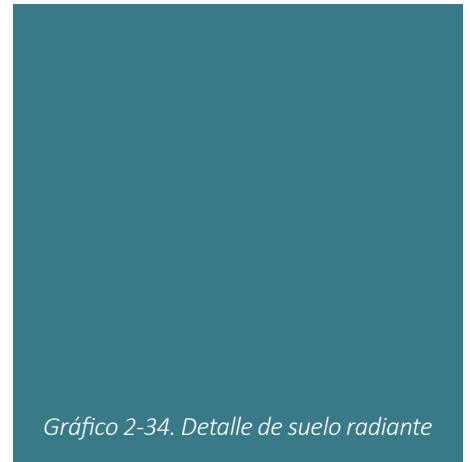


Gráfico 2-34. Detalle de suelo radiante

Se compone de (véase gráficos 2-35 y 2-36):

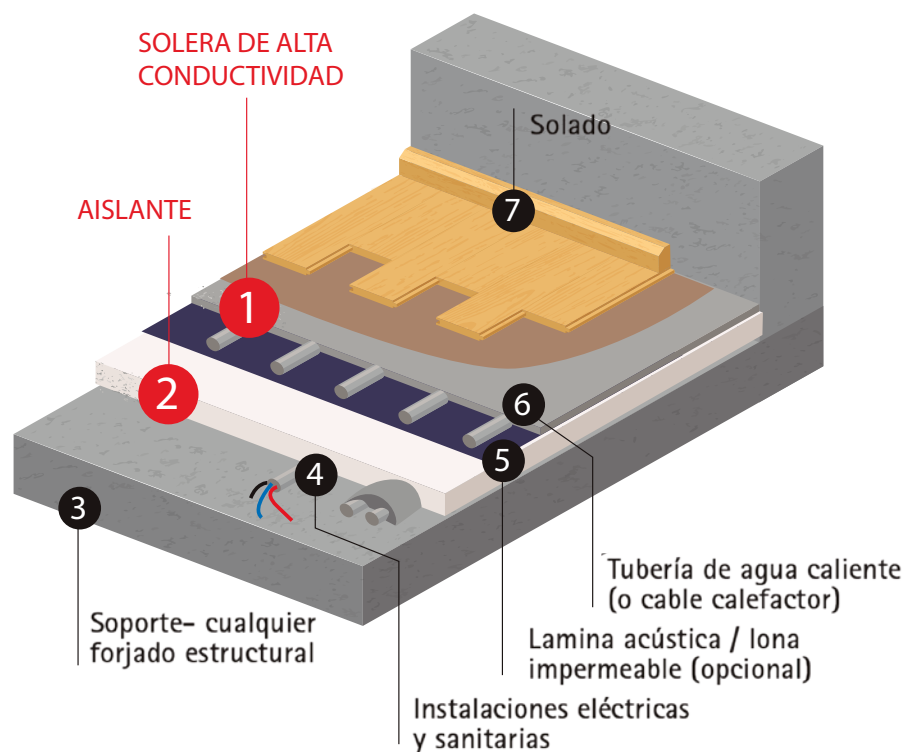


Gráfico 2-35. Ejemplo de suelo radiante

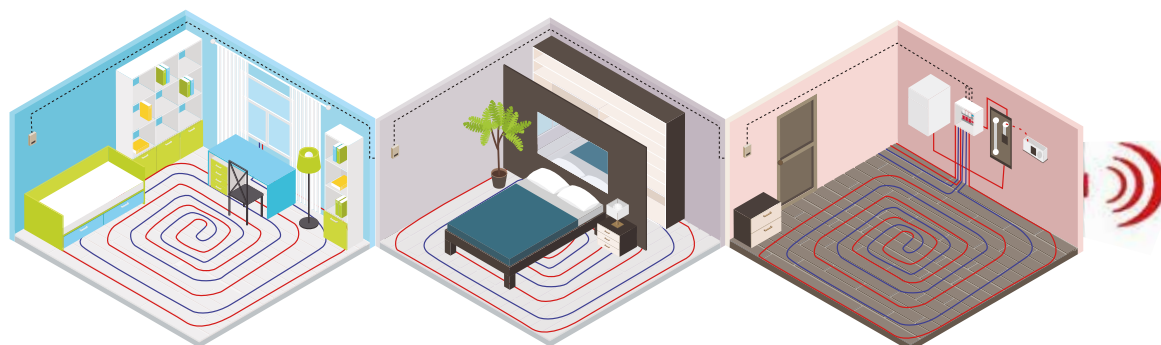


Gráfico 2-36. Ejemplo de suelo radiante con colector, bomba, generador, sonda exterior y termostatos interiores

- Una red de tubos dispuesta bajo el suelo, sobre paneles aislantes que facilitan que la energía térmica se dirija siempre hacia arriba, por la que circula el agua, con una temperatura de impulsión de agua de 35 a 38 °C en calefacción y de 14 a 19 °C en refrigeración (en este caso el rango se regula y controla para evitar condensaciones), con un salto térmico de 8 °C de media.
- Colectores para la impulsión y el retorno de cada circuito.
- Grupos hidráulicos que se encargan de mover el agua por la instalación.
- Controles que gestionan el sistema.

Este sistema de climatización tiene las siguientes características:

- Buena integración técnica y estética en casi cualquier instalación.
- La práctica ausencia de circulación de aire por convección causada en la vivienda. Esto conlleva una mayor limpieza al no mover partículas de polvo que, en sistemas tradicionales de radiadores, se queman y se depositan en las paredes.
- La ausencia de ruidos.
- La idoneidad de su baja estratificación vertical de la temperatura en modo calefacción, con menos pérdidas de energía, más saludable y eficiente que la tradicional de radiadores.
- Compatibilidad con cualquier tipo de pavimento, desde el cerámico a la madera o moqueta, con implicaciones, eso sí, en el rendimiento final del sistema.
- Una agradable sensación térmica percibida por el usuario, al ser radiado el calor por toda la superficie de forma uniforme.
- Poder utilizarlo en calefacción y refrescamiento (no refrigeración), donde el término refrescamiento alude a:

- El refrescamiento no compensa el calor latente (no existe un proceso de deshumectación como puede producirse en un aire acondicionado o en un *fancoil* en refrigeración), por lo que al reducirse la temperatura del local la humedad relativa aumenta.
- La potencia en refrigeración posible mediante el suelo refrescante está limitada por la estratificación del aire y por el salto térmico entre el ambiente y la superficie del suelo, lo que hace que este efecto de refrescamiento solo sea apreciable en instalaciones con una reducida carga de calor interna.
 - Por ejemplo, aunque existen diferentes tipos de suelo, terminaciones, etc., un valor medio de potencia de refrescamiento en suelo radiante no suele superar los 30 W/m², lo que hace que para una habitación de 10m² la potencia máxima en refrescamiento sea de 300 W, aunque este valor puede aumentarse si se toman medidas adicionales, como combinarlo con otros sistemas (*fancoils*), entre otras.

Son sistemas de gran inercia térmica, debido a que es necesario elevar la temperatura de la suma de la masa de agua y material (mortero, plaqueta, etc.) para poder radiar calor al ambiente. Una forma de compensar el efecto de la inercia térmica es usar sistemas de regulación que modulan los cambios necesarios de temperatura interior en función de la temperatura exterior. Estos sistemas de regulación tienen en cuenta los tiempos largos de respuesta del sistema, de manera que el funcionamiento del suelo radiante reacciona con antelación suficiente y garantizan que la temperatura interior sea la requerida por el usuario en toda condición. Para que el confort y el ahorro del sistema alcancen los valores deseados con bomba de calor, la utilización del suelo radiante requiere, por lo general, un uso continuo (24h) durante toda la temporada de calefacción o refrigeración.

Una cuestión a tener en cuenta en el uso de suelo radiante en modo refrescamiento es la condensación que se puede producir en ambientes húmedos y muy cálidos, que obligaría a impulsar el agua a una temperatura superior a la del rocío, reduciendo en gran medida la capacidad de refrigeración. Existen sistemas que cuentan con higrómetros que permiten la regulación y el control de la humedad, evitando la condensación.

En el caso de una rehabilitación en la que el suelo radiante no esté disponible, sino que sea de nueva instalación, deben considerarse, entre otros, dos factores adicionales: el espesor adicional que se resta a la altura (unos 8-10 cm) y el mayor coste de implementación frente a otros sistemas. Se recomienda consultar siempre con profesionales que hagan un estudio detallado de cada proyecto particular, para poder incluir en el mismo tanto variables técnicas determinadas por la estructura constructiva y la demanda térmica (espesor de panel aislante, diámetro y paso de tubos, número de circuitos, tipo de colectores, funcionalidad de calefacción y/o refrescamiento, tipo y espesor de mortero, válvulas y caudalímetros, pérdidas de carga), así como requerimientos del usuario (por ejemplo, tipo de revestimiento, que influirá en la demanda térmica).

2.2.2.2. Radiadores de agua

En función de la instalación de la que forman parte se pueden clasificar por su uso previsto inicialmente como de «alta» o «baja» temperatura. Por «alta» temperatura se entiende aquellos radiadores instalados que inicialmente se calcularon para trabajar a una temperatura de impulsión hacia el radiador cercana a los 75 °C a 80 °C y una temperatura de salida del radiador de 60 a 65 °C, respectivamente, con el fin de mantener una temperatura de confort de 20 °C en los espacios ocupados, para las cargas consideradas de proyecto y con un uso horario intermitente de unas pocas horas al día.

La emisión calorífica de un radiador depende de las temperaturas de entrada y salida del agua al radiador, de la temperatura del local a calentar y de las características geométricas y de superficie de transmisión del radiador elegido. La emisión de calor se ajustaría por tanto a la siguiente ecuación:

$$\Phi = K_M \cdot \Delta T^n$$

Donde:

- Φ : es la potencia calorífica aportada por el radiador, en vatios (W).
- K_M es una constante propia de cada radiador, que varía en función de su geometría y superficie de intercambio.
- ΔT : es el salto térmico entre la temperatura media aritmética del agua del radiador $[(T^a \text{ de entrada} + T^a \text{ de salida})/2]$ y la temperatura ambiente del local (t_a).
- n : es el exponente de la curva característica de emisión calorífica del radiador elegido.

La temperatura de impulsión a los radiadores, sin embargo, no es constante a lo largo de una temporada de calefacción, ni de las horas del día, etc., sino que varía en función de lo que se conoce como control de la temperatura de impulsión por «curva de calefacción». Mediante esta estrategia se busca que el generador aporte, en cada momento a la instalación, solo la energía que la instalación está «perdiendo», reduciendo así el número de arranques, pérdidas de energía, etc., maximizando el rendimiento del generador, bien sea en función de la temperatura exterior, bien en función de la temperatura interior.

El gráfico 2-37 es un ejemplo de cómo está prevista la modulación de la temperatura de impulsión y de retorno de su instalación con radiadores en un edificio tipo, en función de la temperatura exterior.

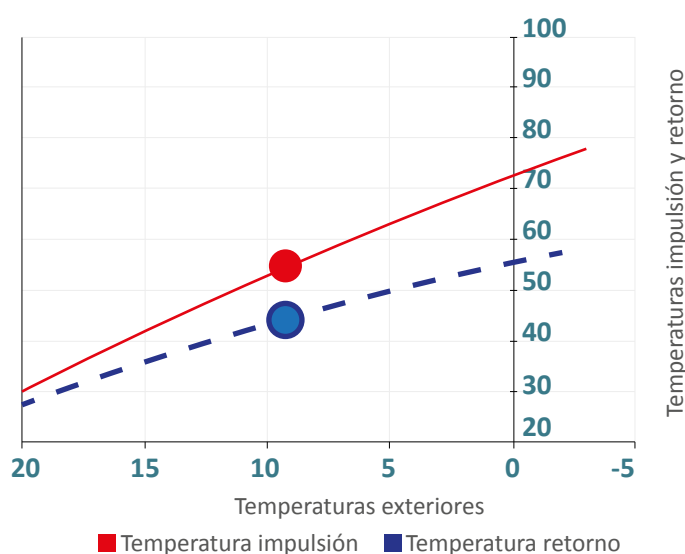


Gráfico 2-37. Ej. Curva de calefacción en instalación centralizada y radiadores convencionales

En el gráfico se observa que, a 8 °C exteriores, la temperatura de impulsión requerida es de 55 °C, el salto térmico de 10 °C y la temperatura de salida del radiador de 45 °C.

La curva de calefacción es específica para cada edificio y su inclinación está en función de las pérdidas de energía características de este, es decir, el grado aislamiento de la envolvente. Cuanto menores sean las pérdidas de energía del edificio al descender la temperatura exterior, menor será el incremento de la temperatura de impulsión necesaria y menor será la inclinación de la curva a programar.

Por el contrario, cuanto mayores sean las pérdidas de energía características de este edificio al descender la temperatura exterior, mayor será la potencia necesaria a aportar por los radiadores y mayor será la temperatura de impulsión que estos precisan para poder compensar dichas pérdidas, por lo que la pendiente de la curva a programar será mayor. En el punto 3.1 se trata la importancia del aislamiento de la envolvente del edificio, así como lo esencial de asegurar la ventilación si se interviene en él.

El punto de partida de la curva depende de la temperatura final deseada en el interior del edificio. En el caso de desear una temperatura interior más elevada, no se modifica la inclinación de la curva, sino que el sistema de control realiza lo que se conoce como un «desplazamiento paralelo» de toda la curva hacia «arriba» o hacia «abajo», con el fin de alcanzar la temperatura interior deseada.

El comportamiento de los radiadores en la instalación variará, por tanto, a lo largo de la temporada de calefacción, siendo las temperaturas de homologación de los radiadores, según la UNE-EN 442 (75 °C y 65 °C), las que determinan una emisión térmica del 100%. La variación de la emisión térmica especificada en catálogo en función de la temperatura de impulsión, retorno y salto térmico estaría reflejada en la tabla simplificada siguiente, aunque puede variar en función del tipo de radiador, por lo que se recomienda acudir al catálogo del fabricante y/o tablas completas reconocidas (véase tabla 2-10).

Norma	Temperatura entrada al radiador (máx.)	Temperatura salida del radiador	Temperatura que determina el cumplimiento reglamentario en instalaciones	Temperatura media del radiador	Δt con respecto a un ambiente a 20 °C	Emisión térmica
	°C	°C		°C	°C	%
UNE-EN-442	75	65	Temperatura media del radiador	70	50	100
	80	60		70	50	100
RITE 2013	65	55		60	40	75
RITE 2021	60	50	Temperatura de entrada al radiador	55	35	60

Tabla 2-10. Tabla simplificada de emisión de un radiador tipo en función de la temperatura de impulsión. Cada radiador tiene su curva característica que facilita el fabricante

Nótese que la emisión térmica de los radiadores varía notablemente en función de la temperatura de impulsión, por lo que a menor temperatura de impulsión deberán considerarse horarios más amplios, la posibilidad de trabajar con bombas de calor que alcancen una mayor temperatura de impulsión, hibridar con generadores auxiliares para momentos puntuales, aumentar superficie de radiador, utilizar radiadores de baja temperatura, etc.

Entre los radiadores tradicionales de alta temperatura se encuentran:

Radiadores de acero

Construidos en chapa en acero, de una sola pieza soldada o por elementos. De diferentes longitudes y alturas son ligeros y rápidos en calentarse y en enfriarse, de bajo volumen de agua y pensados para transmitir el calor más por radiación que por convección, especialmente los de superficie plana (véase gráfico 2-38).



Gráfico 2-38. Radiador de chapa de acero (plano)

Radiadores de aluminio

Del mismo modo, son ligeros y rápidos de calentarse y enfriarse. Su construcción modular permite añadir elementos para ampliar la potencia aportada en caso necesario, con la modificación, eso sí, de las tomas de la instalación hidráulica correspondiente. Diseñados en general para la disipación de calor por convección más que por radiación y, también, para bajo volumen de agua (véase gráfico 2-39).



Gráfico 2-39. Radiador de aluminio

Radiadores de hierro fundido

Son los radiadores presentes en los edificios más antiguos. Duraderos, estéticos y con mayor inercia térmica que los de chapa o aluminio, aunque mucho más pesados. Requieren un mayor tiempo de puesta en servicio de la instalación, aunque retienen el calor durante mayor tiempo (véase gráfico 2-40).



Gráfico 2-40. Radiadores de hierro fundido

Radiadores de diseño

Capítulo aparte son los radiadores de diseño, de diferente construcción, pero que desde el punto de vista de temperatura de impulsión no añaden cambios a la temperatura de impulsión demandada (véase gráfico 2-41).



Gráfico 2-41. Radiador de diseño

Fancoil o ventiloconvector (radiador de baja temperatura)

De presencia ya habitual en los últimos años, su alta capacidad de transmisión de energía se debe al uso de intercambiadores diseñados para su uso combinado con una ventilación forzada integrada de muy bajo consumo. Algunos incluyen función «refrescamiento» o directamente «refrigeración», precisando la instalación de un desagüe adicional (véase gráfico 2-42).

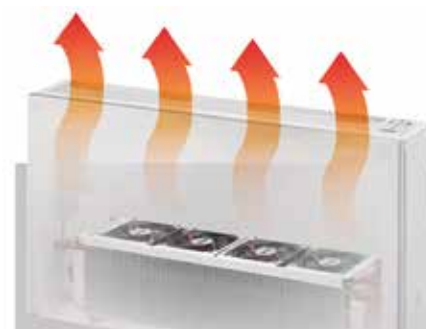


Gráfico 2-42. Radiador de baja temperatura

Se diseñan para trabajar en los rangos de temperatura habituales de calefacción y se fabrican también para la sustitución directa de los radiadores existentes, a cualquier mano (izquierda o derecha) y posición. Deben seguirse las recomendaciones del fabricante en cuanto a su selección por potencia y nivel sonoro.

Su comportamiento es similar al de un *fancoil*; al aumentar el caudal de aire (modo reducido, confort, modo máximo), aumenta su potencia térmica transmitida si se dispone del caudal de agua suficiente. A mayor temperatura, mayor potencia.

Hay que tener en cuenta que este tipo de radiadores incorporan unos ventiladores interiores para aumentar el caudal de aire que atraviesa la batería de intercambio y aumentar así la transmisión de calor por convección y por tanto la potencia térmica emitida, por lo que es necesario disponer de alimentación eléctrica junto al radiador y prever su consumo, aunque sea pequeño (la potencia total consumida por esos ventiladores suele ser entre 2,5 a 30 W dependiendo del tamaño de radiador).

En el gráfico 2-43 se muestra un ejemplo de dos radiadores de baja temperatura presentes en el mercado y su equivalente en radiador convencional

En el gráfico se observa que un radiador de baja temperatura puede aportar una potencia similar a la de un radiador convencional, con una menor temperatura de impulsión.

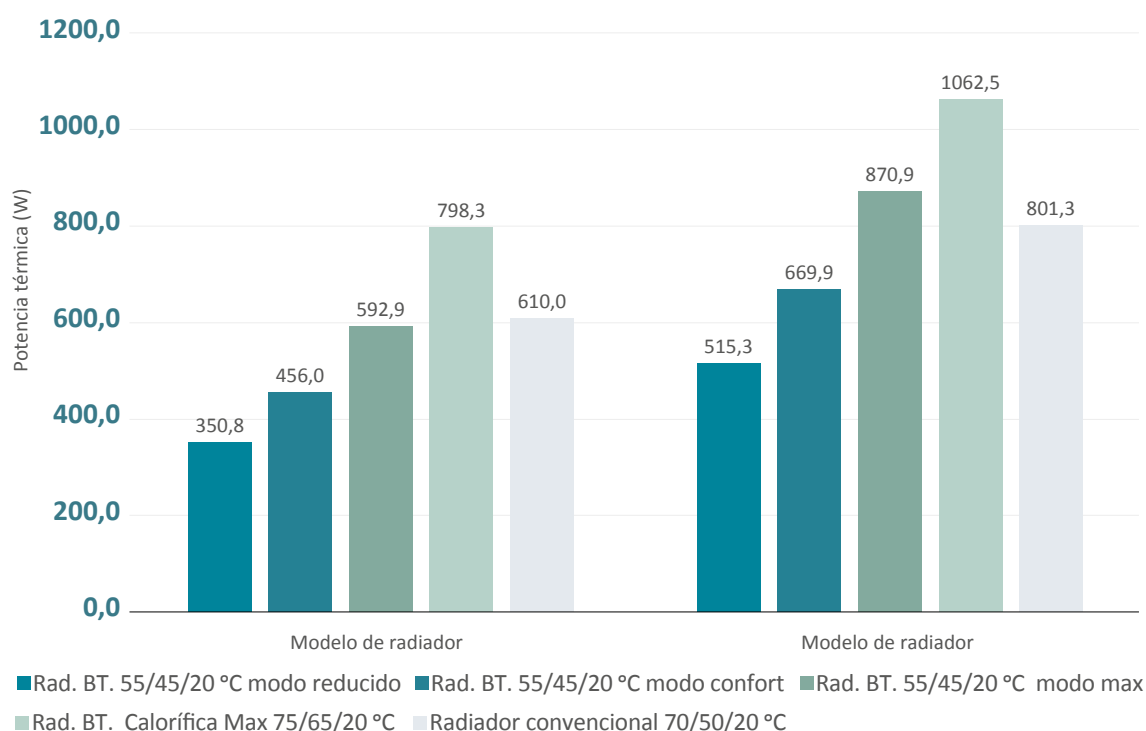


Gráfico 2-43. Comparación de potencia aportada por radiadores de baja temperatura y radiadores convencionales

Emplazamiento del radiador

No existe una obligación normativa para el emplazamiento del radiador, aunque el más apropiado es la pared más fría de la habitación.

El emplazamiento del radiador puede modificar el confort percibido por el usuario.

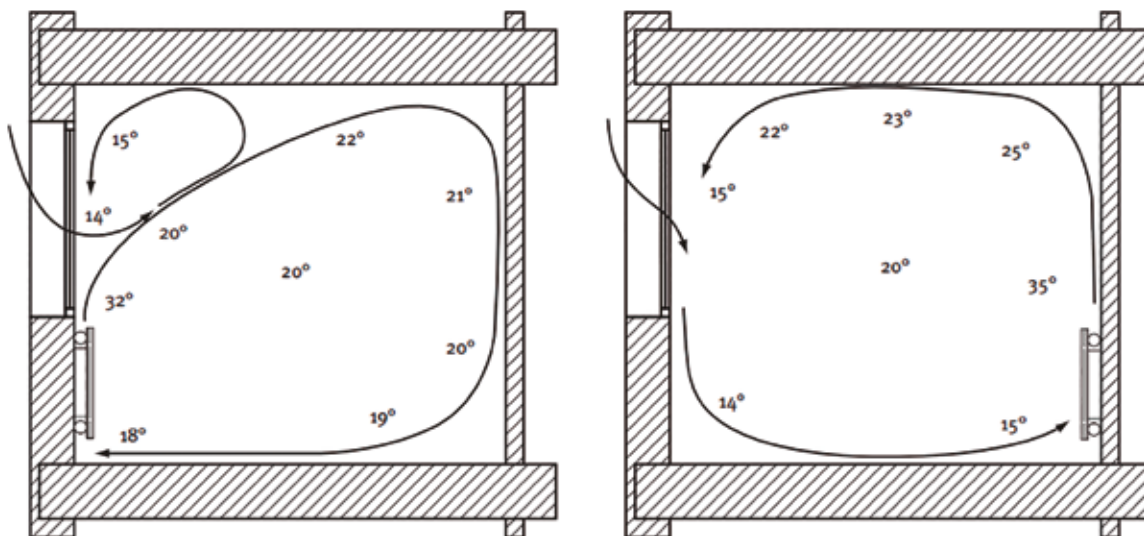


Gráfico 2-44. Distribución de temperaturas interiores con radiadores

La presencia de hornacinas, muebles, etc., que inicialmente pudieran estar previstos para proteger de contactos y quemaduras accidentales cuando la temperatura de impulsión prevista era de 80 °C, son causa de una pérdida de la potencia entregada al limitar la convección de aire, por lo que su influencia deberá analizarse en cada caso.

En general, los radiadores deben estar libres de obstáculos.

2.2.2.3. Ventilconvectores (*fancoils*)



Gráfico 2-45. Fancoil de techo (ejemplo)

Estos elementos, en sus diferentes versiones (techo, pared, conductos, etc.), consisten en una estructura metálica que contiene un ventilador y un intercambiador de calor por el que circula agua caliente (calefacción) o fría (refrigeración) y que calientan o enfrían el aire del espacio a climatizar. Como se ha visto anteriormente, los radiadores de baja temperatura podrían encajar también en esta descripción como *fancoils* de pequeña potencia (véase gráfico 2-45).

Al ser un sistema con baja inercia térmica, el tiempo que se tarda en acondicionar una estancia es mucho más reducido que un sistema de mayor inercia térmica.

Como ejemplo, en la tabla 2-11 se compara el tiempo que se necesitaría en calentar una habitación de 12 m². En primer lugar, con un sistema de *fancoils* o radiadores de baja temperatura; en segundo lugar, con un sistema de alta inercia, como suelo radiante:

		<i>Fancoil</i> /radiador de baja temperatura		Sistema radiante			
		Unidades	Agua	Aire de la estancia	Agua	Masa de mortero ligero	Aire de la estancia
Superficie	S	m ²		12		12	12
Altura	h	m		3		0,05	3
Volumen	$V = S \times h$	m ³	0,005	36	0,025	0,6	36
Densidad	ρ	kg/m ³	1.000	1,247	1.000	1.300	1,247
Masa	$m = \rho \times V$	kg	5	44,892	25	780	44,892
Temperatura Inicial	t_1	K	10	10	10	10	10
Temperatura Final	t_2	K	45	21	35	35	21
Salto térmico	$\Delta t = t_2 - t_1$	K	35	11	25	25	11
Calor específico	C_p	kJ/(kg x K)	4,1813	1,006	4,1813	0,95	1,006
Energía necesaria	$Q = m \times C_p \times \Delta t$	KJ	731,73	496,77	2.613,31	18.525	496,77

Tabla 2-11. Cálculo simplificado de la energía necesaria para calentar una habitación de 12 m², *fancoil*- rad. BT vs. suelo radiante

Así, la energía total necesaria para calentar la habitación del ejemplo desde 10 °C a 21 °C, según se use un sistema de *fancoil*/radiador de baja temperatura o un sistema de suelo radiante, sería el reflejado en la tabla 2-12.

	Agua	Mortero	Aire	Total, energía necesaria
Unidades	kJ	kJ	kJ	kJ
<i>Fancoil</i> /radiador baja temperatura	731,73		496,77	1.228,50
S. Rad	2.613,31	18.525	496,77	19.015

Tabla 2-12. Cálculo simplificado de la energía necesaria para calentar una habitación de 12 m²

El tiempo necesario para el calentamiento de la estancia estará en función de la potencia calorífica instantánea del elemento calefactor.

$$P = E/t$$

Donde:

- P es la potencia instantánea, que es la cantidad de calor que libera un dispositivo por unidad de tiempo. Sus unidades son en W o (J/s).
- E es la energía proporcionada en W o (J/s).
- t es el tiempo en segundos.

Así, para el caso del ejemplo, si se emplea un elemento calefactor con una potencia instantánea de 800 W (0,8 kW), el tiempo de calentamiento será $t = E/P$ (véase tabla 2-13).

Calentamiento de una habitación de 12 m ²	Total energía necesaria	Potencia elemento calefactor	Tiempo de calentamiento (puesta en marcha)		Método de calentamiento	Sensación con sistema parado (temperatura de consigna alcanzada)
			$t = E/P$	$t = E/(P \times 3.600)$		
	Q	P	Segundos	Horas de puesta en marcha		
<i>Fancoil/</i> radiador de baja temperatura	1.228,50	0,80	1.535,63	0,43	Calor sensible, calentamiento rápido, enfriamiento rápido	La temperatura sensible comienza a reducirse, la temperatura de los paramentos, suelo, etc. es «fría» y la sensación del usuario cambia rápidamente. Tomando para calor el símil de la luz de una bombilla, cuando se para el equipo «se apaga la luz». En calefacción, el ventilador se para cuando se alcanza la temperatura de consigna. En refrigeración, el ventilador funciona de modo constante, por lo que la sensación de confort se mantiene.
S. Rad	19.015,00	0,80	23.768,75	6,60	Calor radiante + calor sensible. Calentamiento lento, enfriamiento lento	El sistema sigue radiando calor, paulatinamente, durante varias horas, lo que calienta las superficies de los paramentos de forma indirecta (el calor se está radiando desde la superficie caliente), por lo que el usuario no percibe variación de confort. Utilizando el mismo símil anterior, el calor «se desvanece poco a poco».

Tabla 2-13. Ej. Comparación del tiempo necesario para calentar de 10°C a 21°C una habitación de 12 m² sin muebles. *Fancoil* (rad. baja temperatura) vs. suelo radiante

Nota: en el cálculo no se ha tenido en cuenta el tipo de suelo final ni su mejor o peor radiación en función de su emisividad. Tampoco se han tenido en cuenta pérdidas de energía, inercias en paredes, mobiliario, etc.

En la tabla se observa que, para calentar la estancia al principio de la temporada de calefacción, es necesaria una mayor cantidad de energía y tiempo cuando el sistema es de mayor inercia que cuando es de menor inercia. Esto es debido a que es necesario calentar, además de una mayor masa de agua, la masa de mortero en el suelo radiante.

Sin embargo, una vez el espacio ocupado se encuentra a la temperatura elegida, la energía térmica aportada por el sistema es idéntica en ambos casos. No obstante, las sensaciones térmicas son diferentes en uno y otro sistema, siendo mucho más confortable para el usuario la sensación ofrecida por el suelo radiante. Además, el rendimiento de la bomba de calor y, por tanto, el consumo eléctrico, será menor con el suelo radiante al trabajar a menor temperatura de impulsión.

Entre las diferentes tipologías de *fancoils* disponibles en el mercado, están los de conductos, que pueden estar ocultos en el falso techo, u otros tipos, como *cassette*, consola suelo-techo, etc.

En las siguientes ilustraciones puede verse la conexión de estos elementos con una bomba de calor aire-agua (situada en la parte izquierda de la cubierta), junto a un sistema de ventilación (situado a la derecha de la cubierta) (véase gráficos 2-46 y 2-47).

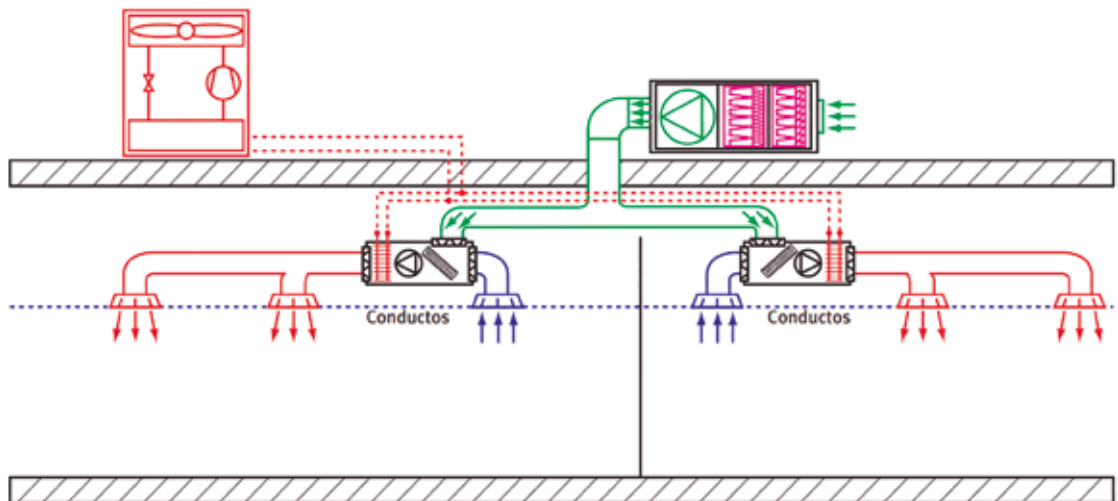


Gráfico 2-46. Ejemplo de conexión de bomba de calor aire-agua, fancoils de conductos y equipo de ventilación

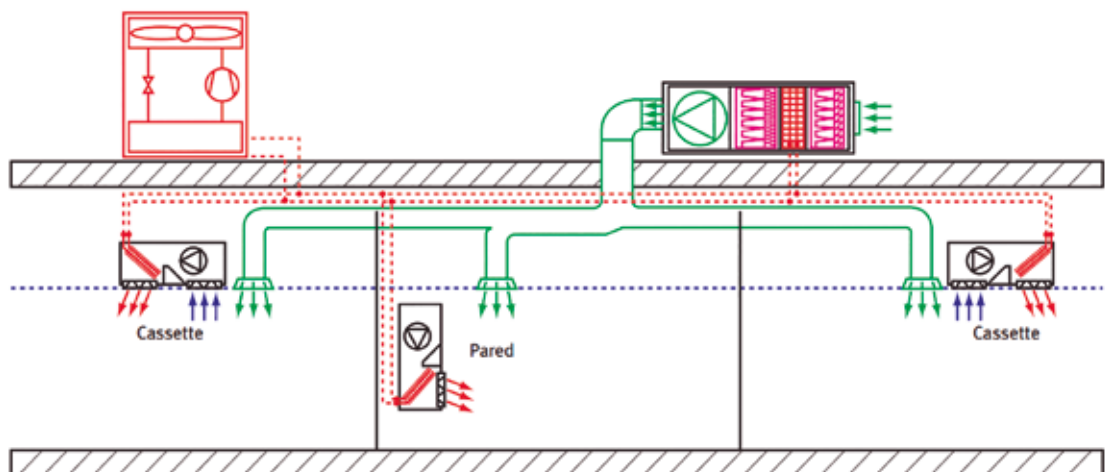


Gráfico 2-47. Ejemplo conexión bomba de calor aire-agua, fancoils de cassette y de consola de pared y un equipo de ventilación

Los *fancoils* pueden acoplarse tanto a instalaciones nuevas como existentes, no obstante, hay que tener en cuenta el caudal de agua necesario (que puede cuadruplicar el previsto inicialmente con caldera) y dimensionar las tuberías convenientemente.

Desde un punto de vista constructivo, los *fancoils* pueden elegirse normalmente con una o dos baterías de agua, en función de la temperatura prevista para uso en calefacción y refrigeración.

Cuando el *fancoil* dispone de dos baterías independientes de intercambio, para un uso con diferentes generadores para calefacción y para refrigeración, se les denomina «*fancoils* a cuatro tubos». En este tipo de *fancoil* se dispone de dos baterías hidráulicas diferentes; la batería que dispone de más superficie de intercambio y filas de tubos se suele usar solo para refrigeración o para refrigeración y calefacción, esta última de baja temperatura (45 °C): la batería de menos filas, normalmente compuesta por una fila, debido a su mayor dilatación al trabajar para alta temperatura, se usa solo para calefacción a alta temperatura, normalmente 60 °C o 70 °C).

2.2.2.4. Tabla resumen

Rehabilitación con bomba de calor			
Emisor	Rendimiento con bomba de calor	Confort térmico en calefacción	Confort térmico en refrigeración
Radiador estándar	Medio	Bueno	--
Suelo radiante	Muy alto	Muy bueno	Muy bueno (potencia limitada)
Radiador de baja temperatura	Alto	Muy bueno	Muy bueno
Fancoils	Alto	Bueno	Muy bueno

Tabla 2-14. Tabla resumen de la respuesta de emisores con bomba de calor

2.2.2.5. Consumo de energía primaria en función del generador y de la temperatura de impulsión

En función de la eficiencia estacional del generador del calor y del emisor considerados se producirán diferentes consumos energéticos, que se resumen en el gráfico 2-48.

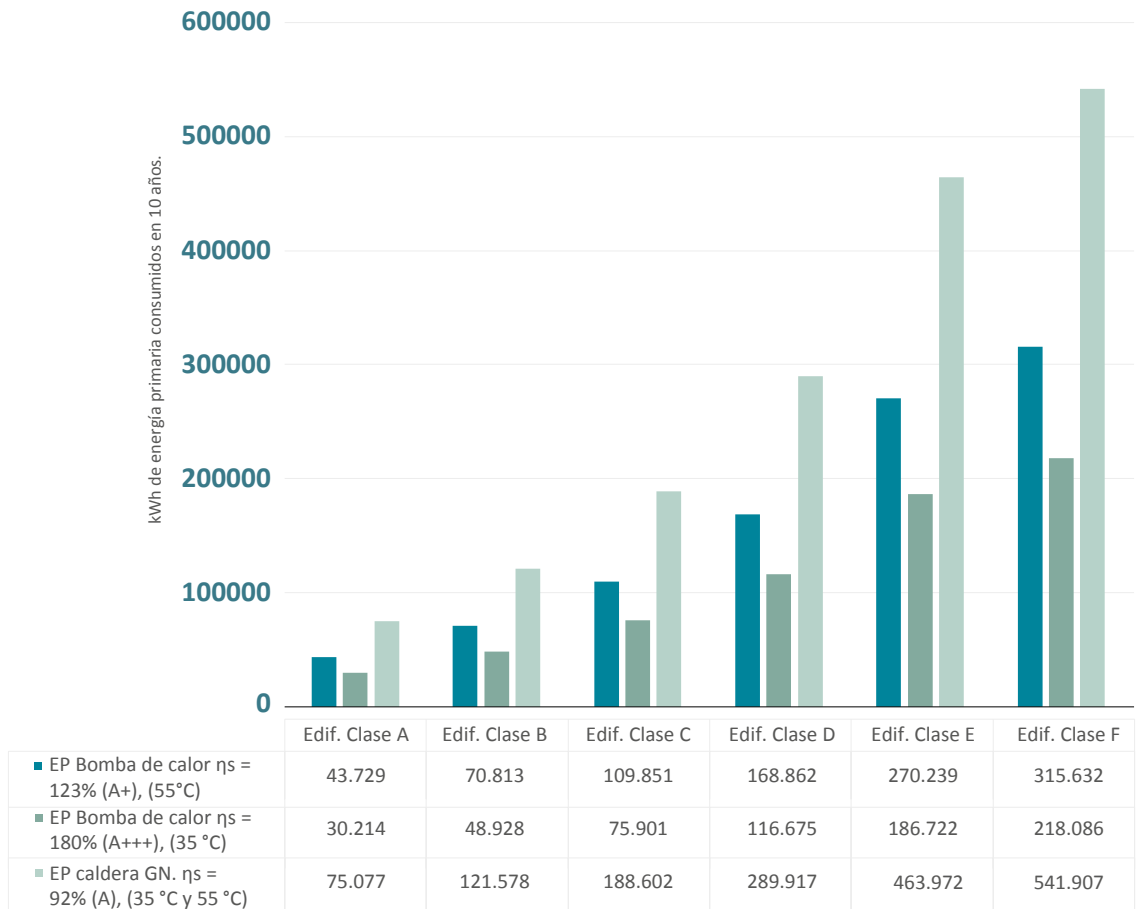


Gráfico 2-48. Comparativo consumo de energía primaria, bomba de calor vs. caldera gas natural

2.2.2.6. Saltos térmicos, caudales de agua e influencia en la eficiencia

2.2.2.6.1. Saltos térmicos

Cada tipo de emisores anteriormente descrito precisará de un salto térmico y un caudal de circulación de agua diferente.

En la tabla 2-15 se presenta un ejemplo del caudal preciso para los saltos térmicos habituales y para una potencia térmica de 800W, que puede ser la potencia típica necesaria en un salón de 12 m²:

	Temperatura entrada agua	Temperatura salida agua	Salto térmico	Potencia máxima	Caudal de agua necesario a través del emisor
	°C	°C	K	W	l/min
Radiadores alta temperatura	80	60	20	800	0,58
Radiadores de baja temperatura	55	45	10	800	1,15
Suelo radiante	35	27	8	800	1,44
Fancoils	45	40	5	800	2,30

Tabla 2-15. Saltos térmicos típicos, potencia aportada y caudal necesario en función del emisor

2.2.2.6.2. Caudales de agua e influencia en la eficiencia de una bomba de calor

En la tabla anterior se observa que, para la misma potencia, las necesidades de caudal para cada emisor son diferentes en cada caso.

Para evitar problemas en la bomba de calor por tener que acometer diferentes saltos térmicos, derivados de la variación de caudal al existir válvulas de cierre en emisores, si se tiene en cuenta que, por término general para calefacción, el salto térmico recomendado en la bomba de calor se encuentra es de 5 K se determina que es imprescindible en la mayoría de los casos el uso de separadores hidráulicos y/o depósitos de inercia con esa función.

Esto es especialmente importante si se prevé que con la bomba circuladora interna de la bomba de calor no se alcanzará el caudal nominal previsto, entendido «caudal nominal» de una bomba de calor como el caudal en circulación necesario para aportar, en el salto térmico previsto por el fabricante, la potencia térmica nominal de la bomba de calor.

En la tabla 2-16 se muestra un ejemplo de la consecuencia de este problema de no alcanzar el caudal nominal previsto; en el escenario A, el caudal de agua en circulación a través de la bomba de calor es el mínimo previsto por catálogo y, sin embargo, no es suficiente para aportar la potencia térmica necesaria a la instalación cuando el salto térmico establecido en 5 K.

Escenarios de potencia aportada en función del caudal en circulación		Escenario A El caudal en circulación no alcanza el caudal nominal, solo el mínimo permitido en la bomba de calor	Escenario B El caudal en circulación es el caudal nominal	Escenario C El caudal en circulación es el máximo permitido en la bomba de calor
Caudal de agua máximo posible a través de la bomba de calor, mediante la bomba circuladora interna instalada en ella.	l/min	23	30	35
Salto térmico deseado en proyecto para las unidades terminales y controlado en la bomba de calor, Δt	K	5	5	5
Temperatura de impulsión	°C	35	35	35
Potencia máxima teórica disponible en la bomba de calor (catálogo)	kW	12	12	12
Potencia máxima posible a aportar en esta instalación, en las condiciones reales de la instalación, para el caudal de agua en circulación real y salto térmico controlado	kW	8	10,44	12,18
Potencia necesaria en la instalación en las condiciones de proyecto	kW	10	10	10
¿Aporta la bomba de calor la potencia necesaria en el edificio en condiciones de proyecto?		No, es necesario aumentar el caudal en circulación. Al no ser posible con la bomba circuladora instalada en la bomba de calor (en este ejemplo), será necesario la instalación de un separador hidráulico/depósito de inercia y bomba circuladora posterior	Sí, sin embargo, debido a que pueden cerrarse emisores (válvulas termostáticas, electroválvulas, etc.) y reducirse el caudal en circulación, debe instalarse un separador hidráulico/depósito de inercia, además de una bomba circuladora posterior	Opcional, depósito de inercia en línea y válvula de presión diferencial

Tabla 2-16. Tabla de ejemplo de por qué es necesario alcanzar, al menos, el caudal nominal

2.2.2.6.2.1. Variación del COP en función de la temperatura de impulsión o de la temperatura exterior

La variación del COP, depende del modelo de bomba de calor, dimensionamiento y posición de intercambiadores, tecnología de compresión, control, regulación de potencia, sistema de expansión, ventiladores y, tipo de refrigerante, entre otros factores (véase gráfico 2-49).

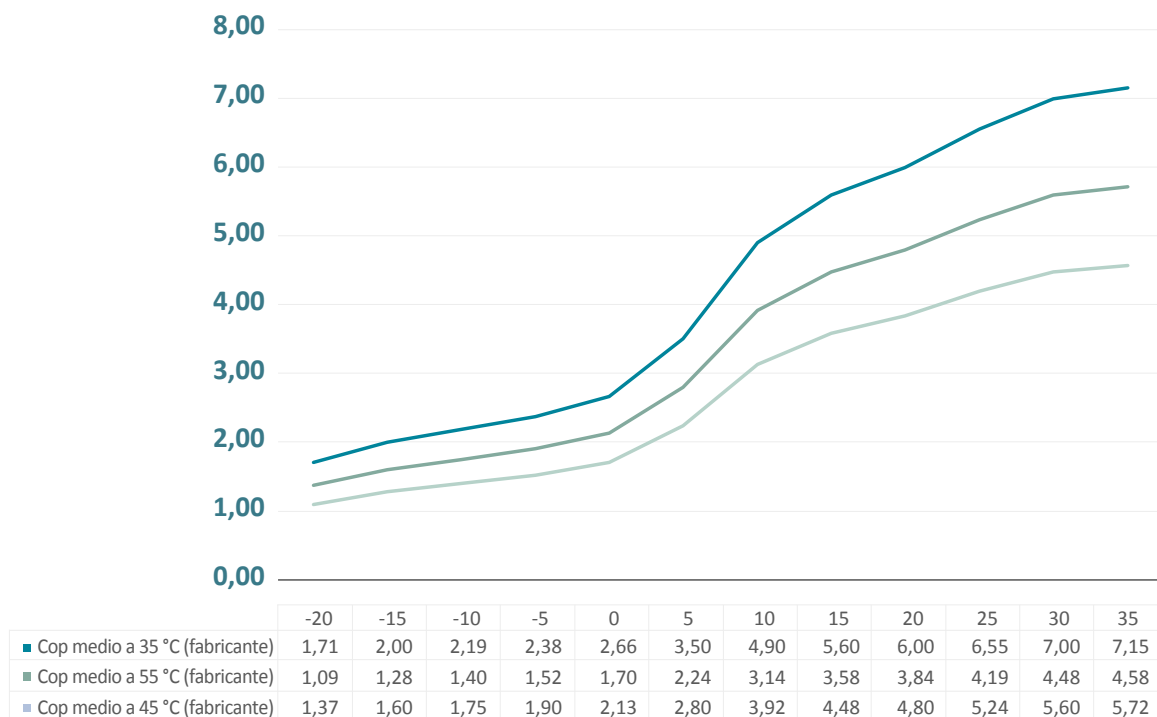


Gráfico 2-49. Ejemplo de variación del COP de una bomba de calor aire-agua en función de la temperatura exterior y de la temperatura de impulsión hacia los elementos terminales, 35 °C, 45 °C o 55 °C en condiciones UNE-EN 14511

Como se puede observar, impulsar a una temperatura fija es menos eficiente que modificar la temperatura de impulsión en función de la temperatura exterior o interior. Esta información sobre las variaciones de COP en función de la temperatura de impulsión se indica en la documentación facilitada por los fabricantes.

2.2.2.6.2.2. Diámetros de tubería

Los fabricantes de bombas de calor, en su documentación de montaje, ofrecen habitualmente tablas de secciones de tubería recomendadas mínimas para sus equipos, así como las distancias equivalentes máximas permitidas (véase tabla 2-17).

Potencia nominal bomba de calor	Instalación considerada	Diámetro interior (mm)	Longitud total (ida + retorno) máxima de tubería
kW	hidráulica	DN	m
7	Hasta válvula de presión diferencial y acumulador en línea	DN 25	15
7	Hasta separador hidráulico (inercia, aguja, etc.)	DN 25	30
7	Hasta válvula de presión diferencial y acumulador en línea	DN 32	19
7	Hasta separador hidráulico (inercia, aguja, etc.)	DN 32	40

Tabla 2-17. Ejemplo de tabla de longitudes máximas de tubería en función de la instalación elegida para un modelo de bomba de calor simulado

2.2.2.6.2.3. Recomendación general

Como conclusión a este apartado, a la vista de la influencia del caudal en circulación en la potencia aportada, cuando la bomba de calor tenga una conexión hidráulica directa a los elementos terminales debe procurarse que la instalación hidráulica permita a la bomba de calor alcanzar los caudales nominales previstos, indicados por el fabricante de la bomba de calor.

Adicionalmente, la instalación de elementos de control individual en los emisores (válvulas termostáticas, termoeléctricas, etc.) puede impedir alcanzar el caudal necesario y/o disponer del volumen de agua mínimo necesario para la bomba de calor, por lo que habrá que tomar las medidas necesarias para evitarlo, como, por ejemplo, haciendo uso de separadores hidráulicos y/o depósitos de inercia.

Por último, el control de regulación por salto térmico de la bomba circuladora interna debe estar habitualmente activado para garantizar la mayor eficiencia y, puesto que el rendimiento de la bomba de calor se reduce cuanto mayor sea la temperatura de impulsión, la recomendación es trabajar mediante el control de la temperatura de impulsión por curva de calefacción.

Es importante resaltar que cada edificio y proyecto es diferente, por lo que debe contarse siempre con la experiencia de un técnico cualificado para el diseño de la instalación.

2.3. Reglamentos de diseño ecológico y etiquetado energético aplicables a bombas de calor

2.3.1. Reglamentos de diseño ecológico

Todos los productos relacionados con la energía deben cumplir unos requisitos mínimos de eficiencia energética según se indica en la directiva de ecodiseño, Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de octubre de 2009, por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía.

Los diversos requisitos específicos de ecodiseño aplicables a cada familia de producto se establecen en los correspondientes reglamentos que desarrolla la mencionada Directiva.

Algunos de estos reglamentos de ecodiseño se recogen en la tabla 2-18.

Equipo	Diseño ecológico (ErP)	
	Reglamento	Potencia
Aire acondicionado o bomba de calor aire-aire	206/2012	PN < 12 kW
Bombas de calor aire-agua y agua-agua para calefacción o combinadas (calefacción y ACS)	813/2013	PN < 400 kW
Bombas hidráulicas	547/2012	
Calderas y calderas mixtas	813/2013	PN < 400 kW
Calefacción con micro cogeneración	813/2013	PN < 400 kW
Calentadores ACS, bombas de calor para ACS	814/2013	PN < 400 kW
Circuladores sin prensaestopas	641/2009	
ACS, depósitos y generadores	814/2013	V < 2.000 L
Enfriadoras y bombas de calor aire-agua para refrigeración	2016/2281	PN < 2.000 kW
Motores eléctricos	2019/1781	750 W < P < 350 kW
Productos para calentamiento del aire, entre ellos, bombas de calor aire-aire	2016/2281	PN < 1.000 kW
Unidades de Ventilación	1253/2014	P > 30 W
Ventiloconvectores	2016/2281	Solo requisitos de información
Ventiladores	327/2011	125 W < P < 500 kW

Tabla 2-18. Resumen de los reglamentos de ecodiseño

Entre los reglamentos que afectan a la bomba de calor, ventiladores y equipos de refrigeración, cabe destacar los referenciados en la tabla 2-19.

Reglamento	Ámbito de aplicación
<p>Reglamento (UE) 206/2012, de 6 de marzo de 2012, por el que se desarrolla la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo respecto de los requisitos de diseño ecológico aplicables a los acondicionadores de aire y a los ventiladores</p>	<p>Este reglamento establece los requisitos de diseño ecológico aplicables a la introducción en el mercado de acondicionadores de aire conectados a la red eléctrica con una potencia nominal ≤ 12 kW para refrigeración, o calefacción si el producto no tiene función de refrigeración, y los ventiladores que utilicen una potencia eléctrica ≤ 125 W</p>
<p>Reglamento 813/2013, de 2 de agosto de 2013, por el que se desarrolla la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo respecto de los requisitos de diseño ecológico aplicables a los aparatos de calefacción y a los calefactores combinados</p>	<p>Este Reglamento establece los requisitos de diseño ecológico para la comercialización o puesta en funcionamiento de aparatos de calefacción y calefactores combinados con una potencia calorífica nominal de ≤ 400 kW, incluidos los integrados en combinaciones de aparato de calefacción, control de temperatura y dispositivo solar y en combinaciones de calefactor, control de temperatura y dispositivo solar, tal como se definen en el artículo 2 del Reglamento Delegado 811/2013</p>
<p>Reglamento 814/2013, de 2 de agosto de 2013, por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para calentadores de agua y depósitos de agua caliente</p>	<p>Este Reglamento establece requisitos de diseño ecológico para la comercialización y puesta en servicio de calentadores de agua con una potencia calorífica nominal ≤ 400 kW y depósitos de agua caliente con una capacidad ≤ 2.000 litros, incluidos los integrados en equipos combinados de calentador de agua y dispositivo solar, definidos en el artículo 2 del Reglamento Delegado 812/2013</p>
<p>Reglamento (UE) 2016/2281, de 30 de noviembre de 2016, que aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se instaura un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía, en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos de calentamiento de aire, los productos de refrigeración, las enfriadoras de procesos de alta temperatura y los ventilosconvectores</p>	<p>Este reglamento establece los requisitos de diseño ecológico aplicables a la introducción en el mercado y/o la puesta en servicio de:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. productos de calentamiento de aire con una potencia nominal de calefacción de hasta 1 MW b. productos de refrigeración y enfriadoras de procesos de alta temperatura con una potencia nominal de refrigeración de hasta 2 MW c. bombas de calor DX > 12 kW d. sistemas de volumen variable de refrigerante e. ventilosconvectores f. unidades <i>rooftop</i>, entre otros

Tabla 2-19. Reglamentos de ecodiseño para bombas de calor

Los límites máximos de potencia acústica también se delimitan en el Reglamento 813/2013, anexo II, punto 3, «Requisitos de nivel de potencia acústica»:

«A partir del 26 de septiembre de 2015, el nivel de potencia acústica de los aparatos de calefacción con bomba de calor y de los calefactores combinados con bomba de calor no podrá superar los siguientes valores –véase tabla 2-20–:

Potencia calorífica nominal ≤ 6 kW		Potencia calorífica nominal > 6 kW y ≤ 12 kW		Potencia calorífica nominal > 12 kW y ≤ 30 kW		Potencia calorífica nominal > 30 kW y ≤ 70 kW	
Nivel de potencia acústica (L_{WA}), interiores	Nivel de potencia acústica (L_{WA}), exteriores	Nivel de potencia acústica (L_{WA}), interiores	Nivel de potencia acústica (L_{WA}), exteriores	Nivel de potencia acústica (L_{WA}), interiores	Nivel de potencia acústica (L_{WA}), exteriores	Nivel de potencia acústica (L_{WA}), interiores	Nivel de potencia acústica (L_{WA}), exteriores
60 dB	65 dB	65 dB	70 dB	70 dB	78 dB	80 dB	88 dB

Tabla 2-20. Requisitos de potencia acústica máxima (hasta 70 kW)

Pueden encontrarse ejemplos de fichas técnicas basados en los reglamentos de ecodiseño en el apartado capítulo 7, Anexos de esta guía.

2.3.2. Reglamento de etiquetado energético

Además del cumplimiento obligatorio de los requisitos mínimos de ecodiseño, para informar y facilitar a los usuarios la elección del equipo más eficiente se publicó la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010, relativa a la indicación del consumo de energía y otros recursos por parte de los productos relacionados con la energía, mediante el etiquetado y una información normalizada.

Esta Directiva establece un marco para la armonización de las medidas nacionales relativas a la información al usuario final, en especial por medio del etiquetado y la información normalizada sobre el consumo de energía, de manera que los usuarios finales puedan elegir productos más eficientes. Se complementa mediante los oportunos reglamentos delegados.

En 2017 se publicó el Reglamento Marco 2017/1369, de 4 de julio de 2017, por el que se establece un marco para el etiquetado energético y se deroga la Directiva 2010/30/UE.

Con base en lo recogido en el citado Reglamento se irán publicando actos delegados para actualizar los diferentes reglamentos delegados de etiquetado ahora vigentes.

Entre los reglamentos delegados de etiquetado, en lo referente a aire acondicionado, bombas de calor y ventilación, cabe destacar los recogidos en la tabla 2-21.

Reglamento Delegado	Ámbito de aplicación
Reglamento Delegado 626/2011, de 4 de mayo de 2011, por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al etiquetado energético de los acondicionadores de aire	Este Reglamento establece los requisitos para el etiquetado y el suministro de información adicional sobre los productos en lo relativo a los acondicionadores de aire conectados a la red eléctrica con una potencia nominal de refrigeración, o de calefacción si el producto no dispone de una función de refrigeración, de 12 kW como máximo
Reglamento Delegado 811/2013, de 18 de febrero de 2013 por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al etiquetado energético de aparatos de calefacción, calefactores combinados, equipos combinados de aparato de calefacción, control de temperatura y dispositivo solar y equipos combinados de calefactor combinado, control de temperatura y dispositivo solar	Este Reglamento establece los requisitos para el etiquetado energético de aparatos de calefacción y calefactores combinados de una potencia calorífica nominal igual o inferior a 70 kW, combinaciones de aparatos de calefacción de una potencia calorífica nominal igual o inferior a 70 kW, controles de temperatura y dispositivos solares, y combinaciones de calefactores de una potencia calorífica igual o inferior a 70 kW, controles de temperatura y dispositivos solares, así como para la divulgación de información complementaria sobre estos productos
Reglamento Delegado 812/2013, de 18 de febrero de 2013 por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al etiquetado energético de los calentadores de agua, los depósitos de agua caliente y los equipos combinados de calentador de agua y dispositivo solar	Este Reglamento establece los requisitos aplicables al etiquetado energético y al suministro de información complementaria sobre los calentadores de agua con una potencia calorífica nominal ≤ 70 kW, los depósitos de agua caliente con una capacidad ≤ 500 litros y los equipos combinados de calentador de agua de ≤ 70 kW y dispositivo solar
Reglamento Delegado 1254/2014, de 11 de julio de 2014, que complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo por lo que respecta al etiquetado energético de las unidades de ventilación residenciales	Este Reglamento establece los requisitos de etiquetado energético aplicables a las unidades de ventilación residenciales

Tabla 2-21. Reglamentos delegados de etiquetado para bombas de calor y ventilación residencial

A título de ejemplo, se incluye el cuadro 1 y el cuadro 2, del apartado 1 del anexo II del Reglamento Delegado 811/2013 relativo al etiquetado energético de aparatos de calefacción, calefactores combinados, equipos combinados de aparato de calefacción, control de temperatura y dispositivo solar y equipos combinados de calefactor combinado, control de temperatura y dispositivo solar, donde, entre otros, se indica la clasificación energética de las bombas de calor en calefacción para media (55 °C) y baja temperatura (35 °C), en condiciones climáticas medias (calefacción) (véase tabla 2-22).

Con posterioridad a lo indicado en el Reglamento de etiquetado, el paulatino vencimiento de las fechas límites en los reglamentos de ecodiseño ha hecho efectiva ya la prohibición de la comercialización de ciertos productos y obliga a que su rendimiento sea superior a unos mínimos. Por ejemplo, desde el 26 de septiembre del 2017, el rendimiento mínimo para bombas de calor combinadas (ACS y calefacción) debe ser mayor de 110% para bombas de calor de media temperatura y del 125% para bomba de calor para aplicaciones de baja temperatura (Reglamento Delegado 813/2013, Anexo II, apartado b).

Clases de energía energética estacional de calefacción de calefactores, excepto bombas de calor de baja temperatura y aparatos de calefacción con bomba de calor para aplicaciones de baja temperatura

Clase de eficiencia energética estacional de calefacción	Eficiencia energética estacional de calefacción η_s en %
A ⁺⁺⁺	$\eta_s \geq 150$
A ⁺⁺	$125 \leq \eta_s < 150$
A ⁺	$98 \leq \eta_s < 125$
A	$90 \leq \eta_s < 98$
B	$82 \leq \eta_s < 90$
C	$75 \leq \eta_s < 82$
D	$36 \leq \eta_s < 75$
E	$34 \leq \eta_s < 36$
F	$30 \leq \eta_s < 34$
G	$\eta_s < 30$

Clases de eficiencia energética estacional de calefacción de bombas de calor de baja temperatura y aparatos de calefacción con bomba de calor para aplicaciones de baja temperatura

Clase de eficiencia energética estacional de calefacción	Eficiencia energética estacional de calefacción η_s en %
A ⁺⁺⁺	$\eta_s \geq 175$
A ⁺⁺	$150 \leq \eta_s < 175$
A ⁺	$123 \leq \eta_s < 150$
A	$115 \leq \eta_s < 123$
B	$107 \leq \eta_s < 115$
C	$100 \leq \eta_s < 107$
D	$61 \leq \eta_s < 100$
E	$59 \leq \eta_s < 61$
F	$55 \leq \eta_s < 59$
G	$\eta_s < 55$

Tabla 2-22. Clasificación energética bombas de calor media y baja temperatura. Reglamento Delegado 811/2013

Para los productos de calentamiento de aire, desde el 2021, el rendimiento mínimo es del 137% para las bombas de calor aire-aire y del 125% para las bombas de calor de tejado (Reglamento 2016/2281, anexo II, apartado b).

No obstante, la tabla anterior debe mostrarse como ejemplo, puesto que, a la fecha de publicación de esta guía se está trabajando sobre un nuevo escalado, por lo que deberá siempre consultarse el reglamento delegado en vigor.

En la parte del capítulo 7, Anexos, se encuentran ejemplos de fichas técnicas, así como de etiquetas de etiquetado energético.

2.3.3. Comparación de las condiciones climáticas establecidas en los reglamentos de diseño ecológico frente a las condiciones reales del proyecto

2.3.3.1. Condiciones climáticas europeas

Las tres condiciones climáticas europeas, sobre las que se establecen los rendimientos de las bombas de calor, están definidas como «condiciones climáticas medias», «condiciones climáticas más frías» y «condiciones climáticas más cálidas», características de las ciudades de Estrasburgo, Helsinki y Atenas, respectivamente (véase gráfico 2-50).



Gráfico 2-50. Ciudades para el establecimiento de las condiciones climáticas más frías (Helsinki), medias (Estrasburgo) y más cálidas (Atenas)

2.3.3.2. En calefacción

El número de horas de funcionamiento previstas en cada una de las temperaturas exteriores consideradas para el cálculo del rendimiento estacional (η_s) y para cada clima, base para la clasificación energética, se encuentra recogido en el Reglamento Delegado 811/2013 en su anexo VII, para una temperatura exterior de inicio del periodo de calefacción de 15 °C.

Cuando se compara este número de horas de funcionamiento previsto con, por ejemplo, las frecuencias de repetición de tres ciudades representativas, indicadas en el documento *Frecuencias horarias de repetición en temperatura. Intervalo 24 h. Guías IDAE 007* (IDAE), se advierte que el número de horas acumuladas en cada punto horario no coincide exactamente con los climas medios y cálidos, al estar las horas de calefacción desplazadas hacia el lado de mayor temperatura exterior. Este despla-

zamiento tiene una gran influencia al permitir un rendimiento mayor de la bomba de calor de aire que el esperado en zona climática media o cálida, según corresponda (véase gráficos 2-51, 2-52 y 2-53).

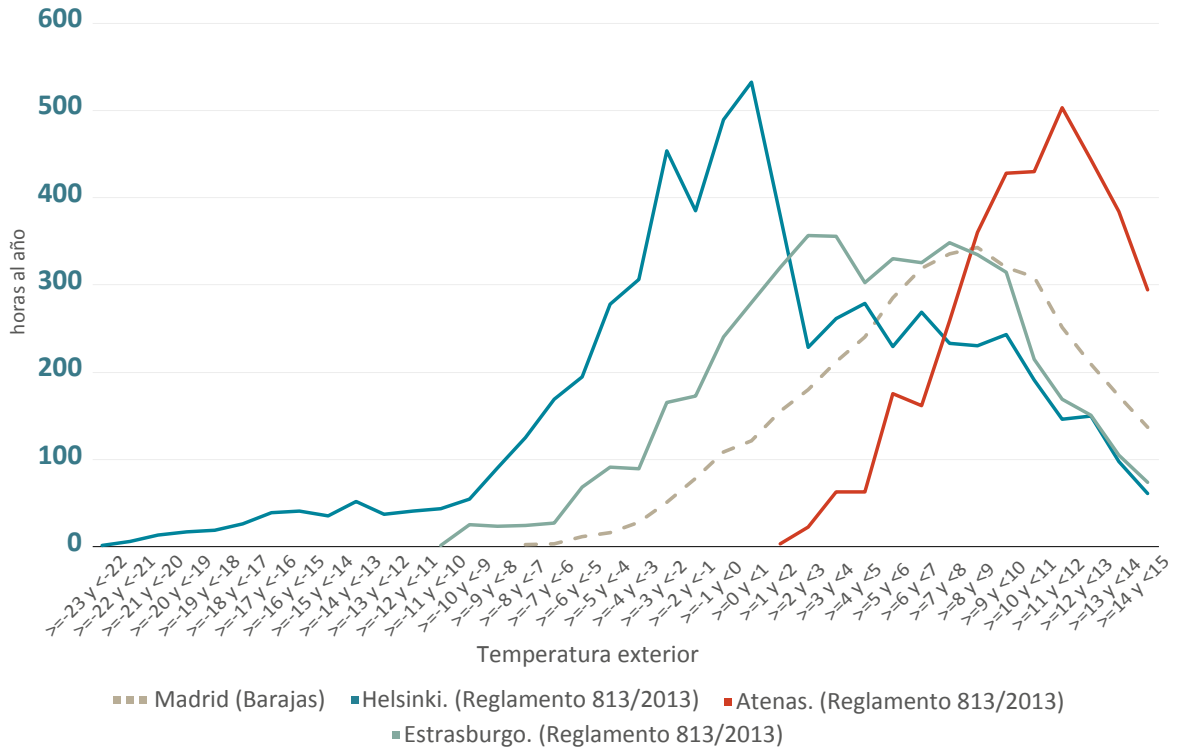


Gráfico 2-51. Comparación de frecuencias de repetición en calefacción: Madrid (Barajas) vs. condiciones climáticas frías, medias y cálidas en calefacción, indicadas en el Reglamento 811/2013

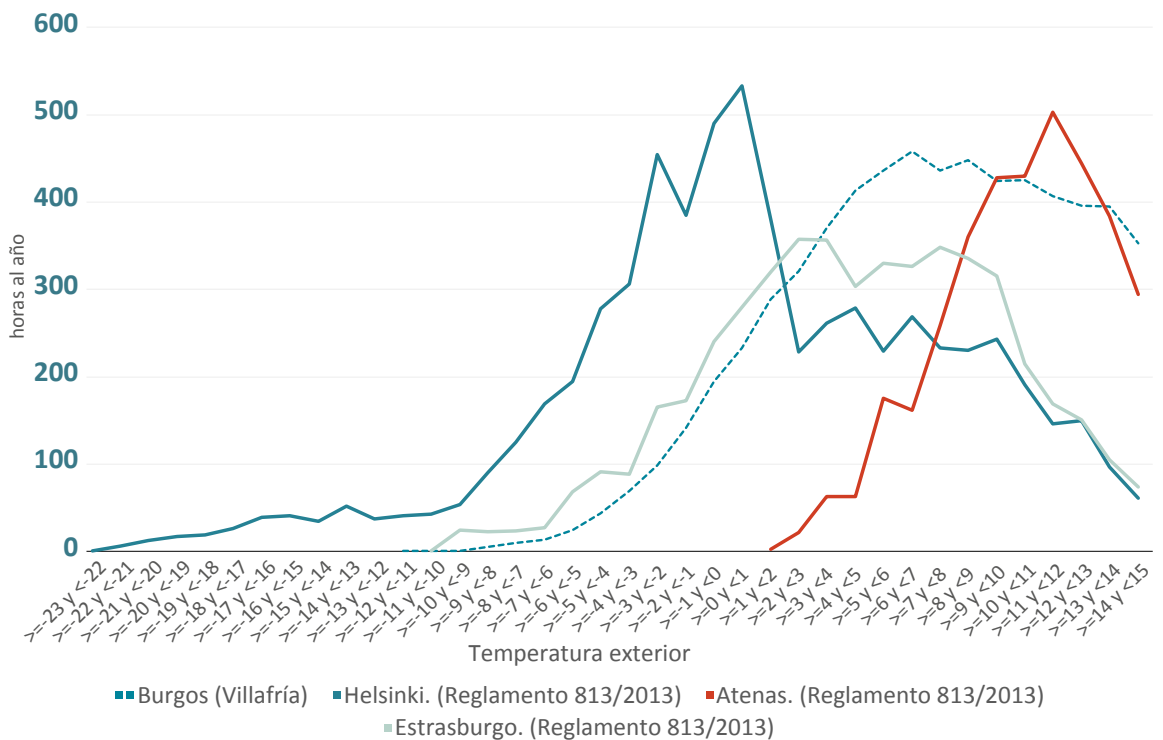


Gráfico 2-52. Comparación de frecuencias de repetición en calefacción: Burgos/Villafría vs. condiciones climáticas frías, medias y cálidas en calefacción, indicadas en el Reglamento 811/2013

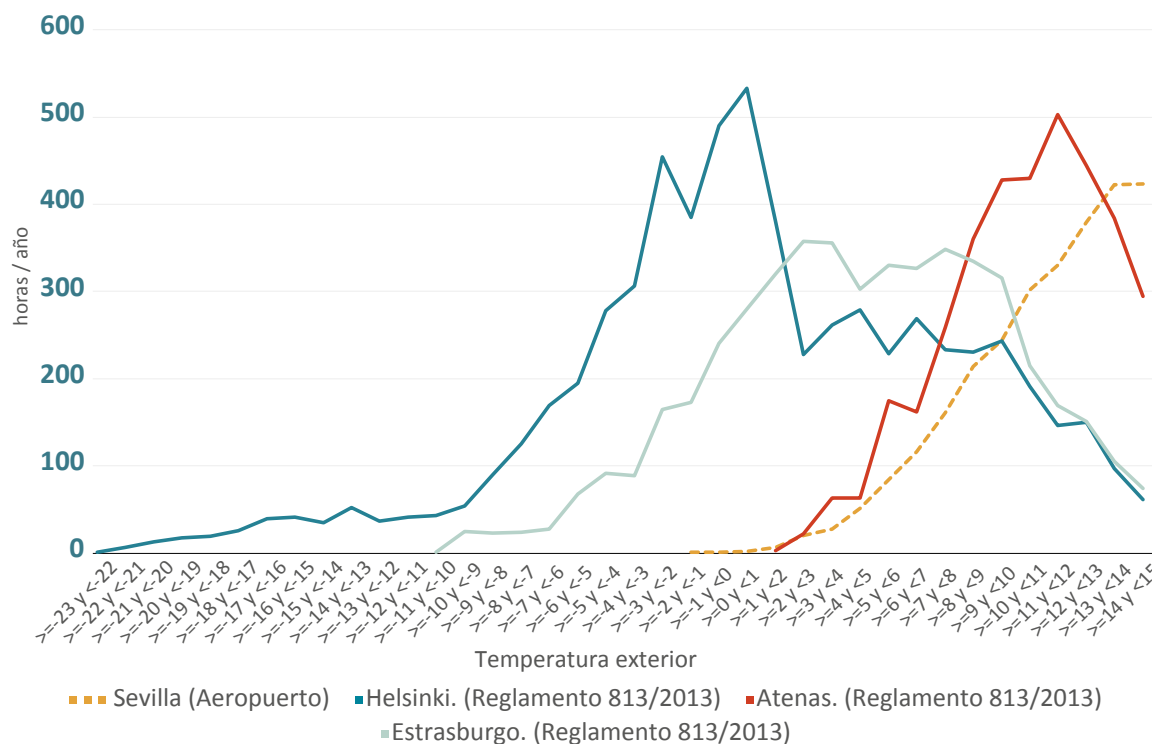


Gráfico 2-53. Comparación frecuencias de repetición en calefacción: Sevilla (aeropuerto) vs. condiciones climáticas frías, medias y cálidas en calefacción, indicadas en el Reglamento 811/2013

2.3.3.3. En ACS

Para el uso de la bomba de calor para la preparación de ACS, las temperaturas que se tienen en cuenta para establecer su rendimiento estacional en ACS, $SCOP_{DHW}$, se recogen, de manera completa, en el cuadro 6, del Anexo VII del Reglamento Delegado 812/2013, donde para la temperatura de aire exterior se considera las temperaturas diurnas medias anuales de las tres localidades que determinan las tres condiciones climáticas europeas, Estrasburgo, Helsinki y Atenas. El COP_{DHW} a la temperatura indicada en la tabla 2-23 se establece como $SCOP_{DHW}$, para el perfil de extracción considerado (véase gráficos 2-54, 2-55, 2-56 y 2-57).

Condiciones estándar para los calentadores de agua con bomba de calor, temperaturas expresadas en temperatura del aire de bulbo seco (la temperatura del aire de bulbo húmedo se indica entre paréntesis)							
Fuente de calor	Aire exterior			Aire interior	Aire de extracción	Salmuera	Agua
Condiciones climáticas	Condiciones climáticas medias	Condiciones climáticas más frías	Condiciones climáticas más cálidas	No procede	Todas las condiciones climáticas		
Temperatura	+ 7 °C (+ 6 °C)	+ 2 °C (+ 1 °C)	+ 14 °C (+ 13 °C)	+ 20 °C (máxima + 15 °C)	+ 20 °C (+ 12 °C)	0 °C (entrada) / - 3 °C (salida)	+ 10 °C (entrada) / + 7 °C (salida)

Tabla 2-23. Extracto del Reglamento Delegado 812/2013. Cuadro 6, del Anexo VII

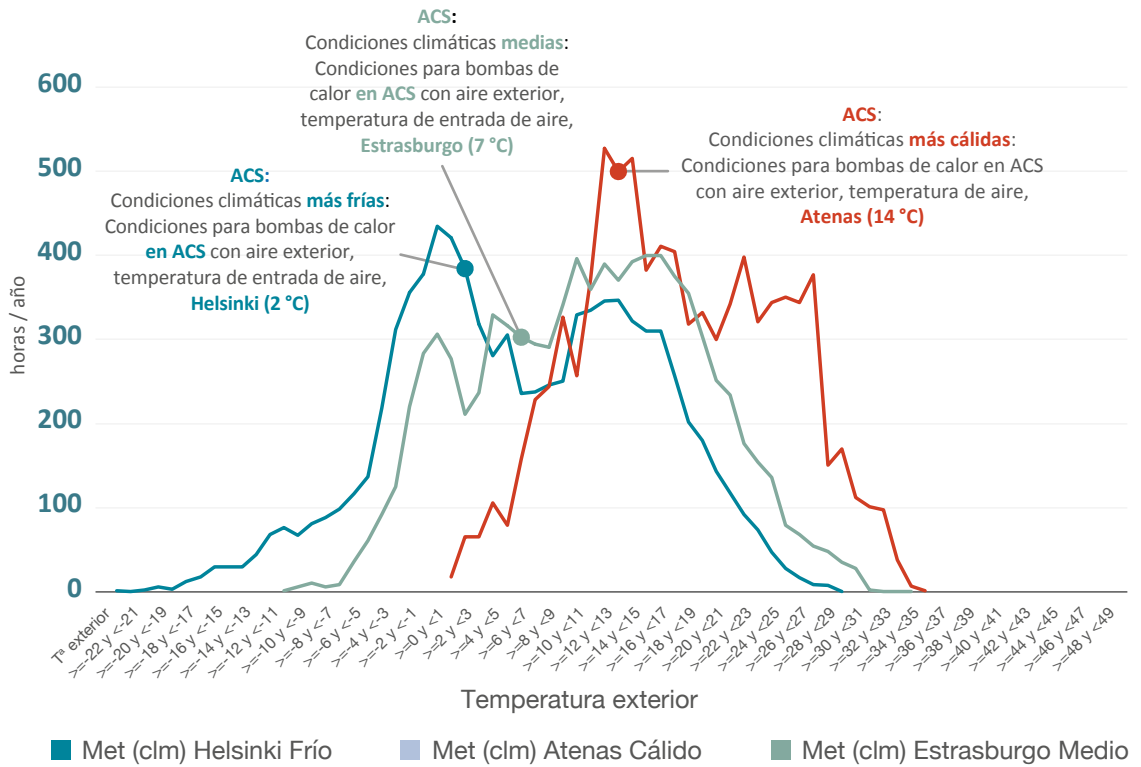


Gráfico 2-54. Temperaturas exteriores para establecer el rendimiento estacional de las bombas de calor en ACS, 2, 7 y 14°C, donde el COP_{DHW} a esa temperatura diaria media anual equivale al SCOP_{DHW} anual

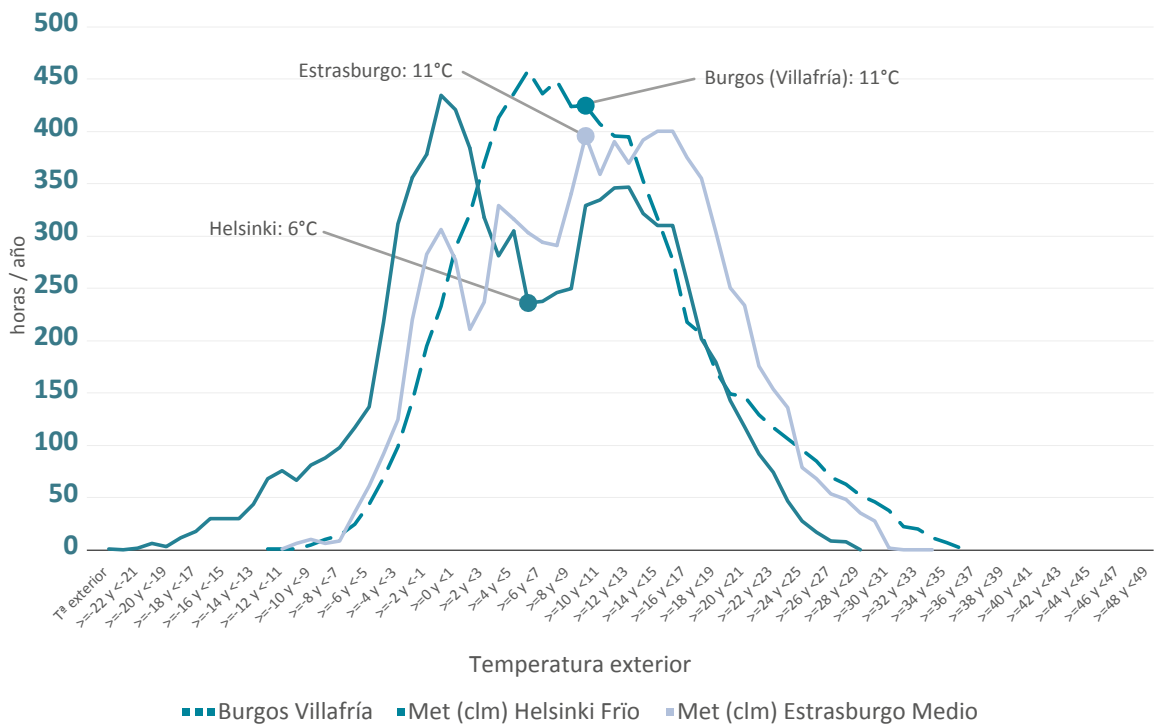


Gráfico 2-55. Comparación de temperaturas medias anuales (no diurnas), Burgos (Villafría) vs condiciones climáticas frías (Helsinki) y medias (Estrasburgo)

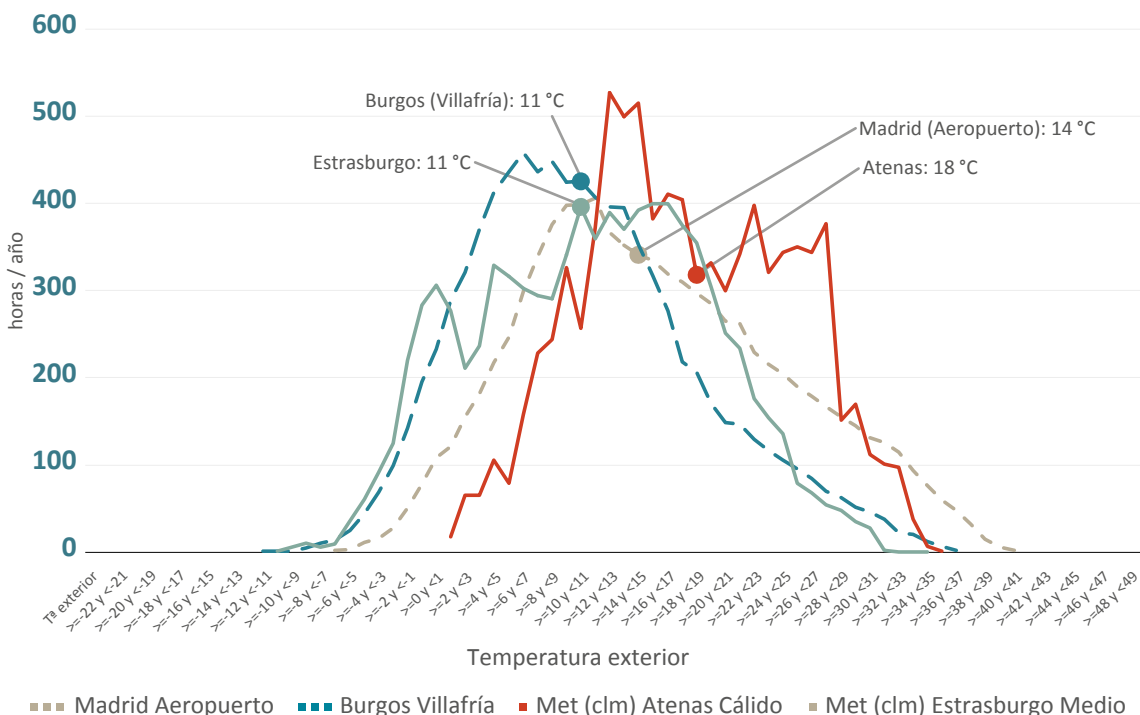


Gráfico 2-56. Comparación de temperaturas medias anuales (no diurnas), Burgos (Villafría), Madrid (aeropuerto) vs. Estrasburgo (condiciones climáticas medias) y Atenas (condiciones climáticas cálidas)

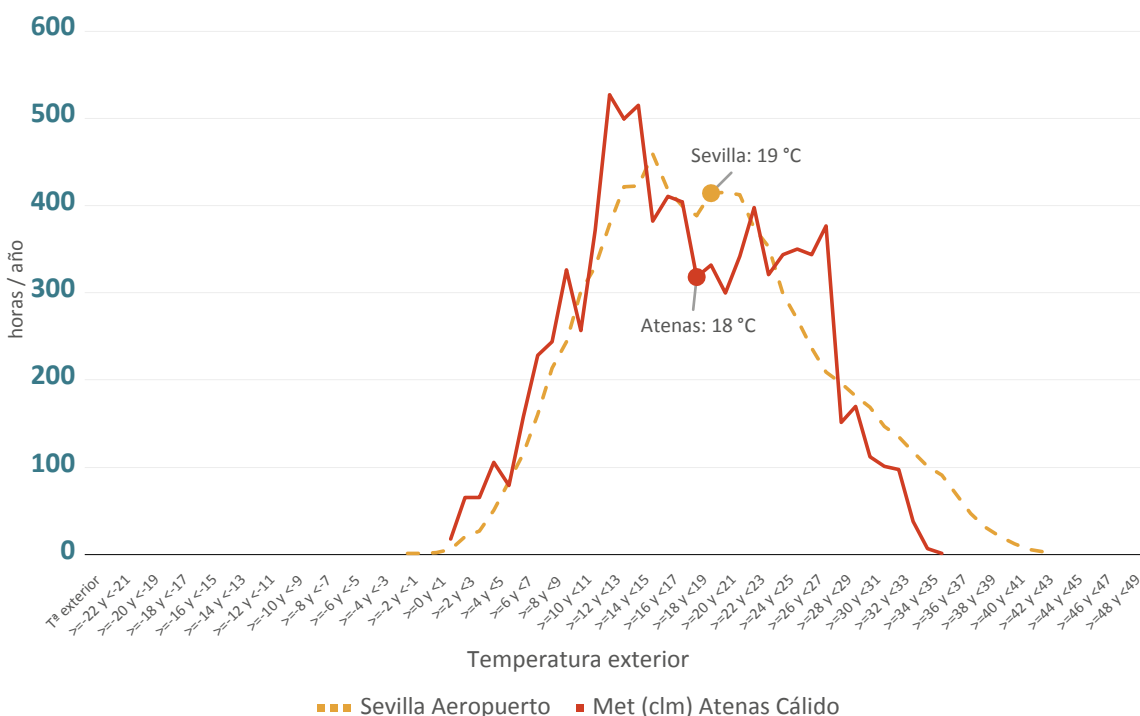


Gráfico 2-57. Comparación de temperaturas medias anuales (no diurnas), Sevilla vs. Atenas (condiciones climáticas cálidas)

2.4. Hibridación o combinación de Bomba de calor con otras energías

Otra de las grandes ventajas de la bomba de calor es su capacidad de adaptación, integración o combinación con otras energías renovables, lo que hace que aumente la eficiencia del sistema en su conjunto y disminuya todavía más su consumo energético, alcanzándose, en ocasiones, una producción totalmente renovable para nuestras demandas de confort.

Son instalaciones que precisan una correcta planificación y diseño, tanto en su parte hidráulica como en su parte de regulación y control, para lograr los objetivos de aprovechamiento eficiente de la energía renovable disponible.

2.4.1. Combinación con energía solar fotovoltaica

Los sistemas basados en bomba de calor requieren electricidad para el funcionamiento de todos sus componentes, desde bombas, válvulas, compresores, ventiladores, etc., hasta los sistemas de regulación y control. Esta electricidad puede provenir de la red o, como se tratará en este apartado, de una instalación fotovoltaica para autoconsumo interconectada a ella.

La bomba de calor es combinable con cualquier fuente renovable destinada al autoconsumo eléctrico.

En aquellos casos en los que las características de la instalación o el edificio lo permitan se pueden instalar módulos fotovoltaicos para captar la energía del sol y convertirla en electricidad, siendo esta energía renovable, limpia y gratuita. De esta manera será posible disminuir el consumo de la red eléctrica para todos los usos del edificio o vivienda, incluida la bomba de calor.

Desde el punto de vista de acumulación de energía, las bombas de calor multitarea (calefacción, refrigeración y ACS) o las dedicadas en exclusiva para ACS son una excelente opción para aprovechar los excedentes de energía solar fotovoltaica que pudieran producirse a lo largo del día. Cuando este sea el caso, las bombas de calor almacenarán la energía eléctrica producida en forma de energía térmica en depósitos de ACS (elevando su temperatura), depósitos de inercia (incrementando o disminuyendo su temperatura), o en los espacios de la vivienda aprovechando la inercia de los suelos radiantes (modificando la temperatura de impulsión en calefacción o refrigeración) o en otros elementos, como piscinas, en función de la energía disponible y de las necesidades del usuario.

En este sentido, existen ya en el mercado bombas de calor, tanto aerotérmicas como geotérmicas, que incorporan en sus equipos un sistema de regulación que se integra con el sistema de gestión de la instalación fotovoltaica instalada. Mediante estos avances tecnológicos, el sistema de control de la bomba de calor es capaz de detectar el potencial de generación de energía fotovoltaica excedentaria y modificar consecuentemente su operación, por ejemplo, modificando las prioridades de abastecimiento de aplicaciones, modificando temperaturas de consigna elevándolas circunstancialmente para evitar el desperdicio de dicha energía, etc.

El mecanismo por el que el gestor de demanda de la instalación fotovoltaica informa a la bomba de calor que es el momento de acumular energía puede ser a través de una señal física (un contacto libre de tensión o una señal con voltaje) o una señal vía bus.

En el gráfico 2-58 se muestra un ejemplo, donde el inversor envía una señal para que se active el modo FV (fotovoltaico) en la bomba de calor, así como en otras posibles funciones asociadas a este modo según se describe más adelante, cuando se detecte un excedente de energía en la producción fotovoltaica.

Cada fabricante, no obstante, ofrece un protocolo de conexión diferente, aunque estandarizado (contactos libres de tensión, Smartgrid, EEBus, etc.) (véase gráfico 2-58).

Ejemplo PV Conexión:

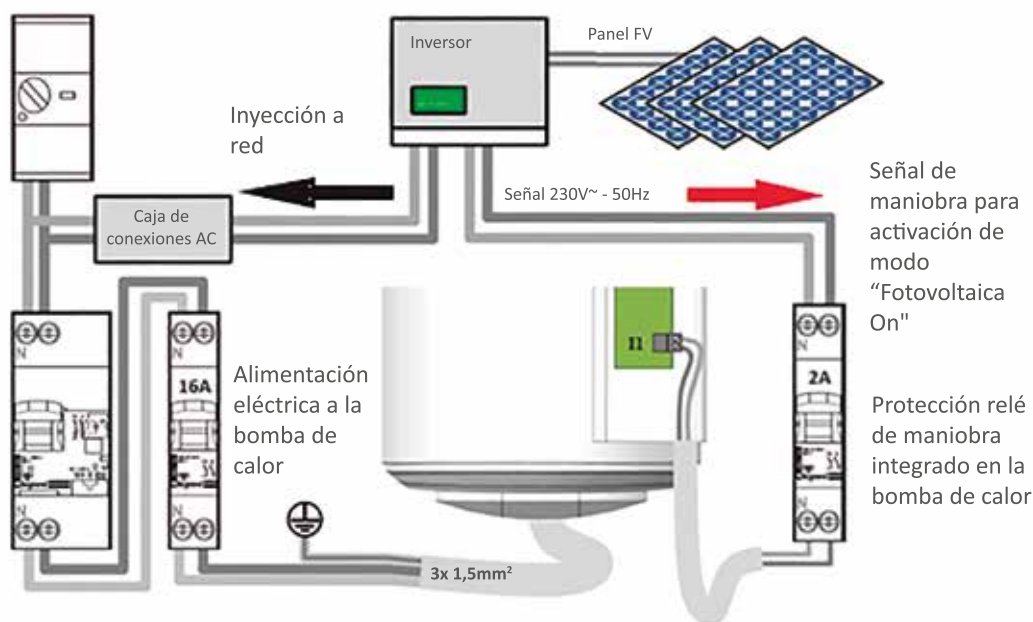


Gráfico 2-58. Ejemplo de conexión de señal de activación de modo Fotovoltaico

Es muy importante dimensionar correctamente nuestra instalación fotovoltaica para conseguir el máximo aprovechamiento de la energía generada para el autoconsumo instantáneo, es decir, sin almacenar en baterías o verter a la red. No obstante, pueden existir momentos en que la instalación fotovoltaica produzca excedentes de energía que no se consume por el edificio y dado que la curva de consumo puede no coincidir con la curva de radiación solar diaria, una cuestión fundamental en estas instalaciones es gestionar el uso de los excedentes: almacenar en baterías; inyectar a red utilizando algunas de las fórmulas de autoconsumo que nos marca el RD 244/2019, de 5 de abril, *por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica*; o aprovechar ese excedente almacenando térmicamente como se ha mencionado anteriormente.

En el gráfico 2-59 se muestra una imagen orientativa de la producción fotovoltaica, combinada con la curva de consumo eléctrico a lo largo del día de verano, de una instalación realizada en una vivienda unifamiliar situada en una zona cálida y con una orientación sur-este que provoca una elevada carga de refrigeración a medio día en el salón y en los dormitorios, que se enfrían por la tarde-noche.

Cada vivienda tiene su pico de consumo y curva de aprovechamiento posible, que puede aplanarse mediante el uso de baterías de almacenamiento (véase gráfico 2-59).

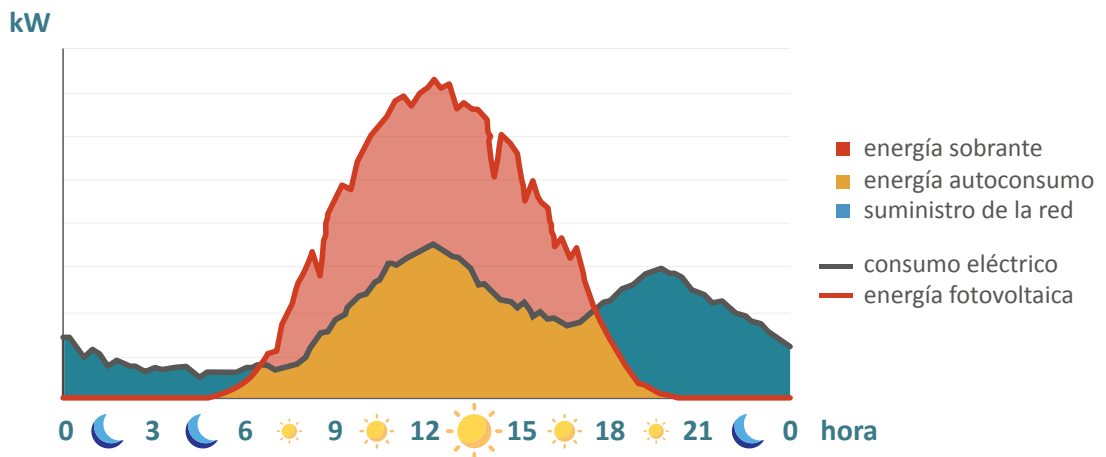


Gráfico 2-59. Gráfico orientativo de la producción fotovoltaica a lo largo de un día

Las horas centrales del día son las de más radiación solar y en las que mayor energía se produce, pero generalmente en estos períodos no llega a consumirse toda la energía eléctrica producida. Las bombas de calor multitarea (clima y ACS) y las dedicadas en exclusiva para ACS son una buena solución para aprovechar los excedentes de energía solar fotovoltaica producidos durante los períodos de mayor radiación. En este caso, más allá del aprovechamiento de la energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico para el funcionamiento del compresor, las bombas de calor de ACS pueden trabajar como una «batería» térmica para almacenar el resto del excedente de energía en forma de calor. La lógica de funcionamiento sería la indicada en el gráfico 2-60.

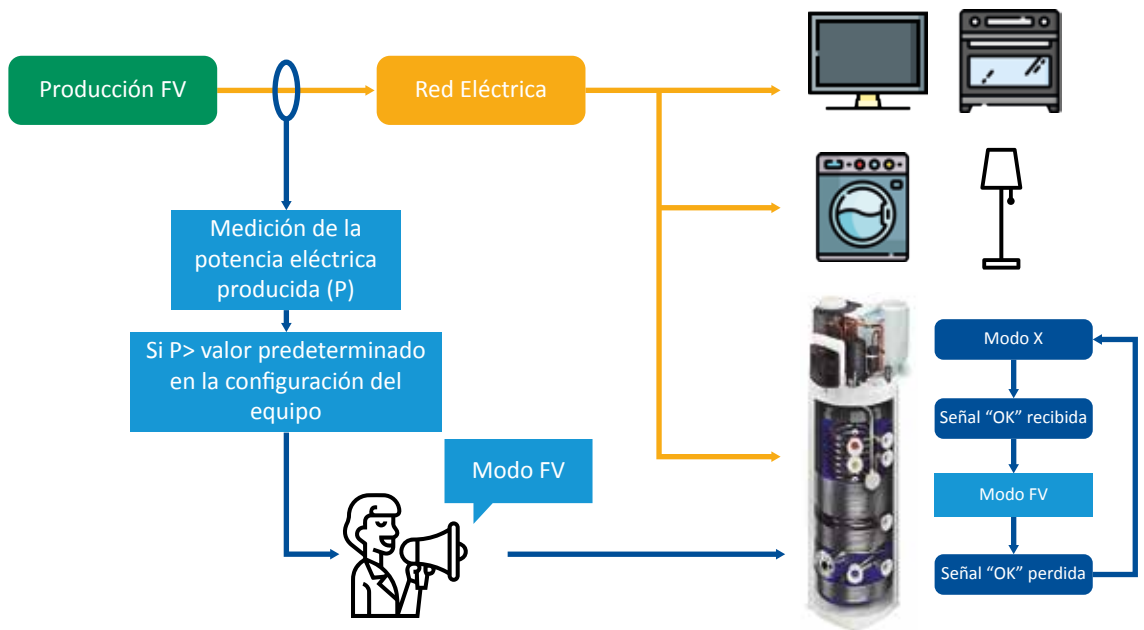


Gráfico 2-60. Detalle del proceso que determina la activación del modo FV en una bomba de calor compacta de ACS

La interacción entre la instalación fotovoltaica y la bomba de calor puede ser sencilla o muy compleja, por lo que en cada caso debe analizarse su idoneidad técnica, económica y de manejo por el usuario.

En instalaciones domésticas y en la práctica, el aprovechamiento de excedente para ACS puede ser tan sencillo como con una adecuada programación horaria, un contacto libre de tensión, etc.

Conviene insistir en que es necesario un dimensionamiento generoso, pero no excesivo, del acumulador de ACS, así como el uso de inercias térmicas.

Recomendaciones generales en la fase de diseño a tener en cuenta son:

- Evitar el sobredimensionamiento de la instalación fotovoltaica. Analizar los datos de consumo real, picos, tejado, orientación, inclinación, consumos futuros, etc.
- Evitar el sobredimensionamiento de la bomba de calor, que no solo encarece la instalación, sino que provoca sobredimensionamientos en la instalación eléctrica y potencia contratada.
- Evitar sistemas de control excesivamente complejos, por encima de lo necesario y de lo que los usuarios pueden manejar, lo que puede aumentar el coste y hacer difícil la amortización económica en el tiempo de vida útil de la instalación fotovoltaica.
- Mantener el balance económico (coste de la instalación vs. energía auto consumida), ajustando la producción al consumo, lo máximo posible.

La producción y el consumo deben, en la medida de lo posible, coincidir en el tiempo. En el caso de la producción de frío (refrigeración) esto suele ocurrir por lo general de manera natural.

En el caso de producción de ACS:

- Si la bomba de calor tiene la posibilidad de modificar la temperatura de acumulación ante la señal de disponibilidad de excedentes y dispone de volumen de agua suficiente en el depósito, se pueden definir dos niveles de temperatura en el depósito: uno alto para los momentos de aporte FV y otro, lo más bajo posible, para los de mantenimiento. Ese exceso de temperatura sobre la consigna permite almacenar una mayor cantidad de energía, porque aumenta el salto térmico para un mismo volumen de agua y, a su vez, requerirá del uso de una válvula termostática a la salida del depósito para evitar quemaduras a los usuarios y a la instalación.
- Un dimensionamiento generoso de los depósitos, con un elevado nivel de estratificación, es fundamental para asegurar y aprovechar el servicio de ACS, con el menor consumo y las menores pérdidas.

En cuanto a la producción de calor (calefacción).

- Es un caso algo más complejo, debido a que, por lo general, los ciclos de demanda y producción no siempre coinciden.
- En el caso de las bombas de calor multitarea, cuando la bomba de calor está trabajando en ACS, no cubre otras demandas (salvo configuraciones en cascada con varias bombas de calor, etc.).

- Una opción para no encarecer el precio de la instalación FV mediante la instalación de baterías para aprovechar los excedentes es la acumulación térmica, tanto en agua, mediante un depósito de inercia que además beneficiará el funcionamiento de la máquina, como en el propio ambiente interior de la vivienda. También se están desarrollando nuevas tecnologías de acumulación más eficientes, como los materiales de cambio de fase.
 - Para esto, cuando se detecta este excedente se programa una elevación ligera de la temperatura de la vivienda durante las horas centrales, sin exceder los valores de confort.
 - Esta elevación ligera y controlada permite que la vivienda aproveche esa inercia térmica y se mantengan las condiciones de temperatura y confort hasta la noche.
 - Para que ello sea posible es imprescindible contar con un buen nivel de aislamiento de la vivienda, que reduzca las pérdidas energéticas y permita mantener la temperatura ambiente el mayor tiempo posible dentro de los límites de confort en las horas donde no existe producción FV.

En la medida de lo posible, cuando el gestor de la demanda sea el propio usuario sería deseable evitar concentrar varios consumos simultáneos de la vivienda si la suma de su energía consumida supera la producción fotovoltaica (por ejemplo, evitar poner lavadora, lavavajillas y horno a la vez).

En el caso de pequeñas instalaciones, como puede ocurrir en los sectores residencial o servicios, la mejor opción para la combinación de bomba de calor con fotovoltaica suele ser realizar un diseño que se ajuste la producción al consumo.

Cuanto más ajustado y más pequeño sea el excedente, más rentable resultará la instalación fotovoltaica para el usuario y menor su periodo de amortización.

2.4.2. Hibridación con energía solar térmica

La demanda de ACS está destinada a ser la principal demanda térmica de los edificios debido a la entrada en vigor de la nueva legislación europea y a la construcción de los edificios de consumo nulo de energía. Dicha demanda, junto con la de calefacción y refrigeración, tendrá que ser satisfecha enteramente mediante energías renovables. Por ello, es imprescindible explorar todas las alternativas de hibridación posibles con el resto de tecnologías renovables existentes para lograr este objetivo.

La energía solar térmica es una tecnología renovable, que, por sus propias características, puede ser hibridada con cualquier otra tecnología que permita asegurar alcanzar la temperatura de confort cuando sea preciso. Hasta la fecha, las tecnologías mayormente utilizadas han sido calderas de gas o de gasoil o termos eléctricos. La hibridación de energía solar térmica con bomba de calor, principalmente en instalaciones para producción de ACS pero también para producción de calefacción, permite que prácticamente el 100% de la energía sea renovable.

La posibilidad de hibridación en edificios de nueva construcción es sencilla y evidente, sin embargo, también resulta muy interesante su utilización en rehabilitación de edificios existentes.

El aprovechamiento de energía solar térmica se puede hacer de la misma forma que se efectúa con otras instalaciones de generación, sean estas renovables o no. Es decir, calentando un depósito solar conectado en serie con el depósito de producción de ACS de la bomba de calor o bien integrando en el mismo depósito ambas producciones.

La utilización de acumuladores donde se combinan ambas producciones es habitual en bombas de calor aerotérmicas y geotérmicas para ACS empleadas en el sector residencial, donde se emplean volúmenes de acumulación de entre 100 y 300 litros generalmente por vivienda; y también en bombas de calor multitarea para los sectores residencial o terciario, que trabajan con acumuladores de ACS externos con más de un serpentín en su interior.

En rehabilitación de edificios, la bomba de calor puede integrarse con instalaciones solares ya existentes, independientemente del generador auxiliar instalado (caldera, termo, etc.), bien suministrando la energía generada al acumulador convencional existente, bien mediante un nuevo interacumulador con doble serpentín (específicamente diseñado para su utilización con bomba de calor y energía solar térmica) bien sustituyendo el acumulador convencional por otro nuevo abastecido únicamente por la bomba de calor. Esta integración debe hacerse teniendo en cuenta la IT 1.2.3 Documentación justificativa, que en su apartado f) indica que debe realizarse una «justificación del cumplimiento de la exigencia de utilización de energías renovables y aprovechamiento de energías residuales de la IT 1.2.4.6., incluyendo, en su caso, justificación de que la incorporación del sistema de generación auxiliar convencional a los depósitos de acumulación de la instalación renovable no supone una disminución del aprovechamiento de los recursos renovables».

La *Guía Técnica de la Energía Solar Térmica* (IDAE), en su apartado 6.2.4, «Energía auxiliar incorporada en el acumulador solar», describe las condiciones que deben cumplir los depósitos que combinan la producción solar con la de otro tipo de energía.

En acumuladores, tanto abastecidos por energía solar térmica como por bomba de calor de forma separada o combinada, es importante disponer de la mayor estratificación posible, ya que esto permitirá que tanto la instalación de energía solar térmica como la bomba de calor puedan trabajar al mayor rendimiento posible. El sistema de control debe de priorizar el calentamiento del agua mediante energía solar térmica, pero a su vez debe de garantizar que se disponga de las adecuadas temperaturas de uso y confort del agua caliente sanitaria. Para ello, puede ser necesario establecer una pauta de funcionamiento a medida en función del perfil de uso diario habitual de ACS, de manera que se optimice el aprovechamiento solar cuando esta energía esté disponible, disminuyendo el uso de la bomba de calor y, por tanto, su consumo eléctrico, reduciéndolo únicamente a los momentos en los que sea necesaria su utilización.

En el gráfico 2-61 se presenta un esquema hidráulico con la conexión de una instalación de energía solar térmica a una bomba de calor para ACS, donde el serpentín solar se encuentra en la parte más fría del depósito, que es donde se obtiene el mayor rendimiento del colector solar.

La utilización de energía solar térmica para apoyo en la producción de ACS no exime de que la instalación que incorpora bomba de calor pueda utilizarse para calefacción y/o refrigeración.

Las posibilidades de utilización de la energía solar térmica no se limitan al calentamiento del depósito de ACS, existen otras formas de utilización que extienden su uso y que resulta interesante mencionar, aunque sea de forma cualitativa.

También es posible emplear una gran acumulación de inercia que puede ser calentada con energía solar y que, a su vez, serviría de fuente de energía para la bomba de calor en combinación con el aire ambiente o el terreno.

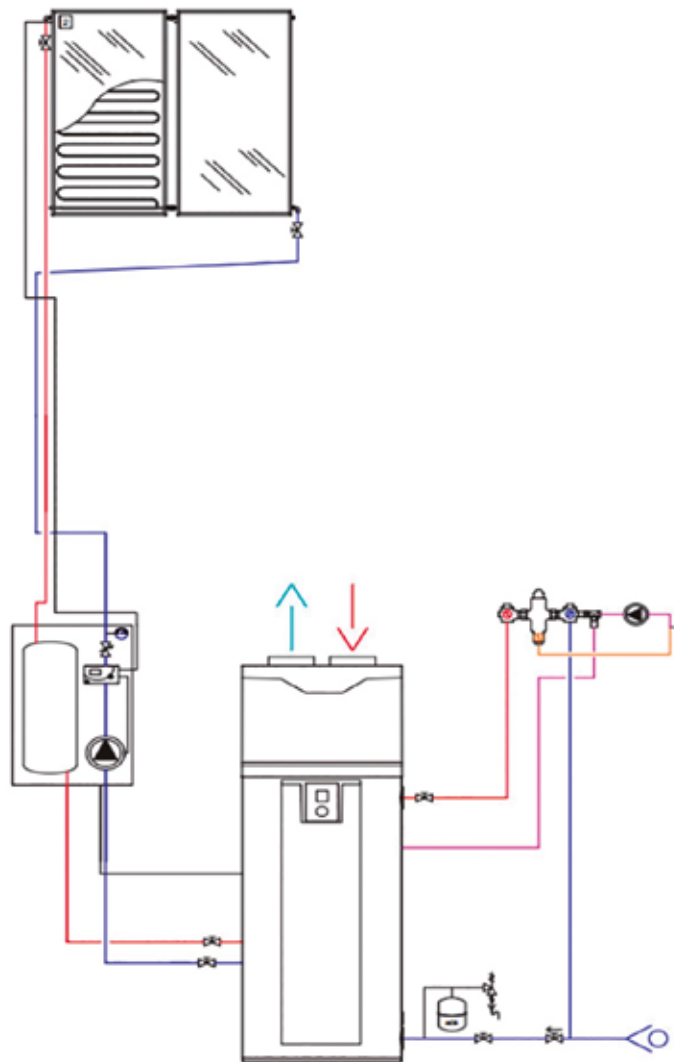
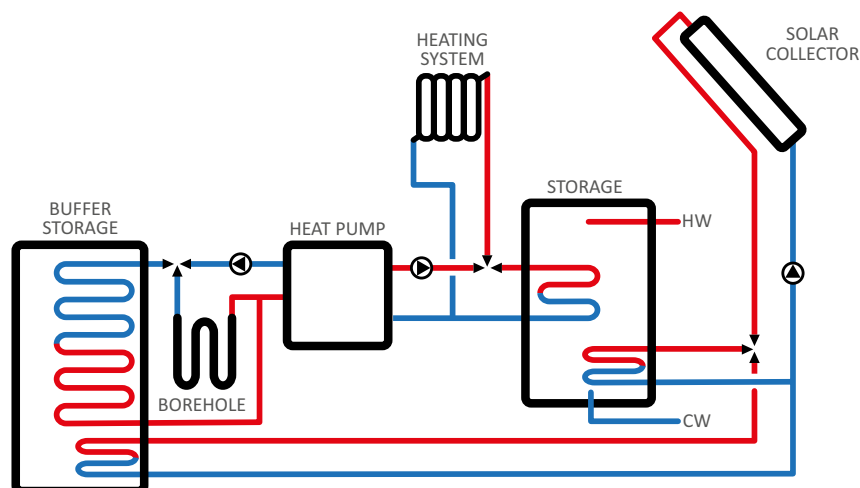


Gráfico 2-61. Instalación hidráulica bomba de calor y bomba de calor solo ACS

Las posibilidades de hibridación de energía solar térmica con bomba de calor descritas no son exhaustivas. Existen otras posibilidades de utilización de energía solar que no se han mencionado pero que puede ser interesante desarrollar en un futuro y que incluirían nuevas formas de conexión o la utilización de captadores solares de aire, concentración, etc.

En el caso de instalaciones de mayor tamaño, las posibilidades aumentan todavía más al poder tener en consideración, por ejemplo, sistemas de almacenamiento estacional.



2.4.3. Captadores solares híbridos

Los captadores solares híbridos, que producen simultáneamente electricidad y calor combinando las tecnologías fotovoltaica y térmica en un mismo panel, tienen como ventaja la reducción del espacio ocupado al conseguir la transformación de la radiación solar incidente en una misma superficie. El rendimiento eléctrico suele estar en torno al 10-15% y el rendimiento térmico del 40-50%.

Siempre que la instalación, las demandas y consumos a abastecer lo permitan, es posible utilizar captadores solares híbridos en combinación con un sistema de bomba de calor, pues estas dos tecnologías no son excluyentes y pueden aprovecharse conjuntamente.

En general, la cantidad de energía solar aprovechada por m^2 instalado de panel solar térmico es mayor que la energía que capta un panel fotovoltaico para la misma superficie, en torno de 2, 5 a 3 veces mayor. Como orientación, si el panel solar térmico puede llegar a aprovechar sobre el 50% de la radiación solar que recibe, los paneles fotovoltaicos aprovechan hasta un 20% para la misma superficie instalada.

Sin embargo, el efecto multiplicador de la bomba de calor compensa esta menor captación, dado que, por cada kW fotovoltaico, la bomba de calor convierte cada kW eléctrico fotovoltaico en aproximadamente 3-4 kW térmicos de media.

2.4.4. Otras posibilidades de hibridación

Además de las que se señalan anteriormente, existen posibilidades de hibridación de la bomba de calor con otras tecnologías renovables o con tecnologías convencionales existentes.

2.4.4.1. Biomasa

Una de ellas es integrar una caldera de biomasa conjuntamente con la bomba de calor en el circuito hidráulico y al sistema de control. Mediante acumulación de agua suficiente para la caldera de biomasa, el sistema de regulación y control define el funcionamiento alternativo de dicha caldera y el accionamiento eléctrico de la bomba de calor, dependiendo de las necesidades térmicas de cada momento y de la mejor eficiencia energética.

2.4.4.2. Sistemas de calefacción existentes con apoyo de sistema auxiliar

La integración de la bomba de calor con el sistema de calefacción existente, puede contribuir también a la descarbonización y al ahorro inmediato en la producción de calefacción del edificio.

Si se tiene en cuenta que, en calefacción, el 100% de la potencia prevista solo es necesaria durante un limitado número de horas al año y que con el 50% de potencia en calefacción se cubre, de media, el 80% de las horas de funcionamiento, puede entenderse que la integración de bombas de calor combinadas con un sistema auxiliar instalado previamente ofrece algunas ventajas importantes, como, por ejemplo:

- Ahorros de emisiones de CO₂, de energía primaria y de energía no renovable.
- Ahorros económicos, mayores o menores en función del combustible de origen.
- Reducción de emisiones de NO_x.
- Sencilla y fácil implementación.
 - No precisa el cambio de emisores.
 - No precisa el cambio de columnas de distribución de agua.
- El control engloba fácilmente ambos generadores.
 - Ajuste dentro de la curva de calefacción.
 - Ajuste de horario para el mejor aprovechamiento de la bomba de calor.

El dimensionamiento de la bomba de calor estará en función de la estrategia de funcionamiento elegida, estrategia que se encuentra entre las opciones siguientes:

Sistema monovalente: la potencia térmica necesaria se proporciona únicamente mediante bomba de calor (véase gráfico 2-62).

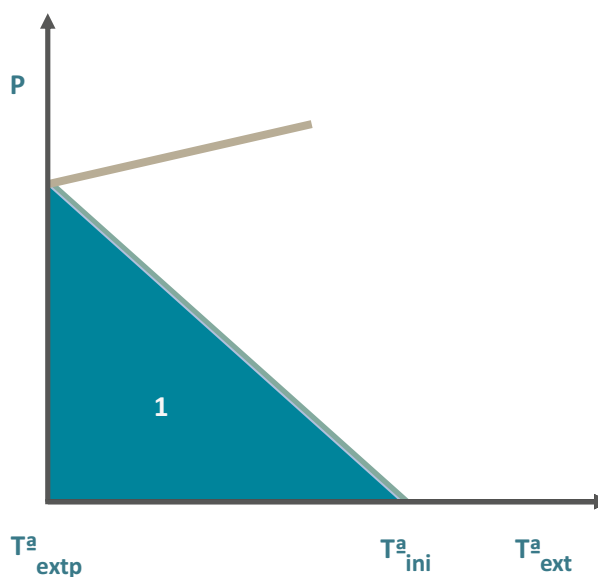


Gráfico 2-62. Sistema monovalente

Sistema bivalente: La potencia térmica necesaria se proporciona mediante el uso de dos generadores que usan fuentes de energía diferentes. En este modo de funcionamiento, en función de la disposición hidráulica instalada y del sistema de control y regulación empleado, las opciones de funcionamiento son las siguientes:

- Bivalente paralelo: ambos generadores, bomba(s) de calor y el generador auxiliar, trabajan simultáneamente cuando el sistema de control lo requiere. Cuando el sistema auxiliar es una resistencia eléctrica se suele conocer como sistema bivalente monoenergético (véase gráfico 2-63).

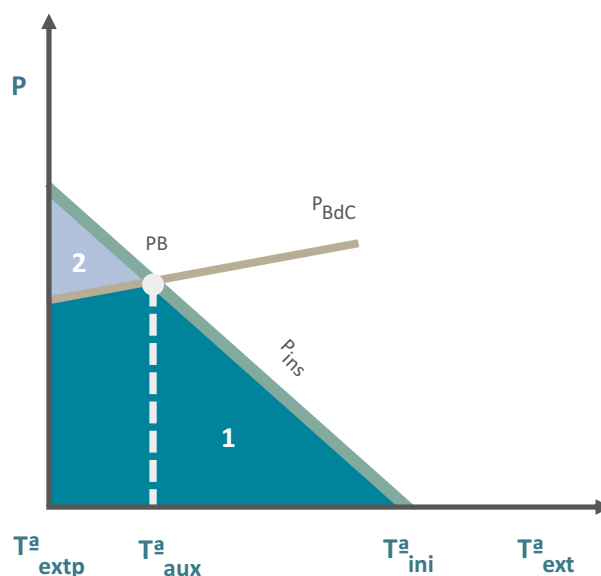
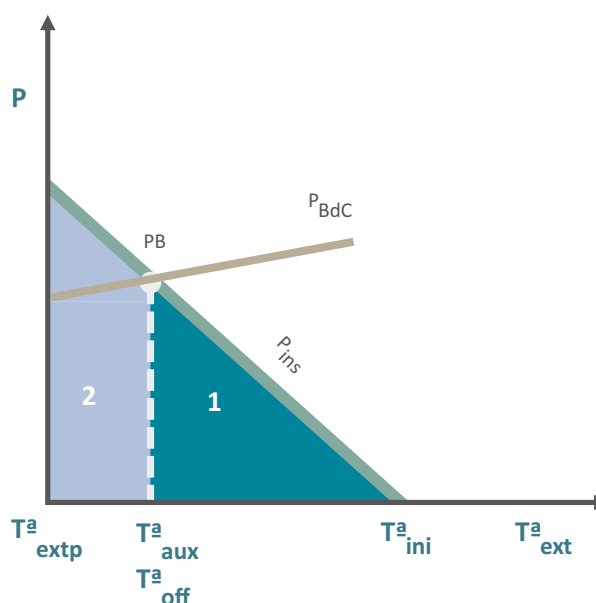


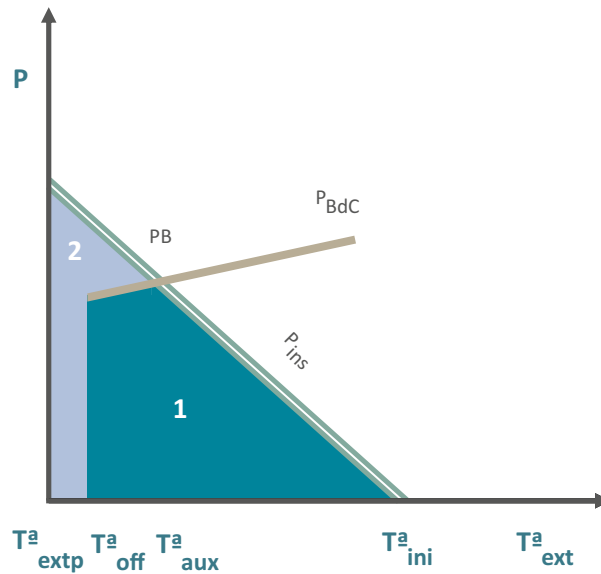
Gráfico 2-63. Sistema bivalente paralelo

- Bivalente alternativo: la bomba(s) de calor funciona hasta una temperatura exterior concreta por debajo de la cual trabajar el generador auxiliar.



Sistema bivalente alternativo

- Bivalente paralelo y alternativo: una combinación de los dos anteriores.



Sistema bivalente paralelo y alternativo

Donde:

- P : Potencia térmica.
- P_{BdC} : Potencia bomba de calor.
- P_{ins} : Potencia térmica necesaria en la instalación en cada punto de temperatura exterior.
- T_{extp} : Temperatura exterior de proyecto.
- T_{ini} : Temperatura exterior para el inicio de la calefacción.
- T_{ext}^a : Temperatura exterior.
- T_{off} : Temperatura exterior a la que se produce la desconexión de la bomba de calor.
- T_{aux} : Temperatura exterior para la conexión del sistema auxiliar (en caso necesario).
- 1: Demanda de calefacción cubierta mediante bomba de calor.
- 2: Demanda de calefacción cubierta mediante sistema auxiliar.
- PB: Punto de bivalencia.

El punto de bivalencia, también denominado «temperatura de bivalencia», es un término que corresponde a la temperatura exterior, por debajo de la cual, la potencia aportada por la bomba o bombas de calor es insuficiente y es necesario el apoyo de un sistema auxiliar para alcanzar la potencia térmica demanda.

Para determinar este punto de bivalencia se deben seguir los siguientes pasos:

1. Determinar la potencia térmica necesaria en condiciones de proyecto.
2. Establecer la temperatura exterior de inicio de la calefacción, en función de la temperatura interior deseada.
3. Trazar una recta con la potencia térmica a aportar.
4. Hallar el punto de intersección (punto de bivalencia) con la curva de potencia de la bomba de calor a la temperatura de impulsión necesaria.

Este método se considera válido, siempre que las instalaciones no presenten patologías o deficiencias (ausencia de recirculación de aire y emplazamiento correcto en la unidad exterior, etc.).

A modo de ejemplo, para unas temperaturas interiores de 21 °C y 23 °C, obtendremos los siguientes datos (véase gráfico 2-64).

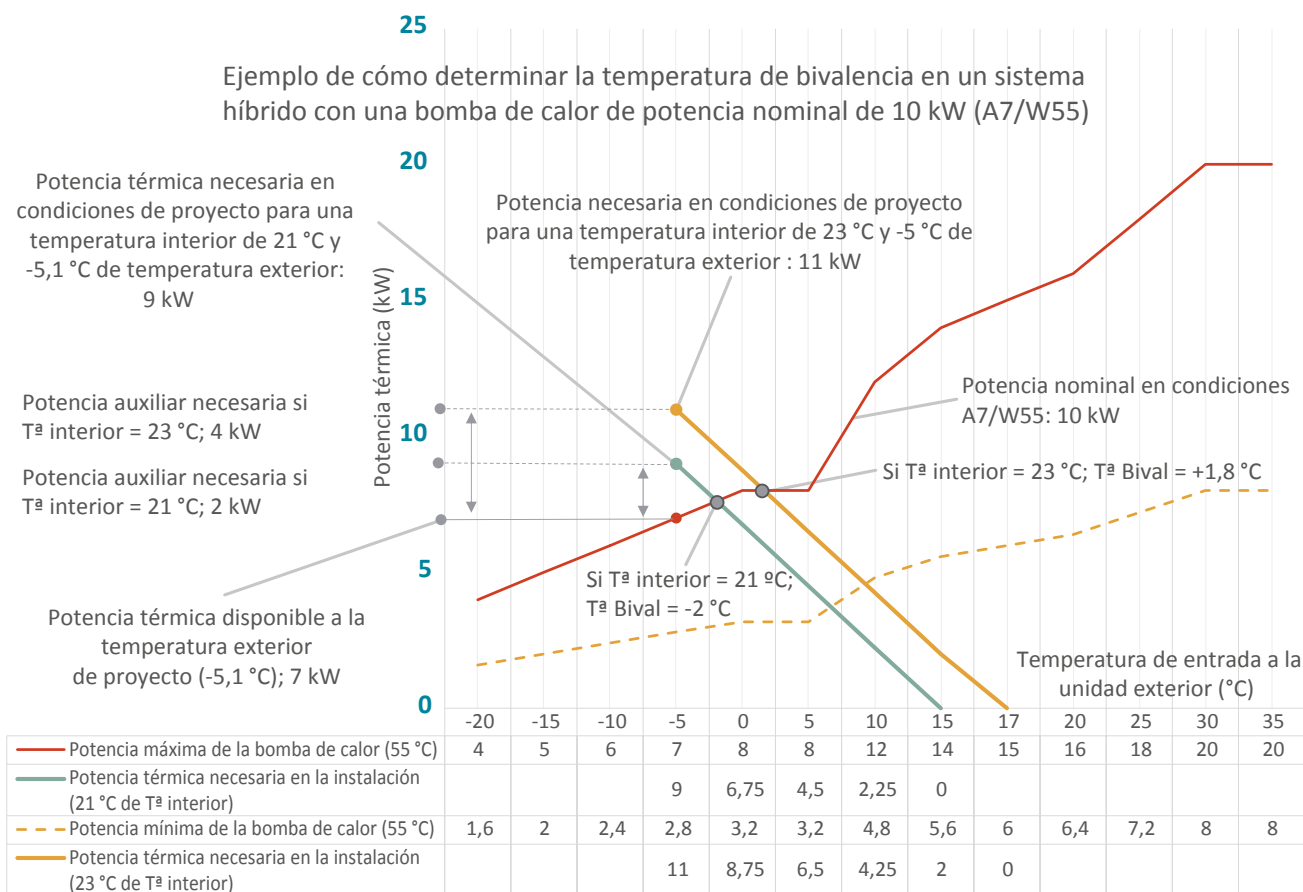


Gráfico 2-64. Ejemplo de cálculo de temperatura de bivalencia en función de la temperatura interior deseada

1. Potencia necesaria en condiciones de proyecto = 9 kW y 11 kW respectivamente.
2. Temperatura exterior de inicio de la calefacción = 15 °C.

3. Recta trazada a partir de estos dos puntos.
4. El punto de bivalencia de la bomba de calor (curva para 55 °C) se encuentra a una temperatura exterior de -2 °C para una temperatura interior de 21 °C y de 1,8 °C si proyectamos una temperatura interior de 23 °C.
5. La potencia térmica auxiliar necesaria será de 2 kW y 4 kW respectivamente.

En todo caso, los fabricantes ofrecen diferentes esquemas de principio en función del tipo de instalación y caldera existente, esquemas que incluyen la experiencia para el control previsto y preciso de la instalación y donde la telegestión de todos los elementos es imperativo para un correcto ajuste continuo de la instalación. En todo caso, es necesario un asesoramiento personalizado para cada instalación.

Por último, para el aprovechamiento de la bomba de calor en ACS, deberá hacerse uso de acumuladores de gran volumen y de gran superficie de intercambio antes del acumulador final (calentado por caldera, si se desea).

A título de resumen se enumeran aquí algunas ventajas que estos sistemas híbridos ofrecen:

Se obtiene un compromiso entre costes de inversión y ahorros obtenidos, entendidos como costes de equipos, instalación, contratación eléctrica, etc. y ahorros en emisiones, energía y ahorro económico:

Cuando se observa la curva genérica facilitada en la documentación de los fabricantes de bombas de calor, en ella se indica que la relación entre potencia instalada y la energía anual en calefacción cubierta por una bomba de calor en un sistema híbrido no es lineal y depende del modo de funcionamiento elegido anteriormente descrito.

El gráfico 2-65 representa de un modo simplificado, para un edificio en Burgos, cuál sería el porcentaje de cobertura anual total de una bomba de calor sobre la demanda de energía total en calefacción, considerando un régimen de funcionamiento permanente (24 h) durante la temporada de calefacción y una modulación de potencia aportada por la bomba de calor en función de la «curva de calefacción», en una instalación que precisa 500 kW de potencia térmica en condiciones de proyecto y a la que se le instala una bomba de calor de 150 kW de potencia en dichas condiciones

Burgos: Ejemplo de la cobertura en la energía total en calefacción aportada por un sistema de bomba de calor y sistema auxiliar, en modo bivalente paralelo.

Potencia total necesaria en calefacción 500 kW. Potencia bomba de calor 150 kW

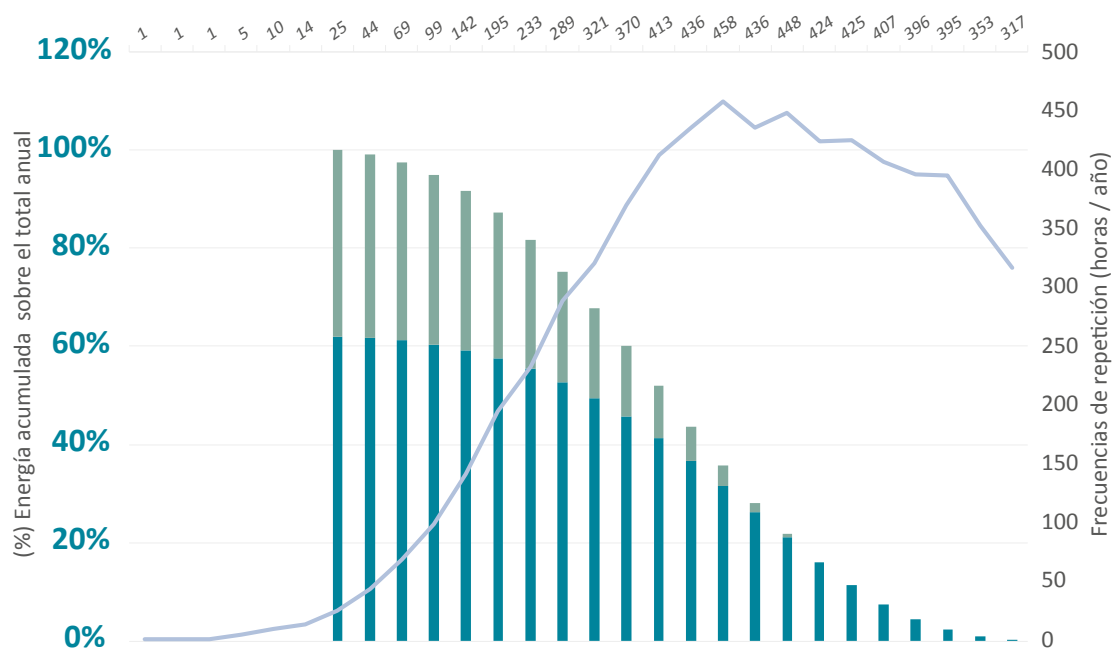
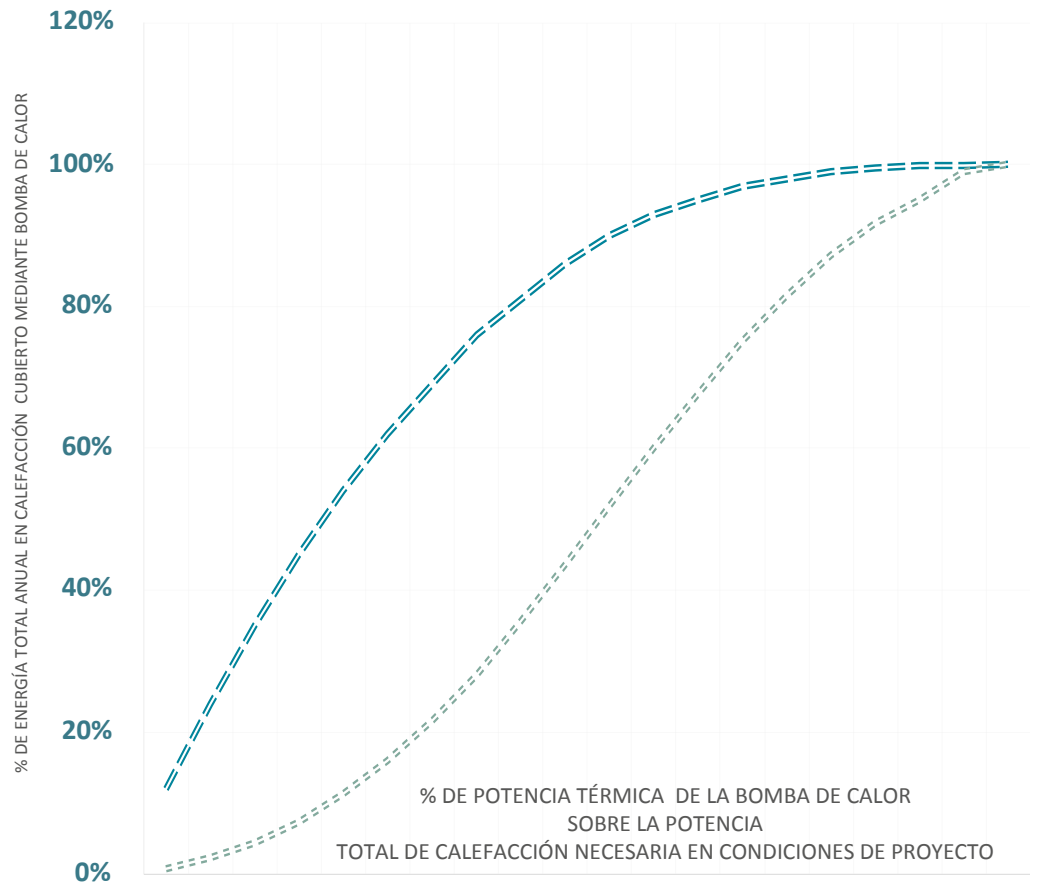


Gráfico 2-65. Ejemplo de cobertura en Burgos de la energía térmica total en calefacción aportada por cada generador en un sistema bivalente paralelo

En el gráfico genérico 2-65, mediante el uso de una bomba de calor y un sistema auxiliar, ambos trabajando en modo bivalente paralelo, se observa que una bomba de calor cuya potencia es del 30% de la máxima necesaria, cubriría el 62% de la demanda de energía anual en calefacción cuando el sistema trabaja en modo bivalente paralelo.

Este modo de funcionamiento bivalente paralelo puede tener sentido en modo general en instalaciones centralizadas, si se considera el número de horas de trabajo de un sistema de calefacción al año y la frecuencia de repetición de las temperaturas exteriores.

A la hora de comparar el modo de funcionamiento (bivalente paralelo o alternativo) y para esta misma ciudad de Burgos, el gráfico 2-66 permite comparar de forma simplificada la cobertura energética que ofrecen las dos posibilidades de hibridación.



	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
■ % Cobertura de energía total anual en calefacción mediante BdC en un sistema bivalente paralelo	12%	24%	35%	45%	54%	62%	69%	76%	81%	86%	90%	93%	95%	97%	98%	99%	100%	100%	100%	100%
■ % Cobertura de energía total anual en calefacción mediante BdC en un sistema bivalente alternativo	1%	2%	4%	7%	11%	16%	22%	28%	36%	44%	52%	60%	68%	75%	82%	87%	92%	95%	99%	100%

Gráfico 2-66. Ejemplo de cobertura de energía sobre el total necesario en calefacción en función del modo de funcionamiento del sistema bivalente elegido (paralelo o alternativo)

La elección de uno u otro sistema depende de múltiples factores, aunque el económico es quizá el más importante desde un punto de vista de amortización de la inversión inicial. La hibridación puede ser un buen punto de partida para descarbonizar la instalación de calefacción.

Desde el punto de vista hidráulico, un ejemplo sencillo de esquema de funcionamiento paralelo que combine una bomba de calor con una caldera de condensación podría ser el de calentar con bomba de calor un depósito de inercia previo al de caldera (punto más frío de la instalación), con un sistema de control y mezcla para evitar que la caldera pueda recibir el agua a una temperatura por debajo de la de su punto de trabajo.

Si la temperatura de salida del depósito de inercia es la necesaria por curva, el agua llega a la instalación a la temperatura correcta y la caldera permanece parada. Por el contrario, si es necesario aportar una pequeña cantidad de energía, la caldera se pone en marcha y eleva la temperatura de manera controlada. En función del caudal necesario se añaden separadores hidráulicos, válvulas mezcladoras, etc. Es importante no olvidar que los sistemas híbridos son sistemas complejos que precisan un co-

recto esquema hidráulico que permita lograr los objetivos buscados, así como un control preciso, monitorizado por personal cualificado.

Resumen de las ventajas de un sistema híbrido:

Se eliminan posibles incertidumbres sobre capacidad de servicio en demandas punta: al contar con respaldo, el servicio no se verá afectado en situaciones puntuales.

Se reduce el peso final en cubierta: los equipos de menor potencia son a su vez menos pesados y, por tanto, comprometen en menor medida la carga estructural de estos sistemas sobre el edificio.

Se pueden aplicar soluciones modulares (equipos prefabricados o equipos en secuencia) que mejoran la parcialización de potencia e implantación: las soluciones modulares ofrecen una mejor adaptación de la producción a las demandas parciales de energía, una mejor adaptación constructiva al tratarse de conjuntos de equipos de menor tamaño, permiten trabajar a diferentes temperaturas, ofrecen una mayor seguridad de servicio al mantener activos parte de los generadores en caso de avería, un mejor reparto en cubierta, un mejor aprovechamiento del espacio disponible, son de rápida implantación, etc.

Menor necesidad de potencia eléctrica contratada: la selección de equipos de menor potencia térmica implica también menores necesidades de potencia eléctrica y, por tanto, mayor facilidad para que la infraestructura eléctrica actual asuma un posible incremento necesario, con picos de arranque también menores.

Menor nivel sonoro y de vibraciones: las soluciones modulares o de menor potencia y tamaño suelen contar con compresores y ventiladores con niveles muy reducidos de ruido y que generan un menor impacto de vibraciones.

2.5. Recuperación de energía

Los sistemas con recuperación de calor permiten aprovechar la energía que se extrae de un edificio o de un proceso de refrigeración y utilizar esta energía gratuita para el calentamiento del ACS, de una piscina, para el sistema de calefacción o para otros usos, en lugar de expulsarla al medio circundante. Para disponer de esta función se dota a la bomba de calor de intercambiadores de calor adicionales en fábrica, así como de un control específico.

Desde el punto de vista de la instalación, los elementos adicionales que deben añadirse a la originalmente prevista dependerán de la demanda sobre la que se desea recuperar dicha energía.

Si la recuperación de energía se aporta al ACS, solo será necesario instalar uno o varios acumuladores o interacumuladores donde almacenar la energía recuperada, que se suelen instalar antes del acumulador final de consumo, salvo procesos que permiten la recuperación de energía a alta temperatura.

En el caso de que la recuperación de energía se desee para otros usos, por ejemplo, para el calentamiento de una o varias piscinas, será necesario añadir a la instalación un intercambiador de calor adecuado para el tipo de agua que esta contiene, así como bombas circuladoras adicionales. Para el caso de la recuperación de energía sobre sistemas de calefacción, será necesario el uso de depósitos de inercia, bombas circuladoras, etc.

En el caso de que se desee recuperar la energía sobre varias aplicaciones, una solución habitual es la de recuperar la energía sobre un acumulador común, desde donde se distribuye a los servicios previstos (ACS, piscina, calefacción, etc.), donde la recuperación es controlada mediante un sistema de regulación y control que establece las prioridades en función de la energía (y temperatura) disponible.

El incremento del coste inicial de una bomba de calor con recuperación, con respecto a una sin recuperación, suele ser del orden del 15% para recuperaciones parciales y del 30% para recuperaciones totales. En ambos casos, el periodo de amortización puede ser muy corto, especialmente en instalaciones que precisan grandes potencias y en las que, tanto la demanda de ACS como el número de horas de refrigeración y la energía extraída son elevadas, como, por ejemplo, hoteles de costa, residencias, gimnasios, etc.

En el caso de las unidades de aire acondicionado doméstico, con una unidad exterior, una o varias unidades interiores y un acumulador de ACS, existen también equipos con recuperación de calor.

2.5.1. Recuperación de energía: conceptos básicos

Desde un punto de vista frigorífico, la recuperación de la potencia térmica simplemente se consigue condensando el vapor de refrigerante (vapor a alta presión y temperatura) en el intercambiador adicional que se instala en la bomba de calor para este fin, en lugar de condensar este vapor de refrigerante en el intercambiador habitual donde se expulsa la energía extraída al aire ambiente o al medio (pozo geotérmico, agua, etc.).

Dependiendo del diseño del equipo y de la instalación, la recuperación de la potencia térmica puede ser solo parcial (normalmente un 20% de la potencia de refrigeración disponible) o total (el 100% de la potencia de refrigeración extraída del edificio + la potencia eléctrica consumida por el compresor \geq 120% de la potencia de refrigeración del equipo), como se puede observar en el gráfico 2-67.

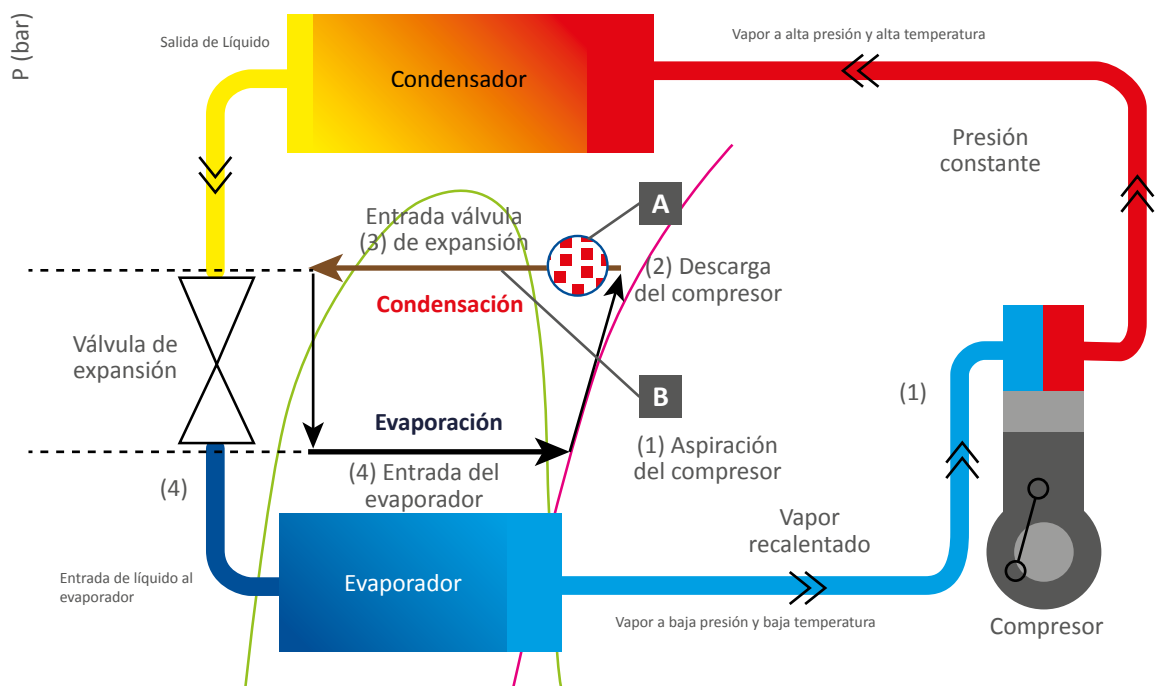


Gráfico 2-67. Diagrama de un circuito frigorífico y zona de recuperación de potencia térmica (parcial o total)

Zona A:

- Zona de recuperación «parcial» de potencia térmica.
- La potencia recuperada máxima en esta zona es el 20% de la potencia de refrigeración.
- Es la zona donde se consiguen las mayores temperaturas en circuito de recuperación.

Zona B:

- Zona de recuperación «total» de potencia térmica.
- En esta zona, la potencia térmica recuperada es la suma de la extraída en refrigeración más la potencia eléctrica absorbida por el compresor, lo que significa que la potencia térmica total disponible es hasta un 120% de la potencia de refrigeración del equipo.
- La temperatura de salida es ligeramente menor que la de la recuperación parcial.

En el caso de una recuperación total, como puede verse en el gráfico 2-67 anterior, la potencia térmica recuperada disponible es siempre mayor que la potencia en refrigeración, puesto que es la suma de la potencia térmica extraída de la instalación en refrigeración, más la potencia eléctrica consumida por el compresor. Debe tenerse en cuenta este dato para el dimensionamiento de los intercambiadores, grupos de bombeo, caudales, etc., para el régimen de recuperación de potencia máxima prevista y para las temperaturas de trabajo.

La energía potencialmente recuperable dependerá de la capacidad activa en los compresores y de la instalación en ese momento (% potencia consumida y porcentaje de carga de refrigeración en el edificio sobre el total máximo de proyecto considerado) como respuesta del control de máquina a la demanda de refrigeración existente. De forma habitual, el control regulará también la cantidad de energía que es posible asumir por el sistema que recibe la energía recuperada.

En función de la cantidad de la energía recuperada y de las temperaturas de trabajo del bucle hidráulico de recuperación, la activación del proceso de recuperación de energía puede ofrecer, además, una mejora de rendimiento de las bombas de calor en refrigeración. Esto es posible al minorar las temperaturas de condensación al trabajar sobre el agua, cuando las temperaturas de condensación son menores que con el aire. Es decir, en algunos casos, al poder hacer uso de temperaturas de condensación más bajas (caso por ejemplo del calentamiento de piscinas en verano), se produce una mejora sustancial en el rendimiento de la bomba de calor en refrigeración, tanto en el rendimiento instantáneo (EER) como en el rendimiento estacional (SEER), lo que genera un ahorro adicional y una menor potencia eléctrica consumida y, por el contrario, si la temperatura de recuperación en la condensación es elevada (recuperamos a una temperatura muy elevada para ACS), el rendimiento del ciclo frigorífico se verá disminuido.

En las tablas 2-24 y 2-25 se muestra una simulación de ejemplo de las tablas de potencia térmica disponible en una bomba de calor dotada con un sistema de recuperación de energía, parcial o total (en función de la construcción final del modelo de bomba de calor elegido), para un refrigerante, salto térmico y temperatura de impulsión concreta para el circuito primario de recuperación.

Datos técnicos de una bomba de calor en la que, en fábrica, se ha modificado parcialmente el circuito frigorífico y al que se le ha incorporado un intercambiador adicional (refrigerante-agua) para la recuperación de potencia térmica (parcial), durante el funcionamiento en refrigeración, así como ventiladores modulantes, control de expansión electrónica, etc.

Potencia en refrigeración Condiciones A35/W7	Potencia térmica recuperada disponible	Salto térmico en el circuito de recuperación de calor	Temperatura de entrada	Temperatura de salida	EER (durante la recuperación)	Diámetro de conexión hidráulica del sistema de recuperación	Diámetro de conexión hidráulica
kW	kW	K	°C	°C		Pulgadas	m ³ /h
45	9	5	50	55	5	1"	1,93
50	10	5	50	55	5	1"	2,16
55	11	5	50	55	5,1	1"	2,46
65	13	5	50	55	5,6	1"	2,88
90	18	5	50	55	4,9	1"	3,81
100	20	5	50	55	4,9	1"	4,32
110	22	5	50	55	4,4	1"	4,77

Tabla 2-24. Tabla con datos (simulados) de recuperación parcial de energía, bomba de calor aire-agua

Datos técnicos de una bomba de calor en la que, en fábrica, se ha modificado completamente el circuito frigorífico para la incorporación de un intercambiador que permita la recuperación de potencia térmica (total), durante el funcionamiento en refrigeración, así como ventiladores modulantes, control de expansión electrónica, etc.

Potencia en refrigeración Condiciones A35/W7	Potencia térmica recuperada disponible	Salto térmico en el circuito de recuperación de calor	Temperatura de entrada	Temperatura de salida	EER (durante la recuperación de energía)	Diámetro de conexión hidráulica del intercambiador	Caudal máximo en primario
kW	kW	K	°C	°C		Pulgadas	m ³ /h
40,96	51,2	5	45	50	5	1 ½"	9,99
46,32	57,9	5	45	50	5	1 ½"	11,43
52,24	65,3	5	45	50	5	1 ½"	12,1
61,68	77,1	5	45	50	5	2"	14,21
80,88	101,1	5	45	50	5	2"	19,42
92,24	115,3	5	45	50	4	2"	23,11
101,92	127,4	5	45	50	4	2 ½"	26,29

Tabla 2-25. Tabla con datos (simulados) de recuperación total de energía, bomba de calor aire-agua

En el capítulo «4.2 Recuperación total o parcial del calor generado en el ciclo frigorífico», de la guía *Ahorro y recuperación de energía en Instalaciones de climatización* (IDAE), se profundiza en la técnica frigorífica en la que se basa la recuperación de calor y se analizan los conceptos con más detalle.

2.5.2. Recuperación de energía para ACS

En el caso particular del ACS, como en todos los sistemas donde se plantea el uso de una energía recuperada, que puede o no estar disponible, la producción de ACS debe estar garantizada en volumen y temperatura independientemente del sistema de recuperación. Además, para que la recuperación de energía sea efectiva, es necesario tener en cuenta las siguientes premisas generales:

1. La configuración más habitual cuando se dispone de energía recuperada para ACS, es la de trabajar sobre un acumulador previo al de consumo, de modo similar a la que se venía realizando en el caso de instalaciones solares térmicas.
2. Con el fin de maximizar el rendimiento y aprovechamiento útil de la recuperación, debe buscarse un equilibrio entre la potencia térmica disponible recuperada y el volumen de acumulación instalado, para que la temperatura alcanzada en este acumulador sea útil para ACS.
 - a. De un modo similar al cálculo para instalaciones solares térmicas, para el cálculo del volumen de acumulador puede servir de orientación la fórmula $(50 < V/P < 180)$, donde V es el volumen de acumulación de ACS y P es la potencia térmica de recuperación disponible.
1. En instalaciones donde la temperatura de recuperación sea elevada, (por ejemplo, en el caso bombas de calor de producción de ACS instantánea, con temperaturas de ACS de hasta 80 °C), donde la estratificación permite la acumulación de energía y donde el acumulador y el control instalado lo hacen posible, puede trabajarse directamente sobre el acumulador final.
2. Cuando coinciden varias posibilidades de uso de esta energía recuperada, por ejemplo, ACS, piscina, etc., el sistema de control discriminará y priorizará las demandas según se planifique y según establezca la normativa aplicable.
3. Las temperaturas de primario disponibles durante la recuperación de energía dependen del tipo de refrigerante, de si esta recuperación es parcial o total, de la potencia recuperada y del caudal en circulación. En general, las temperaturas de primario son más elevadas cuando la recuperación de energía es parcial y menores cuando es total. Las temperaturas disponibles habituales se encuentran entre los 45 y 55 °C, pudiendo llegar a 80 °C con bombas de calor de doble ciclo de compresión, con un salto térmico variable.
4. La correcta elección del intercambiador del interacumulador o intercambiador de placas y una disposición de las tomas sobre el acumulador que permitan una correcta estratificación son claves para el buen aprovechamiento de la energía. En particular, debe prestarse atención a los saltos térmicos de primario así como al mantenimiento de los caudales necesarios a través de los intercambiadores, en función de las potencias disponibles.

Se muestran a continuación dos tablas de ejemplo, una donde la bomba de calor dispone de un sistema para la recuperación total de energía y otra donde el sistema del que dispone es de recuperación de energía es parcial, ambas para una bomba de calor de aire-agua, de 32 kW de potencia en refrigeración.

2.5.2.2. Tabla de ejemplo de recuperación total

Potencia térmica disponible, energía térmica recuperada y tiempo de calentamiento necesario en función de la acumulación elegida, en una instalación que dispone de una bomba de calor de 38 kW de potencia térmica y que incorpora un sistema de recuperación total de energía. Condiciones de calefacción (A7/W35). Condiciones refrigeración (A35/W7). Condiciones de potencia térmica en calefacción y refrigeración con base en la norma UNE-EN 14511, $\Delta t=5K$. Esta tabla es simplificada y no incluye las pérdidas por acumulación, conducción, periodos horarios, etc.							
Potencia térmica nominal de la bomba de calor en calefacción	a	kW	38	38	38	38	38
Potencia térmica nominal de la bomba de calor en refrigeración	b	kW	32	32	32	32	32
Potencia eléctrica nominal consumida en el compresor en refrigeración	c	kW	8	8	8	8	8
Potencia térmica recuperada disponible	$d = b + c$	kW	40	40	40	40	40
Ratio para el cálculo del acumulador	e	litros/kW	25	50	75	100	150
Volumen del acumulador previo al de consumo	$f = d \times e$	litros	1000	2000	3000	4000	6000
Temperatura de primario (salida del circuito de recuperación) $Dt = 5 K$	g	°C (K)	50 (323,15)				
Temperatura agua fría	h	°C (K)	10 (283,15)				
Temperatura de consigna, (ACS), a alcanzar en el acumulador previo al de consumo	i	°C (K)	45 (318,15)				
Calor específico del agua a la temperatura de acumulación prevista	j	kWh/kg · K	0,0011614	0,0011614	0,0011614	0,0011614	0,0011614
Energía necesaria para alcanzar la temperatura de consigna de ACS	$k = j \times (i-h) \times f$	kWh	40,65	81,30	121,95	162,59	243,89
Tiempo en el que alcanza la temperatura de consigna de ACS, considerando una potencia de refrigeración del 100%	$l = k/d$	h	1,02	2,03	3,05	4,06	6,10
Tiempo en el que alcanza la temperatura de consigna de ACS, considerando una potencia de refrigeración del 40%	$m = k/(d \times 2)$	h	2,03	4,06	6,10	8,13	12,19

Tabla 2-26. Ejemplo de potencia térmica disponible, energía térmica recuperada y tiempo de calentamiento necesario en función de la acumulación elegida, con recuperación total de energía. En función del número de horas de refrigeración disponibles puede ser necesario reducir el volumen del acumulador para poder disponer de una temperatura de acumulación útil en ACS.

2.5.2.3. Tabla de ejemplo de recuperación parcial

Potencia térmica disponible, energía térmica recuperada y tiempo de calentamiento necesario en función de la acumulación elegida, en una instalación que dispone de una bomba de calor de 38 kW de potencia térmica y que incorpora un sistema de recuperación parcial de energía. Condiciones de calefacción (A7/W35). Condiciones refrigeración (A35/W7).
Condiciones de potencia térmica en calefacción y refrigeración con base en la Norma UNE-EN 14511, $\Delta T=5K$.
Esta tabla es simplificada y no incluye las pérdidas por acumulación, conducción, periodos horarios, etc.

Potencia térmica nominal de la bomba de calor en calefacción	A	kW	38	38	38	38	38
Potencia térmica nominal de la bomba de calor en refrigeración	b	kW	32	32	32	32	32
Potencia eléctrica nominal consumida en el compresor en refrigeración	c	kW	8	8	8	8	8
Potencia térmica disponible en modo de recuperación parcial (20% de la potencia nominal disponible en refrigeración)	$d = b \times 0,20$	kW	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
Ratio para el cálculo del acumulador	e	litros/kW	25	50	75	100	150
Volumen del acumulador previo al de consumo	$F = d \times e$	litros	160	320	480	640	960
Temperatura de primario (salida del circuito de recuperación) $\Delta t = 5 K$	g	°C (K)	55 (328,15)				
Temperatura agua fría	h	°C (K)	10 (283,15)				
Temperatura de consigna, (ACS), a alcanzar en el acumulador previo al de consumo	i	°C (K)	50 (323,15)				
Calor específico del agua a la temperatura de acumulación	j	kWh/kg · K	0,0011619	0,0011619	0,0011619	0,0011619	0,0011619
Energía acumulada en el acumulador previo al de consumo	$k = j \times (i-h) \times f$	kWh	7,44	14,87	22,31	29,75	44,62
Tiempo en el que alcanza la temperatura de consigna de ACS, considerando una potencia de refrigeración del 100%	$l = k/d$	h	1,16	2,32	3,49	4,65	6,97
Tiempo en el que alcanza la temperatura de consigna de ACS, considerando una potencia de refrigeración del 40%	$m = k/(d \times 2)$	h	2,32	4,65	6,97	9,30	13,94

Tabla 2-27. Ejemplo de potencia térmica disponible, energía térmica recuperada y tiempo de calentamiento necesario en función de la acumulación elegida, con recuperación parcial de energía. En función del número de horas de refrigeración disponibles puede ser necesario reducir el volumen del acumulador para poder disponer de una temperatura de acumulación útil en ACS.

El esquema hidráulico podría ser el que se observa en el gráfico 2-68, para las temperaturas anteriores estimadas, considerando un segundo acumulador final que dispone de una bomba de calor de alta temperatura específica para ACS.

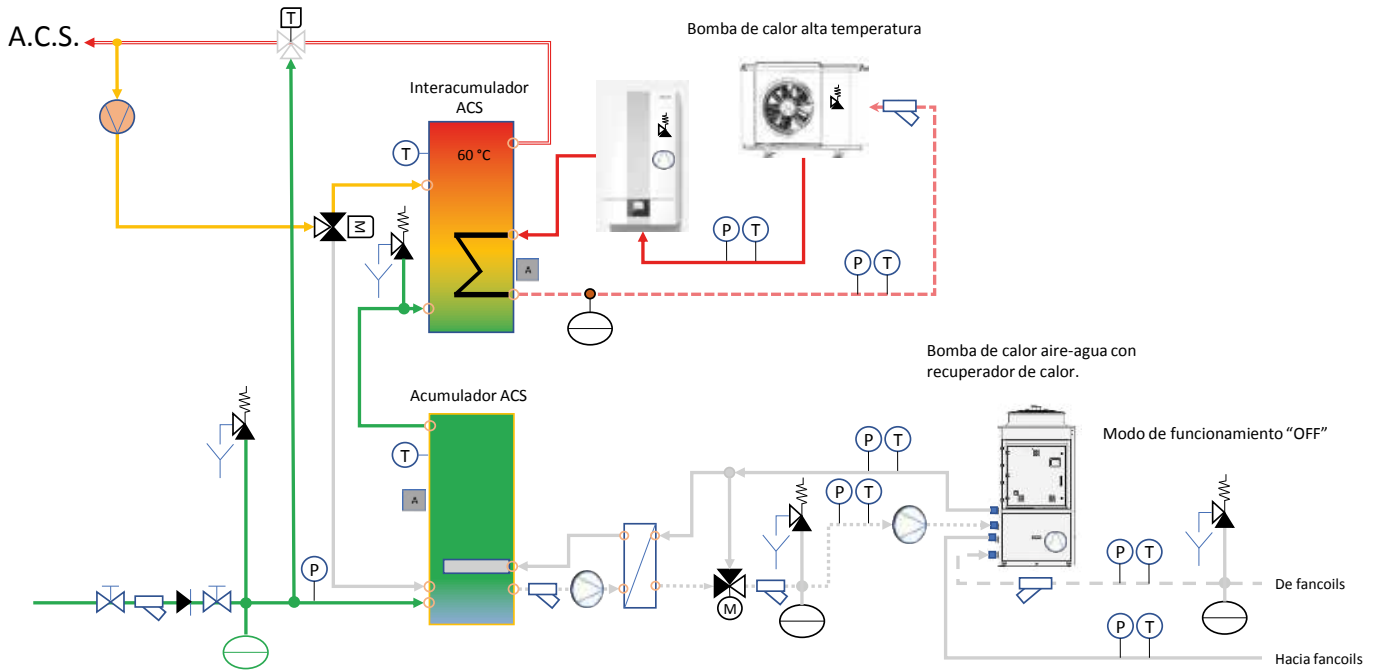
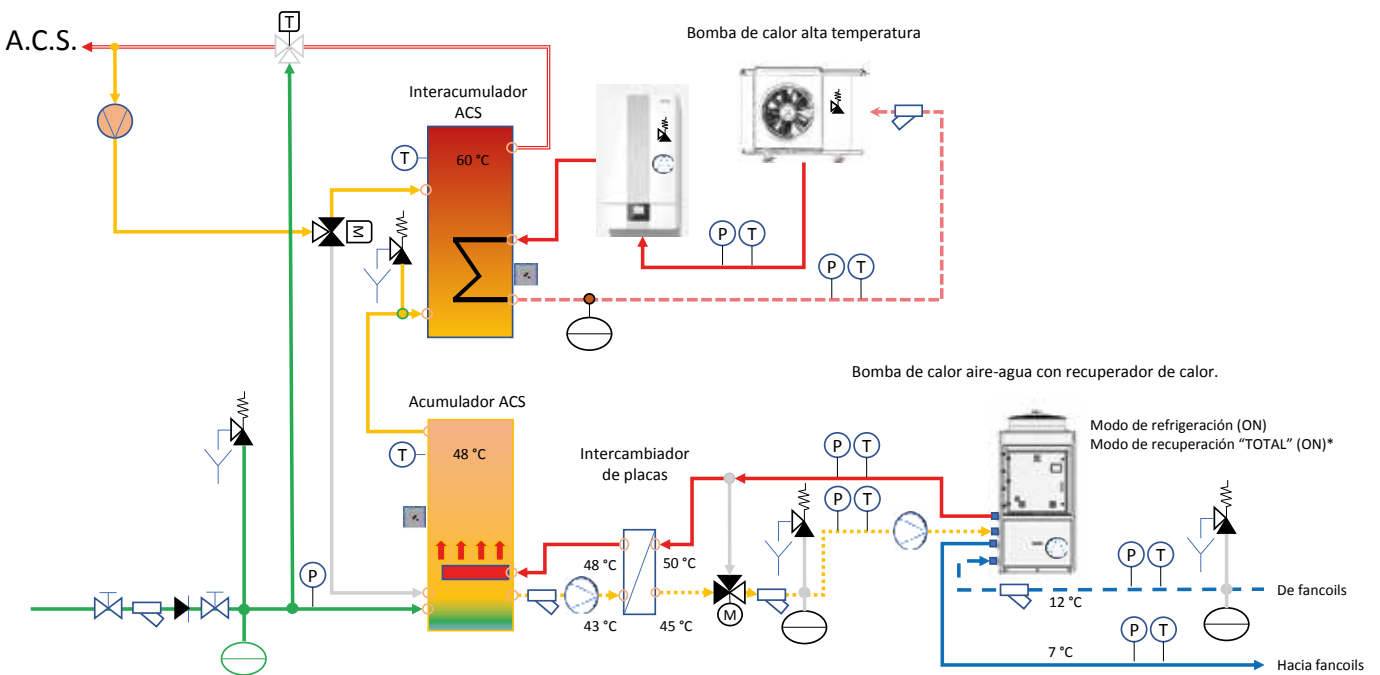
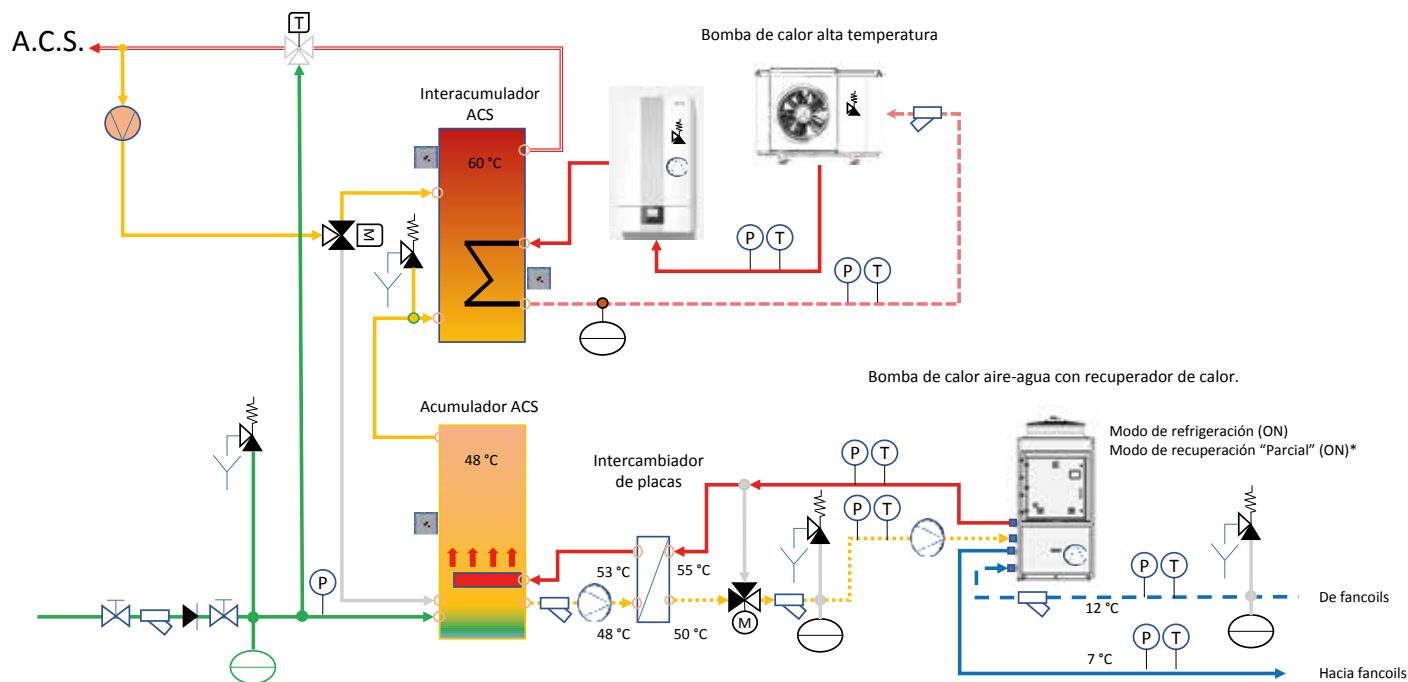


Gráfico 2-68. Ejemplo de conexión de bomba de calor con recuperación y trabajo en ACS. Recuperación OFF



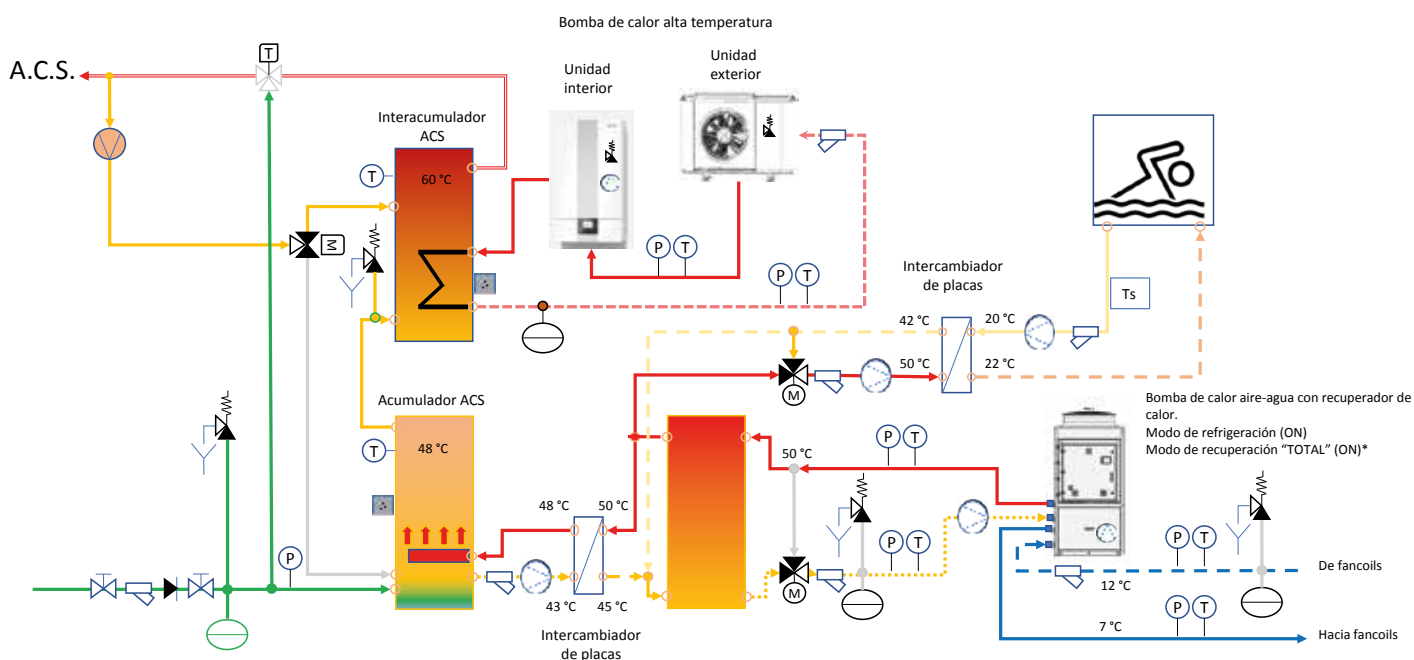
*En recuperación total, el ventilador modulante (EC) de la bomba de calor aire-agua puede pararse completamente si la suma de la potencia de refrigeración más la potencia aportada por el compresor es igual o inferior a la potencia disipada en el intercambiador de placas. En este momento se aportan al ACS la suma de la potencia extraída del edificio (en refrigeración) más la potencia aportada por el compresor (la bomba de calor aire-agua actúa en ese momento como una bomba de calor agua-agua), por lo que 100% de la potencia extraída del edificio (en refrigeración), más el 100% de potencia del compresor, se aportan al ACS en lugar de expulsarse al aire exterior. La válvula mezcladora situada en el retorno de la bomba de calor garantiza que la temperatura de entrada de agua del circuito primario al intercambiador refrigerante-agua en el interior de la bomba de calor no es inferior a los parámetros fijados por el fabricante.

Gráfico 2-69. Ejemplo de conexión de bomba de calor con recuperación y trabajo en ACS. Recuperación total



*En recuperación parcial, la condensación del refrigerante se produce parcialmente en el intercambiador interior refrigerante-agua, por lo que el ventilador reduce la potencia consumida. En este modo hasta el 20% de la potencia extraída del edificio (en refrigeración) se aporta al ACS en lugar de expulsarse al aire exterior. La temperatura posible a alcanzar en primario (ACS) es ligeramente superior a la posible en modo de recuperación total. La válvula mezcladora situada en el retorno de la bomba de calor garantiza que la temperatura de entrada de agua del circuito primario al intercambiador refrigerante-agua en el interior de la bomba de calor no es inferior a los parámetros fijados por el fabricante.

Gráfico 2-70. Ejemplo de conexión de bomba de calor con recuperación y trabajo en ACS. Recuperación parcial



*En recuperación total, el ventilador modulante (EC) de la bomba de calor aire-agua puede pararse completamente si la suma de la potencia de refrigeración más la potencia aportada por el compresor es igual o inferior a la potencia disipada en el intercambiador de placas. En este momento se aportan al ACS la suma de la potencia extraída del edificio (en refrigeración) más la potencia aportada por el compresor (la bomba de calor aire-agua actúa en ese momento como una bomba de calor agua-agua), por lo que 100% de la potencia extraída del edificio (en refrigeración), más el 100% de potencia del compresor, se aportan al ACS en lugar de expulsarse al aire exterior. La válvula mezcladora situada en el retorno de la bomba de calor garantiza que la temperatura de entrada de agua del circuito primario al intercambiador refrigerante-agua en el interior de la bomba de calor no es inferior a los parámetros fijados por el fabricante.

Gráfico 2-71. Recuperación de energía para varios usos (ACS y piscina)

Las temperaturas de entrada a los intercambiadores de recuperación de calor en la bomba de calor están limitadas para evitar golpes de líquido al compresor por subenfriamientos excesivos, por lo que se instalan habitualmente controles para asegurar que el agua de entrada al sistema de recuperación de la bomba de calor se encuentra a una temperatura superior a la mínima. Por ejemplo, sistemas de control de temperatura de mezcla junto con válvulas mezcladoras y/o controles de bombas de circuito primario y bombas de circuito secundario (por salto térmico), etc.

Estos controles evitan la entrada de agua excesivamente fría a la bomba de calor y permiten temperaturas de impulsión más elevadas, así como un aprovechamiento útil del calor generado en el acumulador de ACS, al evitar romper la estratificación.

La dotación de un sistema de recuperación parcial o total en bombas de calor aire-agua, se hace en fábrica y bajo pedido, en función de los parámetros de temperatura, tipología, control, etc., necesarios. No es posible, por regla general, integrar este sistema en bombas de calor ya construidas.

2.5.3. Recuperación de energía en todos los procesos

Los sistemas de recuperación de energía permiten recuperar el calor generado en las estancias de un edificio si se dan las condiciones para ello, al transportar el calor entre los focos de energía interiores de ese mismo edificio, pudiendo satisfacer simultáneamente y de modo independiente todas las exigencias de refrigeración, calefacción y producción de agua caliente sanitaria. En caso de existir desequilibrio entre la demanda total de frío y de calor, la recuperación es parcial, siendo necesario la utilización de la unidad exterior.



Gráfico 2-72. Sistema de calefacción con recuperación de calor

Cuando se dispone de equipos que puedan satisfacer todas las demandas, tal y como se muestra en el gráfico 2-73, este calor recuperado de la refrigeración (barra de color azul) se puede utilizar para producir ACS (barra de color naranja), reduciendo así el tiempo de funcionamiento de la bomba de calor dedicado a ACS. Igualmente puede reducir la necesidad de producción de calefacción (barra de color rojo) de las estancias si hubiese unidades interiores con demanda de calefacción.

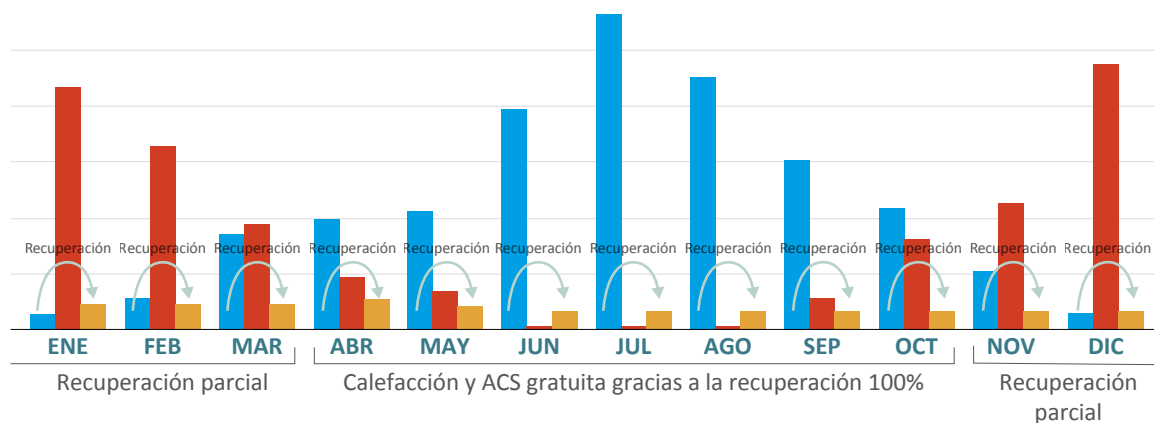


Gráfico 2-73. Demanda de calor vs. Disponibilidad de calor recuperado

Los sistemas de recuperación son idóneos para aquellas instalaciones en las que se requiere esa demanda simultánea de frío, calor o ACS, y esta simultaneidad es habitual durante el funcionamiento de ciertos edificios, como hoteles, oficinas, etc. Se recomienda, por tanto, que estos sistemas de recuperación siempre se tengan en cuenta cuando se contempla una rehabilitación.

3 Aspectos técnicos y de diseño para rehabilitación

El objetivo de este capítulo es introducir los aspectos más relevantes que deben tenerse en cuenta a la hora de plantear una rehabilitación con bomba de calor.

Al tratarse de rehabilitaciones de edificios que, normalmente, ya disponen de una instalación operativa existente sobre la que se va a ejecutar una modificación, el técnico debe valorar las condiciones de trabajo y de operación previas, con el fin de determinar la solución más adecuada.

De un modo somero se exponen algunos de los puntos necesarios a revisar.

3.1. Evaluar la instalación existente y la potencia necesaria

En primer lugar, para el cálculo de la potencia necesaria en la instalación en rehabilitación se dispone de un gran número de datos que nos informan de cuales son las necesidades reales del edificio o local. Entre otros se conoce, en la mayoría de los casos: cómo está ejecutada; su consumo en cada periodo y uso; temperaturas de impulsión; saltos térmicos; respuesta de los emisores; horarios actuales y posibles; procesos de arranque, parada y puesta en servicio; y, por supuesto, sus patologías, por lo que se dispone de todo un abanico de datos que el técnico tiene a su disposición y que deberá interpretar para aplicar la mejor solución desde el punto de vista de rendimiento e inversión.

Este conocimiento y análisis de las instalaciones existentes en España lleva a resaltar un hecho: que la mayoría de las instalaciones de calefacción se encuentran sobredimensionadas en potencia, tanto en el lado del generador como en el de los emisores, bombas hidráulicas, etc. A esto se añade que, en muchas ocasiones, existe una gran capacidad de mejora en lo que a su control se refiere, lo que permitiría un mejor aprovechamiento de la energía, menores pérdidas, mayores rendimientos y, por tanto, menor potencia necesaria a instalar. Ambas afirmaciones son fácilmente demostrables y aplicables a la instalación objeto de estudio, si, previamente a la rehabilitación, se instalan equipos de medida o se estudian con detenimiento los datos existentes.

En segundo lugar, para este cálculo de potencia necesaria el técnico debe considerar si está prevista una futura intervención en el edificio que pudiera reducir las cargas térmicas, como son la mejora de los aislamientos, cerramientos, la eliminación de los puentes térmicos, sustitución de ventanas, actuaciones sobre las cubiertas, etc. Todas las actuaciones previstas, deben, no obstante, garantizar una correcta calidad de interior puesto que intervienen directamente sobre la ventilación existente. Por ejemplo, puede ser necesaria la instalación de sistemas de ventilación mecánica controlada con recuperación de energía.

En tercer lugar, debe prestarse atención a la estrategia para atender a la potencia parcial que necesitará la instalación en refrigeración y calefacción. En ACS, tal y como se indicaba en el capítulo

anterior, la cobertura de su demanda se realiza con una acumulación suficiente y previa al consumo y deben tenerse en cuenta las características de ocupación del edificio, el consumo real y el perfil de extracción.

En refrigeración, la carga térmica debe ser evaluada en cada caso, puesto que no depende de la temperatura exterior solamente, sino que influye negativamente la radiación solar, las cargas internas, etc. Es obvio también que las intervenciones en fachada, aislamientos, cerramientos, ventilación, etc. reducen la carga térmica durante los meses de verano.

En calefacción y, en general, durante el 80% de las horas anuales de calefacción previstas, solo es necesario el 50% de la potencia total instalada. Esto puede confirmarse en la instalación objeto de estudio si se dispone de datos previos o elementos de medida, tal y como se desprende del análisis de la cobertura de las cargas de calefacción de un edificio cuando se compara con la potencia suministrada a lo largo de una temporada. Este hecho es la base del dimensionamiento de las bombas de calor en sistemas híbridos, de aplicación en instalaciones individuales y centralizadas, por ejemplo, combinadas con calderas existentes en la instalación.

Para conocer la potencia real que demanda la instalación cuando el generador de calor funciona con combustible fósil, el técnico competente puede determinar esta mediante los datos de consumo de combustible, tiempos de funcionamiento, análisis de humos de la caldera, etc.

Para determinar la potencia que se está aportando a un circuito hidráulico, es necesario conocer la masa del fluido que circula por unidad de tiempo (caudal másico), así como su salto térmico.

Este dato del caudal másico puede obtenerse por varios métodos, directos e indirectos. Entre los primeros se encuentra naturalmente la instalación de contadores. Entre los indirectos, por poner un ejemplo, a partir de la información de la pérdida de carga en el circuito hidráulico objeto de estudio. En este último caso se debe disponer de manómetros en la instalación que permitan medir la pérdida de carga a la que está haciendo frente la bomba circuladora, así como la curva de la misma.

Una vez conocido el caudal volumétrico (l/s), obtenido a partir de las medidas del manómetro y dimensiones de la tubería, y aplicando la densidad del agua a la temperatura en que se encuentra, es sencillo disponer del caudal másico, en kg/s.

La siguiente ecuación define el cálculo de la potencia calorífica aportada:

$$P \left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right] = \dot{m} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] * C_p \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right] * \Delta T [^\circ\text{C}]$$

Siendo:

- P: Potencia calorífica expresada en kJ/s o kW (1 Julio (J) = 1 W x segundo).
- \dot{m} : Caudal másico expresado en kg/s.
- C_p : Calor específico del agua expresado en kJ/kg · °C.
- ΔT : Salto térmico entre impulsión y retorno expresado en °C.

Ejemplo de cálculo: Se tiene una instalación en la que la impulsión de caldera se realiza a una temperatura de 65 °C y el retorno regresa a una temperatura de 53 °C, con un caudal de 12 l/min.

Para calcular la potencia aportada se tiene en cuenta una densidad del agua a 65 °C que es de 980,45 kg/m³, por lo que los 12 l/min equivalen a 0,196 kg/s, redondeado a 0,2 kg/s. Aplicando la ecuación anterior se obtiene:

$$P \left[\frac{kJ}{s} \right] = 0,20 \left[\frac{kg}{s} \right] * 4,18 \left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right] * 12 [^\circ C]$$

$$P \left[\frac{kJ}{s} \right] = 10,03 kW$$

En todo caso, debe ser un técnico competente el que haga el estudio de las cargas térmicas reales, así como de las temperaturas necesarias, patologías, etc., antes de ejecutar cualquier rehabilitación. El impacto económico de este estudio sobre el total de la rehabilitación no es relevante si se consideran sus beneficios, al evitar incurrir en los grandes sobrecostos y dificultades añadidas (emplazamiento, equipos innecesarios, tuberías, etc.) que se derivan de un erróneo dimensionamiento de la potencia y que perjudicarían el objetivo de la eficiencia buscada.

3.2. La importancia de la mejora de la envolvente térmica del edificio

Una parte importante del parque inmobiliario en España fue construido en épocas en las que la normativa carecía de un elevado grado de exigencia en relación con el aislamiento térmico y acústico de los edificios. Esta deficiente calidad térmica en una parte importante de la edificación existente es la que ha llevado, durante décadas, a sobredimensionar las instalaciones de climatización para aportar una alta potencia térmica y, de esta manera, compensar las grandes pérdidas de energía a través de la envolvente del edificio.

La mejora de la envolvente térmica, y la ventilación si procede, durante una rehabilitación conlleva enormes ventajas, ya que no solo ayuda a disminuir el consumo, el gasto energético, el impacto sobre el medio ambiente, etc., sino que, además, tiene consecuencias positivas en el confort de los ocupantes, revaloriza la vivienda y alarga la vida útil del edificio.

Por estas razones, al planificar una rehabilitación y considerar objetivos de mejoras estructurales, mejoras del saneamiento, cambio de instalaciones, rediseño de interiores y optimización de las prestaciones de climatización, debe tenerse también muy en cuenta la posibilidad de mejora de la envolvente térmica para conseguir beneficios de salud, confort, económicos y medioambientales, siempre considerando las exigencias del *Código Técnico de la Edificación*. En cualquier caso, debe tenerse en cuenta que la mejora de la envolvente puede causar una reducción en la ventilación prevista originalmente en el edificio. Por ello, es necesario valorar conjuntamente con la rehabilitación de la envolvente térmica la necesidad de dotar al edificio de sistemas que garantizan la ventilación y la calidad de aire interior necesaria, preferentemente mediante sistemas de ventilación mecánica controlada con recuperación de la energía, para de este modo garantizar la salud de los ocupantes y la eficiencia energética a alcanzar deseada.

La sustitución del sistema convencional de calefacción y ACS existente en el edificio por uno basado en bomba de calor, conjuntamente con la mejora de la envolvente térmica y el sistema de ventilación con recuperación de calor, ofrecen los beneficios siguientes:

- La mejora de la envolvente térmica y la ventilación con sistemas de recuperación de calor reducen drásticamente la carga térmica de los locales en calefacción y refrigeración y, consecuentemente, la nueva potencia necesaria que se debe instalar.
- Esta disminución en la potencia necesaria permite que también sea menor la inversión necesaria en la instalación térmica y el coste de los equipos de bomba de calor.
- Estos serán además de menor tamaño, más fáciles de instalar y de más fácil integración, además de precisar una menor potencia eléctrica contrada.
- Otra consecuencia de la reducción de la carga térmica es la de permitir a los equipos, ahora de menor número o tamaño, trabajar durante un gran número de horas con cargas parciales reducidas. De media, solo el 20% de horas al año es necesaria una potencia en calefacción superior al 50%. Debido a esta gran cantidad de horas de trabajo a carga parcial y puesto que los equipos de menor potencia disponen de una mejor adaptación en este escenario se evitan ciclos ineficientes desde el punto de vista energético como son los ciclos de marcha-paro.
- Esta optimización a baja carga parcial permite también que el compresor trabaje durante un gran número de horas a un número menor de revoluciones y un menor desplazamiento de refrigerante, por lo que tiene un menor trabajo, un menor consumo, un mejor rendimiento estacional y una mayor durabilidad.

3.3. Esquemas de principio, instalaciones individuales y centralizadas

En todas las instalaciones es imprescindible un esquema de principio hidráulico y eléctrico, acompañado de una estrategia clara y definida de cómo se gestionarán los circuitos, temperaturas, cuál será el régimen de uso del generador, qué elemento gestiona qué otro, etc. Esta necesidad es aún más crítica en una instalación que va a ser objeto de rehabilitación y que debe tener en cuenta los equipos existentes en la instalación, bombas, elementos terminales, etc.

A este efecto, para facilitar la labor de los proyectistas, los fabricantes disponen de esquemas de principio probados y actualizados que incluyen ya la estrategia de funcionamiento para obtener el mejor rendimiento del sistema, así como el control de la instalación, telegestión, etc. Dichos esquemas suelen estar disponibles tanto para elementos terminales como para generadores de diferente tipo, como calderas o bombas de calor, así como para grupos de bombeo, válvulas mezcladoras, válvulas divisoras, mandos, termostatos, sondas, entre otros, y se particularizan para instalaciones individuales, colectivas, hibridaciones, etc.

A continuación, se muestran varios ejemplos de esquemas de principio hidráulicos y eléctricos, así como su interpretación.

3.3.1. Bomba de calor, combinada con caldera como sistema híbrido

El control de ambos generadores se realiza desde la centralita de la bomba de calor, que elige la mejor estrategia de funcionamiento de ambos en función de temperaturas exteriores, coste de la energía, tipo de funcionamiento (ecológico, económico, etc.).

En el gráfico 3-1, puede verse en el interior del cuerpo de la bomba de calor un depósito de inercia que, además de equilibrar caudales en cada generador, ofrece un volumen de agua suficiente para realizar la función de desescarche, así como para evitar ciclos cortos de compresor.

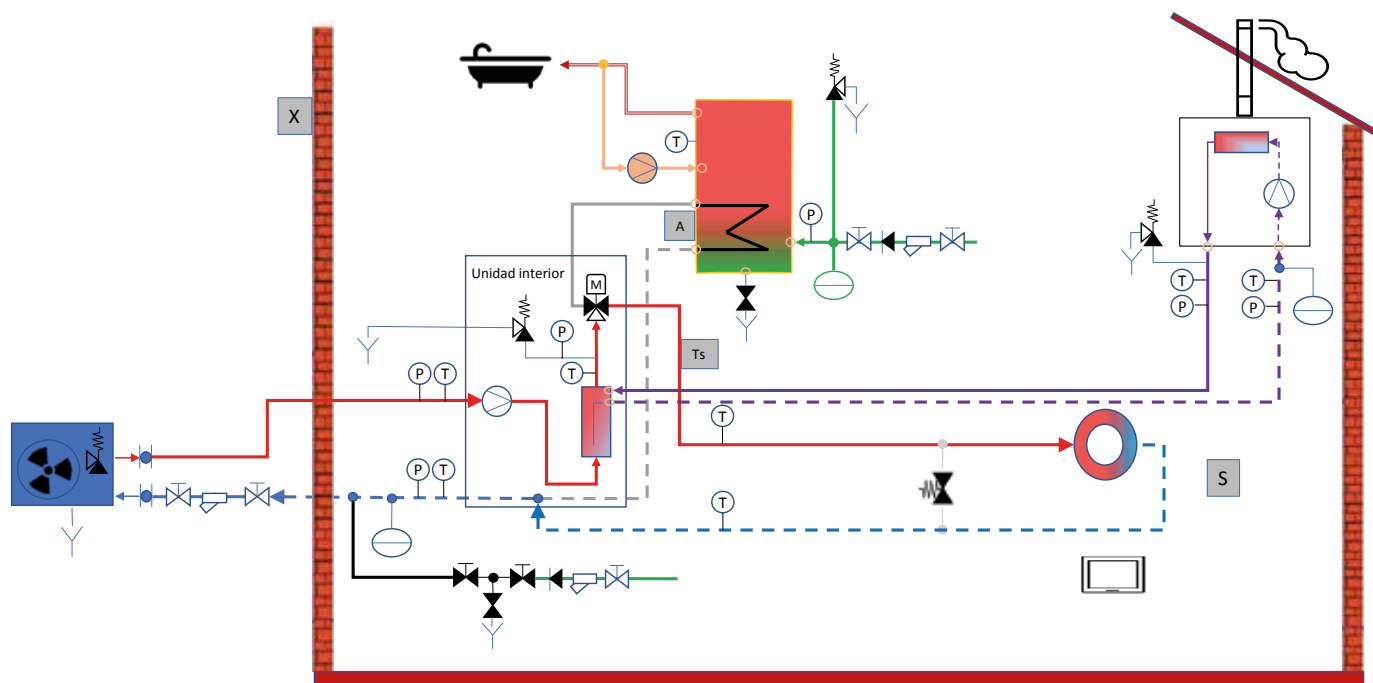


Gráfico 3-1. Ejemplo de esquema de principio de caldera existente con bomba de calor

3.3.2. Bomba de calor, varios circuitos hidráulicos, separador hidráulico y bomba de calor para ACS

Se dispone una bomba de calor compacta para calefacción, refrigeración y apoyo para ACS, un depósito de inercia (que actúa como separador hidráulico) y tres circuitos hidráulicos, uno de radiadores -*fancoils* y dos de suelo radiante, todos ellos con su válvula mezcladora, además de una bomba de calor dedicada exclusivamente para ACS.

El control de la bomba de calor elige la temperatura del depósito de inercia en función de la mayor temperatura demandada de cada uno de los circuitos, dependiendo de si están o no en funcionamiento, de la temperatura de impulsión exigida por la curva de calefacción en cada uno de ellos, del horario de uso, etc.

Simplificando el esquema se observa que cada circuito ofrece la temperatura de impulsión y salto térmico que los elementos terminales conectados a ellos necesitan, así como del salto térmico y caudal en circulación preciso en la bomba de calor.

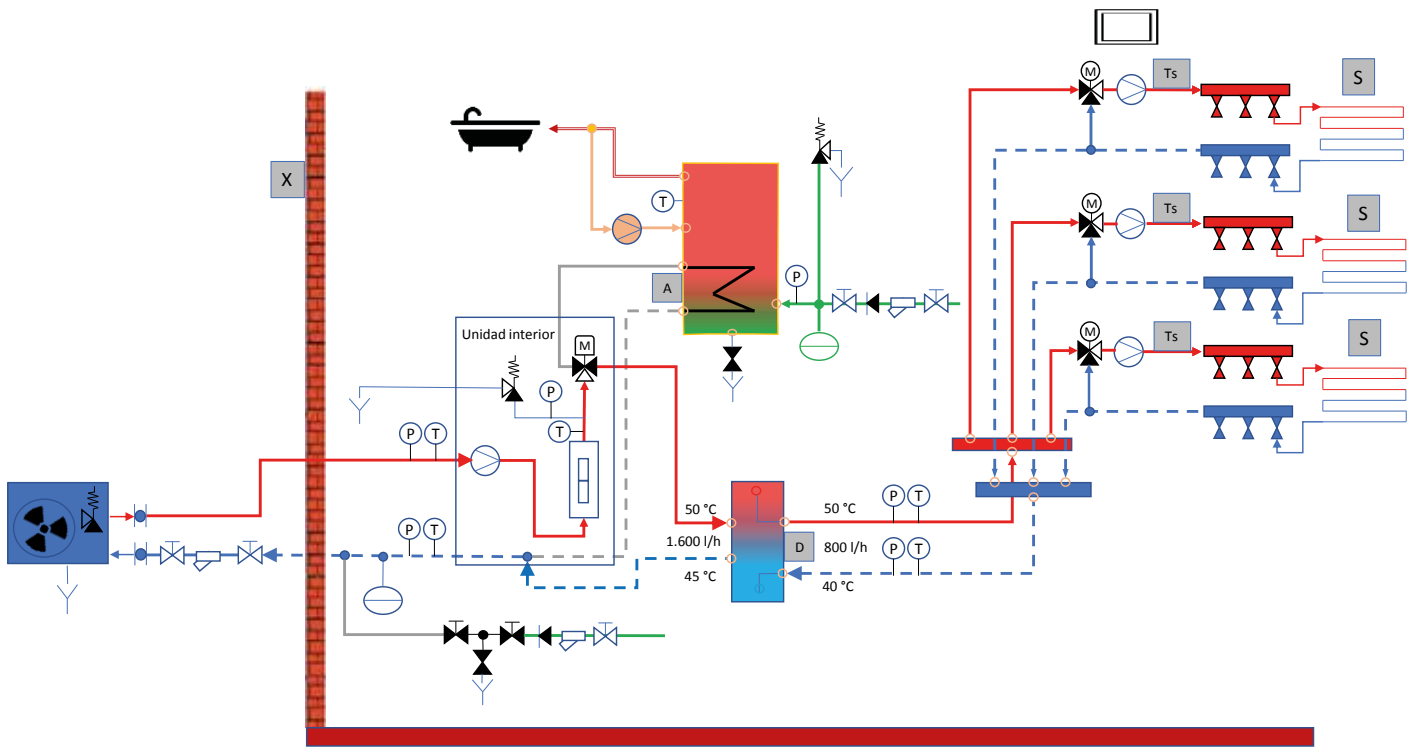


Gráfico 3-2. Esquema de principio de bomba de calor con tres circuitos hidráulicos. Funcionamiento en calefacción

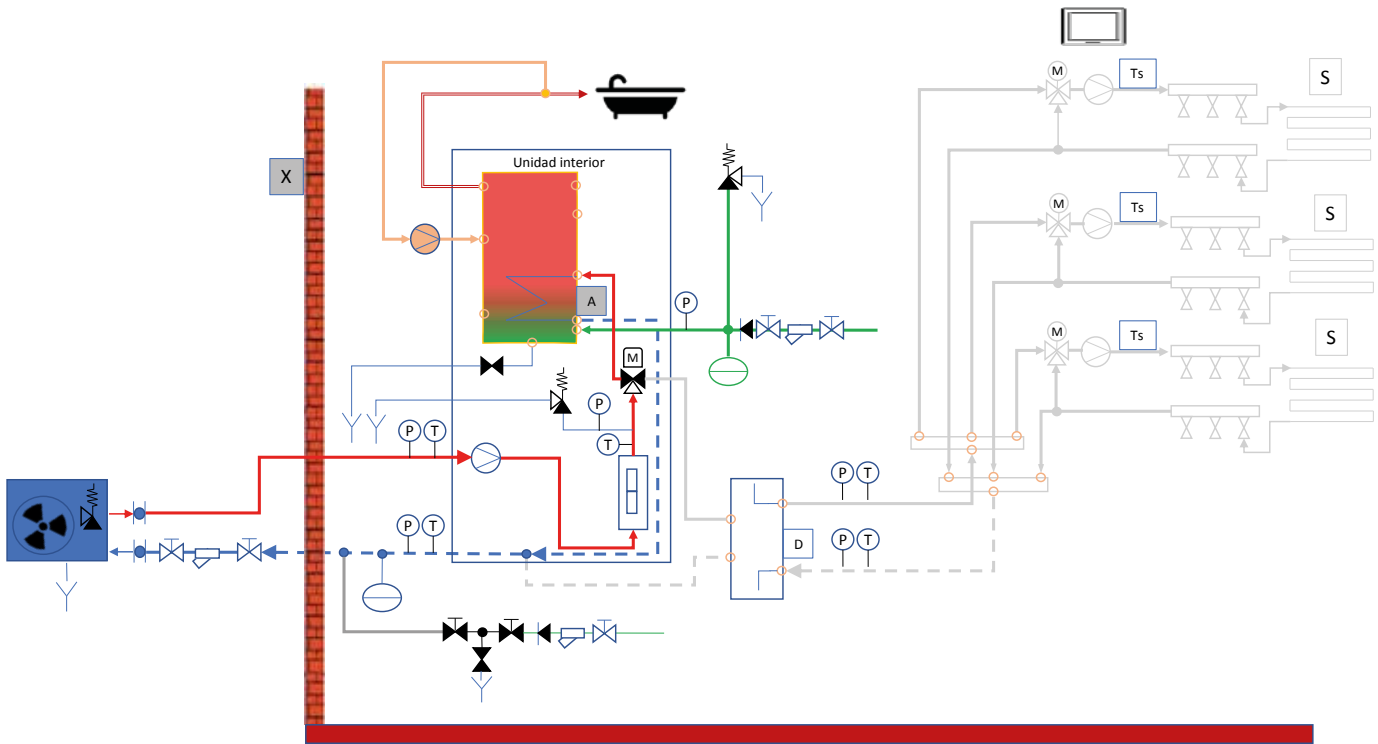


Gráfico 3-3. Esquema de principio de bomba de calor con tres circuitos hidráulicos. Funcionamiento en ACS

Tanto en este ejemplo como en el anterior, el control permite reducir la temperatura de impulsión necesaria en los circuitos, así como en la bomba de calor. Por ejemplo, en el caso de trabajar únicamente con los circuitos de suelo radiante, la temperatura de impulsión de la bomba de calor se reduce hasta la temperatura que se precise en el circuito operativo, que estará en función de la determinada por la curva de calefacción programada y esta en función de la temperatura exterior, en el ejemplo, 35 °C.

Como se explicó en el apartado 2.2.2.6, es necesario que el caudal de la bomba de calor se mantenga dentro de los márgenes nominales estipulados por el fabricante, algo que garantiza el separador hidráulico o un depósito de inercia interpuesto con esa función.

3.3.3. Bomba de calor con conexión directa al circuito de calefacción

En este caso se dispone de un solo circuito de radiadores o suelo radiante. Si se desea evaluar una conexión directa sin separador hidráulico, es importante conocer y valorar el tipo y diámetro de tubería en cada tramo de cada circuito, así como disponer de un volumen de inercia suficiente, estimar la velocidad de paso del fluido y la nueva pérdida de carga de la instalación. Con estos datos se puede conocer si es posible esa conexión directa o si es necesario el uso de separadores hidráulicos o depósitos de inercia con esta función.

Este estudio debe realizarse previamente para garantizar tanto las condiciones de confort térmico en las diferentes estancias como para verificar que no se producen ruidos excesivos en la instalación. Conviene recordar que un caudal en circulación con un salto térmico de 5 K será el doble que para un salto térmico de 10 K y el cuádruple que para un salto térmico de 20 K para la misma potencia térmica.

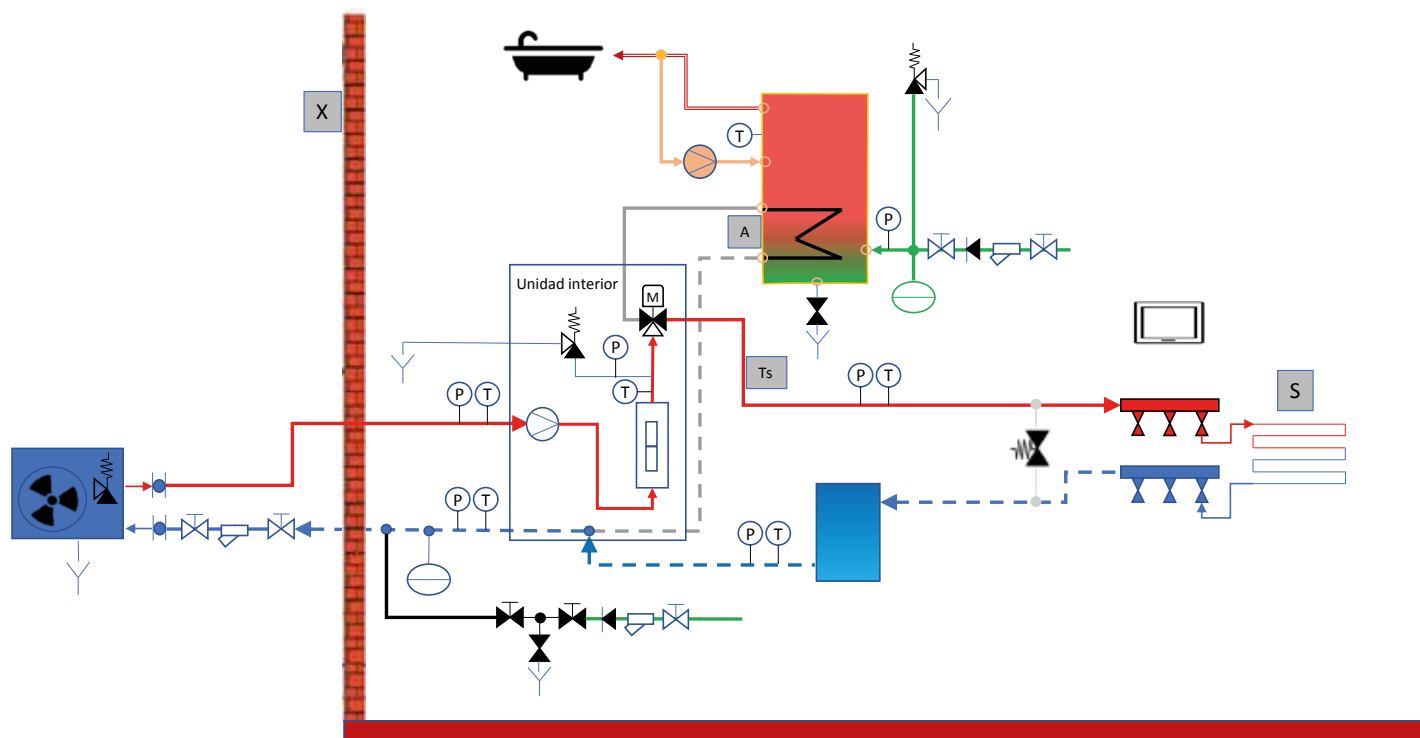


Gráfico 3-4. Esquema de principio conexión directa del circuito a la bomba de calor

En este ejemplo se analizan tres instalaciones con radiadores que van a ser objeto de rehabilitación, y en las que se sustituirá la caldera por una bomba de calor de 16 kW. La conexión hidráulica prevista es directa. La tubería es de cobre, con un diámetro interior diferente para cada instalación, 16 mm, 20 mm y 26 mm, respectivamente.

En primer lugar, y para la potencia calculada, 16 kW, se debe calcular el caudal de agua en circulación necesario a través del sistema a partir de la ecuación ya conocida:

$$P \left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right] = \dot{m} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] * C_p \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right] * \Delta t$$

Donde:

- P: Potencia del equipo en kJ/s o kW (1 W = 1 J/s).
- m: Caudal másico (dato buscado) en kg/s.
- C_p: Constante de calor específico del agua a presión constante.
- Δt: Salto térmico entre impulsión y retorno.

Para convertir de caudal másico a volumétrico, se debe tener en cuenta la densidad (ρ) del fluido (agua, glicol, etc.), que, para el caso del agua, es de 980 kg/m³ a una temperatura de 65 °C.

$$\rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = \frac{m[\text{kg}]}{V[\text{m}^3]}$$

Para obtener la velocidad de paso del fluido en el circuito primario, debe aplicarse la siguiente ecuación:

$$v \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = \frac{Q \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]}{\pi \times r_{int}^2 [\text{m}^2]}$$

Donde:

- v: Velocidad (en m/s).
- Q: Caudal (en m³/s).
- r_{int}: Radio interior de la tubería, en metros.
- π: Constante matemática pi de valor 3,1416.

Utilizando las dos ecuaciones anteriores se puede obtener la velocidad de paso para los diferentes diámetros de tubería de la instalación. En este ejemplo se considera un salto térmico de trabajo de 20 K para la caldera y de 10 K en la bomba de calor.

Caldera convencional $\Delta T = 20 \text{ K}$					
Instalación	$\varnothing \text{ mm}$	$\dot{m} \text{ [kg/s]}$	$Q \text{ [l/s]}$	$Q \text{ [m}^3\text{/s]}$	$v \text{ [m/s]}$
Uno	16	0,1914	0,1953	0,0001953	0,97
Dos	20	0,1914	0,1953	0,0001953	0,62
Tres	26	0,1914	0,1953	0,0001953	0,37

Bomba de calor $\Delta T = 10 \text{ K}$					
Instalación	$\varnothing \text{ mm}$	$\dot{m} \text{ [kg/s]}$	$Q \text{ [l/s]}$	$Q \text{ [m}^3\text{/s]}$	$v \text{ [m/s]}$
Uno	16	0,3829	0,3905	0,0003905	1,94
Dos	20	0,3829	0,3905	0,0003905	1,24
Tres	26	0,3829	0,3905	0,0003905	0,74

Tabla 3-1. Ejemplo de velocidad en tuberías

Se puede observar que, al dividir el salto térmico entre dos, el caudal y la velocidad del fluido se duplican, puesto que la resistencia al paso del fluido por metro lineal de tubería (conocida como pérdida de carga) es proporcional al cuadrado de la velocidad. Si se usa un ábaco para el cálculo de pérdida de carga en tuberías de cobre, puede comprobarse que cuando la velocidad se duplica, la pérdida de carga es 4 veces mayor.

La pérdida de carga final de la instalación que tendrá que vencer la bomba circuladora, será la suma de la generada por la longitud de la tubería más la generada por el número de codos, accesorios utilizados, etc. Para facilitar los cálculos se suele asumir una «longitud equivalente» por cada codo y accesorios, (por ejemplo, 0,5 m por codo, 1,5 m por unión en «T», etc.), lo que, sumado a la longitud de la tubería, se toma como «longitud total equivalente».

Para instalaciones con un gran número de piezas, codos, etc., la pérdida de carga total generada puede ser un inconveniente, aun con longitudes de tuberías «cortas». Por ejemplo, para el caso de una tubería de 16 mm y para una longitud total equivalente de 50 m, la tabla 3-1 indica que la bomba circuladora deberá vencer una presión estática mínima de 15 metros de columna de agua (m.c.a.) o 1,5 bar, solo al alcance de grupos de bombeo de alta presión y no habitual en este tipo de instalaciones. Para los otros dos casos, donde las pérdidas de carga respectivas son 5 m.c.a. (0,5 bar) y 1,5 m.c.a. (0,15 bar), sí se encuentran en el mercado bombas circuladoras de estas características de caudal y presión, aunque 0,5 bar es una presión en el límite de muchas de las bombas circuladoras comunes en este tipo de aplicaciones y su consumo sería elevado en estas condiciones..

A la vista de los datos anteriores, el resumen final de la valoración y medidas a tomar se puede observar en la tabla 3-2.

P Potencia bomba de calor (kW)	Instalación número	Ø mm Diámetro interior de tubería	v Velocidad (m/s) con $\Delta t=10$ K	Separador hidráulico	¿Debe disponerse de un volumen de inercia en la instalación?
16	1	16	1,94	Necesario**, al superar la velocidad de 1 m/s	Sí, siempre
16	2	20	1,24		
16	3	26	0,74	Recomendable *	

Tabla 3-2. Tabla resumen de los ejemplos de conexión directa

* Comprobar que la bomba circuladora dispone del caudal suficiente para la pérdida de presión considerada. Tener en cuenta que muchos elementos terminales disponen de válvulas de corte automáticas, termostáticas, etc., que pueden reducir el caudal y causar averías por falta de recirculación. Por estos motivos, la instalación de un separador hidráulico y/o depósito de inercia con esta función suele ser la opción más segura.

** Mediante el separador hidráulico se trabaja con dos caudales, uno en el lado del generador y otro en lado de los elementos terminales.

La recomendación general en viviendas, aunque sea solo para uso de calefacción, es la de limitar la velocidad a lo que indica el documento reconocido de comentarios al RITE (IDAE, 2007): «La velocidad de circulación del agua en los sistemas mixtos (calefacción y refrigeración) situados en el interior de las viviendas se limitará a 1 m/s», por lo que en la instalación 1 y 2 será necesario el uso de un separador hidráulico o depósito de inercia con esa función. En estas dos instalaciones se trabajará con dos caudales (y diferentes saltos térmicos) a un lado y otro del separador hidráulico.

En cuanto a las pérdidas de carga de la instalación, dependerán de la longitud de tubería instalada, del número de codos y accesorios utilizados, así como de los elementos terminales.

En el caso del ejemplo anterior, véase la tabla 3-3.

Potencia bomba de calor (kW)	Instalación número	Diámetro interior de la tubería (mm)	Caudal Q [l/s] para un salto térmico $\Delta t=10$ °C	Longitud total equivalente de tubería, incluyendo codos, etc. (m)	Pérdida de carga por metro lineal de tubería (m.c.a./m)	Pérdida de carga total (m.c.a.)	Separador hidráulico	¿Debe disponerse de un volumen de agua suficiente para la bomba de calor en la instalación?
16	1	16	0,3829	50	0,3	15	Necesario*	Sí, siempre
16	2	20	0,3829	50	0,1	5	Necesario*	Sí, siempre
16	3	26	0,3829	50	0,028	1,55	Recomendable	Sí, siempre

Tabla 3-3. Resumen del ejemplo de pérdida de carga con conexión directa

* Al no ser posible trabajar con las pérdidas de carga calculadas.

3.4. Selección de los equipos

Para la selección del equipo se suelen utilizar programas de cálculo específicos y actualizados, que los fabricantes de bombas de calor ofrecen a los técnicos que lo soliciten.

3.4.1. Selección de la bomba de calor en calefacción

Los puntos más importantes para la selección serían los siguientes:

1. Determinar la temperatura exterior de proyecto para la localidad considerada.
 - a. Pueden tomarse las temperaturas indicadas en el documento reconocido, *Condiciones climáticas exteriores de proyecto* (IDAE).
2. Determinar la potencia térmica necesaria en la instalación en la temperatura exterior de proyecto.
3. Establecer la temperatura de impulsión máxima necesaria.
 - a. Aunque en el mercado existen bombas de calor con temperaturas de impulsión de hasta 70 y 80 °C, para optimizar la eficiencia energética es conveniente que el sistema solo necesite llegar a dichas temperaturas de manera puntual, puesto que el COP es inversamente proporcional a la temperatura de impulsión.
 - b. Otra opción es valorar modelos con temperaturas máximas de impulsión más bajas, que incorporen sistemas auxiliares, que solo entren en funcionamiento en dichos momentos puntuales.

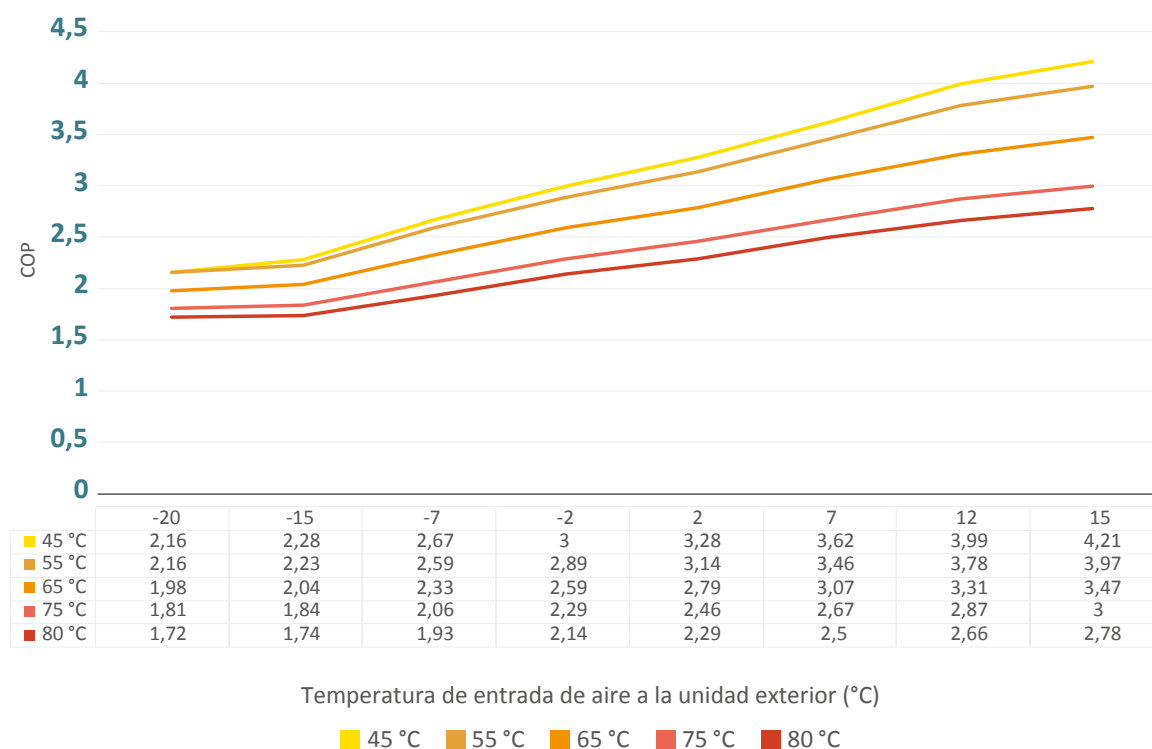


Gráfico 3-5. Ejemplo de variación del COP de una bomba de calor aire-agua de alta temperatura en función de las temperaturas exteriores y la temperatura de impulsión

4. Determinar la temperatura exterior a la que la bomba de calor debe aportar la potencia térmica necesaria, con base en el método de cálculo del RITE, para equipos reversibles, indicado en la IT 1.2,4,1,3,3 «Maquinaria frigorífica enfriada por aire».
5. Calcular el salto térmico necesario que se debe mantener en los elementos terminales.
6. Valorar preferentemente el uso de separadores hidráulicos o depósitos de inercia con esa función para garantizar el caudal óptimo en todos los equipos, tanto generador como elementos terminales, evitando problemas de falta de caudal por cierre de las válvulas de zona, parada de bombas, etc.
7. Concretar el volumen de agua necesario.

Esto evita ciclos cortos de compresor, garantiza una energía suficiente para desescarches, no hace necesario el uso de resistencia eléctrica para este fin, prolonga la vida útil de los equipos, etc.

8. Definir el esquema de principio y la estrategia de control completa.

Como se ha visto anteriormente, los fabricantes facilitan múltiples esquemas que incluyen el control de los equipos, grupos de bombeo, control de la instalación, telegestión, etc.

9. Especificar la potencia térmica necesaria a suministrar por la bomba de calor en calefacción o por la bomba de calor y el elemento auxiliar, para la temperatura de aire exterior de proyecto.

Debido a su principio de funcionamiento, las bombas de calor aportan menos potencia cuanto más elevada es su temperatura de impulsión y/o cuanto menor es la temperatura de captación o intercambio con el medio exterior, por lo que, para seleccionar el modelo de bomba de calor más adecuado es necesario consultar las curvas de trabajo y/o realizar simulaciones mediante *software* de cálculo que generalmente facilitan los fabricantes de los equipos.

Como ejemplo de selección de una bomba de calor se considera el caso de una vivienda en Burgos, que precisa 10 kW de potencia térmica aportada y una temperatura de impulsión de 35 °C (suelo radiante), a una temperatura exterior de proyecto de (-5,8 °C). Para esta vivienda, se consideran dos bombas de calor, que se reflejan en el gráfico 3-6.

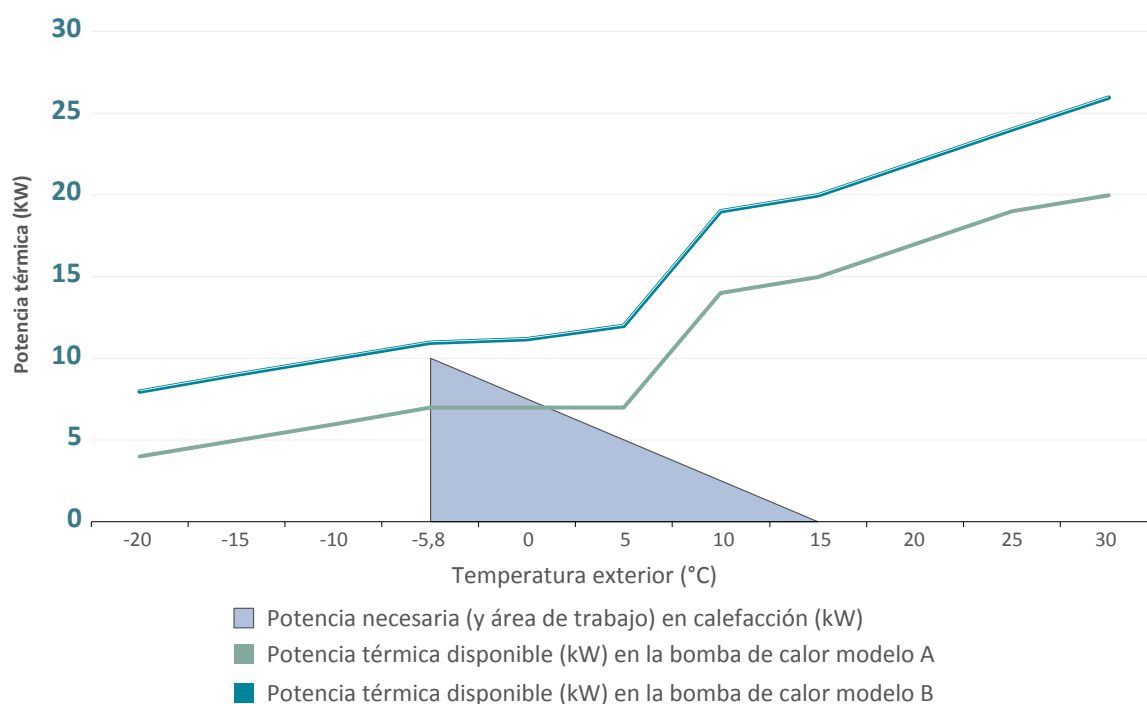


Gráfico 3-6. Curvas de potencia de dos modelos de bomba de calor y punto de bivalencia

En este gráfico se puede observar la evolución de la potencia aportada, por cada bomba de calor, en función de la temperatura exterior:

La bomba de calor «B» aporta la potencia necesaria a la temperatura exterior de cálculo (-5,8 °C), sin hacer uso del sistema auxiliar.

La bomba de calor «A» precisa de un elemento auxiliar de apoyo cuando la temperatura exterior se encuentra por debajo de los 0 °C. Esta temperatura de 0 °C sería la temperatura que los fabricantes denominan como «temperatura de bivalencia».

- La temperatura de bivalencia es la temperatura exterior por debajo de la cual la bomba de calor necesita el apoyo de un sistema auxiliar para alcanzar la potencia térmica necesaria.

Esta temperatura de bivalencia depende de la potencia de la bomba de calor elegida, de las temperaturas interiores seleccionadas y de la temperatura de inicio de la calefacción (a mayor aislamiento, presencia de sistemas de calidad de aire interior con recuperación de calor, etc., la temperatura de inicio de la calefacción será más baja, así como la temperatura de bivalencia y el número de horas de funcionamiento del sistema auxiliar), por lo que depende de cada instalación y es potestad del proyectista.

En el caso de la bomba de calor «A», para esta vivienda y localidad, este sería el desglose de funcionamiento del sistema auxiliar:

- Horas al año con temperatura exterior < 0 °C = 606 horas/año.

- Horas al año con temperatura exterior $< (-3\text{ °C}) = 170$ horas/año.
- Potencia auxiliar necesaria $P = 10 - 7 = 3$ kW.
- Energía necesaria que debe aportar el sistema auxiliar
 - $E_{\text{aux}} = 1,5\text{ kW} \times (606-170)\text{ h/año} + 3\text{ kW} \times 170\text{ h/año} = 1.164\text{ kWh/año}$.
- Debido al uso de la resistencia eléctrica, la eficiencia del sistema se reduciría en un 25% en este caso.

Las curvas de trabajo de las bombas de calor están disponibles en las tablas disponibles en la documentación técnica o en el *software* de cálculo que cada fabricante facilita, entre otros.

En este caso, la contratación de potencia eléctrica debe ser suficiente, especialmente cuando se tiene previsto el uso de resistencia eléctrica como sistema auxiliar. En general, elegir una bomba de calor de menor potencia y una resistencia eléctrica (de pequeña potencia, por ejemplo 2 kW) o una bomba de calor de mayor potencia (sin el uso de resistencia eléctrica) precisan de una contratación de potencia similar. En todo caso, la bomba de calor es un sistema de calefacción concebido para su uso continuo, lo que le permite trabajar a baja carga la mayor parte de la temporada de calefacción sin necesitar el uso de elementos auxiliares.

3.4.1.1. Uso de radiadores existentes

Como se indicaba en el capítulo dos, las bombas de calor obtienen sus mejores rendimientos cuanto menor sea la temperatura de impulsión, por lo que su instalación sobre sistemas existentes de baja temperatura no exige requisitos especiales, aparte de asegurar un volumen de agua para la bomba de calor y trabajar con el caudal que sea necesario en la bomba de calor y en el sistema existente.

Sin embargo, el uso de radiadores tradicionales sí merece más atención, especialmente al ser uno de los emisores más habituales.

En el caso de una rehabilitación en la que se estudie la incorporación de equipos bomba de calor, con la intención de trabajar con una menor temperatura de impulsión, debe valorarse la repercusión que tendrá la modificación de las temperaturas de trabajo y salto térmico del agua previsto. Es decir, un aspecto clave es verificar si, en estas nuevas condiciones, los radiadores existentes aportan la potencia necesaria para alcanzar las condiciones de confort o si es necesario tomar medidas adicionales.

Los radiadores de agua emiten calor por convección y por radiación. Esta emisión de calor depende del salto térmico entre la temperatura media del propio radiador (t_m) y la temperatura ambiente donde se encuentra el radiador (t_a). Desde el punto de vista del rendimiento de un generador, sea del tipo que sea, la temperatura de impulsión debe ser la menor posible.

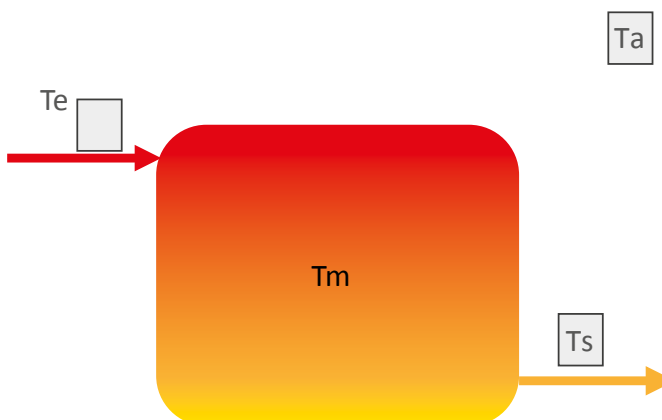


Gráfico 3-7. Temperaturas consideradas en un radiador

Donde:

- t_e : Temperatura de entrada del agua al radiador.
- t_m : Temperatura media del agua en el radiador.
- t_s : Temperatura de salida del agua del radiador.
- t_a : Temperatura ambiente.

La emisión térmica se ve influida por la diferente temperatura de trabajo de las instalaciones, como puede verse en el gráfico 3-8 de un radiador genérico.

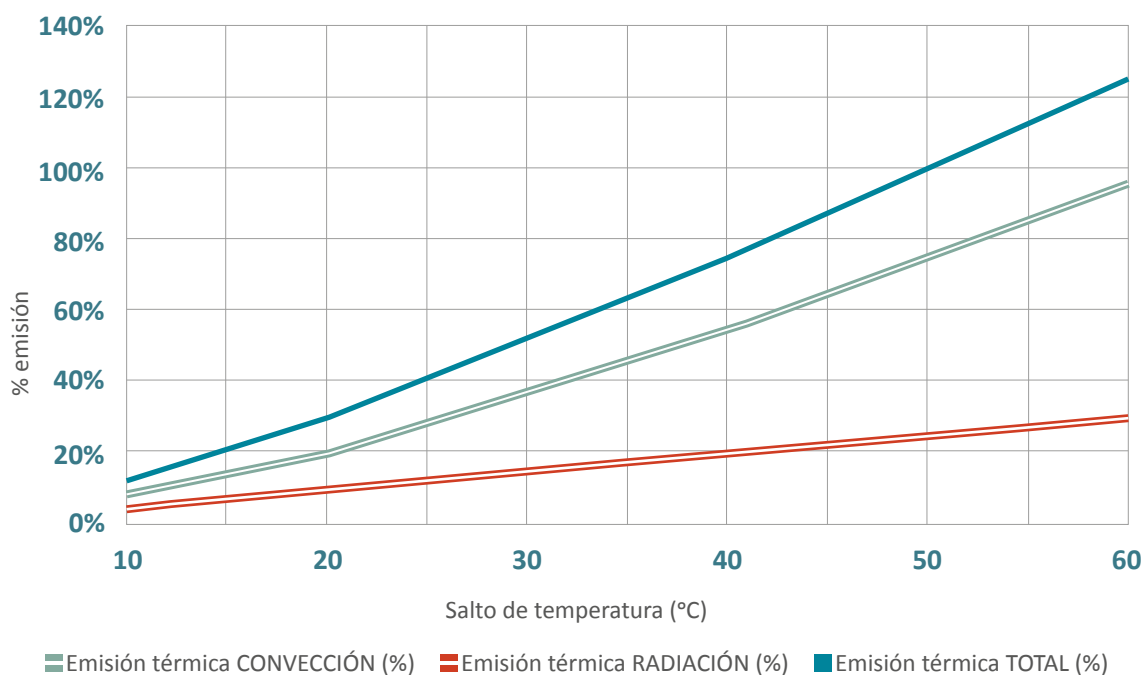


Gráfico 3-8. Emisión térmica en función del salto de temperatura de un radiador genérico (cada radiador tiene su curva correspondiente en función de su construcción, altura, etc.)

Para conocer la potencia aportada por un radiador se puede acudir a las tablas de los catálogos suministrados por los fabricantes, donde se expresa la emisión calorífica de cada modelo para un salto térmico de 50 °C con respecto al ambiente ($\Delta t = 50$ °C).

Como la emisión calorífica del radiador varía en función de dicho salto térmico, se recomienda consultar el dato de la nueva emisión y verificar su idoneidad a las nuevas temperaturas de trabajo.

Exponente de la curva y potencia térmica total, de un radiador (simulado) de 515 mm de ancho, en función de su altura y su salto térmico entre su temperatura media (T_m) y la temperatura ambiente (T_a)							
Exponente de la curva (n). UNE-EN 442	Altura del radiador (mm)	Salto térmico $\Delta T = T_m - T_a$	°C	60	50	40	30
1,24	755	Potencia térmica del radiador ($K\Phi$)	W	513,1	380,6	288,7	202,1
1,25	1160	"	W	869	613,1	464,1	323,9
1,26	1720	"	W	1282,9	911	687,8	478,7
1,22	760	"	W	512,1	289,9	220,6	155,3
1,26	1350	"	W	717,8	395,9	298,8	208,0
1,29	1990	"	W	1281,9	613,3	460,3	317,6

Tabla 3-4 Ejemplo de valores de emisión calorífica de diferentes radiadores de alta temperatura con diferentes saltos térmicos

De la fórmula del punto 2.2.2. de esta guía, ($\Phi = K_M \cdot \Delta T^n$), despejando K_M , para los datos de la tabla anterior, puede obtener el valor de la constante, lo que, unido al dato del exponente, permite calcular la potencia en cada salto térmico.

En caso de que el calor aportado no alcance la emisión calorífica que la vivienda necesita en las condiciones más desfavorables, será necesario considerar otras medidas, entre otras:

- Ampliar el número de elementos del radiador (si este lo permite).
- Aumentar el número de horas de calefacción para compensar la inercia térmica.
- Utilizar bombas de calor de mayor temperatura de impulsión.
- Reducir la demanda térmica del edificio, por ejemplo, mediante sistemas de ventilación con recuperación de calor.
- Utilizar radiadores de baja temperatura.

- Hibridar la instalación, combinando bombas de calor con calderas existentes y cubrir así el pico de demanda de temperatura de impulsión.

En relación a este último punto, la aparición de bombas de calor aerotérmicas domésticas que pueden alcanzar hasta 75 °C de temperatura gracias a los nuevos refrigerantes, o de bombas de calor de alta temperatura con doble etapa de compresión (dos compresores) y que elevan la temperatura de impulsión hasta los 80 °C, así como la posibilidad de combinar tecnologías, permiten hacer frente a todo tipo de instalaciones, bien como bomba de calor unitaria, bien como equipos en cascada o bien como sistema híbrido. Conviene recordar que, al elevar la temperatura de impulsión, el rendimiento de la bomba de calor se verá afectado y la eficiencia del sistema disminuirá con el consiguiente incremento en el consumo de energía.

Deben también estudiarse las patologías presentes antes de la actuación sobre la instalación, por lo que el técnico competente deberá hacer un estudio previo de cuál es el comportamiento real de los radiadores en la instalación, por ejemplo, mediante termografías, que pueden arrojar información de descompensaciones hidráulicas, exceso o falta de caudal, etc., que precisa de una evaluación previa. Existe numerosa bibliografía al respecto de causas y soluciones, así como estudios sobre la uniformidad de la radiación de los emisores de calor por agua y su repercusión en su rendimiento energético.

En instalaciones simples, como las de una vivienda unifamiliar, se puede realizar una prueba sencilla sobre la instalación objeto de estudio. Esta prueba consiste en hacer funcionar el generador basado en combustible fósil a una temperatura de impulsión de 50 °C o menor durante un tiempo limitado (un mes, etc.), en condiciones de invierno. Si el usuario no percibe cambios en las condiciones de confortabilidad, es posible instalar una bomba de calor con garantías de ahorro. Esta prueba debe dejarse solo en manos de un técnico competente, puesto que no todas las calderas pueden trabajar en esas condiciones durante mucho tiempo, sin elementos adicionales.

Con esta prueba se puede comprobar si el número de elementos del radiador instalado es suficiente para alcanzar las temperaturas requeridas en el interior; en caso contrario, debe investigarse si el caudal en circulación es correcto, si la compensación hidráulica es correcta, etc., y repetir la prueba hasta llegar a resultados concluyentes.

En la mayoría de las ocasiones, para el trabajo con radiadores basta con aumentar el número de horas de funcionamiento.

Como se indica en el RITE, para nuevas instalaciones, «los emisores térmicos se dimensionarán para temperaturas de entrada en calefacción inferiores a 60 °C, y de entrada en refrigeración superiores a 7 °C».

3.4.2. Selección de la bomba de calor en ACS

Para cubrir la demanda de ACS mediante bomba de calor, en términos generales, es preciso tener en cuenta detalles como: un dimensionamiento generoso del depósito de acumulación, una programación de intervalos horarios para acumular la energía necesaria en ACS cuando la energía eléctrica es más económica o cuando no existen otras demandas, hacer uso de depósitos estratificados, conocer el volumen de agua real consumido y el perfil de extracción horario real, conocer de antemano las pérdidas en el sistema de recirculación, etc., con el fin de poder garantizar, no solo el confort del usuario, sino también el ahorro de energía que se espera de la bomba de calor.

En la selección de la unidad interior, ya sea con interacumulador de ACS integrado o separado, se deben considerar las variables que se exponen a continuación.

3.4.2.1. Superficie de intercambio del serpentín

En caso de que se trabaje sobre un depósito interacumulador separado e independiente, la superficie mínima de su intercambiador deberá ser igual o superior a la mínima requerida para garantizar una carga del depósito de manera eficiente desde el punto de vista de la bomba de calor. A este fin, debe evitarse usar interacumuladores de pequeño volumen con bombas de calor de gran potencia, puesto que por término general, sus intercambiadores disponen de escasa superficie de intercambio y su combinación puede provocar que, como la potencia disponible en el compresor es mayor que la potencia que puede disipar el intercambiador, la bomba de calor sufra de procesos de paro y arranque continuos, sin alcanzar temperatura de consigna.

Otro punto que desaconseja esta combinación de bombas de calor con acumuladores de baja capacidad (y baja estratificación) es el de que cualquier extracción de agua obliga a la bomba de calor a ponerse en marcha, no se almacena la demanda de ACS diaria, etc.

La superficie mínima recomendada habitual es de 0,25 a 0,30 m²/kW, para la potencia nominal disponible en la bomba de calor.

En el caso del uso de intercambiadores de placas, deberá respetarse el salto térmico indicado por el fabricante de la bomba de calor.

En zonas donde las temperaturas exteriores son elevadas durante gran parte del día en verano y donde se hace necesario el uso de refrigeración durante un gran número de horas, es importante dimensionar el volumen del acumulador de ACS para que pueda contener la demanda prevista con antelación suficiente y no interrumpir el modo de refrigeración. Otras posibles aproximaciones para la resolución de este problema son el uso de bombas de calor solo para ACS, el uso de sistemas de recuperación de energía de refrigeración, etc. En el punto 3.3.2.3 se aportan recomendaciones al respecto del volumen del acumulador.

3.4.2.2. Intercambiador de placas

Los intercambiadores de calor de placas se utilizan con frecuencia para el calentamiento de ACS desde sistemas de almacenamiento primario, puesto que en un tamaño reducido se dispone de una gran superficie de intercambio. Para el uso con bomba de calor, debe tenerse en cuenta que el salto térmico en la bomba de calor, salvo bombas de calor de producción instantáneas de ACS, no suele superar los 10 K, así como que la temperatura de impulsión máxima es menor que la de un sistema basado en combustible fósil.

Las condiciones de trabajo más habituales de salto térmico serían las de 10 K para acumulación a baja temperatura y 5 K para acumulación a alta temperatura.

Cada acumulador dispone de elementos que favorecen la estratificación, por lo que deberán seguirse las instrucciones del fabricante. Un ejemplo con acumuladores con lanza de carga estratificada integrada en el interior del acumulador, sería la que muestra el gráfico 3-9. La toma de recirculación de ACS se conecta en el tercio superior del acumulador, para evitar romper la estratificación buscada.

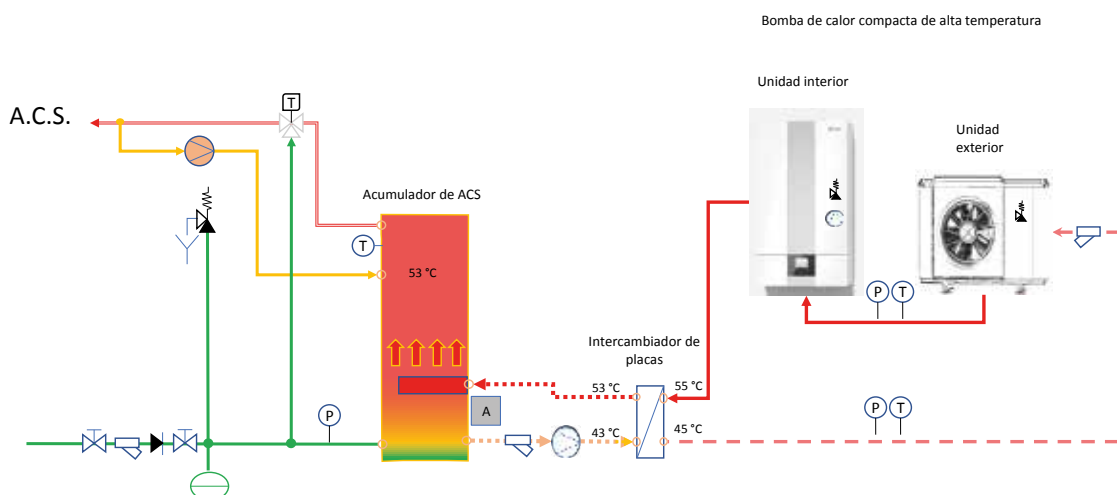


Gráfico 3-9. Ejemplo simplificado de uso de intercambiador de placas con bomba de calor, con salto térmico previsto para baja temperatura de acumulación. Acumulador con lanza de carga estratificada

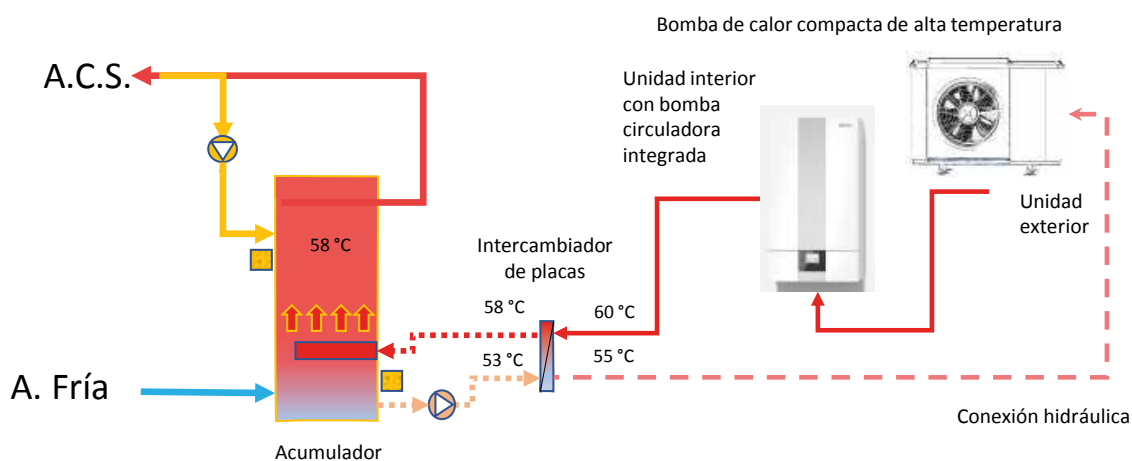


Gráfico 3-10. Ilustración simplificada de la combinación de un intercambiador de placas para la producción de ACS mediante bomba de calor, con salto térmico previsto para alta temperatura de acumulación y acumulador con lanza de carga estratificada

A título de ejemplo se muestra el salto térmico en el circuito de ACS de otro tipo de bombas de calor, las bombas de calor de producción instantánea de ACS, donde el salto térmico alcanza valores mayores a 60 K. En el capítulo 5 se muestra un caso tipo con una bomba de calor de producción instantánea para ACS.

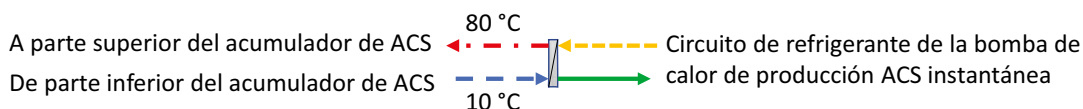


Gráfico 3-11. Ejemplo de producción instantánea de ACS con bombas de calor de producción instantánea

En todos los acumuladores de ACS, pero especialmente en los acumuladores que trabajan con intercambiador de placas y bomba, debe evitarse romper la estratificación, por lo que debe hacerse uso de lanzas de carga estratificadas (elementos que evitan romper la estratificación durante el calentamiento) o métodos de igual eficacia, donde sea preciso.

3.4.2.3. Dimensionamiento del volumen del acumulador o interacumulador

El acumulador o interacumulador estará dimensionado para garantizar la demanda y el confort del usuario en todo momento y será estratificado y con una acumulación que responda a la demanda real con un suficiente margen de seguridad.

Para el cálculo de su volumen se debe realizar una estimación del volumen de agua caliente consumida de forma continuada o entre ciclos de carga de ACS, de modo que siempre se disponga de un volumen de agua caliente acumulada suficiente para satisfacer las necesidades y el confort del usuario en toda condición. Cada usuario es diferente y sus perfiles de uso pueden diferir de lo considerado en el HE-4 del CTE, por lo que conviene estudiar cada caso concreto.

En rehabilitación, toma especial importancia la consideración de las pérdidas de energía causadas a través de las tuberías de recirculación, así como la posición en donde se conecta la bomba de recirculación, que debe estar en el tercio superior del interacumulador para evitar la rotura de la estratificación del depósito. Las pérdidas de energía deben compensarse con un mayor volumen de agua acumulada para no incurrir en ciclos cortos de arranque y parada.

El ratio mínimo recomendado de acumulación de ACS con bomba de calor varía, pero, en general, en instalaciones domésticas, es de aproximadamente entre 40 y 50 litros por persona y día, de demanda a 45 °C, ratio obtenido tras aplicar tres correcciones a la demanda de 28 litros por persona y día a 60 °C, establecida en el anexo F del Documento Básico de Ahorro de Energía del CTE.

- La primera corrección se basa en aplicar la fórmula de corrección de la demanda.
- La segunda se basa en intentar acumular la demanda diaria en una sola carga del acumulador, preferentemente fuera de los horarios críticos de calefacción y refrigeración.
- La tercera, relacionada con la segunda corrección, tiene en cuenta la influencia de la estratificación del tanque de ACS, puesto que no todo el volumen de agua del depósito se encontrará a la temperatura de consigna, al existir un volumen de agua fría en la parte inferior del depósito. Debido a esto, el volumen de ACS disponible en el depósito es siempre inferior al volumen total del depósito.

Documento Básico HE Ahorro de energía con comentarios
Anejo F. Demanda de referencia de ACS

El consumo de ACS a una temperatura (t), de preparación, distribución o uso, distinta de la de referencia (60 °C), se puede obtener a partir del consumo de ACS a la temperatura de referencia usando las siguientes expresiones:

$$D(T) = \sum_{i=1}^{12} D_i(T)$$

$$D_i(T) = D_i(60^{\circ}\text{C}) \frac{60-T_i}{T-T_i}$$

donde:

- D(T) Demanda de agua caliente sanitaria anual a la temperatura T elegida;
- D_i(T) Demanda de agua caliente sanitaria para el mes i, a la temperatura T elegida;
- D_i(60 °C) Demanda de agua caliente sanitaria para el mes i, a la temperatura de 60 °C
- T Temperatura del acumulador final;
- T_i Temperatura media del agua fría en el mes i (según Anejo G).

Tabla 3-5. Extracto del Anejo F. Cálculo de la demanda de litros de ACS en función de la temperatura de preparación, punto 3, del Documento Básico HE del CTE

Siguiendo un método de cálculo mensual, para una temperatura de acumulación con bomba de calor de 45 °C, en una vivienda de 3 dormitorios (4 personas) y localidad de ejemplo Valencia, el volumen de demanda de ACS a la temperatura de acumulación y el depósito de ACS recomendado sería de:

Cálculo volumen acumulador ACS con BdC		Ud.	EN	FE	MA	AB	MY	JN	JL	AG	SE	OC	NO	DI
ACS. Temperatura CTE	a	°C	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
ACS. Temperatura consigna en acumulador	b	°C	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
ACS. Temperatura agua fría Valencia	c	°C	10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
ACS. Demanda CTE	d	°C	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Número de personas	e		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ACS. Demanda CTE a 60 °C	F = d x e	(l/d)	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112
ACS. Demanda diaria a temperatura consigna	G = F x ((a-c)/(b-c))	(l/d)	160	161	163	165	168	172	177	179	174	170	165	161
ACS. Volumen acumulador elegido	Catálogo fabricante	Litros	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190

Tabla 3-6. Ejemplo de cálculo de acumulador con bomba de calor en instalaciones domésticas. Valencia

El ratio de acumulación antes indicado es ampliable en función del tipo de usuario y uso del local, por ejemplo, porque sea preciso hacer frente a otros usos adicionales al ACS, como llenados de bañeras, *jacuzzi*, duchas de gran caudal (40 litros/min), existencia de una instalación fotovoltaica donde sea preciso acumular la energía producida disponible en forma de energía térmica, etc.

No obstante, cuanto mayor es esta temperatura de acumulación, para un volumen físico del depósito y una temperatura del agua de red dados, mayor es la capacidad de suministrar agua caliente para uso doméstico (volumen equivalente), dado que para llegar a la temperatura de utilización fijada de 40 °C se necesita una mezcla de menos agua caliente procedente del depósito y más agua fría. Este volumen es posible estimarlo mediante la siguiente ecuación:

$$V_1 [l] = V_2 [l] + V_2 [l] \cdot \left(\frac{T_2 [^{\circ}\text{C}] - 40 [^{\circ}\text{C}]}{40 [^{\circ}\text{C}] - T_1 [^{\circ}\text{C}]} \right)$$

Siendo:

- V_1 : Volumen equivalente del acumulador expresado en litros.
- V_2 : Volumen físico del acumulador expresado en litros.
- T_2 : Temperatura de acumulación en °C.
- T_1 : Temperatura de agua de red en °C.

Ejemplo de cálculo: Se tiene una instalación con un acumulador de 230 l. Se desea conocer el volumen equivalente de consumo a 40 °C si se acumula a una temperatura de 55 °C.

Considerando una temperatura de agua fría de red de 7 °C y aplicando la ecuación anterior se obtiene:

$$V_1 [l] = 230 [l] + 230 [l] \cdot \left(\frac{55 [^{\circ}\text{C}] - 40 [^{\circ}\text{C}]}{40 [^{\circ}\text{C}] - 7 [^{\circ}\text{C}]} \right)$$

$$V_1 [l] = 335 [l]$$

Es decir, el volumen equivalente sería de 335 litros.

En general, las temperaturas de acumulación son superiores a las de consumo, por lo que o bien a la salida del acumulador el ACS se mezcla con agua fría de red mediante una válvula termostática o bien esta mezcla se produce en el punto de uso para conseguir la temperatura deseada (unos 40 °C). En locales donde se precisen mayores temperaturas de acumulación, como por ejemplo 60 °C, será necesario disponer de bombas de calor que alcancen temperaturas de primario de 65 °C o superiores, o sistemas auxiliares.

Si el volumen de acumulación, aislamiento, temperatura, programación horaria del uso, programación horaria de la recirculación, etc. son correctas, no es necesario el uso de resistencia eléctrica como sistema auxiliar para el ACS, puesto que la bomba de calor debe ser capaz de acumular toda la demanda diaria en una sola carga, y fuera de los horarios de calefacción y/o refrigeración.

En el gráfico 3-12 se puede ver un depósito de ACS para bomba de calor (doméstica).

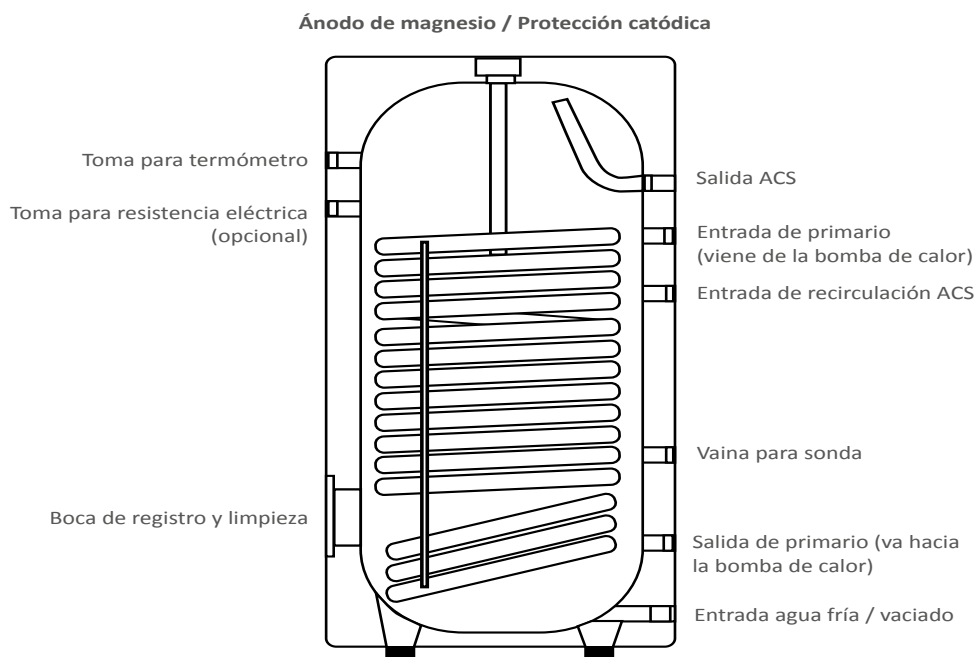


Gráfico 3-12. Depósito interacumulador de ACS para bomba de calor, con serpentín de gran superficie y alta estratificación

El emplazamiento del depósito debe tener en cuenta el peso de los acumuladores (llenos), así como el acceso para introducción, mantenimiento, reparación o sustitución.

Los caudales habituales para cada servicio pueden encontrarse en el documento HS del CTE. Para instalaciones centralizadas, el dimensionamiento de los depósitos se realizará teniendo en cuenta los perfiles horarios de consumo.

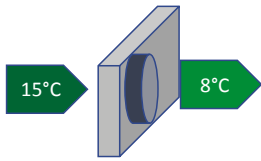
3.5. Consideraciones técnicas de instalación

En cualquier actuación se recuerda que se deben utilizar productos y equipos que cumplan la normativa, que el personal disponga de las oportunas habilitaciones, así como cumplir con toda la legislación vigente relativa a la seguridad laboral.

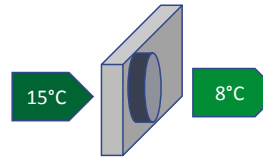
3.5.1. Instalación de las unidades exterior e interior

Es necesario que las unidades se instalen respetando siempre las distancias mínimas a los paramentos indicadas en los manuales de los fabricantes. Esto es así no solo para disponer de un espacio suficiente para el mantenimiento, sino para evitar corrientes de aire de cortocircuito que irían en detrimento de la potencia y rendimiento del equipo, de modo instantáneo, como puede verse en el gráfico 3-13.

EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD EXTERIOR, EN MODO CALEFACCIÓN, SIN OBSTÁCULOS QUE RECIRCULEN EL AIRE FRÍO EXPULSADO POR EL EQUIPO

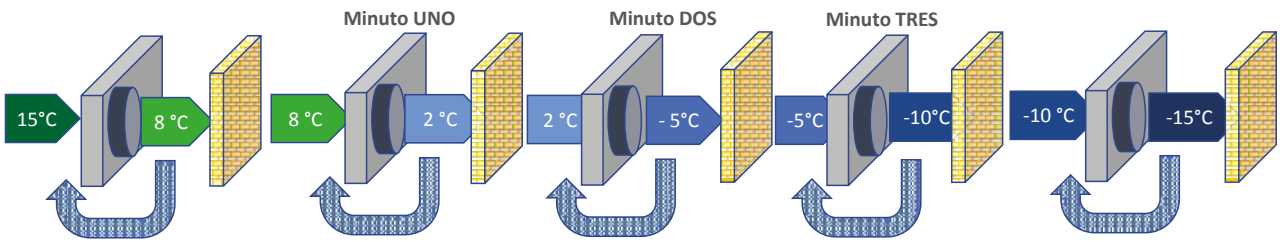


Minuto cero, bomba de calor "ON"
 COP = 6.
 Potencia aportada EN CALEFACCIÓN
 12 kW
 Potencia consumida 2 kW



Minuto
 COP = 6
 Potencia aportada EN
 CALEFACCIÓN = 12 kW
 Potencia consumida 2 kW

EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD EXTERIOR, EN MODO CALEFACCIÓN, CUANDO EXISTEN OBSTÁCULOS QUE RECIRCULAN GRAN PARTE DEL AIRE FRÍO EXPULSADO

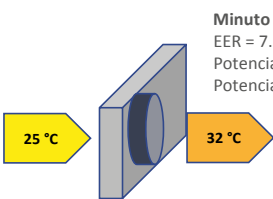


Minuto cero, bomba de calor "ON"
 COP = 6
 Potencia aportada EN CALEFACCIÓN = 12 kW
 Potencia consumida 2 kW

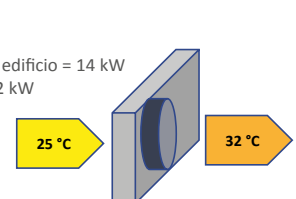
Minuto CINCO
 COP = 1,4
 Potencia aportada EN CALEFACCIÓN = 2,8 kW
 Potencia consumida 2 kW

Gráfico 3-13. Consecuencias de la recirculación de aire en modo «calefacción»

EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD EXTERIOR, EN MODO REFRIGERACIÓN, SIN OBSTÁCULOS QUE RECIRCULEN EL AIRE CALIENTE EXPULSADO



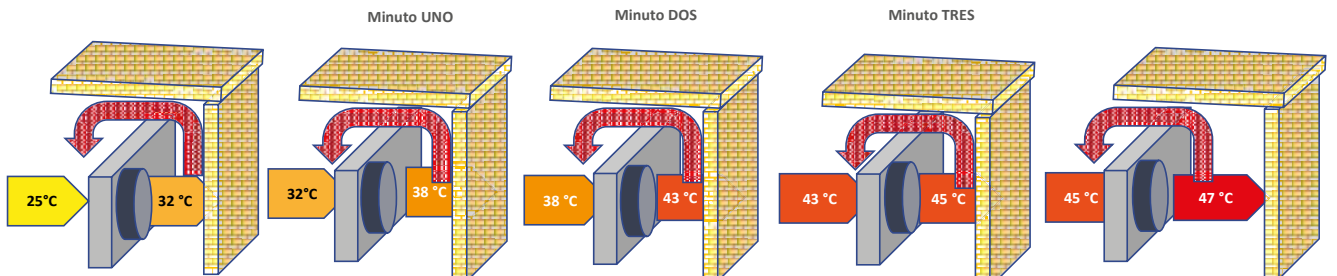
Minuto CERO, Equipo en refrigeración "ON"
 EER = 7.
 Potencia extraída del edificio = 14 kW
 Potencia consumida 2 kW



Minuto
 EER = 7
 Potencia extraída del edificio = 14 kW
 Potencia consumida 2 kW

Ud. Exterior bomba de calor

EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD EXTERIOR, EN MODO REFRIGERACIÓN, CUANDO EXISTEN OBSTÁCULOS QUE RECIRCULAN GRAN PARTE DEL AIRE CALIENTE EXPULSADO



Minuto CERO, Equipo en refrigeración "ON"
 EER = 7.
 Potencia extraída del edificio = 14 kW
 Potencia consumida 2 kW

Minuto CINCO
 EER = 2
 Potencia extraída del edificio = 4 kW
 Potencia consumida 2 kW

Gráfico 3-14. Consecuencias de la recirculación de aire en modo «Refrigeración»

En ambos casos se da una pérdida drástica, no solo de potencia térmica, sino también de rendimiento. Nótese que la potencia consumida de la bomba de calor es la misma, lo que varía en ambos casos es la potencia aportada o la potencia extraída.

En el caso de las bombas de calor de calefacción, al expulsar aire frío (más denso que el aire caliente), debe tenerse la precaución de no instalarlas en fosos, fondos de patio mal ventilados, etc., puesto que en invierno el aire frío se depositará en el fondo del mismo, afectando a su rendimiento. En general:

- El aire frío es más denso que el aire caliente, por lo que las unidades exteriores no se pueden instalar en el fondo de fosos o de patios no ventilados, etc.
- El equipo debe elevarse del suelo para evitar bloqueos por nieve.
- El aire no puede revocar y regresar en ningún caso, por lo que debe evitarse que el aire choque y revoque, si existe una pared delante del equipo, celosías, etc.
- Tampoco es correcto que las máquinas se echen el aire unas a otras.
- Debido al tamaño de las unidades exteriores suele precisarse más espacio con equipos de aerotermia que las unidades exteriores habituales de aire acondicionado.
- Ejemplo de ubicación de la unidad exterior.
 - Evitar los casos con pared frontal de salida u obstáculo.

Otro aspecto relevante, a la hora de elegir el emplazamiento, son los niveles de ruido tanto de la unidad exterior como de la unidad interior. Si se prevé que pudieran llegar a ser molestos para las personas, hay que anticiparse y tomar las medidas necesarias para atenuarlos, ya sea mediante regulación y control (donde la regulación de los equipos permite activar varios niveles de modo «silencioso» en los que limitan las revoluciones de los ventiladores, compresores, cambian la estrategia de funcionamiento en lo relativo a cómo se responde a demanda, etc.), como mediante un aislamiento acústico adicional de las unidades.

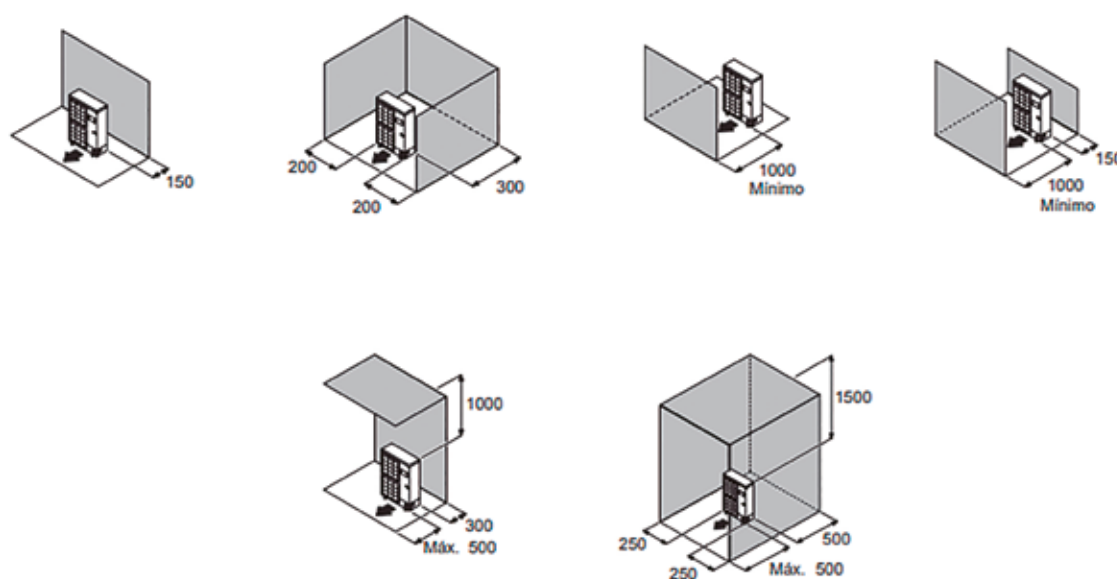


Gráfico 3-15. Ejemplos de distancias mínimas para la instalación de una unidad exterior

En general, los manuales técnicos de los fabricantes muestran reglas de cálculo para determinar la presión sonora que percibiría un usuario, en función de la distancia al equipo, así como la influencia de la geometría del emplazamiento, entre otros criterios, por lo que puede detectarse este problema con antelación y tomarse medidas al respecto.

En cuanto a la interconexión de tuberías frigoríficas entre la unidad exterior e interior, se debe realizar siempre con los diámetros de tubería indicados por el fabricante, así como dentro de las distancias máximas y mínimas permitidas y para cada equipo; el no seguirlas puede acarrear problemas en el equipo y en la instalación, como, por ejemplo, golpe de líquido si la tubería está sobredimensionada, falta de recirculación de aceite, rotura de compresor, falta de rendimiento, etc.

En caso de trabajar con bombas de calor en las que la interconexión se realiza con agua, se deberá tener presente la normativa vigente relativa a instalaciones térmicas, recogida en el RITE, así como todos los aspectos hidráulicos intrínsecos a las instalaciones de agua y, especialmente, la presión estática máxima de la instalación y que esta no supere la máxima permitida por los generadores de bomba de calor.

En el caso de la instalación de las unidades exteriores deben tenerse en cuenta lo dispuesto en las oportunas ordenanzas municipales.

3.5.2. Selección de la unidad en función de la potencia necesaria en calefacción y refrigeración

Si la demanda más desfavorable se da en modo refrigeración, el equipo debe seleccionarse para cubrirlo en este modo de funcionamiento. Si la demanda más desfavorable se da en modo calefacción, el equipo debe dimensionarse para este modo, bien sola o bien con apoyo de un sistema auxiliar.

La disposición de las unidades interiores y exteriores, el trazado de las líneas frigoríficas, así como la longitud de las mismas, inciden en la capacidad calorífica y/o frigorífica de una bomba de calor partida. En consecuencia, el proyectista debe realizar un planteamiento de la instalación ayudándose de las tablas o del *software* de corrección existente de cada fabricante, de tal manera que seleccione un modelo con potencia suficiente que asegure que la capacidad efectiva que llegue al recinto a climatizar sea la proyectada.

Se trata de una disminución de potencia que no se debe al aislamiento de la tubería (cuya presencia es crítica e imprescindible para evitar cambios de fase en el fluido refrigerante), sino a las pérdidas de carga de la tubería que afectan a la presión de evaporación o condensación en los intercambiadores.

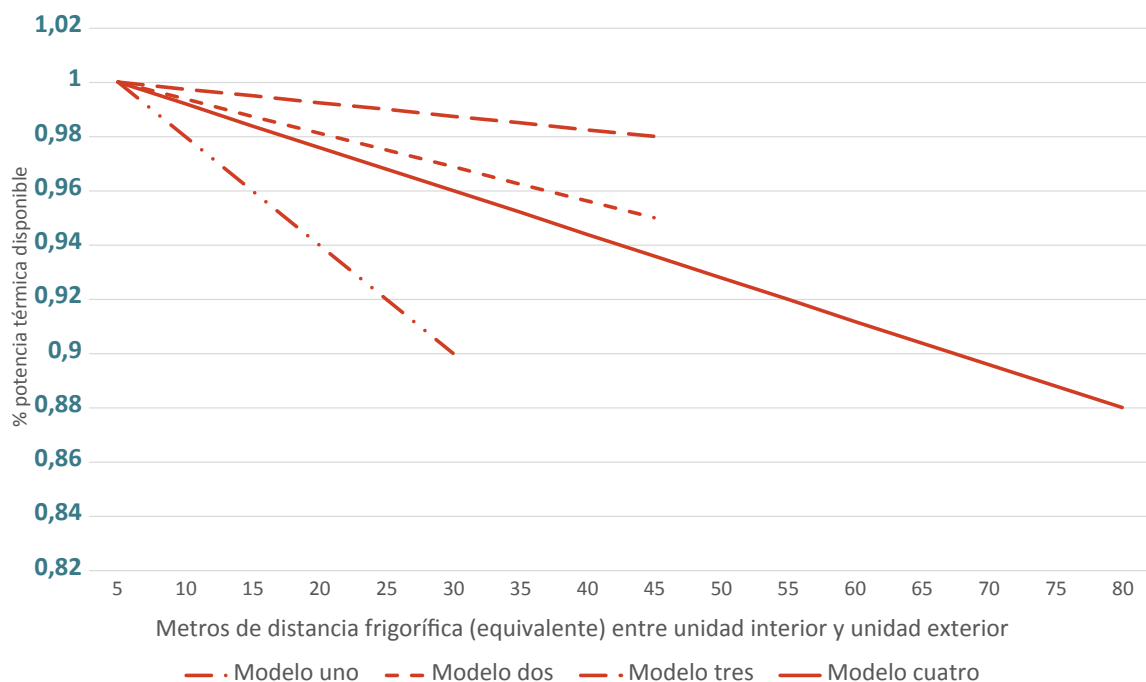


Gráfico 3-16. Ejemplos de variación de potencia térmica disponible en calefacción o ACS en función de la distancia frigorífica (equivalente) entre la unidad interior y la unidad exterior, para cuatro modelos de bomba de calor diferentes

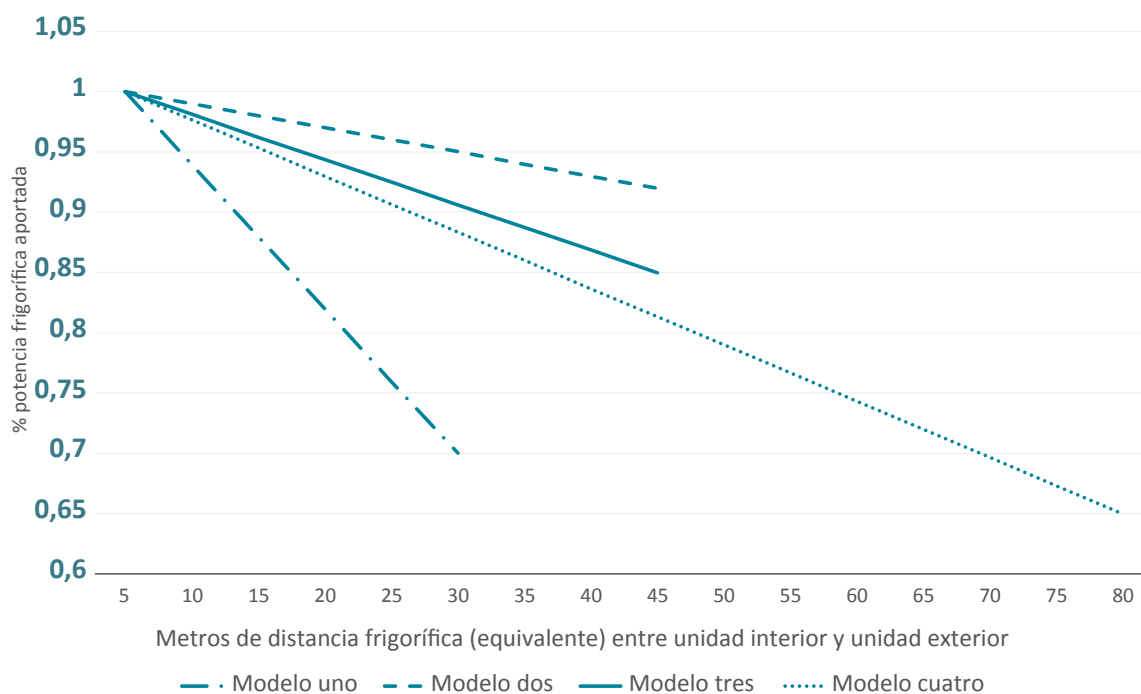


Gráfico 3-17. Ejemplos de variación de potencia de refrigeración disponible en función de la distancia frigorífica (equivalente) entre la unidad interior y la unidad exterior, para cuatro modelos de bomba de calor diferente

3.5.3. Límites de operación

Las bombas de calor presentan límites operativos que pueden variar de una gama a otra y de un fabricante a otro, por lo que es preciso comprobar que las condiciones de diseño del proyecto se encuentran dentro de los intervalos de funcionamiento viables de la unidad seleccionada.

Aunque las condiciones de trabajo durante los arranques son más extremas que las de operación, no suelen tener efecto en el equipo al ser transitorias. Transcurrido un tiempo, los valores, parámetros, etc. se encuentran ya dentro de los límites operativos.

El mapa de trabajo de las bombas de calor actuales aire-agua para calefacción, refrigeración y ACS podría ser el que se observa en el gráfico 3-18, siempre en función del modelo.

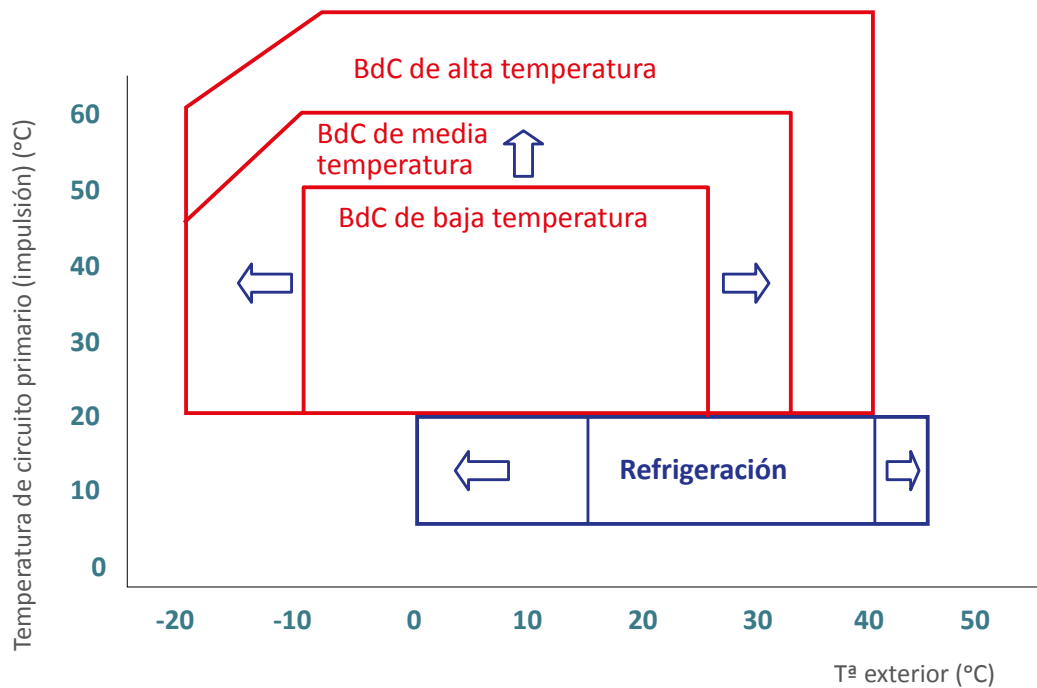


Gráfico 3-18. Rangos de operación habitual de bombas de calor

A continuación, se incluyen los rangos de operación más comunes de distintos tipos de equipos:

Equipos solo ACS		
Rango de temperatura exterior	-10 °C	+35 °C

Equipos tipo doméstico <i>split</i> y <i>multisplit</i>		
Rango de temperatura exterior en refrigeración	-10 °C	+46 °C
Rango de temperatura exterior en calefacción	-15 °C	+20 °C

Equipos multitarea (climatización + ACS)		
Rango de temperatura exterior en refrigeración	-10 °C	+46 °C
Rango de temperatura exterior en calefacción	-20 °C	+35 °C
Rango de temperatura exterior en ACS	-20 °C	+35 °C
Rango de temperatura salida agua fría	+5 °C	+22 °C
Rango de temperatura salida agua caliente en calefacción	+25 °C	+55 °C
Rango de temperatura salida agua caliente en calefacción, con tecnología de ciclo en cascada	+25 °C	+80 °C
Rango de temperatura salida agua caliente en ACS	+25 °C	+60 °C
Rango de temperatura salida agua caliente en ACS, con tecnología de ciclo en cascada	+25 °C	+75 °C

<i>Equipos tipo VRF, condensados por aire. Con esta aplicación de VRF con sistemas en cascada se puede obtener ACS a temperaturas > 65 °C, con temperaturas exteriores comprendidas entre -20 y 43 °C.</i>		
Rango de temperatura exterior en refrigeración	-5 °C	+43 °C
Rango de temperatura exterior en calefacción	-20 °C	+16 °C
Rango de temperatura exterior en ACS	-20 °C	+43 °C
Rango de temperatura salida agua caliente en ACS	+30 °C	+75 °C

<i>Bombas de calor reversibles aire-agua</i>		
Rango de temperatura exterior en refrigeración	-10 °C	+48 °C
Rango de temperatura exterior en calefacción	-15 °C	+35 °C
Rango de temperatura exterior en ACS	-20 °C	+35 °C
Rango de temperatura salida agua fría *Temperaturas negativas precisan el uso de agua glicolada	+5 °C/ -7 °C*	+22 °C
Rango de temperatura salida agua caliente en calefacción	+25 °C	+55 °C

Equipos aire-aire autónomos y <i>rooftop</i>		
Rango de temperatura exterior en refrigeración	-10 °C	+48 °C
Rango de temperatura exterior en calefacción	-12 °C	+15 °C

Tabla 3-7. Rangos de temperatura de trabajo habituales

Estos límites operativos de temperatura exterior para cada modo pueden, en algunas ocasiones, ampliarse mediante el empleo de dispositivos opcionales que los fabricantes ofrecen añadir al equipo y que se encuentran en su tarifa o catálogo. El montaje en campo de estos dispositivos siempre es más complejo y requiere una mayor inversión que en fábrica, por lo que es importante identificar esta necesidad en una fase temprana del pedido o selección del equipo y añadirlos al presupuesto.

Entre los opcionales más habituales para la ampliación del rango de funcionamiento a mayores o menores temperaturas exteriores, se destacan los siguientes controles:

- Control de presión de condensación
 - Su función es ampliar el rango de temperaturas exteriores iniciales de catálogo en refrigeración hasta los 0 °C de temperatura exterior o incluso temperaturas inferiores, por lo que el equipo puede mantener su funcionamiento en refrigeración incluso con bajas temperaturas exteriores.
 - Se suele instalar en equipos cuyo modo de trabajo es siempre el de refrigeración.
 - Válido para refrigeración de Centros de Procesamiento de Datos, procesos industriales, etc.

- Control de presión de evaporación

Amplía el rango de temperaturas exteriores bajo las que la bomba de calor puede seguir trabajando en modo «calefacción» o «ACS» (véase gráfico 3-18).

Se utiliza en zonas donde es necesario calentar ACS, con temperaturas exteriores elevadas.

En zonas con alta carga de refrigeración, valorar el uso de bombas de calor con recuperación de calor para ACS.

Para el arranque de la instalación, sin embargo, entra también en juego la temperatura de límite operativo, que es la temperatura mínima de agua en el circuito interior, imprescindible y necesaria para poner en marcha el compresor en calefacción. Un valor típico de esta temperatura es 15 °C o 20 °C.

En las instalaciones que se ponen en marcha habitualmente a principio de la temporada de calefacción, la temperatura de límite operativo no es un factor a tener en cuenta, puesto que en esas fechas rara vez el agua está a una temperatura inferior a este límite. Una vez en marcha, puesto que la bomba de calor se considera un sistema «de calefacción continuo», que funciona 24 horas y en curva de calefacción, el mantenimiento de la instalación ya evita alcanzar una temperatura de agua por debajo de este límite. Conviene recordar que los tiempos de puesta en régimen de la instalación con bomba de calor son de uno a dos días (sin hacer uso de resistencias).

Sin embargo, en instalaciones que se encuentran paradas todo el año y que se desean poner en marcha, por ejemplo, un 24 de diciembre, este límite de temperatura operativa impedirá el uso del compresor, si, por ejemplo, el agua está por debajo de los 15 °C. En estos casos, si no se ha tenido la precaución de poner en marcha el equipo con tiempo suficiente, con temperaturas reducidas, etc., el compresor no funcionará hasta que la temperatura del agua se eleve por encima del valor mínimo, lo que hace que sea imprescindible el uso de sistemas auxiliares que eleven la temperatura de retorno por encima de este valor para poder arrancar el compresor. De nuevo, es beneficioso el uso de separadores hidráulicos o depósitos de inercia que actúen como separador hidráulico, puesto que, de este

modo, pueden desconectarse hidráulicamente los emisores de la instalación hasta que se alcance la temperatura mínima para el arranque del compresor.

Para evitar estos inconvenientes, se recomienda el uso de los sistemas de control (telegestión) que ofrecen los fabricantes, muchos de ellos de serie, que permiten que el equipo se ponga en marcha en modo reducido automáticamente, lo que protege la vivienda, mantiene la inercia a una temperatura operativa, evita la congelación de tuberías, unidad exterior, etc.

Disponer de resistencia eléctrica como sistema auxiliar, preparada, aunque «inhabilitada» desde el punto de vista de control, también es una recomendación general, puesto que puede ser considerada como una «rueda de repuesto» en caso de avería de la unidad exterior.

Para instalaciones que se proyectan con una necesidad de un calentamiento rápido, se recomienda disponer de varios circuitos hidráulicos con *fancoils*, además de los de suelo radiante o radiadores, ya que estos no ofrecen una inercia térmica y permiten un calentamiento rápido, por lo que pueden ayudar a reducir el tiempo de puesta en marcha de la vivienda.

3.5.4. Consideraciones sobre el sistema hidráulico

A continuación se reflejan los aspectos más importantes que deben tenerse en cuenta previos a la instalación.

Producción de ACS: como se ha citado anteriormente, al trabajar por acumulación y con depósitos presurizados, es necesario instalar todas las medidas de seguridad pertinentes para poder llevar a cabo la operación con total seguridad. En el RITE queda recogida la obligatoriedad de la instalación de una válvula de seguridad y un vaso de expansión. Cuando no existe demanda de ACS, la instalación se comporta como un circuito cerrado (similar a un circuito de calefacción) y el aumento de temperatura en los depósitos lleva consigo un aumento del volumen específico del agua, que al tratarse de un fluido incompresible se traduce en un aumento de presión. Esta debe ser absorbida por el vaso de expansión y, en caso de fallo, se producirá la apertura de la válvula de seguridad para evitar la rotura del acumulador.

Volumen y caudal: todo equipo de bomba de calor que calienta o enfría agua, aerotermia, geotermia, hidrotermia, etc., necesita un caudal mínimo en circulación y un volumen de agua mínimo en la instalación para que la función de desescarche pueda realizarse de forma completa, además de evitar ciclos cortos de compresor, etc. En condiciones normales de operación se debe trabajar siempre por encima del caudal mínimo para poder satisfacer las cargas térmicas de la vivienda en todo momento (clave para el funcionamiento en curva de calefacción). De no ser así, los espacios que deben climatizarse no llegarían a la temperatura de confort (a menor caudal, menor potencia para un mismo salto térmico). La bomba de circulación debe tener presión y caudal suficientes para garantizar el mantenimiento de las condiciones nominales.

En relación con el proceso de desescarche, como se ha mencionado anteriormente, cuando este se realiza mediante una inversión en el ciclo frigorífico, la energía utilizada para derretir el hielo de la unidad exterior proviene de la instalación, concretamente del agua que circula por la misma, que ha sido previamente calentada por la bomba de calor. Si no existe un volumen de agua que tenga almacenada la energía suficiente para completar un desescarche o si no se dispone de un caudal mínimo en circu-

lación que evite la congelación del intercambiador, el equipo se detiene. Para evitar esto, es necesario valorar la instalación de depósitos de inercia, que garanticen la disponibilidad de energía, así como la instalación de separadores hidráulicos y/o válvulas de presión diferencial, que impidan que, cuando cierren los elementos terminales, se pueda producir una reducción del caudal en circulación a través de la bomba de calor.

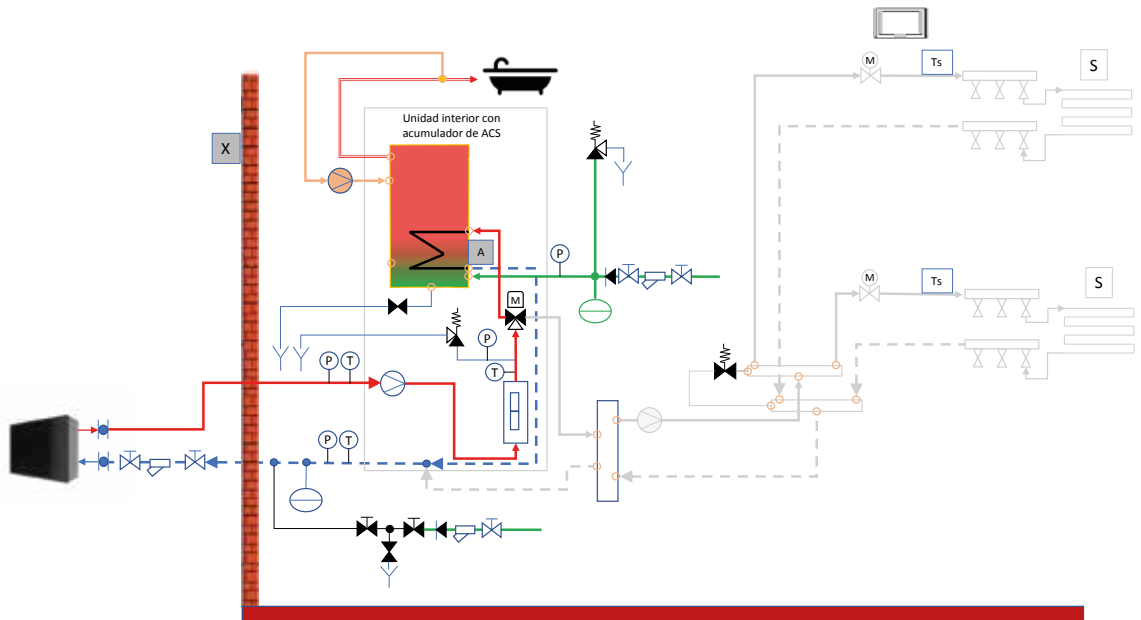


Gráfico 3-19. Esquema hidráulico de una bomba de calor compacta aire-agua, con unidad interior, separador hidráulico y bomba de secundario

Depósito de inercia: con bombas de calor es altamente recomendable la instalación de depósitos de inercia con un volumen suficiente, ya que cumplen una triple función: reducir los arranques de marcha/paro de los equipos, mejorar la modulación del *inverter* y garantizar el volumen mínimo de la instalación. Esto es así especialmente tras la entrada en vigor del RITE, y de su IT «1.2.4.3.1 Control de las instalaciones de climatización», donde se exige que todos los locales, tras el cambio de generador en calefacción, «estarán equipados con dispositivos de autorregulación que regulen separadamente la temperatura ambiente en cada espacio interior», lo que puede provocar que el volumen de agua contenida en dichos emisores no esté disponible.

En la tabla 3-8 se relacionan las recomendaciones de volumen más habituales.

Recomendación de volumen mínimo en la instalación	Volumen de agua disponible en toda condición	Volumen de depósito de inercia recomendado
Radiadores	10 l x kW de potencia nominal	mínimo de 50 l a 200 l en función del fabricante.
Suelo radiante	5 l x kW	mínimo de 50 l a 200 l, en función del fabricante y si hay zonas abiertas
En cascada (más de una bomba de calor)	La que precise el equipo de menor potencia	mínimo 200 l y en función de la potencia nominal del primer escalón

Tabla 3-8. Recomendaciones de volumen e inercia

Elementos comunes para instalaciones hidráulicas: se deben prever tomas para el llenado, drenaje y purga, así como sistemas de expansión, válvulas de seguridad, válvulas de corte, etc.

Calidad del agua: la calidad del agua debe cumplir con los requisitos indicados, tanto en la Directiva Europea 98/83/CE relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano, como en la normativa nacional/local, como con el uso de tuberías con barrera de oxígeno, en caso de tuberías plásticas.

Siempre se deben instalar filtros de malla que protejan los intercambiadores de calor de las bombas de calor, así como filtros magnéticos para la protección de las bombas circuladoras de rotor magnético. Hay que recordar que los circuitos de agua de calefacción o refrigeración deben ser «inertes», esto es, su pH y composición química no deben deteriorar los equipos presentes o futuros, ni tampoco los materiales presentes en la instalación. En toda instalación que va a ser objeto de rehabilitación se deben comprobar los siguientes puntos:

- El llenado debe disponer de contador.
- Comprobar el dato del volumen utilizado para rellenar la instalación desde su origen.
 - Un relleno constante indica fugas en la instalación y una corrosión prematura de los elementos en ella instalados, al haber introducido, con cada llenado, agentes corrosivos que estarán en función de la naturaleza del agua de llenado: oxígeno, cloro, minerales, cal, etc.
 - En zonas donde el agua de llenado contiene un elevado nivel de oxígeno disuelto, este llenado constante puede haber provocado oxigenación y desprendimiento de hierro, que puede estar en disolución o acumulado en depósitos, los cuales, al aumentar caudal en circulación, pueden removerse y afectar a los nuevos equipos.
- Si este es el caso, hay que:
 - Determinar y corregir el origen de las fugas.
 - Aplicar tratamientos correctivos.
 - Realizar una limpieza de la instalación con productos que no dañen ni los equipos ni la distribución, así como un enjuague.
 - Valorar la instalación de intercambiadores separadores.

Puede ampliarse información al respecto de los requerimientos de la calidad del agua en las instalaciones, consultando la *Guía técnica Circuitos de agua en instalaciones interiores Diseño e instalación* (IDAE).

Instrumentación y valvulería: el uso de manómetros, termómetros, caudalímetros, ayudan a detectar y localizar fácil y rápidamente cualquier tipo de problema que pueda surgir en la instalación. Otros elementos, como válvulas de equilibrado, filtros, aditivos, etc., contribuyen al correcto funcionamiento de las instalaciones y a prolongar su vida útil.

Desagüe de la unidad exterior: la unidad exterior, en invierno, evacuará una importante cantidad de agua durante los procesos de desescarche, por lo deberá asegurarse un diámetro correcto de la tubería para que el desagüe pueda evacuar esta cantidad de agua, que habitualmente se produce en un muy corto espacio de tiempo. En zonas frías puede ser necesario el uso de resistencias calefactoras, instaladas en la bandeja de recogida de aguas de la unidad exterior, para evitar la formación del efecto «montaña de hielo» y el bloqueo de la batería de intercambio y el desagüe. En zonas muy frías puede ser necesario el traceado de los tubos de desagüe.

3.5.5. Protecciones eléctricas y sección de conductores

Uno de los aspectos que deben considerarse en una rehabilitación con bomba de calor es la posible modificación de la instalación eléctrica, ya que las necesidades de energía eléctrica de una instalación con bomba de calor son mayores que las de una instalación convencional de calefacción basada en combustibles fósiles.

Por tanto, la inclusión de instalaciones térmicas de bomba de calor puede implicar actuaciones en conductores, canalizaciones, registros, protecciones, cuadros de mando y protección, cuartos de contadores, tomas de tierra, caja general de protección, acometidas y reparto de cargas en circuitos trifásicos, entre otras cosas. Para ello, es recomendable que una empresa instaladora eléctrica habilitada revise la instalación eléctrica en la cual se va a conectar la bomba de calor.

Después de esta revisión se puede dar el caso en el que no se requieran actuaciones de adaptación/ampliación de la instalación eléctrica existente si esta se encuentra adecuadamente dimensionada y dispone de los circuitos y protecciones necesarias a los que conectar la bomba de calor.

Por el contrario, en el caso que se requieran actuaciones de adaptación/ampliación de la instalación eléctrica existente, la empresa instaladora eléctrica deberá realizar las adaptaciones de la instalación para adecuarla a las nuevas necesidades.

Tras la adaptación, la empresa instaladora eléctrica emitirá el certificado de la instalación eléctrica, del que entregará una copia al titular una vez lo haya registrado ante el órgano competente de la Comunidad Autónoma.

Como se vio al principio de este capítulo, debe evitarse el sobredimensionamiento de la bomba de calor, puesto que de ello se derivarían sobrecostes en todos los aspectos, incluido el de contratación eléctrica, conductores, protecciones, etc.

3.5.6. Contratación de la potencia eléctrica

Como consecuencia de la inclusión de instalaciones térmicas de bomba de calor, generalmente será necesario modificar la potencia eléctrica contratada por el usuario. A continuación se exponen los posibles supuestos que un usuario se puede encontrar.

Edificios que previamente disponen de equipos por combustión: en los casos de viviendas en las que se incluyan instalaciones térmicas de bomba de calor y previamente dispusieran de equipos por combustión, la potencia contratada deberá revisarse y en su caso aumentarse si fuera necesario.

Para proceder a solicitar un aumento de potencia a la compañía eléctrica, es necesario que el solicitante disponga del certificado de la instalación eléctrica emitido por la empresa instaladora:

- En los casos en los que no se haya requerido ningún trabajo de adaptación de la instalación eléctrica existente.
 - El usuario realizará la solicitud de aumento de potencia, para lo que puede ser necesario el certificado de la instalación eléctrica existente que en su momento fue emitido por la empresa instaladora eléctrica que llevó a cabo la instalación.

- En los casos en los que se hayan requerido trabajos de adaptación de la instalación eléctrica existente.
 - El usuario realizará la solicitud de aumento de potencia presentando el nuevo certificado de la instalación eléctrica que le ha facilitado la empresa instaladora eléctrica que ha llevado a cabo las adaptaciones.

Edificios que previamente disponen de equipos eléctricos de expansión directa + termos eléctricos para la generación de ACS: en los casos de viviendas en las que se incluyan instalaciones térmicas de bomba de calor y previamente dispusieran de equipos eléctricos de expansión directa y/o termos eléctricos para la generación de ACS, generalmente la potencia contratada podría disminuir por la mejor eficiencia de los equipos instalados.

Para solicitar la reducción de potencia a la compañía eléctrica, resulta fundamental que el solicitante disponga de un adecuado asesoramiento por parte de la empresa instaladora eléctrica que lleve a cabo las actuaciones de adaptación de la instalación eléctrica si es necesaria o, en caso de que no lo sea, de la empresa instaladora que lleva a cabo la instalación térmica de bomba de calor.

3.6. Documentación técnica de diseño y dimensionado de las instalaciones térmicas

El diseño y dimensionado de las instalaciones térmicas de bomba de calor debe ser llevado a cabo cumpliendo los parámetros reglamentarios establecidos en el RITE. Las instalaciones térmicas de bomba de calor deben ejecutarse por empresas instaladoras habilitadas sobre la base de una documentación técnica que, en función de la potencia de la instalación térmica, será un proyecto o una memoria técnica, lo que se resume en la tabla 3-9.

Documentación técnica de diseño y dimensionado de las instalaciones térmicas	
Potencia térmica nominal a instalar en generación de calor o frío	
Proyecto técnico	Memoria técnica
P > 70 kW	5 kW ≤ P ≤ 70 kW

Tabla 3-9. Documentación técnica de diseño y dimensionado de las instalaciones térmicas

El proyecto debe ser redactado por técnico titulado competente, mientras que la memoria técnica debe ser redactada sobre el modelo determinado por el órgano competente de la Comunidad Autónoma, y podrá ser redactada por una empresa instaladora habilitada o por técnico titulado competente. En cualquiera de los casos, esta documentación técnica tiene que contener, al menos, la información recogida en la tabla 3-10.

Responsabilidad del cumplimiento del RITE y contenido mínimo de la documentación técnica de diseño y dimensionado de la instalación térmica	
Proyecto técnico	Memoria técnica
El proyectista será responsable de que el mismo se adapte a las exigencias del RITE y de cualquier otra reglamentación que sea de aplicación.	El autor de la memoria técnica será el responsable de que la instalación se adapte a las exigencias del RITE.
El proyecto describirá la instalación térmica en su totalidad.	
<p>El proyecto debe incluir la siguiente información:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Justificación de que las soluciones propuestas cumplen las exigencias del RITE. • Características técnicas mínimas que deben reunir los equipos y materiales de la instalación proyectada, las condiciones de suministro, ejecución, garantías de calidad y control de recepción en obra. • Verificaciones y pruebas que deben efectuarse para el control de la ejecución de la instalación y el control de la instalación terminada. • Instrucciones de uso y mantenimiento de acuerdo con las características específicas de la instalación. 	<p>La memoria técnica debe incluir la siguiente información:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Justificación de que las soluciones propuestas cumplen las exigencias del RITE. • Memoria descriptiva de la instalación en la que figuren el tipo, número y características de los equipos generadores de calor o frío, sistemas de energías renovables y otros elementos principales. • El cálculo de la potencia térmica instalada. • Los planos o esquemas de las instalaciones.

Tabla 3-10. Responsabilidad del cumplimiento del RITE y contenido mínimo de la documentación técnica de diseño y dimensionado de la instalación térmica

3.7. Legalización, puesta en servicio, mantenimiento e inspección

Para asegurar que la instalación cumple con las prestaciones para las que ha sido diseñada a lo largo de toda su vida útil, tan importantes son el diseño y el dimensionado, la configuración, la selección de los equipos y la ejecución de la obra, como entregar la instalación siguiendo un impecable procedimiento de legalización y puesta en servicio, así como cumplir rigurosamente con el plan de mantenimiento e inspecciones periódicas, medidas que deben ser planificadas desde el inicio del proyecto.

Puesta en servicio

La puesta en servicio de una instalación térmica de bomba de calor consiste en el ajuste, configuración y programación de todos los elementos pertenecientes a la instalación para conseguir el funcionamiento de la misma de acuerdo a las condiciones de diseño y dimensionado.

Para ello, una vez finalizadas las instalaciones térmicas de bomba de calor y superadas las pruebas previas a la puesta en servicio de la instalación, la empresa instaladora habilitada y el director de la instalación, en los casos en los que su participación sea preceptiva, suscribirán el certificado de la ins-

talación térmica, según el modelo establecido por el órgano competente de la Comunidad Autónoma en la que se ubique la instalación. En la tabla 3-11, en función de la potencia de la instalación, se recoge quién o quiénes deben suscribir dicho certificado.

Suscripción del certificado de la instalación térmica en función de su potencia	
Potencia térmica nominal a instalar en generación de calor o frío	
Proyecto técnico	Memoria técnica
P > 70 kW	5 kW ≤ P ≤ 70 kW
Empresa instaladora habilitada ejecutora de la instalación térmica	Empresa instaladora habilitada ejecutora de la instalación térmica
+	
Director de la instalación	

Tabla 3-11. Suscripción del certificado de la instalación térmica en función de su potencia

Para la puesta en servicio de las instalaciones térmicas de bomba de calor, previamente será necesario la realización del trámite de registro del certificado de la instalación térmica ante el órgano competente de la Comunidad Autónoma, al que se debe acompañar de la siguiente documentación:

- Proyecto o memoria técnica de la instalación realmente ejecutada.
- Certificado de inspección inicial con calificación aceptable cuando sea preceptivo.

Las instalaciones térmicas con una potencia térmica nominal instalada en generación de calor o frío menor que 5 kW, no precisarán acreditación del cumplimiento reglamentario ante el órgano competente de la comunidad autónoma.

Una vez comprobada la documentación aportada, el órgano competente de la Comunidad Autónoma procederá al registro del certificado de la instalación térmica, momento a partir del cual se podrá realizar la puesta en servicio de la instalación.

Tras la puesta en servicio de las instalaciones térmicas de bomba de calor, la empresa instaladora o el director de la instalación, entregará al titular de la instalación la siguiente documentación para que proceda a su incorporación en el libro del edificio:

- Proyecto o memoria técnica de la instalación realmente ejecutada.
- Manual de uso y mantenimiento de la instalación realmente ejecutada, que al menos contendrá las instrucciones de seguridad, manejo y maniobra, así como los programas de funcionamiento, mantenimiento preventivo y gestión energética de la instalación.
- Relación de materiales y equipos realmente instalados en la que se indiquen sus características técnicas y de funcionamiento, junto con la documentación de origen y garantía.

- Los resultados de las pruebas de puesta en servicio realizadas de acuerdo a lo establecido en la IT 2 del RITE.
- Copia del certificado de la instalación térmica registrado ante el órgano competente de la CC AA.
- Certificado de inspección inicial, cuando sea preceptivo.

Resulta muy importante la realización de este trámite de forma adecuada, ya que una puesta en marcha inadecuada puede provocar efectos negativos en el resultado funcionamiento de la instalación térmica de bomba de calor, con consecuencias adversas como mayor consumo energético, ruidos, reducción del ciclo de vida, incremento de emisiones, aumento de costes de mantenimiento, etc.

Mantenimiento e inspecciones periódicas

Los titulares de las instalaciones son los responsables de que se realice el mantenimiento de la instalación térmica de bomba de calor, las inspecciones obligatorias, así como de conservar la documentación de todas las actuaciones llevadas a cabo en la instalación e incluirla en el libro del edificio cuando corresponda.

Toda instalación térmica debe disponer de un registro de operaciones de mantenimiento en el que se recojan las operaciones de mantenimiento y las reparaciones que se produzcan en la instalación, que será confeccionado por la empresa mantenedora habilitada y formará parte del libro del edificio.

Las operaciones de mantenimiento de las instalaciones térmicas de bomba de calor deben ser llevadas a cabo por empresas mantenedoras habilitadas, que serán las responsables de que el mantenimiento de la instalación térmica se realice correctamente de acuerdo a las exigencias del RITE y a lo establecido en el manual de uso y mantenimiento de la instalación térmica.

En determinados casos, para instalaciones de cierta potencia es necesario que la empresa mantenedora habilitada realice el mantenimiento bajo la dirección de un director de mantenimiento. En la tabla 3-12 se recogen los distintos supuestos de forma detallada en función de la potencia de la instalación.

Mantenimiento de las instalaciones térmicas		
P > 70 kW		5 kW ≤ P ≤ 70 kW
Obligatoria la suscripción de un contrato de mantenimiento		Desarrollo de labores de mantenimiento preventivo de acuerdo a las instrucciones de seguridad incluidas en el «Manual de Uso y Mantenimiento»
Potencia térmica nominal		
P > 70 kW	Calor > 5000 kW Frio > 1000 kW	
	Técnico titulado competente con funciones de director de mantenimiento	
Registro de operaciones de mantenimiento		
Certificado de mantenimiento anual		
Suscrito por empresa mantenedora	Suscrito por empresa mantenedora + director de mantenimiento	-

Tabla 3-12. Mantenimiento de las instalaciones térmicas

La empresa mantenedora habilitada y el director de mantenimiento, cuando su participación sea preceptiva, deberán mantener actualizado de manera permanente la documentación contenida en el manual de uso y mantenimiento con las características técnicas de la instalación.

En lo relativo a inspecciones periódicas, las instalaciones térmicas de bomba de calor serán inspeccionadas periódicamente en función de su potencia y la periodicidad establecidas en el RITE. La inspección de las instalaciones de calefacción, de aire acondicionado y de ventilación se realizará de manera independiente por expertos cualificados o acreditados, tanto si actúan como autónomos como si están contratados por entidades públicas o empresas privadas.

En la tabla 3-13 se resumen las periodicidades exigidas en RITE.

Inspecciones periódicas de eficiencia energética instalaciones térmicas en los edificios			
Tipos de instalaciones térmicas	Potencia útil nominal	Periodicidad (años)	Observaciones
Sistemas de calefacción, instalaciones combinadas de calefacción, ventilación y ACS	P > 70 kW	4	
Sistemas de aire acondicionado y las instalaciones combinadas de aire acondicionado y ventilación			
Instalaciones completas con más de 15 años de antigüedad desde la emisión del primer certificado de la instalación	P > 70 kW	15	La primera inspección de la instalación térmica completa se hará coincidir con la primera inspección del generador de calor o frío, una vez que la instalación haya superado los 15 años de antigüedad

Tabla 3-13 Inspecciones periódicas de eficiencia energética instalaciones térmicas en los edificios

4 Casos-tipo

En este apartado se plantean varios casos-tipo, que representan la casuística más extendida respecto a la rehabilitación de las instalaciones de climatización en los sectores residencial y servicios. A través de ellos se analizará una serie de aspectos de especial importancia para el diseño de la instalación y se propondrán soluciones para rehabilitación energética mediante bomba de calor.

A continuación se enumeran algunas consideraciones técnicas que deben tenerse en cuenta en toda rehabilitación:

- Calcular las demandas de calefacción, refrigeración y ACS necesarias.
- Evaluar la idoneidad de los emisores y elementos existentes (radiadores, suelo radiante, conductos, bombas hidráulicas, tuberías, etc.).
- Dimensionamiento de la bomba de calor.
- Emplazamiento posible para las unidades exteriores e interiores.
- ACS. Temperatura, volumen necesario, perfil de uso, emplazamiento, etc.
- Tiempos de reacción y aspectos de confort.
- Elementos de regulación y control necesarios.
- Conexiones eléctricas y potencia eléctrica en la instalación.
- Procedimiento administrativo.

4.1. Breve resumen del Real Decreto 178/2021

Con la entrada en vigor el 1 de julio de 2021 de las modificaciones realizadas al *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)* por el artículo único del Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo, se ha producido un cambio sustancial en las exigencias técnicas de las instalaciones térmicas, su justificación, memoria, regulación y control e inspección.

Entre otras modificaciones se indica que las instalaciones térmicas deben diseñarse, calcularse, ejecutarse, mantenerse y utilizarse de forma que se cumplan las exigencias técnicas de bienestar e higiene, eficiencia energética, energías renovables, residuales y seguridad, por lo que será necesario una documentación justificativa que incluya, por tanto, todos los cálculos relativos al cumplimiento de estas exigencias.

Además, en los edificios nuevos o sometidos a reforma, con previsión de demanda térmica, una parte de las necesidades energéticas térmicas derivadas de esa demanda se cubrirán mediante la incorporación de sistemas de aprovechamiento de energía renovable, residual o procedente de procesos de cogeneración renovables, así como que estos sistemas se diseñarán para alcanzar, al menos, la contribución renovable mínima para agua caliente sanitaria y para climatización de piscinas cubiertas establecida en la sección HE4 del *Código Técnico de la Edificación*, y los valores límite de consumo de energía primaria no renovable de acuerdo con lo establecido en la sección HE0, del *Código Técnico de la Edificación*.

En cuanto a la preparación de agua caliente para usos sanitarios debe tenerse en cuenta lo establecido en la sección HE4, así como cualquier otra sección o anejo del Documento Básico HE Ahorro de Energía del *Código Técnico de la Edificación*, donde se regule la demanda de agua caliente sanitaria.

En lo relativo a la regulación y control, hacer mención a la IT 1.2.3, donde se indica que «...Todas las instalaciones térmicas estarán dotadas de los sistemas de control automático necesarios para que se puedan mantener en los locales las condiciones de diseño previstas, ajustando los consumos de energía a las variaciones de la carga térmica. [...] En los edificios existentes, se exigirá la instalación de este tipo de dispositivos en caso de que se sustituyan los generadores de calor, y solo para la autorregulación de las instalaciones de calefacción, cuando sea viable técnica y económicamente». En la modificación mencionada, específicamente se indica que «Las soluciones que permiten regular de forma automática la temperatura, pero no a escala de espacio interior (o de zona), por ejemplo, la regulación automática a escala de vivienda, no cumplirían los requisitos».

Estas son solo algunas de las muchas modificaciones del R.D. que el proyectista debe conocer a la hora de planificar, documentar, ejecutar, poner en marcha y mantener una instalación térmica que disponga de energías renovables o residuales, por lo que dicho R.D. debe estudiarse en profundidad.

4.2. Metodología común

4.2.1. Cálculo de energía renovable

La metodología de cálculo de la energía renovable se recoge en la Directiva 2018/2001 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, que en su anexo VII establece que la energía renovable E_{RES} se calcula mediante la expresión:

$$E_{RES} = Q_{usable} * (1-1/SPF)$$

Donde:

- Q_{usable} : Es el calor útil total estimado proporcionado por la bomba de calor.
- E_{RES} : Energía renovable.
- SPF: Coeficiente de rendimiento estacional o SCOP.

Ejemplo	Unidades	Calefacción
Q_{usable}	kWh/año	15.624
Rendimiento estacional en calefacción, $\eta_{s,h}$, en condiciones climáticas medias (-10 °C) y a media temperatura (55 °C)	%	116% (A+)
Cálculo del $\eta_{s,h}$. Según Comunicación UE 2017/C 229/01)		$\eta_{s,h} = \frac{1}{CC} \cdot SCOP - \sum F(i)$
CC: coeficiente de conversión, según el Anexo I del Reglamento (UE) 2016/2281		2,5
$\Sigma F(i)$ para bombas de calor aerotérmicas		0,03
SCOP en condiciones climáticas medias (-10 °C), para funcionamiento a media temperatura (55 °C)	--	$SCOP = (2,5 \times \eta_{s,h}) + (2,5 \times 0,03) = 2,975$
Energía renovable	kWh/año	10.372
Energía renovable	%	66,3%
Energía consumida al año	kWh/año	5.232

Tabla 4-1. Ejemplo de cálculo de energía renovable en calefacción

4.2.2. Instalación

4.2.2.1. Aislamientos en tuberías

Las tuberías de calefacción, refrigeración, ACS, frigoríficas y conducción de aire, deben estar aisladas según indica la IT 1.2.4.2.1 Aislamiento térmico de redes de tuberías, del Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*.

4.2.2.2. Selección del acumulador de ACS

Es preciso incidir en que el usuario puede estar acostumbrado a una producción instantánea (caldera), y el cambio a un sistema con acumulación, con bomba de calor, debe procurar mantener el confort que el usuario tiene hasta el momento, por lo que la selección del volumen del acumulador debe estar basado en el cálculo correcto de la demanda de ACS y tener en cuenta el perfil de extracción.

En general, en instalaciones domésticas, para evitar que la bomba de calor cambie constantemente su funcionamiento a ACS y/o detenga su funcionamiento en calefacción o refrigeración de forma prolongada, se recomienda acumular, al menos, la demanda diaria prevista, entre 40 y 50 litros por persona y día según las necesidades reales de cada proyecto.

4.2.2.3. Nivel sonoro

Se deberá garantizar que los niveles sonoros son los permitidos según la normativa estatal, además de las ordenanzas municipales.

A título de ejemplo se incluyen tablas del Anexo II del Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas (tabla 4-2).

Tipo de área acústica			Índice de ruidos dB(A)		
			L _d	L _e	L _n
I	E	Sanitario, docente, cultural	60	60	50
II	A	Residencial	65	65	55

Tabla 4-2. Ejemplo de objetivos de calidad acústica en el exterior de áreas urbanizadas

Y en el interior de la vivienda (tabla 4-3).

Uso del edificio	Tipo de recinto	Índice de ruido dB(A)		
		L _d	L _e	L _n
Residencial	Zonas de estancia	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Hospitalario	Zonas de estancia	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Educativo o cultural	Aulas	40	40	40
	Salas de lectura	35	35	35

Tabla 4-3. Ejemplo de objetivos de calidad acústica interior

Donde L_d, L_e y L_n, son los índices de ruido correspondientes a día, tarde y noche, respectivamente, y ponderados a lo largo de un año. Es de destacar el límite en dormitorios.

4.3. Datos comunes para los ejemplos de cálculos

Factores de paso:

En los ejemplos que se muestran a continuación se usan los factores de paso indicados en el documento reconocido «Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España».

Factores de paso	Gas natural	Energía eléctrica (peninsular)	Gasóleo
Factor kWh E _p total/kWh _f (E _f)	1,195	2,368	1,182
Factor kg CO ₂ /kWh _f (E _f)	0,252	0,331	0,311
Factor kWh E _{pnr} /kWh _f (E _f)	1,19	1,954	1,179

Tabla 4-4. Factores de paso utilizados

4.3.1. Constantes:

- C_p = calor específico del agua: $C_p = 0,00116 \text{ kWh/K} \cdot \text{kg}$.
- P = Densidad del agua: $\rho = 1 \text{ kg/l}$.
- K = grado Kelvin $K = 273 + ^\circ\text{C}$.

4.3.2. Abreviaturas:

- E_f = energía final.
- E_p = energía primaria.
- E_{pnr} = energía primaria no renovable.

4.3.3. Rendimientos (SCOP)

Los rendimientos SCOP considerados son los calculados mediante los ensayos para los climas indicados en los reglamentos de ecodiseño y sobre los cuales los fabricantes aportan información de consumo de energía, energía aportada, etc.

4.4. Resumen de casos tipo

Resumen	Ámbito	Tipología	Servicios cubiertos	Generador de origen	kW	Solución	Potencia bomba de calor (kW)	Elementos terminales	Acumulador ACS
Caso tipo 1	Residencial	Unifamiliar	Calefacción y ACS	Gasóleo	30	Bomba de calor multi-tarea	7	Radiadores convencionales	170 l
Caso tipo 2	Residencial	Piso	Calefacción, ACS y refrigeración	Caldera GN y aire acondicionado	24	(A) Bomba de calor compacta + Bomba de calor ACS	6	(A) Rad. Baja temperatura.	150 l
						(B) Bomba de calor + equipo de conductos + ACS		(B) Conductos	
Caso tipo 3	Residencial	Piso	ACS	Termo eléctrico ACS	2	Bomba de calor ACS	1,5	--	150 l
Caso tipo 4	Residencial	Colectivo	Calefacción y ACS	Caldera GN/Gasóleo	504	Híbrido (caldera existente y bomba de calor)	126	Radiadores convencionales	2 x 1.000l
Caso tipo 5	Residencial	Colectivo	ACS	Caldera GN	180	Bomba de calor para ACS de alta temperatura y de producción instantánea	30	--	1 x 2.000l
Caso tipo 6	Terciario	Clínica	Calefacción y ACS	Caldera GN	24	Bomba de calor multi-tarea	12	Fancoils	--
Caso tipo 7	Terciario	Hotel	Calefacción y ACS	Caldera GN	90	Bomba de calor VRF	41	Unidades interiores	2 x 1.000l

Tabla 4-5. Tabla resumen casos-tipo

4.5. Caso-tipo 1: residencial (vivienda unifamiliar)– CAL+ACS–D3 (CTE)/cálido (SHARES). Cambio de caldera de gasóleo por bomba de calor

Situación de partida	Solución planteada	Resultados
Situación de partida		Ahorros
<ul style="list-style-type: none"> • Caldera mixta de gasóleo, 30 kW, para CAL+ACS • Radiadores convencionales • 3 A/A tipo <i>split</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • BC multitarea de 7 kW (CAL+ACS) • ACS de 190l, • Opción uno se mantienen Rad y A/A • Opción dos, suelo radiante 	Opción uno-dos: <ul style="list-style-type: none"> • 64-84% menos Ef • 32-70% menos Ep. • 62-83% menos Kg CO₂ • 42-75% menos

Condiciones previas que deben valorarse/barreras

- Estado general de la instalación, patologías hidráulicas previas, aislamientos, etc.
- Potencia necesaria (real) en las nuevas condiciones de temperatura de impulsión.
- Potencia necesaria en las condiciones de carga parcial.
- Respuesta de los emisores a la temperatura de trabajo prevista en la nueva situación con bomba de calor.
- Perfil de consumo y demanda real de ACS.
- Control de la instalación y estrategia.
- Espacio físico disponible para la unidad interior, accesorios, depósito de acumulación e inercia, peso, etc.
- Ubicación de la unidad exterior, nivel de ruido, etc.
- Trazado y tipo de instalación entre la unidad interior y exterior.
- Verificación de la potencia eléctrica contratada
- El usuario comprende el concepto de bomba de calor.
- Conocer y respetar las instrucciones de los fabricantes y de la reglamentación.

Mejoras adicionales que se podrían contemplar en esta instalación

- Uso de la bomba de calor en refrigeración, mediante *fancoils*.
- Mejora de la calidad de aire interior mediante equipo de ventilación mecánica controlada, permite mantener la vivienda con presión positiva con aire limpio, filtrado y con recuperación de energía del aire extraído

4.5.1. Descripción de la vivienda

Vivienda unifamiliar de 140 m², 4 dormitorios, 2 baños, en la localidad de Cuatro Vientos, Madrid (D3), construida en 2001 (calidad de cerramientos correspondientes a NBE-CT79).

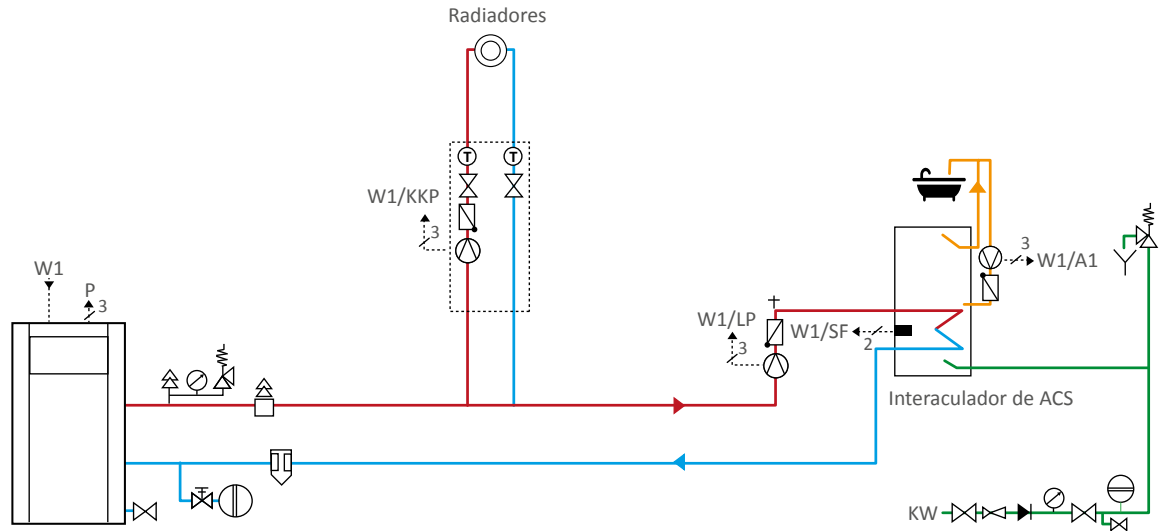


Gráfico 4-1. Caso 1. Vivienda unifamiliar. Instalación existente con caldera de gasóleo, un circuito de radiadores y acumulador de ACS

4.5.2. Necesidades climatización y ACS

4.5.2.1. Calefacción

La demanda total de energía anual calculada en la vivienda es de 9.908 kWh/año para calefacción, 2.600 kWh/año para refrigeración y 2.791 kWh/año para ACS. Las demandas han sido obtenidas a partir de un *software* de cálculo, para la zona climática y conocidos los datos de consumo de la vivienda.

4.5.2.2. ACS

Para el cálculo de la energía necesaria anual para el servicio de ACS se ha seguido el criterio indicado en el documento DB HE4 del CTE; esto es, estimar una demanda media diaria de 28 litros por persona y día, a 60 °C de temperatura de consumo.

Sin embargo, al cambiar de un modelo de producción instantánea a uno con acumulación, es necesario añadir a la demanda por persona y día, inicialmente calculada, las pérdidas debidas al acumulador.

Caso uno	Unidades	Demanda de referencia de ACS	Demanda de ACS que debe cubrirse con bomba de calor, incluidas las pérdidas por acumulación
Demanda de ACS	kWh/año	2.791	3.253

Tabla 4-6. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Comparación demanda ACS

En la tabla 4-6 se han incluido las pérdidas por conducción y acumulación, pero no por recirculación de ACS, al no existir en la vivienda de este ejemplo.

Existe, por tanto, una diferencia de la demanda necesaria total a cubrir en ACS, cuando se cambia de una producción de ACS instantánea a una con bomba de calor, donde la producción de ACS precisa de una acumulación y cuyas pérdidas de calor deben considerarse en el cálculo final.

4.5.3. Descripción del sistema instalado

4.5.3.1. Calefacción y ACS

En la actualidad, la vivienda dispone de una caldera gasóleo, de 30 kW, que se desea sustituir por una bomba de calor, que cubre los servicios de ACS y de calefacción.

Los emisores son radiadores de aluminio.

4.5.4. Descripción del sistema propuesto

El sistema propuesto consistirá en una bomba de calor tipo partido o *split*, compuesta por una unidad interior que incorpora un acumulador de ACS y por una unidad exterior.

La conexión entre las unidades exterior e interior será mediante líneas frigoríficas de gas refrigerante. Esta bomba de calor cubrirá la demanda de calefacción y ACS de la vivienda en su totalidad.

No se interviene sobre la instalación de aire acondicionado, que permanece.

4.5.4.1. Esquema de principio

Al instalarse elementos de corte (válvulas termostáticas) en radiadores, será necesaria la instalación de un depósito de inercia, bien en línea junto con una válvula de equilibrio de presión diferencial adicional en el punto más alejado de la instalación hidráulica desde la bomba de calor, bien en paralelo con una bomba de impulsión posterior.

En este caso, tal como se indica más adelante, la bomba circuladora que incorpora la bomba de calor elegida dispone de presión disponible para alcanzar el caudal necesario, por lo que se aplica la primera opción.

El esquema que se puede observar en el gráfico 1-3 muestra la solución propuesta con un depósito de inercia en línea, donde el acumulador de ACS se encuentra integrado en la unidad interior de la bomba de calor.



Gráfico 4-2. Caso tipo 1.
Unidad interior (ejemplo)

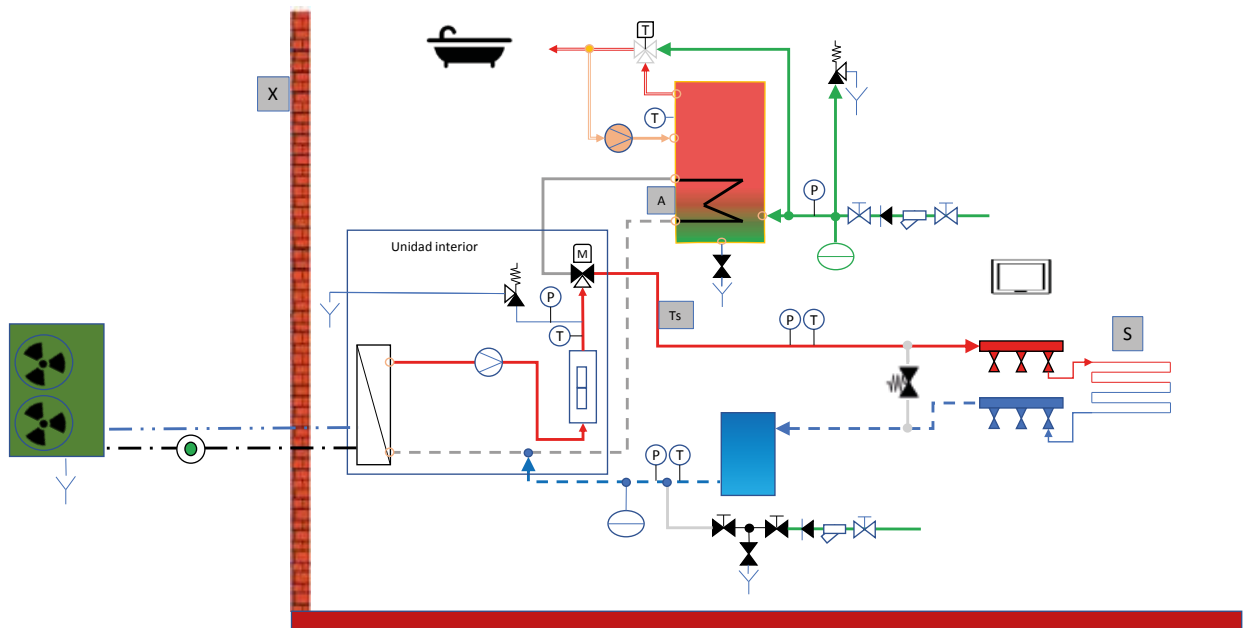


Gráfico 4-3. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Esquema de principio (ejemplo)

4.5.4.2. Dimensiones y distribución

La unidad hidráulica interior, con depósito de acumulación de ACS incorporado, se situará en la misma ubicación en la que estaba instalada la caldera original, puesto que esta se encontraba en un cuarto específico. El equipo se instala en el garaje por su anchura y altura.

La unidad interior, una vez lleno su depósito de ACS, tendrá un peso considerable de más de 300 kg, por lo que este dato deberá tenerse en cuenta a la hora de escoger correctamente su ubicación (véase gráfico 4-4).

El emplazamiento elegido para la unidad exterior es el mismo donde se encuentran instaladas las unidades exteriores de las máquinas *split* para refrigeración, que será la fachada de la vivienda. Para evitar el bloqueo por nieve se instalará sobre una bancada por encima de nivel del suelo (véase gráfico 4-5).

En ambas unidades deben respetarse las distancias mínimas y máximas de tubería frigorífica para cada modelo. En este caso, las distancias frigoríficas son cortas y no influyen en la potencia aportada por la bomba de calor

4.5.4.3. Emplazamiento de los equipos

4.5.4.4. Dimensionamiento en calefacción

4.5.4.4.1. Potencia necesaria

En el cálculo y selección del equipo para esta vivienda se deben considerar:

- Las condiciones exteriores más desfavorables.

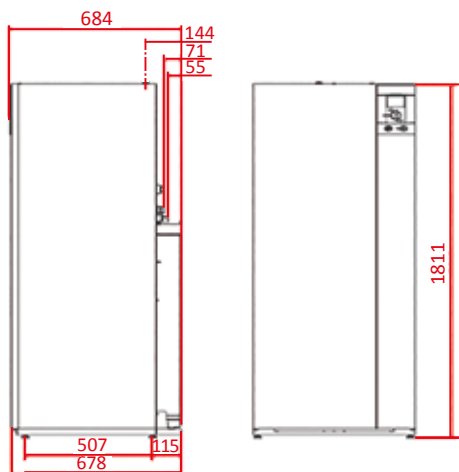


Gráfico 4-4. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Ej. Ud. interior

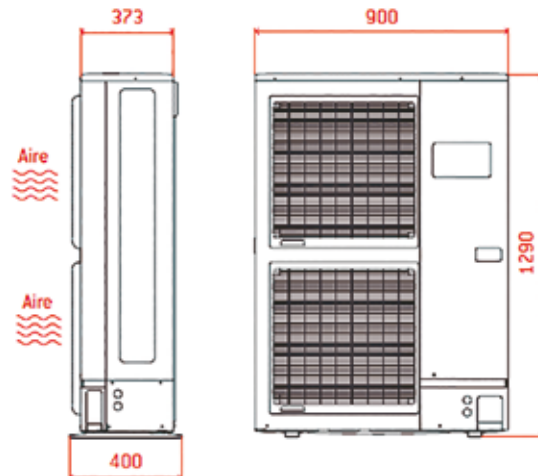


Gráfico 4-5. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Ej. Ud. Exterior

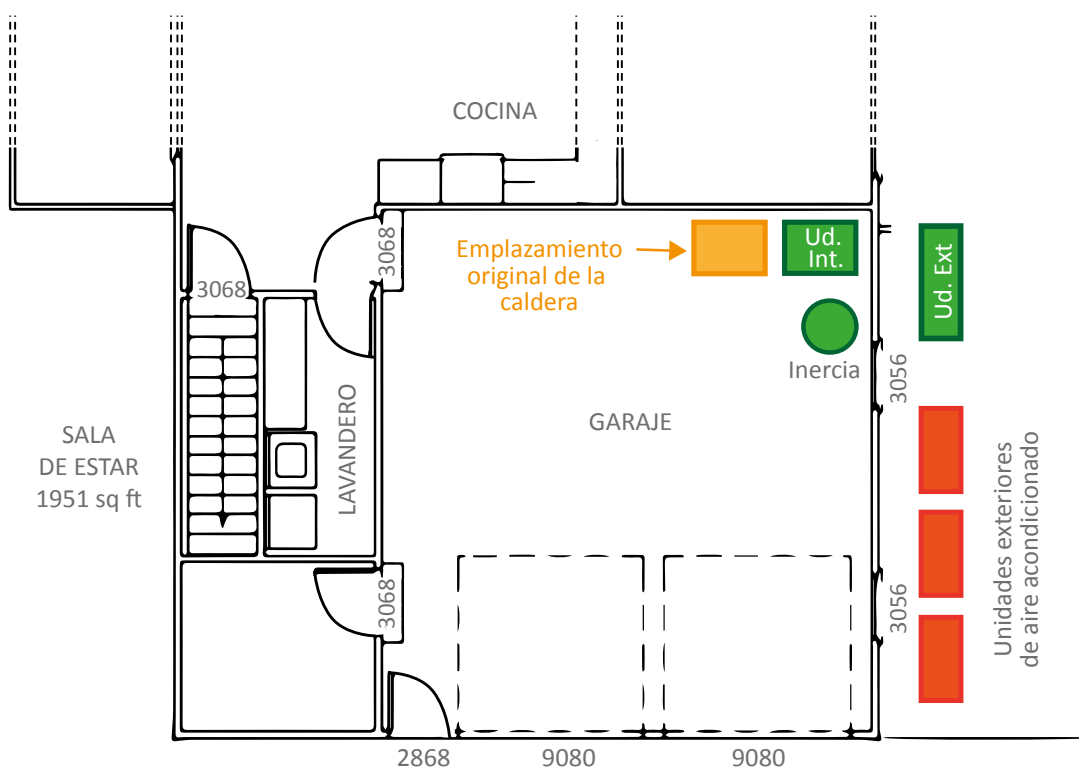


Gráfico 4-6. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Ubicación de la unidad exterior, interior e inercia

- Las condiciones interiores deseadas (temperatura ambiente).
- La temperatura de impulsión.
- El salto térmico.
- Las pérdidas de energía.
 - Conducción.
 - Acumulación.
- La temperatura de bivalencia para inicio del uso del sistema auxiliar a la bomba de calor.

Condiciones exteriores

Las condiciones exteriores de invierno más desfavorables para el caso de vivienda, se calculan en cumplimiento de la IT 1.2.4.1.1, apartado A, punto 3, del Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo, donde se indica:

«3. Con objeto de mejorar la eficiencia energética de los generadores, ajustar la potencia a la demanda térmica real y reducir la potencia de diseño en proyecto, para fijar la potencia que suministren las unidades de producción de calor o frío se ha de tener en cuenta:

- a. Para el cálculo de las cargas térmicas máximas de invierno, las temperaturas secas a considerar son las correspondientes a un percentil del 99% para todos los tipos de edificios y espacios acondicionados (TS 99%)».

Para este percentil de 99% de horas al año, las condiciones exteriores más desfavorables en invierno para la zona de Cuatro Vientos, en Madrid, según la guía técnica sobre *Condiciones climáticas exteriores de proyecto* (IDAE), son:

- TS (99%): -0,1 °C.
- HUMcoin: 77%.

Donde:

- TS (99%): es la temperatura seca (°C) de la localidad con un percentil del 99%.
- HUMcoin: es la humedad relativa media coincidente (%) (se da a la vez que se tiene el nivel percentil del 99% en temperatura seca).

Una vez conocido este dato, a la hora de elegir la potencia que debe aportar la bomba de calor, se está a los dispuesto en la Instrucción Técnica del *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios* (RITE), IT 1.2.4.1.3.3 Maquinaria frigorífica enfriada por aire, donde se indica que: «cuando las máquinas sean reversibles, la temperatura mínima de diseño será la húmeda del nivel percentil más exigente menos 2 °C».

De los datos de temperaturas seca TS (99%) y humedad relativa (HUMcoin) del 77%, con la ayuda de un diagrama psicrométrico, se obtiene el dato de la temperatura de bulbo húmedo en esas condiciones, en este caso -1,4 °C.

Con esta temperatura se obtiene la temperatura seca de referencia para la selección de la bomba de calor.

TSC (99%)	HUMcoin	T ^{a. b. h.}	Temperatura de entrada de aire a la unidad exterior que debe considerarse en la selección del equipo
-0,1 °C	77%	-1,4 °C	-1,4 °C-2 °C = -3,4 °C

Tabla 4-7. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Temperatura exterior de selección para la bomba de calor

Es decir; mientras que la potencia necesaria en el edificio se calcula para una temperatura exterior en función de las condiciones de proyecto, la bomba de calor, sin embargo, debe calcularse para aportar la potencia necesitada en el edificio cuando la temperatura exterior sea de -3,4 °C.

Tras la evaluación de la instalación, radiadores presentes, tuberías hidráulicas, etc., se calcula que la potencia máxima necesaria en calefacción en la vivienda, en las peores condiciones del invierno, con -3,4 °C de temperatura exterior, es de 7 kW en este caso.

A partir de este punto se deben evaluar diferentes propuestas y seleccionar la que mejor se adecue a las necesidades del usuario. Para este caso tipo, se han evaluado dos posibles soluciones: una, que consiste en mantener el sistema de emisión interior con los radiadores actuales de aluminio; y otra, donde se plantea una reforma integral de la vivienda y se instala un suelo radiante.

4.5.4.4.2. Solución 1: aprovechamiento de los radiadores existentes

Las ventajas de mantener los radiadores instalados y las tuberías existentes son numerosas, ya que minimiza las obras necesarias, el tiempo de ejecución y el coste de inversión en la reforma, por lo que debe considerarse como una opción y estudiar su viabilidad.

Para conocer si es posible, en primer lugar, es necesario comprobar previamente que los radiadores emiten la potencia necesaria para la temperatura de impulsión máxima y para el salto térmico previsto con la bomba de calor, y que los diámetros de las tuberías y el estado de la instalación hidráulica (equilibrado, aislamiento, etc.) permiten la circulación de los nuevos caudales previstos sin:

1. Crear una elevada pérdida de carga que penalizaría el consumo.
2. Alcanzar una velocidad de agua excesiva a través de las tuberías, lo que ocasionaría ruidos molestos y no deseados.
3. Crear desequilibrios hidráulicos, para que el caudal se distribuya como está planificado.

Como se indicó en el capítulo 2.2.2 hay que tener presente que con caldera de gasóleo, los emisores, tuberías y resto de equipamiento suelen estar dimensionados en origen para trabajar con un salto térmico de entre 15 K y 20 K y temperaturas de entrada de agua a los radiadores entre los 60 °C y 80 °C, mientras que las bombas de calor suelen utilizar diferencias de temperatura de 10 K como máximo y de 5 K como habitual, y temperaturas de trabajo entre 35 °C y 60 °C, generalmente, lo que implica un caudal del doble o incluso de cuádruple sobre el inicial, para una misma potencia térmica.

Las condiciones de trabajo, elegidas para el caso de esta instalación tipo, se comparan en la tabla 4-8, donde la línea de «Homologación del radiador» indica el dato de potencia en las condiciones de ensayo del mismo.

Generador					Radiador de aluminio (ejemplo) 1200 mm (alto) x 500 mm (ancho) Exponente n = 1,25					
Potencia necesaria en calefacción	Caso objeto de estudio	Caudal	Tª ent. rad.	Tª sal. rad.	Δt (agua)	Tª media radiador	Δt (Tª media rad y aire int. a 20 °C)	Potencia por elemento de radiador	% Potencia aportada	Número de elementos de radiador necesarios
a		b	c	d	E = c - d	F = d + E/2	G = F - 20	H		I = a/H
kW		l/h	°C	°C	K	°C	K	W/ elemento	%	Número
7	Homologación radiador	302	75	55	20	65	45	100	100%	70
7	Caldera gasóleo (actual)	302	60	40	20	50	30	53	53%	132
7	Bomba de calor	603	55	45	10	50	30	53	53%	132
7		603	50	40	10	45	25	42	42%	166
7		1207	45	40	5	42,5	22,5	32	32%	218

Tabla 4-8. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Potencia en radiadores estándar vs. temperatura media

Nota: cada radiador tiene una curva de emisión propia que debe ser estudiada para cada caso

Una vez comprobado que la cantidad de elementos de radiador instalados aportan una potencia similar con bomba de calor (en el caso de la bomba de calor con un menor salto térmico y, por tanto, con un caudal del doble previsto para la caldera), se debe comprobar que la velocidad en la tubería general de distribución y en la tubería de los radiadores no supera el valor límite deseado.

Como ejemplo, se calcula para la tubería general de distribución, donde el caudal en circulación necesario, en litros/hora, y simplificado para densidad del agua ($\rho = 1 \text{ kg/l}$), calor específico ($C_p = 0,00116 \text{ kW} \cdot \text{h}/^\circ\text{C} \cdot \text{litro}$), y salto térmico (Δt) de 10 °C, se obtiene de la expresión:

$$\text{Caudal (l/h)} = \text{Potencia (kW)} / (C_p \text{ (kW} \cdot \text{h}/^\circ\text{C litro)} * \Delta t \text{ (}^\circ\text{C)})$$

Por lo que la velocidad del fluido en la tubería general sería la indicada en la tabla 4-9.

Potencia (P) (A-3,8/W55)	ΔT	Caudal (Q). Para densidad de agua de 1 kg/l y calor específico de 0,00116 kWh/ kg °C		Diámetro de la tubería		Área de la tubería	Velocidad del agua
				exterior (D)	interior (D)	del tubo	en la tubería [m/s]
a	b	$C_1 = a / (b \times 0,00116)$	$C_2 = a / (b \times 0,00116 \times 3600 \times 1000)$	D	Dint.	$A (m^2) = \pi \times r^2$	$V = C_2 / A$
(kW)	°C	Q [l/h]	Q [m³/s]	∅ mm	∅ mm	m²	$V = ((m^3 / s) / m^2) = m/s$
7	10	603	0,00017	22	20	0,000314159	0,53
10	10	862	0,00024	22	20	0,000314159	0,76
16	10	1.379	0,00038	22	20	0,000314159	1,219579138

Tabla 4-9. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Velocidad calculada en la tubería instalada

Para la tubería de cobre instalada, que dispone de un diámetro exterior de 22 mm y de 20 mm de diámetro interior, se observa que la velocidad del agua de calefacción en su interior es inferior a 1 m/s (límite establecido en el documento *Comentarios al Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE-2007)* (IDAE), donde se indica que «La velocidad de circulación del agua en los sistemas mixtos (calefacción y refrigeración) situados en el interior de las viviendas se limitará a 1 m/s», a potencia máxima, tanto a (A -3,8 °C/W55) donde aporta (7,0 kW), como en condiciones (A7/W35) donde su potencia es de 10 kW , por lo que es posible la instalación de la bomba de calor sin crear problemas de pérdida de carga excesiva o ruidos molestos en el interior de la vivienda. Por otro lado, siempre debe realizarse un equilibrado de la instalación hidráulica para asegurar el caudal correcto en cada radiador. Este cálculo deberá realizarse también para el tramo de radiador más desfavorable.

En la tabla 4-9 se puede observar que no sería posible instalar un equipo de 16 kW de potencia, salvo que se intervenga sobre la instalación hidráulica, se instale un separador hidráulico que permita trabajar con un caudal en el lado de la bomba de calor y otro (menor) hacia la instalación, o se modifique el diámetro de tubería, trazados, etc. Los resultados de la tabla anterior se consideran válidos para tuberías en buen estado, suponiendo que no existen reducciones de diámetro interno por acumulación de óxido u otros elementos. Debe prestarse atención al diámetro interior en tuberías plásticas y piezas derivadas, que, a igual diámetro exterior que un tubo de cobre, suelen tener diámetros interiores mucho más reducidos, algo que debe tenerse en cuenta en los cálculos..

Cuando sea necesario ampliar elementos de los radiadores de la instalación existente para aportar la potencia necesaria que demanda la vivienda, si por tipo de radiador o espacio disponible fuera compleja su ampliación, se puede optar por sustituir los radiadores existentes por radiadores de baja temperatura con ventilación forzada, sin cambiar la tubería, al ofrecer una mayor potencia que los radiadores estáticos para menores temperaturas de agua y mismo caudal.. No obstante, hay que tener en cuenta que estos radiadores de baja temperatura incorporan unos ventiladores DC de bajo consumo, por lo que precisarán de una alimentación eléctrica.

Para concluir, hay que tener en cuenta que las bombas de calor siempre van a ser más eficientes y, por tanto, realizan un menor consumo energético cuando trabajan a menor temperatura de impul-

sión, por lo que siempre será conveniente valorar inicialmente la posibilidad de la instalación conjunta con radiadores a baja temperatura o suelo radiante.

4.5.4.4.2.1. Obras necesarias manteniendo los radiadores

Para el cambio de caldera de gasóleo por bomba de calor, aprovechando los radiadores existentes, las obras a realizar serían, entre otras, las que se relacionan en la tabla 4-10.

Obras a realizar	Situación actual	Nueva situación instalación	Albañilería
Unidad exterior		Terraza. Desagüe bomba de calor	Canalización de los condensados al desagüe de la terraza
Tuberías hidráulicas		Por fachada de la terraza oculta en canaleta hasta la conexión con el circuito actual de calefacción de los radiadores	Remates de pasos de tubos por fachada y asilamiento de tuberías
Depósito/acumulador de ACS	--	Depósito/acumulador de ACS colgado en la pared del lavadero	--
Caldera	Lavadero	Se elimina	Remates para eliminar la salida de chimenea
Mando ambiente de caldera		Se sustituye por el mando ambiente de la bomba de calor	Remate
Radiadores	Paredes	Se aprovechan los radiadores convencionales	-
Depósito de inercia y válvula de presión diferencial		Se instala depósito de inercia y válvula de presión diferencial	Conexión con las tuberías existentes
Tuberías de distribución a radiadores	Paredes	Se mantienen	--
Conducciones e instalaciones eléctricas	Empotrada	Vista (canaleta)	Instalación eléctrica para alimentar la unidad exterior

Tabla 4-10. Caso tipo 1. Obras a realizar en el caso de mantener radiadores

4.5.4.4.3. Solución 2: reforma integral de la distribución interior

4.5.4.4.3.1. Obras necesarias en el caso de una reforma integral

Para el cambio de caldera de gasóleo por bomba de calor instalando suelo radiante en una reforma integral, las obras serían, al menos, las especificadas en la tabla 4-11.

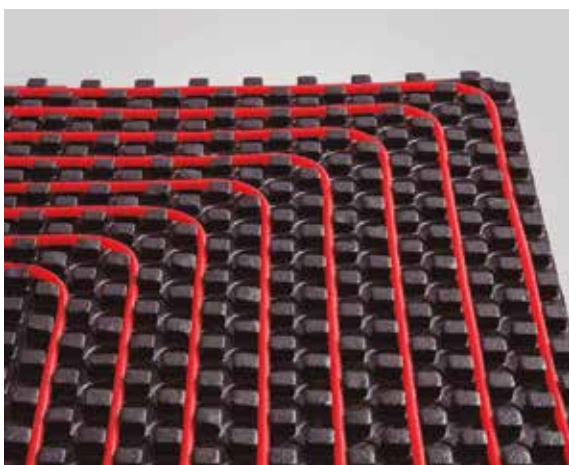
Obras a realizar	Situación actual	Nueva situación instalación	Albañilería
Unidad exterior		Terraza. Desagüe bomba de calor	Canalización de los condensados al desagüe de la terraza
Tuberías hidráulicas		Por fachada de la terraza oculta en canaleta	Remates de pasos de tubos por fachada y asilamiento de tuberías
Depósito/acumulador de ACS	--	Depósito/acumulador de ACS colgado en la pared del lavadero	--
Caldera	Lavadero	Se elimina	Remates para eliminar la salida de chimenea
Mando ambiente de caldera		Se sustituye por el mando ambiente de la bomba de calor	Remate
Radiadores	Paredes	Se eliminan	Remate
Suelo existente			Se interviene sobre el suelo existente
Suelo radiante	-	Se realiza la instalación de suelo radiante	Realización del acabado sobre la instalación de suelo radiante
Depósito de inercia y válvula de presión diferencial		Se instala depósito de inercia y válvula de presión diferencial	-
Tuberías de distribución a radiadores	Paredes	Se eliminan/se inutilizan	Remate
Conducciones e instalaciones eléctricas	Empotrada	Vista (canaleta)	Instalación eléctrica para alimentar la unidad exterior

Tabla 4-11. Caso tipo 1, obras a realizar en el caso de reforma integral

4.5.4.4.3.2. Sistema de suelo radiante-refrescante

En la vivienda que vaya a ser objeto de reforma integral, puertas, ventanas, suelo, ventilación con recuperación de energía, etc., puede ser interesante plantear el cambio de la instalación de radiadores por la de suelo radiante-refrescante.

Este sistema tiene la ventaja de que permite el trabajo a temperaturas inferiores a 40 °C de temperatura de impulsión (preferentemente su construcción debe permitir trabajar con una temperatura máxima de 35 °C con bomba de calor), por lo que la eficiencia de la bomba de calor es un 30% mayor que con el uso de radiadores convencionales a 55 °C. Además, con temperaturas de impulsión bajas se consigue que el suelo radie calor en toda su extensión (luz infrarroja=calor) con un mayor confort general al no tener corrientes de aire.



*Gráfico 4-7. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar.
Suelo radiante*

Los elementos que componen el sistema de calefacción por suelo radiante constan de:

- Una tubería de distribución, que es la que lleva el agua de calefacción, de diferentes diámetros.
- Una base donde se colocan los tubos de forma horizontal y cuya distancia depende del uso, a mayor densidad de tubos, menor temperatura de impulsión es necesaria, pero menor longitud de tramo es deseable (los tramos deben ser lo más cortos posible y similares en longitud).
- Un colector o colectores, donde confluyen todos los tubos y que se coloca en un pequeño armario o armarios donde están alojadas también todas las válvulas de distribución de cada circuito.
- Placas de aislamiento inferior y lateral, entre otros sistemas.

La instalación de suelo radiante solo puede ser realizada levantando el suelo existente e, incluso, picando y rebajando solera en muchas ocasiones, debido a que el grueso de mortero desde la generatriz del tubo no suele ser inferior a 5 cm, lo que, unido al resto de materiales, plancha, tubo, aislantes, cruces, baldosa, etc., hace que el grosor final de todo el conjunto suela estar en torno a los 8-10 cm de altura desde la solera.

Por ello, esta solución es muy recomendable cuando se proyecte una reforma integral de la vivienda, ya que muchos de los costes de albañilería y nuevo pavimento se internalizan en el propio coste general de la obra y junto con una mejora del aislamiento de huecos, ventanas o fachadas lo convierten en la mejor solución energética para climatización de viviendas, consiguiendo una eficiencia energética y confort excepcionales.

Además, el suelo radiante también permite su uso para refrescamiento, siempre teniendo en cuenta los límites de operación en cuanto a temperatura mínima de impulsión para no crear condensaciones y problemas de humedades, como se ha comentado en el capítulo 2.2.1 de esta guía.

4.5.4.4.3.3. Sistema de ventilación con recuperación de calor

Otra opción de mejora, si se opta por realizar una reforma integral de la vivienda, es añadir un sistema de ventilación con distribución de aire y con recuperación de energía, puesto que el 60% de la carga térmica en calefacción y refrigeración de una vivienda suele ser debida a la ventilación. Al realizar una mejora sobre la envolvente de la vivienda (sustitución de ventanas, aislamiento en fachada y cubiertas, etc.) se eliminan los puntos de entrada de aire exterior al edificio, ya que penalizan la eficiencia energética, pero también se reduce la ventilación natural del edificio, lo que puede crear problemas en la calidad de aire interior. La instalación de los sistemas de ventilación con recuperación de energía tiene las siguientes ventajas:

- Mantiene la vivienda en presión positiva (existe más presión de aire en el interior que en el exterior de la vivienda) y, por tanto, no entra aire frío.
- Filtra todo el aire exterior antes de introducirlo, vivienda libre de polvo y alérgenos.
- Aumenta la eficiencia del suelo refrescante en verano, al añadir un factor de convección que rompe la estratificación negativa.
- Ahorra energía, al mantener la vivienda ventilada recuperando parte de la energía en el proceso.
- Mantiene la vivienda libre de olores, insectos, ruido de la calle, etc.

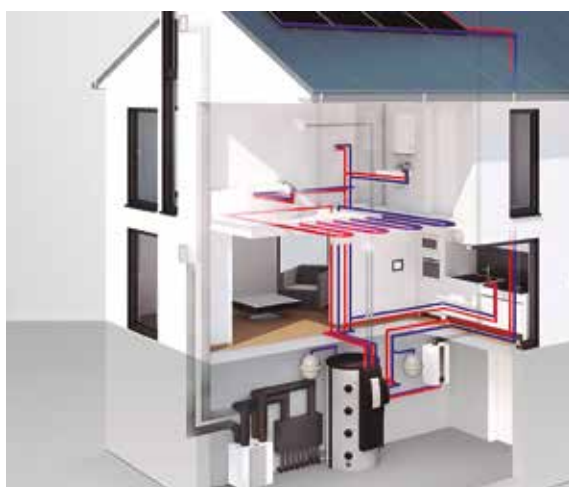


Gráfico 4-8. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Ejemplo de instalación de ACS, suelo radiante y un equipo de ventilación centralizado con recuperación de calor y distribución de aire

4.5.4.4. Depósito de inercia

Respecto al aprovechamiento de los radiadores existentes, el cambio a un generador de bomba de calor hace casi imprescindible el uso de un depósito de inercia en la instalación. Primero, porque va a permitir que la instalación trabaje en un régimen de funcionamiento más continuo, evitando arranques y paros continuos del compresor y alargando su vida útil y, por otro lado, asegura siempre el volumen mínimo necesario de agua para disponer de la energía necesaria para realizar un ciclo de desescarche completo. En este caso, al haberse instalado nuevas válvulas termostáticas de corte en cada radiador y no poder ya asegurar que el volumen contenido en los radiadores esté disponible, la instalación de este depósito es necesaria.

En el caso de la solución con suelo radiante, el volumen mínimo necesario en el depósito de inercia para el funcionamiento correcto de la instalaciones mucho menor, puesto que el propio suelo radiante ya actúa como un sistema inercial.

Para el cálculo del volumen necesario, el fabricante aporta la siguiente tabla orientativa que asegura su correcto funcionamiento e indica el volumen de agua mínimo que se precisa según la potencia del modelo de equipo correspondiente, ya descontado el propio volumen interno de la máquina (que en este caso es considerable). Cada fabricante ofrece una orientación al respecto del volumen necesario, aunque todos coinciden en la importancia de reducir el número de arranques y paros, y, en el caso de aerotermia, de disponer de energía acumulada (volumen de agua) para poder realizar los desescarches completos sin tener que hacer uso de la resistencia eléctrica.

Recomendación del volumen mínimo de depósito de inercia para este fabricante				
Potencia nominal (kW) de la bomba de calor en condiciones (A7/W35)	Ventiloconvector (<i>fancoil</i>) o radiadores de baja temperatura	Radiadores convencionales	Suelo radiante	Cuando existen elementos de corte por local
kW	Litros	Litros	Litros	Litros
5 kW	23	12	2	50
6 kW	23	12	2	50
7 kW	36	33	15	50
10 kW	49	44	22	50
13 kW	55	50	25	100
16 kW	74	66	35	200

Tabla 4-12. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Criterios orientativos de volumen de inercia

Para nuestro caso tipo, puesto que la potencia nominal de la bomba de calor seleccionada es de 10 kW en condiciones A7/W35 (se selecciona aquí para temperaturas de acumulación bajas y no para la potencia a 7 kW en condiciones A7/W55), se requeriría un volumen de inercia de unos 49 litros, que según los depósitos presentes en el mercado se escogerá un depósito de inercia de un volumen de 50 litros, como mínimo.

En este caso, el agua contenida dentro de los elementos de cada radiador existente en la vivienda (132 elementos), con un volumen de agua aproximado de 0,39 litros por elemento y que harían un total de unos 51 litros en toda la instalación, no puede considerarse disponible para la bomba de calor. Esto es debido a que los nuevos elementos de control de zona (válvulas termostáticas) a instalar, y que se dispondrán en cada radiador, pueden cerrar el paso a su radiador correspondiente si la temperatura de la habitación ha alcanzado su valor de consigna. Este cierre hace que ese volumen de agua contenido en el radiador ya no esté disponible para obtener la energía necesaria en caso de tener que realizar desescarches, evitar ciclos cortos de compresor arranque-paro, etc.

Por tanto, en la vivienda considerada, siguiendo el criterio del fabricante del equipo a instalar, sería necesaria la instalación de un depósito de inercia adicional de 50 l así como una válvula de presión diferencial. Este volumen de inercia es siempre una recomendación de volumen mínimo, que puede ampliarse, lo que beneficia a la bomba de calor, pero no reducirse. Desde el punto de vista de pérdidas de energía, en este ejemplo, se considera que las pérdidas de energía totales estáticas se encuentran dentro del 1% de la energía total anual en calefacción, dato de pérdidas que puede variar en función del tipo de aislamiento, ubicación, etc.

La conexión hidráulica, el tipo de depósito de inercia, el posicionamiento de la sonda o sondas de temperatura, etc. afectan al funcionamiento de la bomba de calor, por lo que deben seguirse también las indicaciones del fabricante en ese aspecto.

4.5.4.4.5. Instalación hidráulica

Otra comprobación previa a la instalación es la de verificar que la bomba circuladora de la propia bomba de calor prevista alcanza el caudal nominal en circulación deseado.

En primer lugar se calcula la pérdida de carga del ramal más desfavorable (principal), que para nuestro caso tipo será para 10 kW de potencia y de la expresión; Caudal (l/h) = Potencia (kW)/(C_p (kW·h/°C litro) * Δt (°C)); con salto térmico = 10 K, el caudal será de 862 litros/hora.

	Uds.	longitud total equivalente	Pérdida de carga unitaria	Total, pérdida de carga
Cálculo de pérdida de carga en la instalación	A	b	c	d = a x b x c
		m	m.c.a.	m.c.a.
Radiador y válvulas	1	1	0,35	0,35
Tubería secundaria. Longitud más desfavorable	2	12,5	0,012	0,3
Codos tubería secundaria	12	0,6	0,018	0,1296
Tubería principal	2	25	0,022	1,1
Codos tubería principal	3	0,6	0,022	0,0396
Tes tubería principal	2	1,5	0,022	0,066
Válvulas tubería principal	2	2,5	0,1	0,5
Filtros y accesorios	1	15	0,1	1,5
Total, pérdida de carga en metros de columna de agua (m.c.a)				3,9852

Tabla 4-13. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Tabla simplificada de pérdida de carga del ramal más desfavorable

Para el modelo de bomba de calor empleado en este caso tipo, de las curvas de bomba circuladora disponibles se deduce que la misma dispone de caudal y presión suficiente para varios modos de funcionamiento; a presión variable y a presión constante; por lo que no tendrá problemas para aportar el caudal deseado de 862 l/h con 3,98 m.c.a.

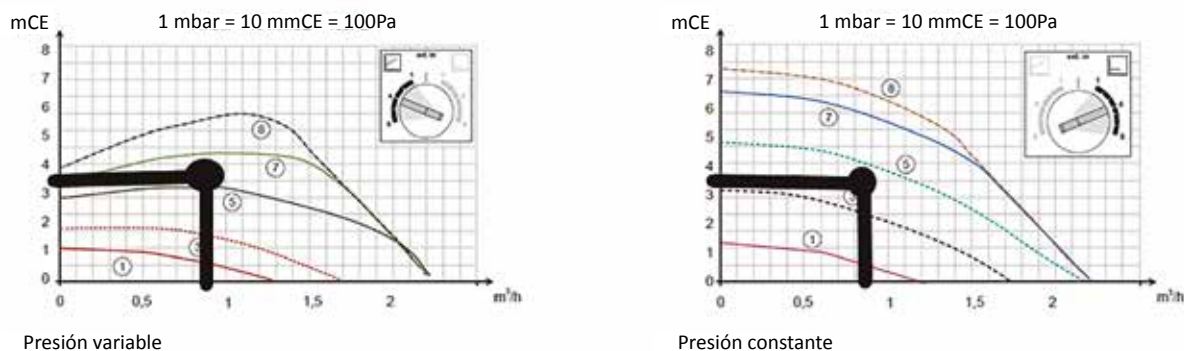


Gráfico 4-9. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Gráfico de línea de pérdida de carga de la instalación vs. presión disponible y caudal en bomba circuladora

En esta instalación-tipo, se comprueba que las características de esta bomba circuladora, integrada de serie en el interior de la bomba de calor, permite, por tanto, alcanzar el caudal nominal necesario, por lo que no es necesario independizar el circuito mediante la instalación de un depósito de inercia y bomba posterior, sino que solo sería necesario colocar un depósito de inercia en línea, por lo comentado en el apartado anterior, y una válvula de equilibrado de presión diferencial.

En el caso de que la vivienda contase con grupos de bombeo por planta, al estar este control por plantas (zonas) permitido en la IT 1.2.4.3.1 del RITE, sería posible su control mediante la centralita de la bomba de calor, mediante el uso de válvulas mezcladoras y bombas independientes que se integrarían en su control, siendo necesario en este caso un depósito de inercia interpuesto como separador hidráulico.

Las unidades interiores disponen de caudalímetro, manómetro, flusostato, vaso de expansión en calefacción y válvula de seguridad.

En función del modelo y fabricante, debe instalarse siempre un filtro de malla y un filtro anti-magnética a la entrada de la unidad interior, para evitar la entrada de objetos y suciedad en el equipo.

4.5.4.5. Dimensionamiento del acumulador de ACS

De la tabla de necesidades de ACS se obtiene que la demanda máxima, según CTE, es de 170 litros/día, por lo que se selecciona el modelo que dispone de un depósito de ACS de 190 litros de capacidad

		EN	FE	MA	AB	MY	JN	JL	AG	SE	OC	NO	DI
ACS. Temperatura CTE	°C	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
ACS. Temperatura consigna	°C	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
ACS. Demanda CTE (Incl. factor de centralización)	(l/d)	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
ACS. Demanda diaria a Temperatura consigna	(l/d)	162	162	163	164	165	167	170	169	167	165	163	162
ACS. Volumen acumulador	Litros	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190

Tabla 4-14. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Cálculo de la demanda (l/d) en función de la temperatura de acumulación

No obstante, como en toda rehabilitación, debe recabarse información acerca del perfil de consumo real del usuario, que puede diferir del establecido por el CTE según se ha comentado en el apartado 3.3.2.3 de esta guía.

4.5.4.5.1.1. Equipo seleccionado

El sistema finalmente propuesto consistirá en una bomba de calor aerotérmica partida aire-agua, compuesta por una unidad interior y una unidad exterior conectadas entre sí por tuberías de gas refrigerante.

La unidad interior incorpora el depósito de ACS y cubrirá la demanda de calefacción de la vivienda.

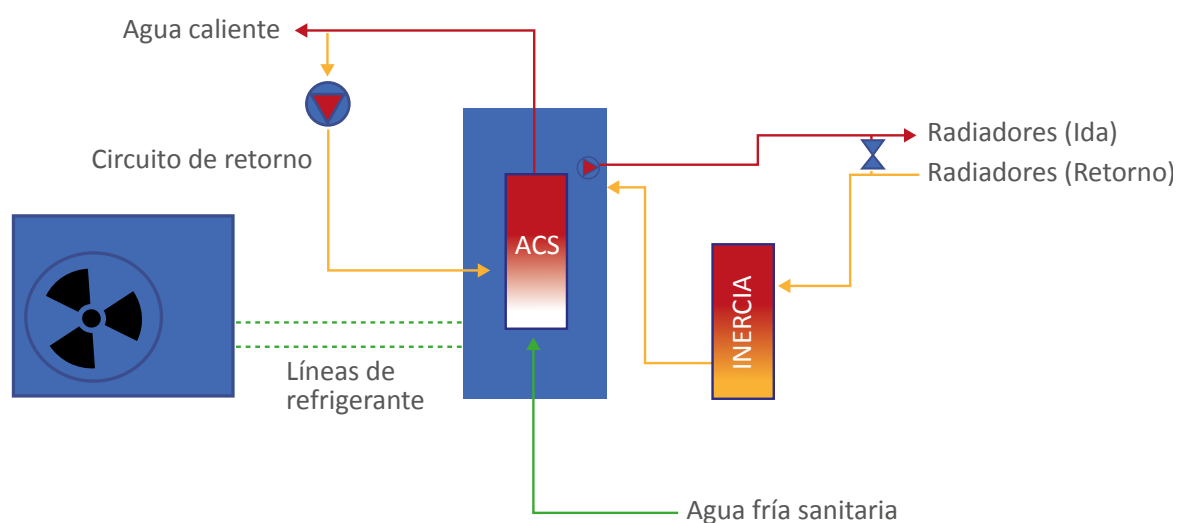


Gráfico 4-10. Caso tipo 1. Ejemplo de instalación

4.5.4.6. Calefacción

El equipo elegido es uno de 7 kW en las condiciones de diseño, con un SCOP de 3 en las condiciones climáticas medias en calefacción y a 55 °C de temperatura de impulsión máxima, según indica su documentación técnica.

En función de las condiciones de entrada de aire a la unidad exterior, para una temperatura de impulsión de 55 °C con un salto térmico de 10 K, se elige el modelo de bomba de calor que, a -3,4 °C de temperatura de entrada de aire a la unidad exterior, aporta 7,0 kW de potencia térmica, sin el apoyo de resistencia eléctrica en este caso.

Como se indicó con anterioridad, la potencia entregada disminuye instantáneamente a medida que lo hace la temperatura de entrada de aire a la unidad exterior. Por este motivo se hace imperativo evitar cualquier recirculación de aire en la unidad exterior y evitar con ello una reducción, drástica e inmediata, en la potencia aportada, COP, etc.

Alternativamente, para esta instalación puede seleccionarse una bomba de calor de menor potencia térmica, que haga uso de un equipo de apoyo durante las pocas horas al año en la que la temperatura exterior está por debajo de la temperatura de bivalencia (temperatura exterior por debajo de la cual comienza a funcionar el equipo de apoyo y que está determinada por la potencia final de la bomba de calor instalada). Elegir un equipo de menor potencia tiene la ventaja de disponer de una mejor adaptación a cargas parciales, un menor precio, menor tamaño del equipo, etc.

En el gráfico de horas acumuladas puede observarse el número de horas anuales por debajo de los 0 °C. Gráfico para Madrid, Cuatro Vientos.

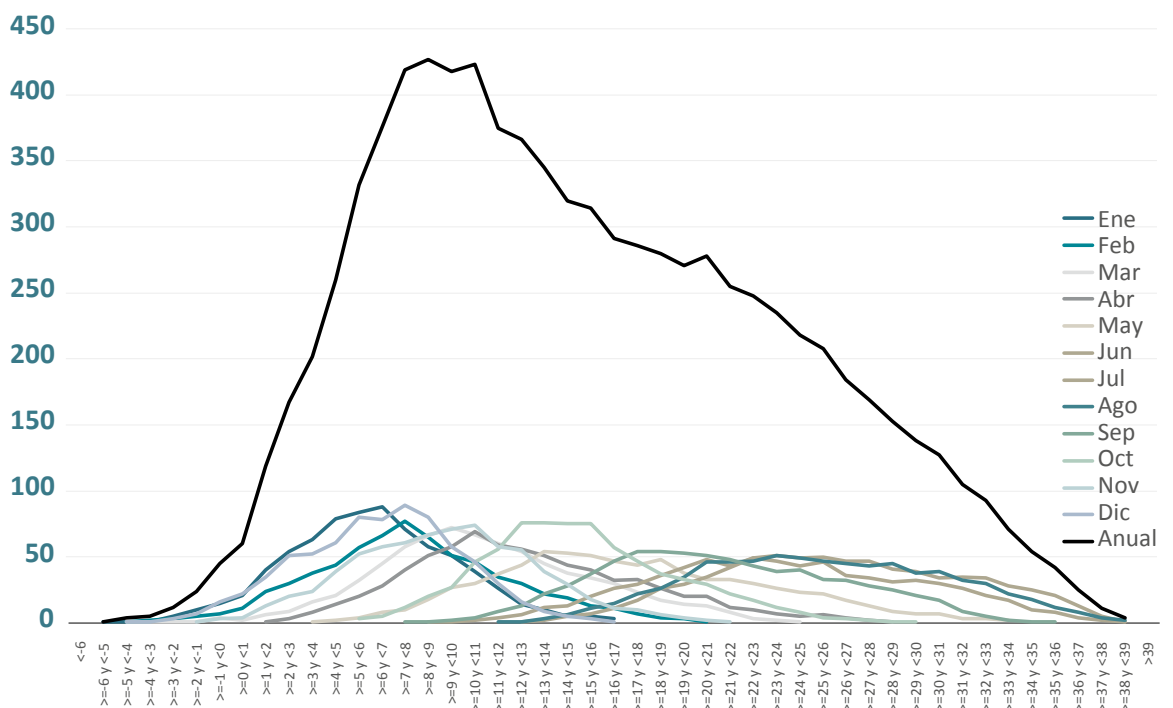


Gráfico 4-11. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Frecuencias de repetición, Madrid, Cuatro Vientos. Fuente: Programa «Frecuencias» (IDAE)

4.5.4.7. ACS

La demanda de ACS se cubre con el depósito de 190 litros de capacidad integrado en el equipo.

4.5.4.8. Refrigeración

Se mantiene la instalación existente para refrigeración. No se sustituyen los equipos.

4.5.4.9. Regulación y control

En calefacción, el equipo trabajará en curva de calefacción (mediante lectura de temperatura exterior) y con elementos de corte en los radiadores, en este caso válvulas termostáticas por cada radiador.

El modo de regulación elegido es en curva de calefacción para el circuito de calefacción considerado, con horario de funcionamiento continuo durante la temporada de calefacción. La inclinación de la curva está en función del aislamiento de la vivienda, cuanto mejor aislamiento menor inclinación y viceversa.

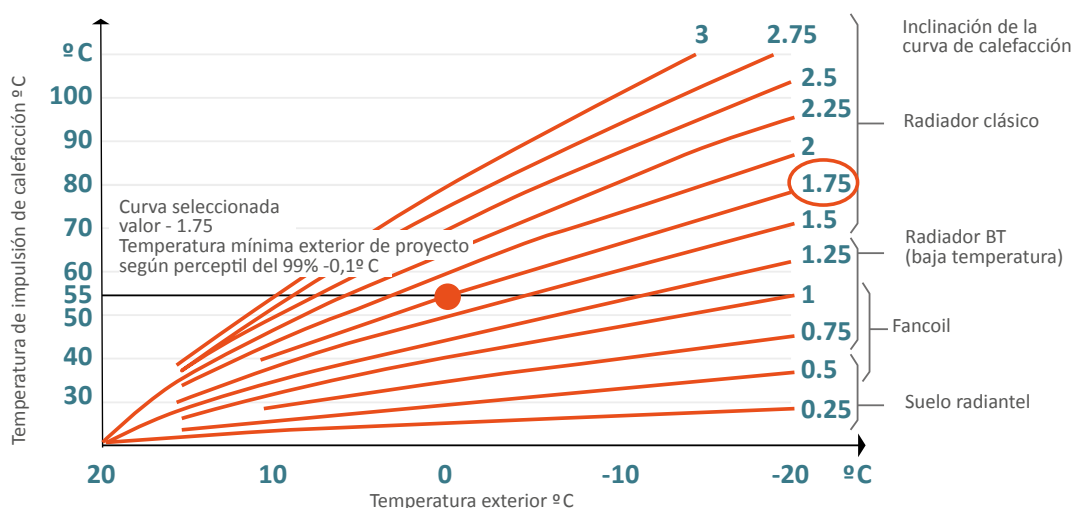


Gráfico 4-12. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Curvas de trabajo en calefacción programables en función de los elementos terminales instalados.

Este modo de funcionamiento en curva de calefacción permite aportar a la vivienda solo la energía que está perdiendo. Para ello, es necesario disponer de una sonda de temperatura exterior (situada siempre en la zona norte, sin influencia de fuentes de calor, radiación solar, etc.), que informa a la bomba de calor sobre la evolución de su temperatura y le permite adaptarse y adelantarse a las condiciones cambiantes en invierno. Se instala un mando central, así como un control por habitación, independiente por radiador, que se realiza mediante válvulas termostáticas. Este control aumenta la eficiencia energética de la bomba de calor.

En viviendas donde no sea posible instalar una sonda de temperatura exterior, ni se disponga de este dato vía control, etc, será necesario trabajar con termostato interior general modulante o dispositivos de control específicos en combinación con los dispositivos por habitación.

Si la vivienda dispusiera de grupos de bombeo por planta sería posible realizar un control por curva independiente a cada planta, combinado con termostatos modulantes, también en cada planta, grupos de mezcla, etc., no obstante, en esta vivienda, puesto que solo existe una sola columna y una sola bomba circuladora, se opta por la solución indicada de bombeo directo.

Otros ajustes son:

- ACS, se trabajará con programación horaria.
- El sistema auxiliar (resistencia eléctrica) estará deshabilitado pero conectado para su funcionamiento en caso de avería. En este ejemplo no se ha considerado el uso de un sistema bivalente paralelo (bomba de calor de menor potencia con un apoyo simultáneo de resistencia, aunque sería posible).
- El sistema estará telegestionado mediante la plataforma del fabricante.

4.5.4.10. Instalación eléctrica

Los datos e instrucciones para las conexiones eléctricas del equipo se encuentran dentro de las instrucciones de montaje, datos y conexiones que precisan aclaración.

Consumo eléctrico máximo vs. consumo nominal

Dado que se ha añadido un equipo consumidor eléctrico más a la vivienda, puede ser necesario un aumento de la potencia eléctrica contratada con respecto a las condiciones iniciales, puesto que se está instalando una bomba de calor de accionamiento eléctrico con un consumo máximo de 5,06 kW en condiciones de máxima potencia del compresor *inverter* a la temperatura de impulsión de primario máxima del equipo, 60 °C.

Sin embargo, aunque la instalación eléctrica de acometida a la bomba de calor debe estar dimensionada para este consumo de 5,06 kW, protecciones, etc., el funcionamiento de la bomba de calefacción será a carga parcial; esto es, curva de calefacción, por lo que los consumos reales serán mucho menores.

Por esto, el consumo de potencia en cada momento de la bomba de calor, haciendo uso del control, será más cercano al indicado para carga parcial en las condiciones climáticas medias, a una temperatura de impulsión máxima (55 °C), tal como viene reflejado en la ficha técnica con base en el Reglamento de Ecodiseño 813/2013 que se aporta en la documentación del fabricante, de la que se indica un extracto en la tabla 4-15.

55 °C		
Tª Ext °C	COP	Potencia consumida a carga parcial kW
-7	1,7	3,94
2	2,7	1,79
7	4,1	1,57
12	5,7	1,17

Tabla 4-15. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. COP y potencia consumida a carga parcial para una temperatura interior de 20 °C en función de una temperatura exterior de Tj, COP

Sección de los conductores y protecciones eléctricas

El cálculo de la sección de los conductores y protecciones debe realizarse según lo indicado en el REBT (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión).

La sección de los conductores, protecciones, etc. deberán seleccionarse para el consumo máximo previsto del equipo y no para el consumo nominal (véase ejemplo en la tabla 4-16).

Potencia máxima posible consumida W	Línea eléctrica	Tensión en bornas del equipo V	Intensidad en corrientes monofásicas	Corrección ITC-BT-47 REBT	Intensidad para el cálculo del conductor A
			$I = P/V$		
4255	Monofásica	230	18,5	Si motor =1,25 1,25	23,13
4255	Monofásica	220	19,3	1,25	24,18

Tabla 4-16. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Cálculo del conductor necesario en función de la potencia y caída de tensión

De la tabla se estima una intensidad superior a 24 A, por lo que se selecciona el conductor necesario en función de lo indicado de la tabla 1 de la ITC-BT-19 del REBT, «Tabla 1. Intensidades admisibles (A) al aire 40 °C. Número de conductores con carga y naturaleza del aislamiento».

En la tabla 4-17 se observa que la intensidad máxima permitida para cada conductor depende del agrupamiento y de la naturaleza del aislamiento, por lo que estos datos deben conocerse con antelación a la selección del conductor y su sección.

A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR					
B		Conductores empotrados en tubos ²⁾ en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
B2		Cables multiconductores en tubos ²⁾ en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared ³⁾					3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
E		Cables multiconductores al aire libre ⁴⁾ . distancia de la pared no inferior a 0.3D ⁵⁾						3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR	
F		Cables multipolares en contacto mutuo ⁴⁾ . Distancia a la pared no inferior a D ⁵⁾						3x PVC			3x XLPE o EPR ¹⁾	
G		Cables unipolares separados mínimo D ⁵⁾								3x PVC ¹⁾		3x XLPE o EPR
Cobre	mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-
	2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-
	4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-
	6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-
	10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-
	16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-
	25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166
	35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206
	50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250
	70				149	160	171	188	202	224	244	321
	95				180	194	207	230	245	271	296	391
	120				208	225	240	267	284	314	348	455
150				236	260	278	310	338	363	404	525	
185				268	297	317	354	386	415	464	601	
240				315	350	374	419	455	490	552	711	
300				360	404	423	484	524	565	640	821	

1. A partir de 25 mm² de sección.
2. Incluyendo canales para instalaciones -canaletas- y conductos de sección no circular.
3. O en bandeja no perforada.
4. O en bandeja perforada.
5. D es el diámetro del cable.

Tabla 4-17. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Tabla 1 de la ITC-BT-19 del REBT, «Intensidades admisibles (A) al aire 40°C. N.º de conductores con carga y naturaleza del aislamiento»

A la vista de la tabla para la intensidad máxima del equipo considerado, si la naturaleza del aislamiento del conductor elegido es EPR y el agrupamiento es del tipo A2, la sección del conductor debe ser de 6 mm² y su protección de 32 amperios, con temperatura al aire de 40 °C o, en el caso de un conductor con aislamiento eléctrico a base de PVC, columna I, la intensidad máxima permitida y su protección, para la sección de 6 mm², es de 25 A.

Todos estos detalles deberán revisarse en obra, teniendo en cuenta siempre la longitud del conductor, caída de tensión, etc.

La alimentación a la resistencia eléctrica se calcularía del mismo modo, aunque su uso no está previsto al haber elegido una bomba de calor que proporciona la potencia necesaria en las condiciones de temperatura exterior de proyecto, sí conviene tenerla conectada y preparada para casos especiales.

Como punto a tener en cuenta, independientemente de que todas las bombas de calor dispongan de protecciones internas contra consumos elevados, es necesario que los circuitos de la instalación eléctrica a los que se conecta la bomba de calor incluyan las protecciones eléctricas necesarias y dimensionadas de acuerdo a lo establecido en el reglamento electrotécnico para baja tensión.

Contratación eléctrica

Para la contratación de la potencia eléctrica deben tenerse en cuenta las simultaneidades de la vivienda.

Un ejemplo de cálculo de la potencia máxima simultánea probable, para esta vivienda, puede ser el de la tabla 4-18, donde los factores de simultaneidad se deberán considerar para cada caso particular.

Características eléctricas de los circuitos ITC-BT-25	Potencia prevista por toma – W	Potencia real en la vivienda y prevista como simultánea con la bomba de calor (en este caso tipo). W	Factor simultaneidad Fs	Factor utilización Fu	Consumo máximo estimado W
	a	b	c	d	e = b x c x d
C1 Iluminación	200	200	0,75	0,5	75
C2 Tomas uso general	3.450	1.500	0,2	0,25	75
C3 Cocina y horno	5.400	2.500	0,75	0,75	1.406
C4 Lavadora, lavavajillas, termo eléctrico	3.450	2.500	0,66	0,75	1.238
C5 Baño, cuarto de cocina	3.450	2.500	0,4	0,5	500
C8 Calefacción – ACS	4255	2860	1	0,75	2.145
C9 Aire acondicionado	3,3	3,3	1	0,5	2
C10 Secadora	3.450	2	1	0,75	1
C11 Automatización					0
C13 Recarga del vehículo eléctrico			1	1	0
Total					5.442

Tabla 4-18. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Combinación de las características de los circuitos con la potencia real en la vivienda objeto de estudio. Simulación para potencia consumida nominal de la bomba de calor

La potencia que la bomba de calor puede aportar en ACS depende de la potencia de intercambio del intercambiador interior del acumulador de ACS. Debido a este límite, la potencia térmica posible a aportar al ACS rara vez supera el 50% de la potencia térmica máxima posible en la bomba de calor, para la temperatura de primario necesaria.

En bombas de calor con control de revoluciones en el grupo de bombeo de ACS, el proceso puede ser similar al siguiente: una vez la bomba de calor se pone en marcha y se alcanza el salto térmico entre la impulsión y el retorno programado y establecido normalmente en 5 K para el primario de ACS, el compresor *inverter* reduce sus revoluciones para ajustar la potencia a la que puede ceder el intercambiador de ACS. En todo caso, las bombas de calor *inverter* disponen en general de limitación electrónica programable del consumo de la bomba de calor en ACS, en caso necesario.

Para la vivienda objeto de estudio, a la vista de los cálculos realizados, se opta por contratar inicialmente la potencia de 5,7 kW, pudiendo ser ajustada más adelante en función de los consumos reales que se realicen.

Es preciso destacar que con la introducción de los nuevos contadores de energía eléctrica inteligentes se permite exceder puntualmente de la potencia contratada durante un tiempo determinado, por lo que se evitan problemas de corte por picos de consumo.

Las derivaciones individuales eléctricas y demás elementos de la instalación eléctrica deben cumplir con lo establecido en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, por lo que es necesario contactar con una empresa instaladora habilitada eléctrica que, tras analizar las particularidades de la instalación, realizará las adaptaciones necesarias en la instalación eléctrica con base en lo establecido en el REBT.

4.5.4.11. Nivel sonoro

Se deberá garantizar, para cualquier tipología de equipo, que los niveles sonoros son los permitidos según las normativa estatal y ordenanzas municipales, en este caso Madrid.

4.5.4.12. Resumen de necesidades previstas

A la hora de elegir el equipo del catálogo del fabricante puede ser útil realizar una tabla resumen (véase tablas 4-19 y 4-20).

Necesidades de calefacción	
Potencia de diseño	7,0 kW
Temperatura exterior de diseño	-3,4 °C
Temperatura de impulsión	55 °C
Salto térmico en el radiador Δt	10 °C
Temperatura interior de diseño	21 °C (Bulbo seco)

Tabla 4-19. Caso tipo 1. Tabla resumen necesidades de calefacción

Necesidades de ACS	
Demanda total diaria (máx.) según CTE	170 l
Temperatura de acumulación	53 °C

Tabla 4-20. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Caso tipo 1. Tabla resumen necesidades de ACS

Datos técnicos del equipo seleccionado

Del catálogo del fabricante se muestra un extracto de sus datos técnicos en la tabla 4-21.

Rendimientos nominales calefacción (Tª exterior / Tª de salida) Potencia calorífica		
+7 °C / +35 °C - Suelo radiante	kW	10.00
-7 °C / +35 °C – Suelo Radiante	kW	7.40
+7 °C / +45 °C – Radiador de BT (baja temperatura)	kW	8.27
-7 °C / +45 °C – Radiador de BT (baja temperatura)	kW	7.40
+7 °C / +55 °C – Radiador	kW	7.00
-7 °C / +55 °C – Radiador	kW	7.00
Potencia absorbida		
+7 °C / +35 °C - Suelo radiante	kW	2.49
-7 °C / +35 °C – Suelo Radiante	kW	2.97
+7 °C / +45 °C – Radiador de BT (baja temperatura)	kW	2.53
-7 °C / +45 °C – Radiador de BT (baja temperatura)	kW	3.70
+7 °C / +55 °C – Radiador	kW	2.86
-7 °C / +55 °C – Radiador	kW	4.15
Coefficiente de rendimiento (COP)	(+7 °C / +35 °C)	4.02
Características eléctricas		
Tensión de alimentación (50 HZ)	V	18.5
Corriente máxima del aparato	A	10.9
Intensidad nominal	A	
Corriente máxima de apoyos eléctricos Calefacción	A	
Potencia de apoyos Calefacción	kW	
Potencia real absorbida por el ventilador	W	100
Potencia real absorbida por el circulador	W	

Tabla 4-21. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Potencia, consumo y rendimiento instantánea en calefacción a potencia máxima

Sin embargo, los datos reflejados en el catálogo comercial del fabricante pueden no ser suficientes para conocer realmente las condiciones de funcionamiento de la bomba de calor. Tener en cuenta solo los datos técnicos instantáneos, donde se indican la potencia máxima aportada y máxima consumida, así como el COP en esas condiciones de trabajo, puede dar lugar a un error de interpretación en cuanto a cuál será el rendimiento del equipo en la instalación objeto de estudio. Para esto se puede acudir a la ficha de producto de la bomba de calor, a cargas parciales y en condiciones ErP (véase tabla 4-22).

Aplicaciones de calefacción			35°C	55°C
Coeficiente de rendimiento declarado a carga parcial para una temperatura interior de 20 °C y una temperatura exterior Tj				
Tj = -7 °C	Pdh	kW	7,5	6,7
Tj = -2 °C	Pdh	kW	4,5	4,2
Tj = 7 °C	Pdh	kW	4,5	3,2
Tj = 12 °C	Pdh	kW	4	4
Tj = Temperatura bivalente	Pdh	kW	7,5	6,7
Tj = Temperatura límite de funcionamiento	Pdh	kW	7	5,9
Temperatura bivalente	T _{biv}	°C	-7	-7
Coeficiente de degradación	Cdh	-	0,9	0,9
Coeficiente de rendimiento declarado a carga parcial para una temperatura interior de 20 °C y una temperatura exterior Tj				
Tj = -7 °C	COPd	-	2,4	1,7
Tj = -2 °C	COPd	-	3,8	2,7
Tj = 7 °C	COPd	-	5,7	4,1
Tj = 12 °C	COPd	-	7,2	5,7
Tj = Temperatura bivalente	COPd	-	2,4	1,7
Tj = Temperatura límite de funcionamiento	COPd	-	2,2	1,4
Para las bombas de calor aire-agua, temperatura límite de funcionamiento	TOL	°C	-10	-10
Temperatura máxima de servicio del agua de la calefacción		°C	55	55

Tabla 4-22. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Ficha en condiciones ErP. Reglamento de Ecodiseño 813/2013

Al combinar estos datos de potencia y COP, con el número de horas de trabajo a cada temperatura exterior y con la potencia necesaria en la instalación en cada punto de hora de trabajo, se obtiene el gráfico 4-13.

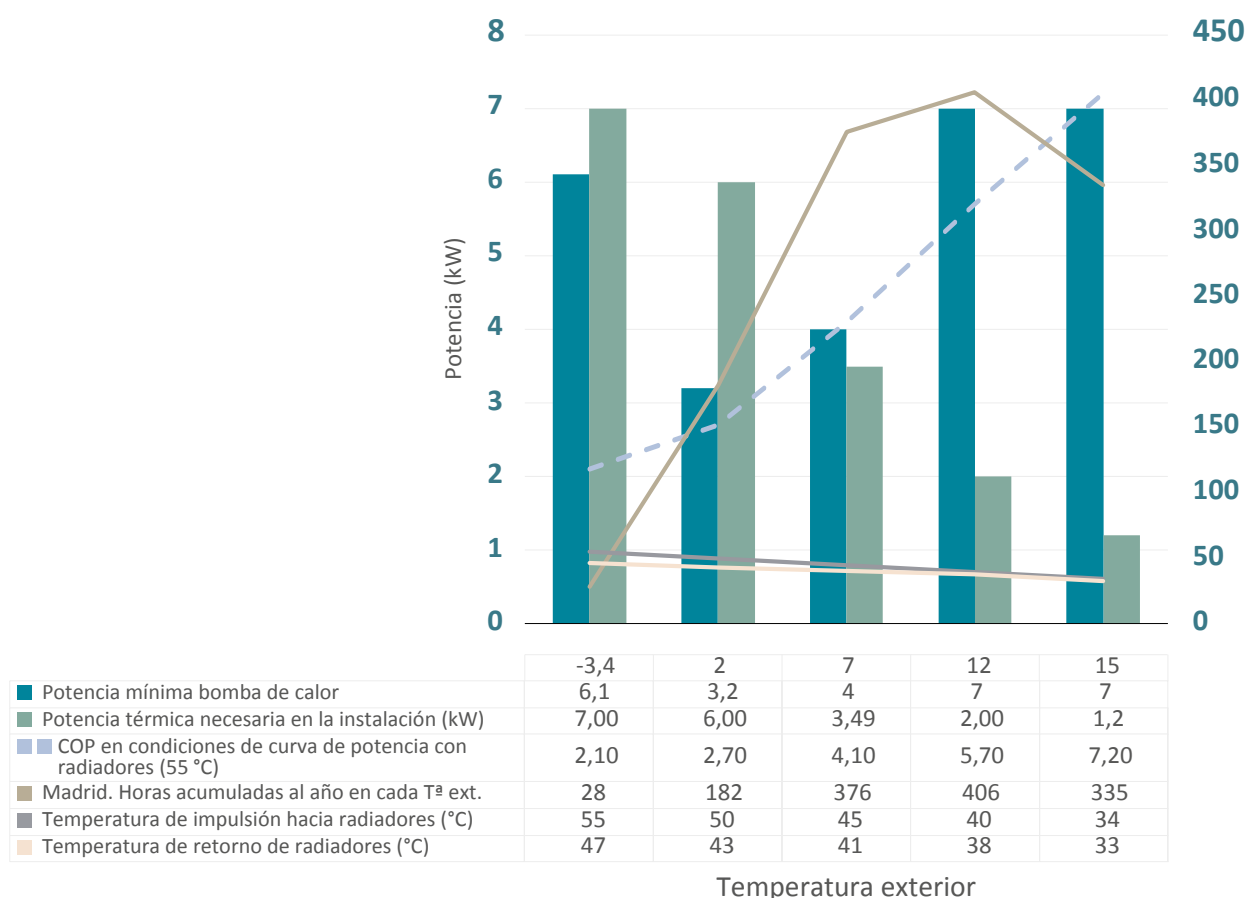


Gráfico 4-13. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Potencia aportada frente a potencia demandada, variación del COP y horas de funcionamiento, en Madrid, de una bomba de calor para radiadores, según ficha ErP

En el gráfico 4-13 se observa la influencia que tiene en el COP la variación de la temperatura de impulsión para radiadores a 55 °C (variable en función de la temperatura exterior y las necesidades térmicas reales de la vivienda), así como la cantidad de horas acumuladas a cada temperatura exterior. En este sentido, se puede observar que, con el 50% de potencia de calefacción, se cubre el 80% de horas de calefacción. Esta variación de potencia es el origen del dato del rendimiento estacional SCOP, que, para calefacción, considera el número de horas acumuladas por debajo de los 15 °C.

En el gráfico 4-13 también se aprecia la necesidad de disponer de un depósito de inercia de volumen suficiente para, a partir de los 7 °C de temperatura exterior, amortiguar la diferencia de potencia entre la mínima que puede aportar este modelo de bomba de calor y la que necesita la instalación, y evitar así los inevitables ciclos cortos de compresor para el modelo elegido, que irían en detrimento de su longevidad y de la eficiencia del sistema. Esta zona, entre los 7 °C y los 15 °C, es la zona con más horas acumuladas en Madrid.

Para finalmente conocer el dato del rendimiento estacional en calefacción del modelo elegido es necesario acudir a la ficha de producto en condiciones ErP (véase tabla 4-23).

Aplicaciones de calefacción			35 °C	55 °C
Bomba de calor aire/agua				
Equipada de un dispositivo de calefacción de apoyo				
Dispositivo de calefacción mixto por bomba de calor				
Clima medio – Calefacción de ambiente				
Clase energética (package)	-	-	A++	A+
Potencia térmica nominal ⁽²⁾	P _{rated}	kW	8	8
Eficiencia energética nominal	η_s	%	155	113
Eficiencia energética nominal con sonda exterior ⁽¹⁾	η_s	%	157	115
Eficiencia energética nominal con aparato de ambiente ⁽¹⁾	η_s	%	159	117
Consumo de energía anual	Q _{he}	kWh	4415	5415
Clima medio – Producción de agua caliente sanitaria				
Perfil de consumo	-	-	L	
Clase energética	-	-	A+	
Eficiencia energética	η_{wh}	%	120	
Consumo de energía anual	AEC	kWh	880	
Consumo eléctrico diario	Q _{elec}	kWh	4	

Tabla 4-23. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Ficha técnica de producto. Reglamento Delegado 811/2013, en condiciones climáticas medias, con etiquetado energético y estimación de consumo de energía anual para una vivienda tipo

Para condiciones climáticas medias con sonda exterior y «aparato ambiente» (termostato), la ficha del producto indica que el modelo elegido ofrece un rendimiento estacional en calefacción sobre el uso de la energía primaria $\eta_s = 117\%$; por lo que, sobre la energía final consumida a 55 °C, expresada mediante el SCOP, en calefacción será de:

$$\text{SCOP} = 2,5 \times (\eta_s + 3\%) = 2,5 \times 1,17 + 2,5 \times 0,03 = 3.$$

Respecto al ACS, para el rendimiento medio estacional se tiene en consideración lo indicado en la ficha de producto $\eta_{wh} = 120\%$.

Así pues, para nuestro sistema de ACS, véanse los datos que arroja la tabla 4-24.

Volumen ACS	L	190
SCOP _{DHW}		
Condiciones climáticas medias. Temperatura entrada de aire = 7 °C		2,86
Pérdidas estáticas	W	60

Tabla 4-24. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Datos de bomba de calor en ACS

4.5.5. Energía renovable

4.5.5.1. En calefacción

Para condiciones climáticas medias, según los datos indicados en la ficha de producto del modelo seleccionado, se obtienen los indicadores de las tablas 4-25 y 4-26.

Opción radiadores					
Demanda de calefacción	Q _{usable}	η _s en condiciones climáticas medias en calefacción y aplicación a media temperatura de impulsión, 55 °C	SCOP	E _{RES}	%
	a	b	$c = (b \times 2,5) + (0,03 \times 2,5)$	$d = b \times (1-1/c)$	$e=d/a$
	kWh/año			kWh/año	
Vivienda	9.908	117%	2,975	6.578	66,4%

Tabla 4-25. Caso tipo 1. Energía renovable en calefacción (radiadores)

Opción Suelo radiante					
Demanda de calefacción	Q _{usable}	η _s en condiciones climáticas medias en calefacción (-10 °) y aplicación a baja temperatura de impulsión, 35 °C	SCOP	E _{RES}	%
	a	b	$c = (b \times 2,5) + (0,03 \times 2,5)$	$d = b \times (1-1/c)$	$e=d/a$
	kWh/año			kWh/año	
Vivienda	9.908	159%	4,05	7.462	75%

Tabla 4-26. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Energía renovable en calefacción (suelo radiante)

4.5.5.2. En ACS

Se acude a la ficha técnica para hallar el dato y extraer la energía renovable (véase tabla 4-27).

ACS					
η _{wh} en condiciones climáticas medias para ACS	SCOP _{dhw}	SCOP _{dhw}	Q _{usable}	E _{RES}	ACS: % de cobertura de energía renovable
		b	c	$d = c \times (1 - 1/b)$	$e=d/a$
%		Valor	kWh/año	kWh/año	%
120%	Declarado en ficha técnica	2,86	3.253	2.116	65%

Tabla 4-27. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Energía renovable en ACS

4.5.6. Resultados y conclusión

A partir de los datos anteriores, los datos comparativos entre los sistemas analizados pueden observarse en las tablas 4-28 y 4-29.

Caso tipo uno. Vivienda unifamiliar de 140 m ² en clima D3. Sustitución de caldera de gasóleo por bomba de calor								
		Instalación existente			Instalación nueva con bomba de calor Opción: Radiadores existentes. Se mantiene el equipo de A/A. ACS		Instalación nueva Opción reforma integral con suelo radiante, mejora de aislamientos, ventilación con recuperación, cerramientos, etc.	
Demanda de energía térmica		Referencia	Caldera	A/A	Bomba de calor	Variación con respecto a la instalación original	Bomba de calor	Variación con respecto a la instalación original
					Radiadores		Suelo radiante	
Calefacción	kWh/año	a	9.908		9.908	0%	5.746	42%
ACS	kWh/año	b	2.791		3.253	14%	3.253	14%
Refrigeración	kWh/año	c		2.600	2.600		2.600	
Total	kWh/año	A = a + b + c	15.299		15.761	3%	11.599	-24%
Consumo de energía final		Referencia	Gasóleo	Energía eléctrica	Energía eléctrica	Variación	Energía eléctrica	Variación
Rendimiento: calefacción - refrigeración		d	0,92	2	03-feb		4,05 - 4,05	
Rendimiento del generador en ACS		f	0,92		2,86		2,86	
Calefacción	kWh/año	e = a/d	10.770		3.303	-69%	1.419	-87%
ACS	kWh/año	g = b/f	3.034		1.137	-63%	1.137	-63%
Refrigeración	kWh/año	h = c/d		1.300	1.300***	0%	642	-51%
Total	kWh/año	B = e + g + h	15.103		5.740	-62%	3.198	-79%
Consumo de energía final		Referencia	Gasóleo	Energía eléctrica	Energía eléctrica	Variación	Energía eléctrica	Variación
Coeficiente E. primaria (Cep)	kWh Ep/kWh	i	1,182	2,368	2,368		2,368	
Calefacción	kWh Ep/año	j = e x i	12.730		7.821	-39%	3.360	-74%
ACS	kWh Ep/año	k = g x i	3.586		2.693	-25%	2.693	-25%
Refrigeración	kWh Ep/año	l = h x i		3.078	3.078	0%	1.520	0%
Total	kWh Ep/año	C = j + k + l	19.394		13.593	-30%	7.573	-61%

Tabla 4-28. Tabla resumen caso 1

Caso tipo uno. Vivienda unifamiliar de 140 m ² en clima D3. Sustitución de caldera de gasóleo por bomba de calor								
		Referencia	Instalación existente		Instalación nueva con bomba de calor		Instalación nueva	
			Caldera	A/A	Opción: Radiadores existentes. Se mantiene el equipo de A/A. ACS.		Opción reforma integral con suelo radiante, mejora de aislamientos, ventilación con recuperación, cerramientos, etc.	
					Bomba de calor	Cambio en demanda de energía térmica	Bomba de calor	Cambio en demanda de energía térmica. Suelo radiante
Emisiones de CO ₂			Gasóleo	Energía eléctrica	Energía eléctrica	Variación	Energía eléctrica	Variación
Coficiente emisiones CO ₂	kg CO ₂ /kWh	m	0,311	0,331	0,331		0,331	
Calefacción	Kg CO ₂ /año	n = e x m	3.349		1.093	-67%	470	-57%
ACS	Kg CO ₂ /año	o = g x m	943		376	-60%	376	0%
Refrigeración (equipo A/A original)	Kg CO ₂ /año	p = h x m		430	430		212	-51%
Total	Kg CO ₂ /año	D = n + o + p	4.723		1.900	-60%	1.059	-78%
Superficie	m ²	q	140		140		140	
Ratio kgCO ₂ /m ²	Kg CO ₂ /m ²	E = D/q	33,7		13,6		7,6	
Clasificación energética de la vivienda, en cuanto a emisiones de CO ₂			C		A		A	
Consumo de energía primaria no renovable		Referencia	Gasóleo	Energía eléctrica	Energía eléctrica	Variación	Energía eléctrica	Variación
Coficiente E. primaria no renovable (Cep _{nr})	kWh EPnr/kWh	r	1,179	1,954	1,954		1,954	
Calefacción	kWh Epnr/año	s = e x r	12.697		6.453	-49%	2.772	-85%
ACS.	kWh Epnr/año	t = g x r	3.577		2.223	-38%	2.223	-38%
Refrigeración	kWh Epnr/año	u = h x r		2.540	2.540		1.254	-51%
Total	kWh Epnr/año	F = s + t + u	18.814		11.216	-42%	6.249	-75%
Superficie	m ²	q	140		140		140	
Ratio Epnr/m ²	kWh Epnr/m ²	G = F/q	134		80,1		45	
Clasificación energética de la vivienda, en cuanto al consumo de EPnr			C		B		A	

Tabla 4-29. Tabla resumen caso 1 (II)

*La diferencia de demanda en calefacción se debe a la incorporación de un depósito de inercia y a las pérdidas estáticas por acumulación en invierno

** La diferencia de la demanda de ACS se debe a la incorporación de un depósito de ACS y a las pérdidas estáticas por acumulación todo el año

*** En el este caso se ha considerado que la bomba de calor solo tiene un uso en calefacción y que el aire acondicionado existente se mantiene. En el caso de que la bomba de calor trabajara en modo refrigeración el resultado sería más favorable puesto que el rendimiento en refrigeración es muy superior

La sustitución presenta una considerable reducción en energía final consumida, así como de energía primaria no renovable y emisiones de CO₂, lo que podría elevar la clasificación energética de la vivienda desde una letra E a una A si se opta por la opción de la instalación con suelo radiante y reforma integral con mejora de la envolvente.

Dependiendo de los precios de la energía (gasóleo y electricidad) y del coste de inversión de los equipos, se considera que el plazo de amortización de la opción A (manteniendo los radiadores existentes) podría estar entre 9 y 12 años y para la opción B (con suelo radiante) entre 13 y 17 años. Existen ayudas para la sustitución de equipos que usen combustibles fósiles por energías renovables, que, si estimamos una ayuda aproximada del 40%, dicho plazo de amortización podría verse reducido entre 4 y 6 años respectivamente.

Por otro lado, este ahorro total podría verse aumentado, significativamente, si se añadiera una combinación de la bomba de calor con una instalación de autoconsumo según se ha expuesto en el capítulo 2.3 de esta guía.

La realización de una reforma integral, con la instalación de bomba de calor y suelo radiante, intervención en cerramientos, así como la instalación de un sistema de ventilación con recuperación de energía podría reducir la energía final consumida en más de un 80% aproximadamente respecto de la situación inicial de partida.

En el caso de la reforma integral, donde se ha renovado de forma conjunta las instalaciones de generación térmica y más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio, no se rebasan los límites de energía primaria y energía primaria no renovable indicados en el documento HE-0 del Documento Básico HE Ahorro de energía

4.6. Caso-tipo 2: residencial (piso) – CAL+ACS – D3 (CTE)/medio (SHARES). Cambio de caldera de gas natural a bomba de calor

Situación de partida	Solución planteada	Resultados
Situación de partida		Ahorros
<ul style="list-style-type: none"> • 1 Caldera individual <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 x 24 kW • CAL+ACS • Radiadores convencionales 	<ul style="list-style-type: none"> • Solución A <ul style="list-style-type: none"> ▪ 100% hidráulica • Solución B <ul style="list-style-type: none"> ▪ 100% frigorífica 	<ul style="list-style-type: none"> • 68-76% menos E. final • 41-56% menos Ep • 59-70% menos Epnr • 50-63% menos kg CO₂

Condiciones previas que deben valorarse/barreras

- Estado de la instalación, patologías hidráulicas previas, aislamientos, etc.
- Potencia necesaria (real) en las nuevas condiciones de temperatura de impulsión.
- Potencia necesaria en las condiciones de carga parcial.
- Respuesta de los emisores a la temperatura de trabajo y salto térmico.
- Perfil de consumo y demanda real de ACS.
- Canalización de aire de la bomba de calor de ACS, aislamiento y diámetro.
- Control de la instalación y estrategia.
- Espacio físico disponible para la unidad interior, accesorios, depósito de inercia y de acumulación de ACS, peso, etc.
- Espacio físico disponible para la unidad exterior, nivel de ruido, desagüe, etc.

Otras soluciones viables para este caso tipo

- Centralización de las demandas de ACS y calefacción.
- Mejora de la calidad de aire interior mediante equipo de ventilación mecánica controlada, permite mantener la vivienda con presión positiva con aire limpio, filtrado y con recuperación de energía.
- Instalación de autoconsumo comunitario.

4.6.1. Descripción del edificio y viviendas

El edificio objeto de rehabilitación es una vivienda de 90 m² y tres dormitorios, ubicada dentro de un bloque colectivo de viviendas.

Se considera como ubicación para este ejemplo la ciudad de Zaragoza, asimilable a condiciones climáticas medias según la clasificación SHARES. Las características de la vivienda, superficie y generador existente, así como la demanda de calefacción, serían las que se describen a continuación.

4.6.1.1. Necesidades de calefacción y ACS

4.6.1.2. Situación de partida

Piso de 90 m ² en zona climática D3, Zaragoza	Unidades	Calefacción	Refrigeración	ACS
Generador		Caldera	Aire Acondicionado	Caldera
Demanda de energía necesaria en la vivienda	kWh/año	7.870	1.632	2.304

Tabla 4-30. Caso tipo 2. Piso en bloque. Clasificación energética de la vivienda

4.6.2. Descripción del sistema instalado

4.6.2.1. Calefacción, ACS, y A/A

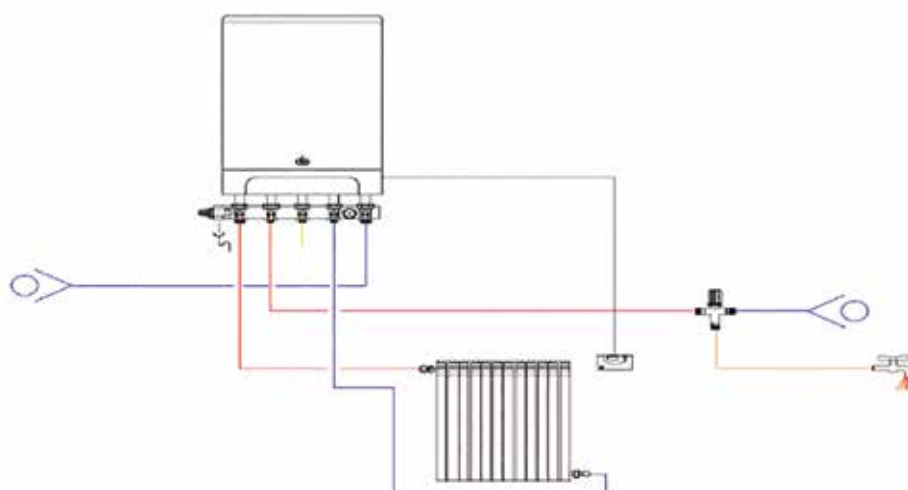


Gráfico 4-14. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Instalación existente

En la actualidad, la vivienda dispone de una caldera estanca de gas natural de bajo NO_x , de 24 kW, que cubre los servicios de ACS (producción instantánea) y de calefacción.

Los emisores actuales son radiadores convencionales de aluminio.

Dispone de un equipo de aire acondicionado tipo *split* para el salón.

4.6.3. Descripción del sistema propuesto

Con el fin de mostrar algunas de todas las opciones posibles, para este caso tipo se plantean dos de las posibles soluciones que se describen a continuación:

1. Opción A: instalación 100% hidráulica sustituyendo los radiadores por unos de baja temperatura y dando servicio de ACS.
2. Opción B: instalación 100% frigorífica realizando la calefacción y la refrigeración por unidad de conductos y dando servicio al ACS mediante un acumulador.

4.6.3.1. Opción A: instalación 100% hidráulica

Para este caso tipo se decide instalar:

- 1 x bomba de calor de ACS compacta.
- 1 x bomba de calor de calefacción compacta, sin unidad interior, para su uso con radiadores.

Esta solución tiene las siguientes ventajas:

- Menor espacio ocupado, al ser instalación en pared.
- Menor peso total.
- Independencia entre ambos sistemas con simultaneidad en ACS y calefacción, al ser equipos separados e independientes.

4.6.3.1.1. Opción A: esquema de principio

Para una correcta instalación es necesario seguir el esquema de instalación del fabricante, en el que se detallan los componentes necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del equipo y su seguridad.

4.6.3.1.1.1. Bomba de calor para calefacción

La bomba de calor es compacta, por lo que la instalación es 100% hidráulica.

Las tuberías discurrirán por la fachada del edificio, dentro de canaleta y aisladas. Se deberá glicolar el agua para evitar la formación de hielo en el intercambiador.

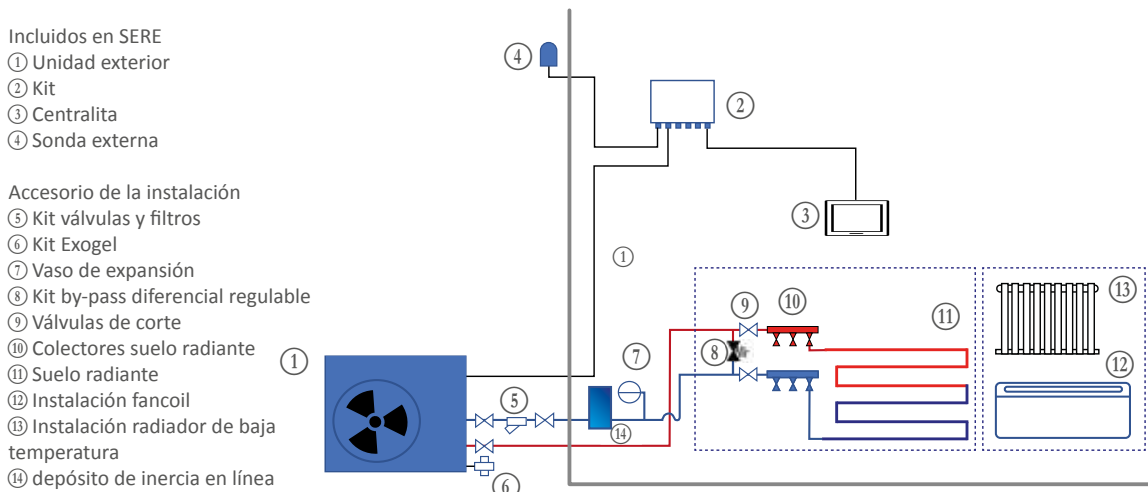


Gráfico 4-15. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Esquema de principio universal para calefacción con tres tipos de emisores posibles: suelo radiante, fancoils o radiadores de baja temperatura

4.6.3.1.1.2. Bomba de calor para ACS

En este caso, esta bomba de calor compacta se conecta con el exterior para la toma y salida de aire mediante dos conductos y se situará en la pared del lavadero, en el mismo espacio donde estaba situada la antigua caldera de gas.



Gráfico 4-16. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Conducto aislado a prueba de difusión de vapor

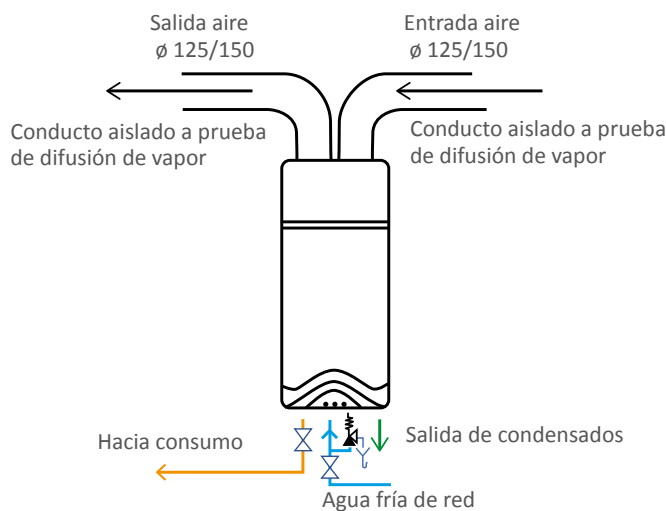


Gráfico 4-17. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Esquema de principio para ACS

El conducto de salida debe estar aislado a prueba de difusión de vapor para evitar condensaciones en su superficie. El desagüe deberá estar canalizado.

4.6.3.1.1.3. Dimensiones

Bomba de calor para calefacción.

La unidad exterior tiene las dimensiones que se reproducen en el gráfico 4-18 y precisa de los espacios contemplados en el gráfico 4-19.

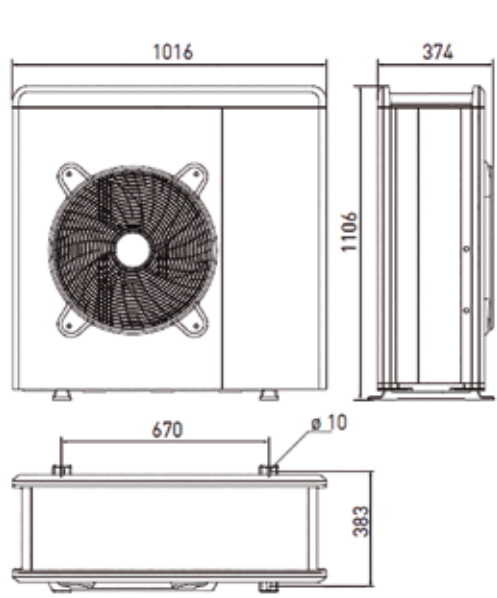


Gráfico 4-19. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Dimensiones unidad exterior

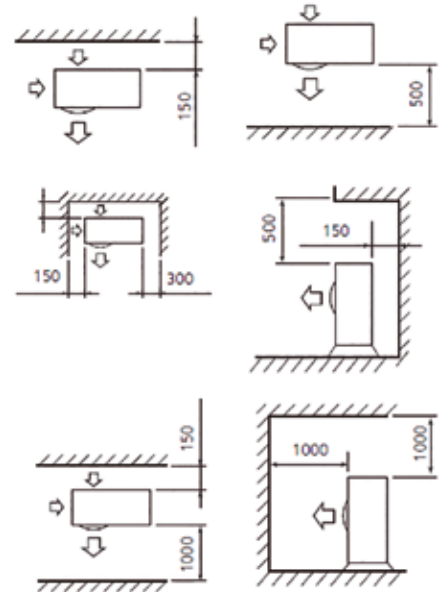


Gráfico 4-18. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Distancias mínimas

Bomba de calor de ACS

La bomba de calor dedicada para ACS tiene las dimensiones que se observan en el gráfico 4-20.

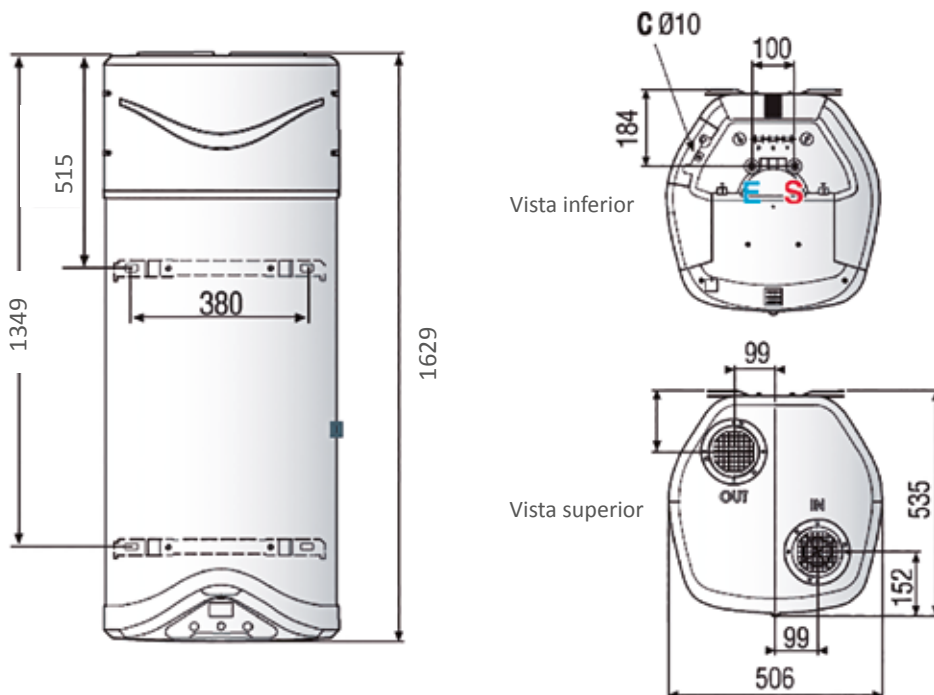


Gráfico 4-20. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica

4.6.3.1.2. Opción A: emplazamiento y distribución

En este caso tipo, ambas bombas de calor utilizan el aire del exterior como fuente de calor por lo que se considera que las dos utilizan parte de energía renovable. Aquí, las temperaturas exteriores de la localidad considerada deben permitir trabajar a la bomba de calor, todos los días del año, tanto en invierno como en verano, por lo que es necesario comprobar que las temperaturas del emplazamiento donde se situará la bomba de calor, están dentro de los límites de funcionamiento indicados por fabricante.

4.6.3.1.2.1. Emplazamiento de la bomba de calor de calefacción

La unidad exterior se instala en la terraza de la vivienda. La recogida de condensados se canaliza hacia el desagüe de la terraza. La unidad exterior dispone de una resistencia eléctrica en la bandeja de condensados para evitar el taponamiento de la bandeja y la acumulación de hielo.

4.6.3.1.2.2. Emplazamiento de la bomba de calor de ACS

Su emplazamiento será en el lavadero de la vivienda (espacio no calefactado), que se encuentra ventilado de forma natural y suficiente al exterior, tomando el aire del exterior. La aspiración y la expulsión de aire frío (aire de salida de la bomba de calor) se realizará mediante dos canalizaciones que constarán de 1 codo de 90° y un tramo horizontal de 1,5 m de Ø 150mm se evacuará el aire a fachada. Este conducto estará aislado a prueba de difusión de vapor para evitar condensaciones superficiales en el exterior del mismo (la temperatura de salida del aire es hasta 8 °C menor que la de entrada). Como concepto general, en el caso de las canalizaciones de aire, se deberá asegurar que no sobrepasan las pérdidas de carga establecidas para el equipo considerado (las pérdidas de carga se obtienen de la suma de las pérdidas de carga del conducto de expulsión y de aspiración, así como codos, rejillas, etc.).

Se deberá disponer de un desagüe para la recogida de agua de condensados, así como una válvula de seguridad, regulación de presión de entrada y vaso de expansión de ACS.

Debido a que el equipo se encuentra cargado de refrigerante y que su instalación será de interior, es necesario que la estancia se encuentre bien ventilada, así como que la estancia disponga de un volumen mínimo de aire. En este caso, el lavadero se encuentra ventilado al exterior, sin posibilidad de cierre, por lo que no es preciso cálculo de carga límite de refrigerante.

En el caso de la bomba de calor de ACS, los conductos deberán ser del diámetro y longitud máxima permitida, así como contar de aislamiento a prueba de difusión de vapor para evitar condensaciones como se ha comentado anteriormente, con el grosor correspondiente según RITE. En cuanto a la expulsión de aire, se deberá garantizar, para cualquier tipología de equipo, que los caudales de aire expulsados a fachada o en circulación a través de la unidad exterior son los permitidos según las ordenanzas municipales.

4.6.3.1.2.3. Plano de distribución

La distribución de los nuevos equipos en plano sobre la planta de la vivienda se reproduce en el gráfico 4-21.

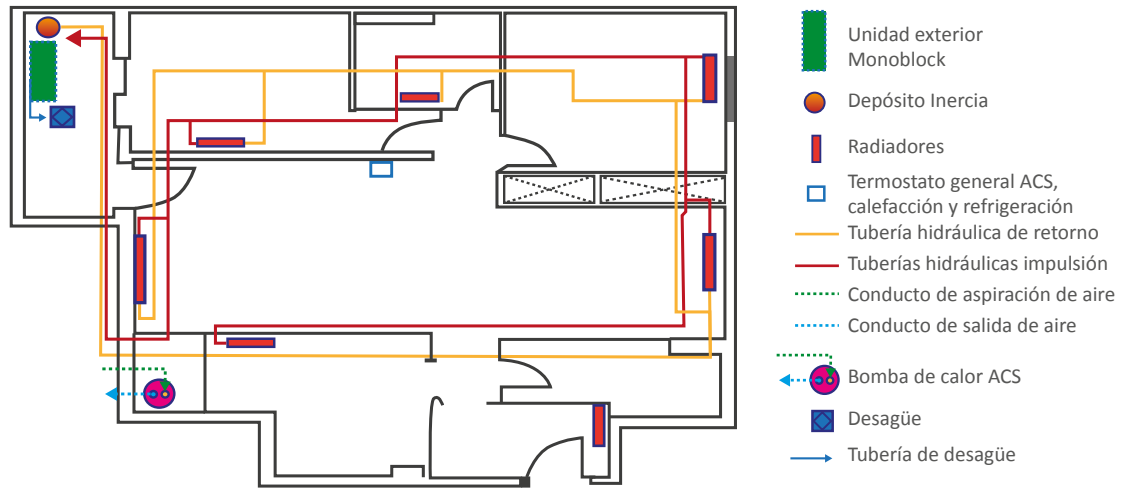


Gráfico 4-21. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Implantación

4.6.3.1.3. Opción A: obras necesarias

Las obras necesarias para la ejecución de esta instalación deben estar programadas, puesto que son varios los trabajos a realizar (véase tabla 4-31).

Opción 100% hidráulica			
Obras a realizar	Situación actual	Nueva situación instalación	Albañilería
Unidad exterior		Terraza. Desagüe bomba de calor	Canalización de los condensados al desagüe de la terraza
Tuberías hidráulicas		Por fachada de la terraza oculta en canaleta hasta la conexión con el circuito actual de calefacción de los radiadores	Remates de paso de tubos por fachada y asilamiento de tuberías
Bomba calor ACS	--	Bomba de calor con depósito incorporado colgada en la pared del lavadero	--
Caldera	Lavadero	Se elimina	Remates para eliminar la salida de chimenea
Mando ambiente de caldera		Se sustituye por el mando ambiente de la bomba de calor	Remate
Radiadores	Paredes	Se sustituyen por radiadores de baja temperatura aprovechando las tuberías de distribución interior existentes	Conexión con las tuberías existentes
Depósito de inercia y válvula de presión diferencial		Se instala depósito de inercia y válvula de presión diferencial	Conexión con las tuberías existentes
Tuberías de distribución a radiadores	Paredes	Se mantienen	--
Instalación eléctrica para alimentar la unidad exterior, más toma de electricidad junto a cada radiador	Empotrada	Vista (canaleta)	Instalación eléctrica para alimentar la unidad exterior + toma de electricidad junto a cada radiador
Equipo de aire acondicionado en salón	Existentes	Se mantiene. Opcional sustituirlo por un <i>fancoil</i> de agua para el salón o para el resto de la vivienda (conductos)	En caso de instalar <i>fancoil</i> de conductos, es necesario cambiar falso techo, abrir rejillas, etc.
Rejillas	--	Solo en el caso de <i>fancoil</i> de conductos general. Motorizadas. Cableado a través del falso techo. Mandos a distancia en cada habitación	--

Tabla 4-31. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Obras necesarias

Como en toda reforma, deberá procurarse reducir las actuaciones a las mínimas imprescindibles, puesto que, en este caso, no se trata de una reforma integral de toda la vivienda.

4.6.3.1.4. Opción A: dimensionamiento en calefacción

4.6.3.1.4.1. Potencia térmica necesaria

Para este caso de estudio se obtiene que la demanda de la potencia de calefacción en las condiciones de proyecto es de unos 70 W/m², ratio habitual en zonas frías y para una vivienda con un aislamiento medio-bajo e instalaciones con radiadores convencionales de uso continuo.

Al aplicar este dato a la superficie de las viviendas se obtienen las potencias máximas siguientes:

- Vivienda de 90 m²: Potencia de calefacción máxima demandada 6.300 W.

Esta potencia es la estimada para el día más frío del invierno, a partir de los datos climatológicos del municipio de la instalación.

4.6.3.1.4.2. Condiciones de temperatura exterior de proyecto

Según la guía técnica sobre *Condiciones climáticas exteriores de proyecto* (IDAE), las condiciones climáticas de la zona para Zaragoza son:

- TSC (99%): -1,1 °C.
- HUMcoin: 89%.

4.6.3.1.4.3. Condiciones de selección de la bomba de calor

Para dimensionar las unidades de forma adecuada se tienen en cuenta las condiciones climáticas de la instalación descrita y la Instrucción Técnica del *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios* (RITE), «IT 1.2.4.1.3.3 Maquinaria frigorífica enfriada por aire».

Para el servicio de calefacción deben considerarse la humedad relativa coincidente y la temperatura seca al percentil elegido, y con la ayuda de un diagrama psicrométrico se obtiene la temperatura húmeda, de la que se deben restar 2 °C, llegando al siguiente resultado:

TSC (99%)	HUMcoin	Temperatura de selección/proyecto
-1,1 °C	89%	-1,7 °C-2 °C = -3,7 °C

Tabla 4-32. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Temperatura exterior de selección de bomba de calor para aportar la potencia requerida

Para la selección del modelo de bomba de calor, deben considerarse las potencias que ofrece el fabricante en función de la temperatura exterior y de la temperatura de impulsión. En el caso de estudio, la temperatura exterior de proyecto es de -3,7 °C, y la temperatura de impulsión máxima será de 45 °C, puesto que los emisores son radiadores de baja temperatura.

Para el caso de la bomba de calor elegida, la potencia disponible es superior a la potencia demandada por la vivienda.

Opción 100% hidráulica			
Caso 2 Opción 100% hidráulica Potencia a temperatura de proyecto	Temperatura entrada de aire a la unidad exterior	Potencia máxima a 45 °C de temperatura de impulsión	Potencia máxima necesaria vivienda
	°C	kW	kW
Modelo 7 kW	-3,7	6,4	6,3

Tabla 4-33. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Potencia aportada y potencia necesaria

Temperatura exterior (-3,4 °C) que solo se alcanzará durante un número muy reducido de horas al año, como muestra el gráfico 4-22 de frecuencias de repetición horaria de temperatura anual.

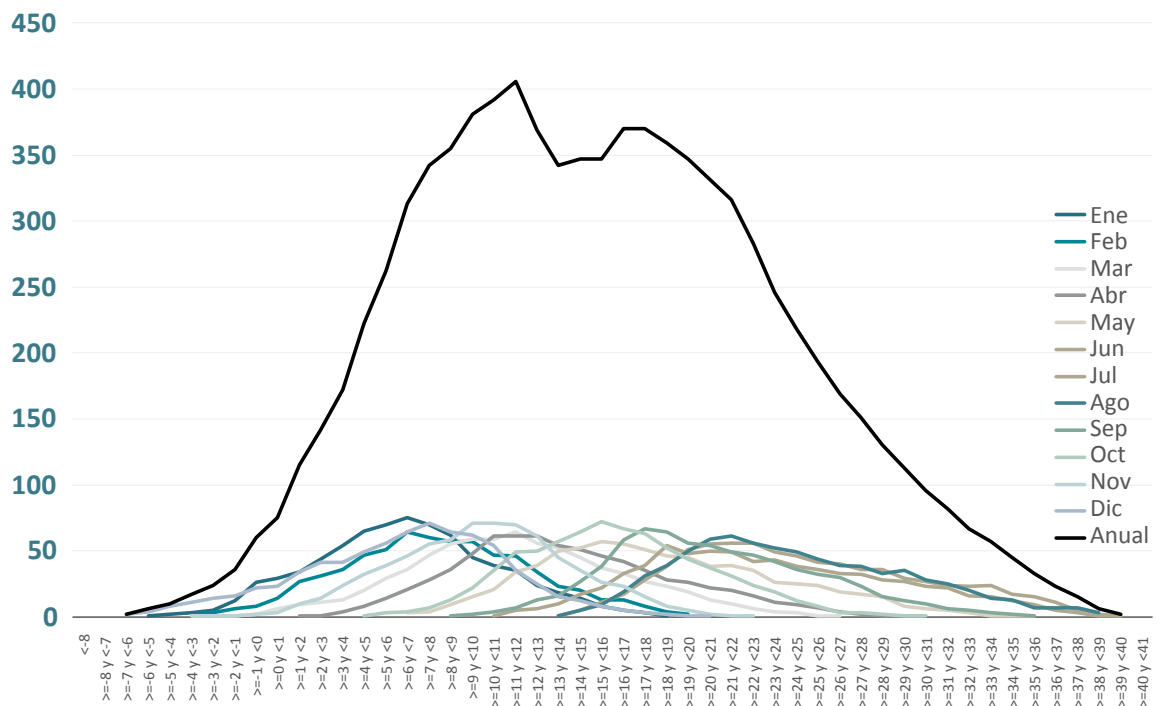


Gráfico 4-22. Caso tipo 2. Frecuencias de repetición. Zaragoza. Fuente: Programa «Frecuencias» (IDAE)

4.6.3.1.5. Opción A: instalación hidráulica

Respecto a la instalación hidráulica, se deberá garantizar lo siguiente:

Como se verá en el apartado de regulación y control, al ser preceptivo el uso de termostatos por local (zona) cuando se realiza el cambio del generador, indicado en la modificación de la IT 1.2.4.3.1 del RITE mediante el Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo, es necesario hacer uso de una de estas dos soluciones:

- A. Instalación de un depósito de inercia en serie junto con una válvula de presión diferencial.
 - La bomba circuladora de la bomba de calor debe ser modulante.
 - La bomba de calor trabajará modificando la temperatura de impulsión en función de la demanda de la instalación (IT 1.2.4.3.1.6).

- B. Instalación de un depósito de inercia interpuesto como separador hidráulico.
 - La bomba circuladora de la bomba de calor debe ser modulante.
 - La bomba de calor debe modificar temperatura de impulsión en función de la demanda de la instalación (IT 1.2.4.3.1.6).
 - La estrategia de funcionamiento debe ser eficiente (por ejemplo, deteniendo el funcionamiento de la bomba de calor cuando la temperatura en el depósito de inercia se ha alcanzado).
 - La bomba posterior al depósito de inercia debe disponer de control. Es sumamente importante realizar un correcto dimensionamiento del depósito de inercia, así como no sobredimensionar la bomba de calor para que su parcialización de potencia pueda acoplarse a la demanda mínima.

Para este caso se elige un depósito en línea de 50 litros de capacidad, en concordancia con lo indicado por el fabricante para esta potencia e instalado en la terraza de la vivienda para ahorrar espacio. Este depósito se encuentra aislado convenientemente para su instalación en el exterior.

4.6.3.1.5.1. Bomba circuladora

Para determinar si la bomba circuladora es suficiente se calcula el caudal necesario en función de la potencia demandada en condiciones de proyecto.

Opción 100% hidráulica							
Potencia máxima a 45 °C de temperatura de impulsión	Potencia auxiliar (resistencia eléctrica)	Potencia total aportada en condiciones de proyecto	Dt	Calor específico	Densidad agua	Caudal necesario	Caudal mínimo en bomba de calor
a	b	c = a + b	d	e	f	$G = c / (d \times e \times f)$	h
kW	kW	kW	K	kWh/kg K	kg/l	l/h	l/h
6,4	0	6,4	10	0,00116	1	552	540

Tabla 4-34. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Cálculo de caudal mínimo en la instalación y caudal mínimo necesario en la bomba de calor

En la tabla 4-34 se comprueba que el caudal mínimo indicado por el fabricante para este modelo se supera por un margen pequeño. Para evitar problemas de funcionamiento será necesario trabajar con un caudal con margen suficiente.

En la tabla 4-35 se calcula la velocidad en la tubería de calefacción general en la vivienda, que no excede en este caso de 1 m/s, condiciones de caudal recomendado.

Caudal necesario	Caudal	diámetro exterior \varnothing	diámetro interior \varnothing	radio (r)	Cte. (π)	Superficie (S)	Velocidad
a	$b = ((a/1000)/3600)$	c	d	$e = d/(2 \times 1000)$	f	$g = f * e^2$	$v = b/g$
l/h	m ³ /s	mm	mm	m	Pi	m ²	m/s
552 (Nominal)	0,0001533	18	16	0,008	3,1416	0,000201062	0,76
724 (Máximo Bdc)	0,0002011	18	16	0,008	3,1416	0,000201062	1,00

Tabla 4-35. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Cálculo de la velocidad de agua en la tubería instalada en calefacción. En vivienda, no debe ser > 1 m/s

Al realizar el cálculo de pérdida de presión total del tramo más desfavorable del conjunto de tuberías, radiadores, válvulas, filtros, e inercia, se calcula que la pérdida de carga total es de 4,8 m.c.a.

Al acudir a los datos de la curva de la bomba circuladora integrada en la bomba de calor se comprueba que el caudal necesario está dentro de los límites de presión disponible para el modelo que incorpora la bomba de calor de 7 kW (véase gráfico 4-23).

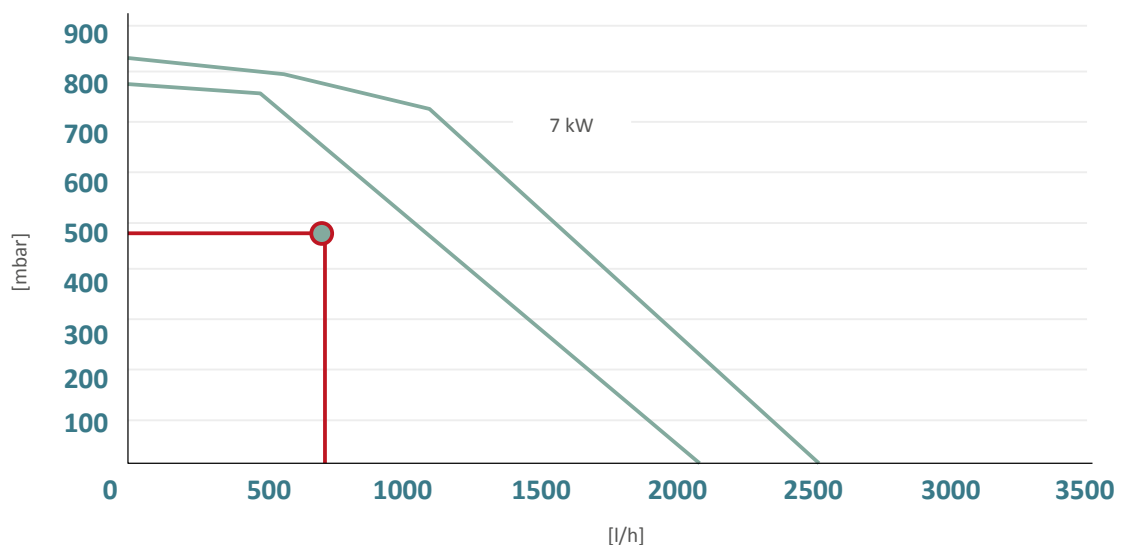


Gráfico 4-23. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Curvas de pérdida de carga disponible por la bomba circuladora y punto de trabajo previsto

Desde el punto de vista de regulación y control deberá limitarse el caudal de la bomba circuladora para no superar la velocidad de circulación de agua máxima permitida a través de las tuberías, puesto que la bomba instalada en el equipo puede, para la misma pérdida de presión, desplazar el doble de caudal.

4.6.3.1.6. Opción A: regulación y control de calefacción

Debido a la orientación sur de las fachadas de este edificio considerado, no es posible modificar la temperatura de impulsión de la bomba de calor en función de la temperatura exterior, al impedir el sol la lectura real de la temperatura exterior, además de modificar las cargas internas durante las horas de sol. Esta variación de temperatura de impulsión, no obstante, se efectuará en función de la temperatura interior detectada en el mando interior dispuesto en el salón de la vivienda. Cada radiador de baja temperatura dispone de un termostato independiente y válvula de tres vías

4.6.3.1.7. Opción A: instalación eléctrica

4.6.3.1.7.1. Calefacción

Del catálogo de la bomba de calor de calefacción se obtiene la potencia máxima consumida por la unidad exterior (véase tabla 4-36).

Opción 100% hidráulica					
Potencia máxima consumida bomba de calor	Línea eléctrica	Tensión en bornas del equipo	Intensidad en corrientes monofásicas	Corrección ITC-BT-47 REBT	Intensidad considerada para el cálculo del conductor
			$I = P/V$		
W		V	A	Si motor =1,25	A
2750	Monofásica	230	11,96	1,25	14,95
2750	Monofásica	220	12,50	1,25	15,63

Tabla 4-36. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Cálculo de la intensidad máxima en el conductor eléctrico debida al consumo de bomba de calor.

El conductor necesario, será de 4 mm² y la protección de 20 A.

A esta línea eléctrica de la unidad exterior, hay que sumar una línea eléctrica adicional para la resistencia eléctrica de apoyo, de 2 kW.

Opción 100% hidráulica				
Potencia máxima consumida solo resistencia	Tensión en bornas del equipo	Intensidad en corrientes monofásicas.	Corrección ITC-BT-47 REBT	Intensidad considerada para el cálculo del conductor
		$I = P/V$		
W	V			
2.000	230	8,70	1,00	8,70
2.000	220	9,09	1,00	9,09

Tabla 4-37. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Cálculo de la intensidad máxima en el conductor eléctrico debida al consumo de la resistencia eléctrica

Esta línea eléctrica adicional tendrá una sección de 2,5 mm² y una protección de 15 A.

4.6.3.1.7.2. ACS

La bomba de calor de ACS tiene una potencia eléctrica máxima consumida de 1.550 W, de la cual, 300W, es el consumo de la bomba de calor propiamente dicha y 1.200 W es la resistencia eléctrica de apoyo. Se deberá instalar una línea eléctrica independiente para la bomba de calor como si de un termo eléctrico se tratara, aun cuando su consumo previsto sea de 300 W. La sección de la línea independiente será de 2,5 mm² y la protección eléctrica de 15 A.

4.6.3.1.7.3. Resumen de potencias consumidas

Potencia máxima para el dimensionamiento de conductores y protecciones	Calefacción		ACS	Total
	Potencia máxima consumida BdC	Potencia máxima consumida por la resistencia (AUX)	Potencia máxima consumida bomba de calor ACS (resistencia + BdC)	Total, nueva potencia instalada
	W	W	W	W
Vivienda	2.750	2.000	1.550	6.080

Tabla 4-38. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Potencia eléctrica instalada

4.6.3.1.7.4. Contratación de potencia eléctrica adicional

La contratación de potencia eléctrica adicional recomendada sería la reflejada en la tabla 4-39.

Opción 100% hidráulica				
Caso tipo 4	Calefacción		ACS	Potencia adicional a contratar mínima recomendada
	Potencia nominal	Potencia máxima consumida (resistencia)	Potencia nominal consumida por bomba de calor	
	W	W	W	W
Vivienda	1.375	2.000	330	3.705

Tabla 4-39. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Potencia nominal y aumento de potencia

4.6.3.1.8. Opción A: dimensionamiento en ACS

Para la selección de la bomba de calor compacta de ACS se debe tener en cuenta la demanda prevista y que necesitan de la energía del aire ambiente.

Con base en lo indicado en el HE-4 del CTE, para una temperatura de consigna de 53 °C, la demanda diaria máxima para la vivienda de 3 dormitorios (4 personas) sería de 136 litros al día, en el mes de julio, aplicando lo indicado en su anejo F.

Tras consultar el catálogo del fabricante, la instalación para ACS se plantea con un equipo de bomba de calor de ACS de 147 litros, compacta, con clase ERP A+.

4.6.3.1.9. Opción A: regulación y control

El control de la bomba de calor de ACS permite la selección de la temperatura de consigna y la programación horaria, tanto en calefacción como en ACS.

4.6.3.1.9.1. Datos técnicos de los equipos seleccionados

Ficha de datos técnicos del equipo de calefacción.

Opción 100% hidráulica. Calefacción		
Datos técnicos		7 kW
Potencia térmica calefacción mín./máx. (T aire 7 °C, T agua 35/30)	kW	2,6 – 10
Potencia térmica calefacción mín./máx. (T aire 7 °C, T agua 45/40)	kW	2,4 – 10
Potencia térmica refrigeración mín./máx. (T aire 35 °C, T agua 18/23)	kW	3,1 – 12,5
RENDIMIENTO EN BOMBA DE CALOR - CALEFACCIÓN		
Potencia térmica nominal (T aire 7 °C, T agua 35/30 °C) según EN 14511	kW	6,4
Potencia absorbida nominal (T aire 7 °C, T agua 35/30 °C) según EN 14511	kW	1,28
COP nominal (Taire 7 °C, T agua 35/30 °C) según EN 14511		5
Potencia térmica nominal (T aire 7 °C, T agua 45/40 °C) según EN 14511	kW	6,3
Potencia absorbida nominal (T aire 7 °C, T agua 45/40 °C) según EN 14511	kW	1,623
COP nominal (T aire 7 °C, T agua 45/40 °C) según EN 14511		3,5
Potencia térmica nominal (T aire -7 °C, T agua 35/30 °C) según EN 14511	kW	7,1
Potencia absorbida nominal (T aire -7 °C, T agua 35/30 °C) según EN 14511	kW	2,2
COP nominal (T aire -7 °C, T agua 35/30 °C) según EN 14511		3,1
Temperatura impulsión bomba de calor mín./máx.	°C	20/60
Temperatura máx. impulsión con resistencias (no incluidas)	°C	70
Taire máx./min para funcionamiento en bomba de calor	°C	-20/35
Rendimiento en bomba de calor - refrigeración		
Potencia térmica nominal (T aire 35 °C, T agua 18/23 °C) según EN 14511	kW	7,8
Potencia absorbida nominal (T aire 35 °C, T agua 18/23 °C) según EN 14511	kW	1,7
EER nominal (T aire 35 °C, T agua 18/23 °C) según EN 14511		5,1
Potencia térmica nominal (T aire 35 °C, T agua 7/12 °C) según EN 14511	kW	7,2
Potencia absorbida nominal (T aire 35 °C, T agua 7/12 °C) según EN 14511	kW	2,19
EER nominal (T aire 35 °C, T agua 7/12 °C) según EN 14511		3,34
Temperatura impulsión mín./máx.	°C	7/23
Taire máx./min en bomba de calor	°C	43/10
Datos ERP		
Potencia sonora unidad externa	dB(A)	59
Rendimiento estacional (clima medio, HT)	%	128
Rendimiento estacional (clima medio, LT)	%	178
Potencia absorbida anual (HT)	kWh/año	4702
Unidad exterior		
Clase energética calefacción 35 °C		A++
Clase energética calefacción 55 °C		A+

Tabla 4-40. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Extracto datos técnicos bomba de calor

Ficha de datos técnicos de la bomba de calor de ACS. Modelo 150L

Opción 100% hidráulica. ACS		
Descripción	Unidad	150 L
Capacidad nominal depósito	l	147
Tipo de protección interna		Esmaltado
Conductividad mínima del agua	$\mu\text{S/cm}$	150
Peso en vacío	kg	61
Bomba de calor		
Potencia eléctrica absorbida media	W	250
Potencia eléctrica absorbida Max	W	350
EN 16147 (A)		
COP (A)		2,90
Tiempo de calentamiento (A)	h:min	10:15
Energía absorbida de calentamiento (A)	kWh	2,49
Cantidad máxima de agua caliente en una sola muestra Max (A) fijada a 53 °C para 80 l/110 l y a 52 °C para 150 l	l	181
Pes (A)	W	21
Tapping (A)		L
812/2013 – 814/2013 (B)		
$Q_{\text{elec}}^{(B)}$	kWh	4,018
$\eta_{\text{wh}}^{(B)}$	%	119,3
Agua mixta a 40°C V40 (B)	l	182
Los ajustes de temperatura (B)	°C	52
Consumo anual de energía (condiciones climáticas medias) (B)	kWh/año	864
Perfil de carga (B)		L
Potencia acústica interior(c)	dB(A)	50
Elemento calentador		
Potencia resistencia	W	1200
Temperatura máx. agua con resistencia eléctrica	°C	75
Alimentación eléctrica		
Tensión/Potencia máxima absorbida	V/W	220-240 monofásico/1550
Frecuencia	Hz	50
Corriente absorbida máxima	A	6,3
Grado de protección		IP24
Lado aire		
Volumen local instalación min	m^3	20
Temperatura local instalación min	°C	1
Temperatura local instalación Max	°C	42
Temperatura mínima del aire (b.h. a 90% h.r.) (P)	°C	-5
Temperatura máxima del aire (b.h. a 90% h.r.) (P)	°C	42

Tabla 4-41. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Extracto datos técnicos bomba de calor de ACS

4.6.3.1.9.2. Tabla resumen

Este sería el resumen de las necesidades térmicas en calefacción y ACS previstas.

Opción 100% hidráulica		
Necesidades de calefacción		
Potencia de diseño	kW	6,4
Temperatura de impulsión (máx.)	°C	45
Temperatura exterior (condiciones de proyecto)	°C	-1,1
Temperatura exterior para la selección de la bomba de calor (RITE)	°C	-3,7
Temperatura interior de diseño	°C	20 °C (DB)

Tabla 4-42. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Resumen de necesidades de calefacción

Necesidades de ACS		
Demanda total diaria (máx.)	Litros/día	136
Temperatura de acumulación	°C	53

Tabla 4-43. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Resumen necesidades ACS

4.6.3.1.10. Opción A: Energía renovable

4.6.3.1.10.1. Calefacción

Al ser 45 °C la temperatura necesaria para esta instalación, una temperatura intermedia entre los sistemas de media temperatura (55 °C) y los sistemas de baja temperatura (35 °C), el rendimiento estacional a esta temperatura puede estimarse a partir de los datos de rendimiento estacional ya conocidos (véase gráfico 4-24).

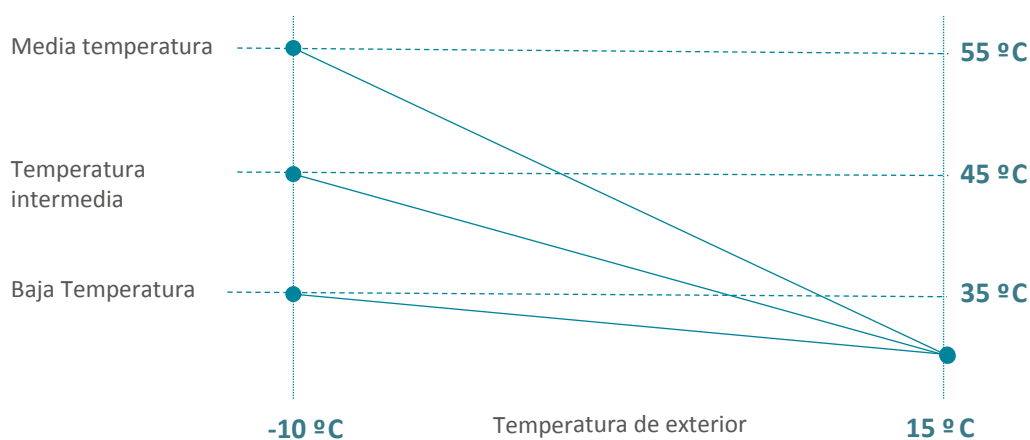


Gráfico 4-24. Caso tipo 2. Representación simulada de la variación de la potencia aportada, en cada punto de temperatura exterior, para el cálculo del rendimiento estacional en calefacción, en condiciones climáticas medias de calefacción (-10 °C)

Así, para estimar el rendimiento estacional a 45 °C de impulsión, en calefacción o cualquier otra temperatura, para unas mismas condiciones climáticas, el dato estimado se obtendría de la fórmula siguiente:

$$R_{Tx} = R_{MT} + ((T_x - 35) \times (R_{BT} - R_{MT}) / (55 - 35))$$

Donde:

- R_{Tx} = rendimiento en las condiciones de temperatura de impulsión deseada (x).
- T_x = Temperatura de impulsión deseada, en grados centígrados.
- R_{BT} : Rendimiento estacional para baja temperatura de impulsión (35 °C) indicado en la documentación del fabricante.
- R_{MT} : Rendimiento para media temperatura de impulsión (55 °C) indicado en la documentación del fabricante.

Siguiendo esa fórmula, a partir del rendimiento a las temperaturas de 55 °C y 35 °C, los datos calculados para 45 °C son los que se reproducen en la tabla 4-44.

Opción 100% hidráulica. Calefacción por radiadores					
Demanda de calefacción	Temperatura de impulsión	η_s a condiciones climáticas medias en calefacción (-10 °)	SCOP	Energía renovable E_{RES}	Calefacción: % de cobertura de energía renovable
a		b	$c = (b \times 2,5) + (0,03 \times 2,5)$	$d = a \times (1 - 1/c)$	$e = d/a$
kWh/año		%	kWh/año	kWh/año	%
7.870	55 °C	128%	3,28	5.467	69%
7.870	45 °C	153% (calculado)	3,9	5.852	74,3%
7.870	35 °C	178%	4,525	6.131	78%

Tabla 4-44. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica

Energía renovable aportada al sistema de calefacción.

4.6.3.1.10.2. Energía renovable en ACS

Opción 100% hidráulica. ACS					
η_{wh} en condiciones climáticas medias para ACS	SCOP _{dhw}	SCOP _{dhw}	Q _{usable}	E _{RES}	ACS: % de cobertura de energía renovable
a		b	c	d= c-x (1 - 1/b)	e = d/a
%		Valor	kWh/año	kWh/año	%
119,3,0%	Declarado en ficha técnica	2,9	2.770	1.815	65,52%

Tabla 4-45. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Demanda en ACS, SCOPdhw y energía renovable

4.6.3.2. Opción B: instalación 100% frigorífica

En esta opción se propone la eliminación del equipo de refrigeración existente, de R-22, así como la caldera y los radiadores de aluminio existentes, desmontando además tubería de calefacción instalada. En su lugar, se instalará una red de conductos por el falso techo de la vivienda.

La nueva instalación cubrirá las demandas de calefacción, ACS y refrigeración mediante una única bomba de calor, compuesta de una unidad exterior *inverter*, de refrigerante R-32, y dos unidades interiores.

La unidad interior de conductos, conectada frigoríficamente a la unidad exterior, dará servicio a la calefacción y a la refrigeración mediante reparto de aire por los nuevos conductos que se instalarán para dar servicio a cada una de las habitaciones, a través de compuertas motorizadas, que se añaden a la instalación, en cumplimiento de la modificación de la IT 1.2.4.3.1 mediante el Real Decreto 178/2021.

La segunda unidad interior consta de un depósito acumulador de ACS termodinámico (que se calienta mediante un intercambiador de refrigerante, acoplado al exterior del cuerpo de acero del acumulador) y conectado frigoríficamente a la unidad exterior. Dicho depósito dispone de un intercambiador de refrigerante, protegido, que circunda el cuerpo del acumulador por el exterior y sobre el que se conectan las tuberías frigoríficas desde la unidad exterior. Por tanto, cuando se quiere producir ACS a través de dicho intercambiador, el refrigerante fluye desde la unidad exterior, en estado gaseoso a alta presión y temperatura, y es capaz de calentar el agua que se contiene en el interior del depósito a través del intercambio térmico con el acero del acumulador y este a su vez con el agua de su interior. En este equipo, a excepción del condensador, todos los elementos del circuito frigorífico se encuentran en la unidad exterior.

4.6.3.2.1. Opción B: esquema de principio

El esquema de la instalación prevista sería similar al que se muestra en el gráfico 4-25.



Gráfico 4-25. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Esquema de principio

Como accesorios hidráulicos en ACS, deberán disponerse de válvula de seguridad para el depósito de ACS y válvula de vaciado. Deberá valorarse la instalación de un vaso de expansión a la entrada del ACS para absorber las dilataciones del agua debidas al incremento de la temperatura, así como valorar la instalación de una válvula reductora de presión en caso de que la presión de red sea superior a la soportada por el depósito.

Se sustituye la instalación frigorífica por una nueva, con los espesores de aislamiento exigidos por la modificación del RITE mediante el RD 178/2021, de 23 de marzo de 2021.

4.6.3.2.2. Opción B: dimensiones, emplazamiento y distribución

4.6.3.2.2.1. ACS

El depósito de ACS puede ubicarse en el tendedero o, si existe, en un hueco de un armario de suelo-techo. Al no disponer este acumulador de compresor, ni ventilador, ni conductos, es totalmente silencioso. Debe tenerse precaución con su peso, por lo que deberá ir apoyado en el suelo y no colgado. Una vez lleno, pesará más de 300 kg, por lo que hay que tenerlo en cuenta en el momento de elegir su ubicación.

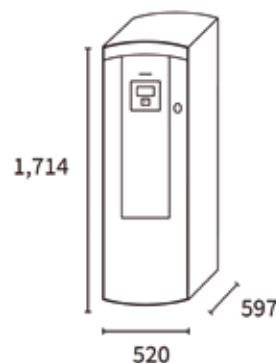


Gráfico 4-26. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Unidad interior

4.6.3.2.2.2. Unidad de conductos

En el caso de la unidad interior de conductos, esta se instalará en el falso techo del baño, conectando la tubería de desagüe para los condensados siempre mediante la presencia de un sifón de altura correcta para evitar olores y la entrada de gases a la vivienda. Su nivel sonoro no afecta al resto de la vivienda al seleccionarse un equipo con este criterio. El acceso debe estar garantizado para la limpieza de filtros, así como para su mantenimiento y reparación. El retorno de aire será por *plenum* (retorno no conducido) en este caso, por lo que se recomienda revisar la extracción del baño para evitar la entrada de olores en la vivienda.

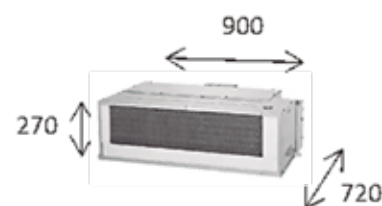


Gráfico 4-27. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Unidad conductos

4.6.3.2.2.3. Unidad exterior

Se situará en la terraza del piso de la vivienda, en el mismo lugar donde estaba instalada la unidad exterior de aire acondicionado.

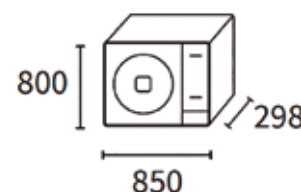


Gráfico 4-28. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Unidad exterior

La unidad exterior es bomba de calor, por lo que hay que canalizar los condensados al desagüe de la terraza, conectado a una bajante vertical.

4.6.3.2.2.4. Emplazamiento

Un plano de implantación tipo podría ser el que se muestra en el gráfico 4-29.

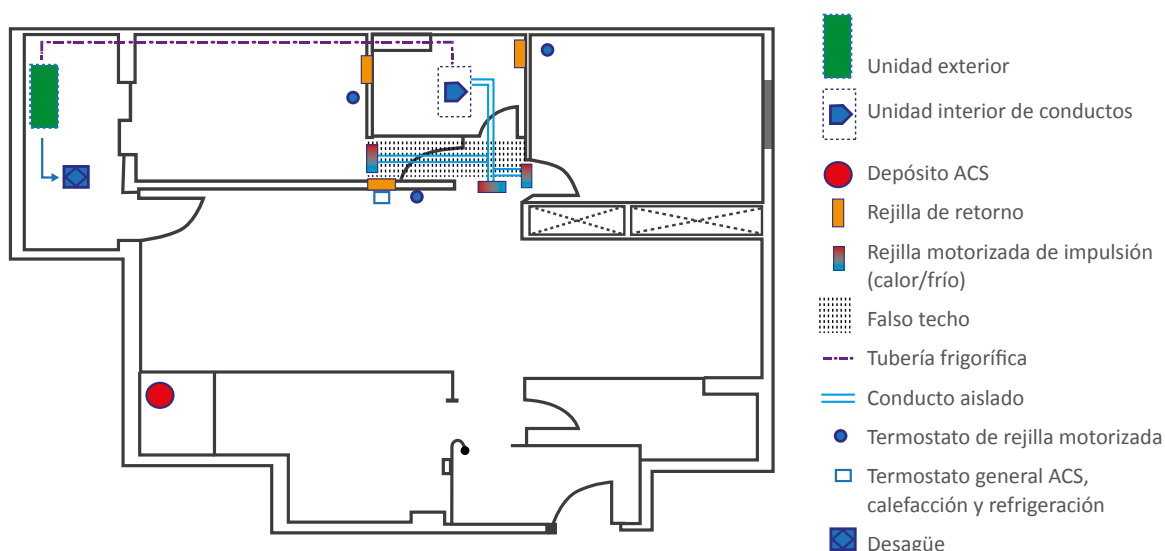


Gráfico 4-29. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Plano de implantación

4.6.3.2.3. Opción B: obras necesarias

Las obras necesarias para la ejecución de esta instalación deben estar correctamente programadas puesto que son varios los trabajos a realizar (véase tabla 4-46).

Opción 100% frigorífica			
Obras a realizar	Situación actual	Nueva situación	Oficios (albañilería, fontanería, etc.)
Unidad exterior	Terraza	Terraza	--
Tubería frigorífica	Empotrada	No es posible aprovechar la tubería existente, por lo que es necesario su sustitución por otra nueva, empotrada mediante roza o mediante canaleta por superficie	Roza y remates
Unidad interior	Salón (Split)	Falso techo del baño (unidad de conductos)	Desmontaje y sustitución de falso techo por uno registrable
Depósito ACS	--	Lavadero	--
Caldera. Salida de humos	Lavadero	Se elimina	Remates de salida de chimenea
Termostato de caldera	Salón	Se sustituye por el de bomba de calor	Remate
Radiadores	Paredes	Se eliminan	Eliminar soporte de radiadores y remate
Tubería de radiadores	Vista	Se elimina	Remates de pasos de tubos, pintura general de la casa
Conducciones eléctricas	Empotrada	Vistas en fachada, ocultas mediante canaleta	--
Cables de maniobra	Empotrados	Vistas en fachada, ocultas mediante canaleta	--
Conductos	--	Necesario falso techo.	Falso techo para conductos, remates
Rejillas	--	Motorizadas. Cableado a través del falso techo. Mandos a distancia en cada habitación	Conexión eléctrica, remates en falso techo, etc.
ACS	Caldera mixta	Depósito de ACS	Desmontaje de caldera
Caldera. Instalación de calefacción	Caldera y vivienda	Desaparecen radiadores, caldera, etc.	Desmontaje de radiadores y tuberías, remates, etc.

Tabla 4-46. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Obras necesarias

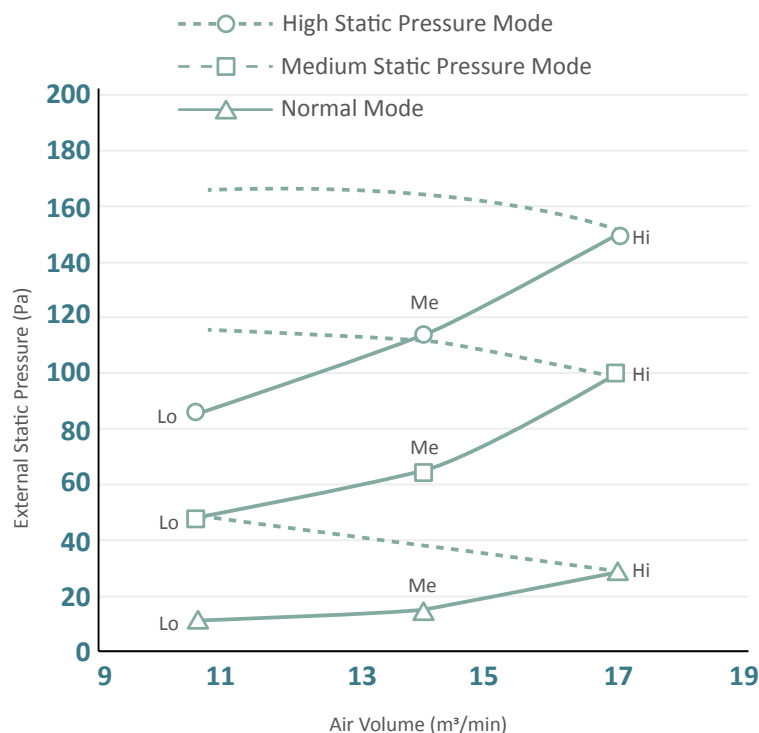


Gráfico 4-30. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Modos programables de presión disponible para un mismo caudal

Los trabajos de albañilería habituales comprenden el desmontaje del falso techo del baño donde irá instalada la unidad interior de conductos, así como la instalación de uno nuevo, registrable para poder realizar el mantenimiento de la unidad interior, filtros, etc. También los remates que sean necesarios para el desmontaje de la instalación vista de los radiadores. En el caso de que la instalación estuviera empotrada, generalmente solo sería necesario picar en la parte de las llaves para anular las tuberías y enlucir para pintar. Según el tamaño y la disposición de la vivienda, también sería necesario instalar un nuevo falso techo en el pasillo, que suele ser el lugar habitual para canalizar los conductos a las habitaciones y todo el cableado.

4.6.3.2.4. Opción B: dimensionamiento en calefacción y refrigeración

4.6.3.2.4.1. Potencia necesaria de la bomba de calor

La potencia necesaria se resume en las siguientes tablas 4-47 y 4-48.

Necesidades de refrigeración	
Temperatura exterior de diseño	35 °C
Temperatura interior de diseño	19/27 °C (WB/DB)
Potencia de diseño (cálculo)	5,0 kW

Tabla 4-47. Tabla resumen selección de la bomba de calor en refrigeración

Necesidades de calefacción	
Temperatura exterior de diseño	-3,7 °C
Temperatura interior de diseño	20 °C (DB)
Potencia de diseño (cálculo)	6,4 kW

Tabla 4-48. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Tabla resumen condiciones exteriores, interiores y potencia necesaria

4.6.3.2.5. Opción B: distribución de aire por conductos

De todas las instalaciones de calefacción y refrigeración posibles en un solo sistema, el más sencillo es el de disponer de una bomba de calor unida a una red de conductos y rejillas que distribuyan, y también recojan, el aire en cada una de las estancias.

Para conocer si es posible un aprovechamiento de la red de conductos existentes en el caso de que la hubiera, hay que comprobar cuál es la pérdida de carga que estos conductos ofrecen, para las condiciones de trabajo y el equipo de conductos previsto.

También es necesario comprobar que los conductos no presentan problemas de aislamiento, puesto que el equipo expulsará aire frío y caliente y este aislamiento tiene que estar en buenas condiciones, así como ser a prueba de difusión de vapor, puesto que de lo contrario aparecerían condensaciones en la superficie del mismo.

Hay que recordar que la pérdida de presión a la que tendrá que hacer frente el equipo es la suma de la resistencia que ofrecen; el conducto de impulsión, el de retorno (o huecos en el caso de no existir este), filtros y rejillas, etc. También, del mismo modo que el aire que entra en las habitaciones. este tiene que regresar a la unidad interior, bien a través de un *plenum* (retorno sin conducir), rejillas en el pasillo, etc. Por esto, debe comprobarse no solo la red de conductos de impulsión sino también la red de retorno, bien esté compuesta por conductos o por huecos. Esta red de retorno debe ser operativa y suficiente para que el aire retorne a la unidad interior desde las habitaciones climatizadas, con la menor pérdida de carga posible y sin crear puentes de ruido entre estancias.

Desde un punto de vista de ahorro energético es siempre más interesante que el retorno de aire que se trae de las estancias a la unidad interior esté conducido mediante conductos aislados, preferentemente, para evitar climatizar, de forma indirecta, zonas que no son necesarias, por ejemplo, falsos techos, y así, de este modo, reducir el gasto energético.

Entre los métodos posibles para poder obtener el dato de pérdida de presión a vencer por la unidad de conductos, en las condiciones de caudal de proyecto, están los siguientes:

1. Acudir a tablas de cálculo de conductos conocidas en los manuales disponibles y realizar el cálculo.
2. Simular la red con un *software* especializado para dicho fin.

- a. Debe conocerse las dimensiones reales, tipo de rejillas, etc.
- b. Se muestra en el gráfico 4-30.

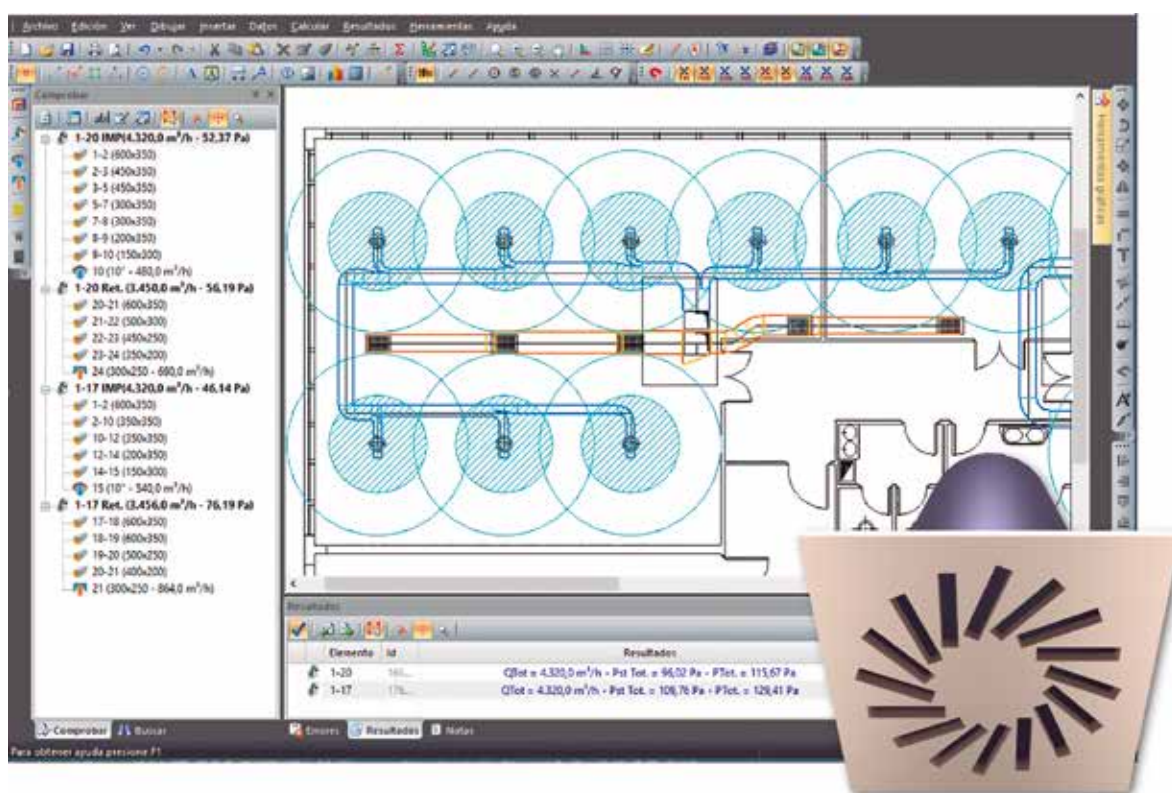


Gráfico 4-31. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Ejemplo de cálculo de red de conductos

Partiendo del tipo de material y de las dimensiones interiores (ancho x alto) de la red de conductos, junto con los caudales y las dimensiones de las rejillas de impulsión (o difusores) y de retorno, este tipo de *software* puede calcular la presión estática generada por la red de conductos y rejillas en función del caudal previsto a circular por toda la instalación.

Una vez obtenido el valor de la presión estática que tendrá que vencer el ventilador para el caudal necesitado, se acude a seleccionar el equipo del fabricante, cuyas prestaciones por modelo de unidad de conductos están dentro de curva de trabajo.

En el caso del equipo a instalar, la unidad interior de conductos elegida ofrece posibilidades de configuración en cuanto a la presión estática que debe vencer en cada velocidad de aire: modo normal, media presión o alta presión, marcados como Lo, Me y Hi en el gráfico 4-31. Lo que permite cierta adaptación posterior en obra.

Estas comprobaciones previas son necesarias para que la unidad de climatización por conductos seleccionada pueda, efectivamente, aportar el caudal y la potencia deseada, dentro de la curva de caudal y presión marcada por el fabricante.

4.6.3.2.6. Opción B: niveles sonoros

El equipo debe trabajar dentro de los niveles sonoros adecuados para una vivienda, respetando las ordenanzas municipales, tanto para el exterior como para el interior.

4.6.3.2.7. Opción B: Dimensionamiento en ACS

Para el dimensionamiento del acumulador en ACS es preciso determinar la temperatura de acumulación, así como calcular la demanda diaria prevista. El método aplicado es el indicado en el documento HE-4 del CTE, que para vivienda indica una demanda de 28 litros por persona y día a 60 °C de temperatura.

En función del número de personas previsto en la vivienda y sin detectar necesidades especiales, al corregir la temperatura de acumulación a 53 °C la demanda máxima diaria calculada es de 136 litros/día en el mes de mayor temperatura de agua fría (consecuencia de aplicar la fórmula del anejo F del CTE). De las unidades disponibles en el mercado, para cubrir la demanda diaria se elige un depósito de 190 litros.

4.6.3.2.8. Opción B: instalación de equipos de R-32

El equipo de conductos seleccionado contiene refrigerante R32 con un PCA de 675, refrigerante que se encuentra dentro de la clasificación de seguridad A2L del *Reglamento de Seguridad de Instalaciones Frigoríficas (RSIF)*, donde la letra «A» indica su toxicidad (baja) y el término «2L» indica su inflamabilidad (inflamabilidad ligera).

Debido a esta clasificación, el emplazamiento de sus unidades está sujeto a limitaciones en función de la cantidad de masa de refrigerante contenida según se indica en dicho reglamento, por lo que deben seguirse todas las medidas de seguridad indicadas para este refrigerante, así como realizar el cálculo para que no se supere la concentración máxima de seguridad permitida.

Para el modelo considerado, según el catálogo del fabricante del equipo, la carga de refrigerante que incorpora es de 2,01 kg de R-32, suficiente para una longitud de tubería frigorífica total de 30 m según indica el fabricante (longitud de la tubería de líquido). Al ser la longitud de la instalación frigorífica prevista en nuestra vivienda menor a 30 m, no es necesario realizar ninguna carga de refrigerante adicional y puede considerarse esta carga de 2,01 kg de R-32 como la carga prevista en esta instalación.

Como se ha indicado anteriormente, los emplazamientos previstos para los diferentes equipos son:

Unidad exterior

La unidad exterior prevista se encuentra ubicada en la terraza, que consiste en un espacio abierto sin cerramientos, por lo que no aplica, para este caso concreto, ningún límite de carga.

No obstante, la tuberías y equipos situados al exterior deberán situarse de forma que, en caso de escape, el refrigerante no deberá ser capaz de penetrar en orificios de aireación, puertas, trampillas o aberturas similares, tanto en el edificio propio como en colindantes.

Depósito de ACS y su tubería frigorífica

El depósito de ACS se encuentra en una terraza -lavadero, ventilada de forma natural a través de lamas siempre abiertas, por lo que no es necesario, por su emplazamiento, realizar un cálculo de la

concentración de carga refrigerante, ni tampoco para las tuberías frigoríficas utilizadas para conectar la unidad interior con el depósito de ACS, que discurren por la fachada de edificio.

La conductividad, resistencia, grosor, etc. tienen que cumplir lo exigido en el *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)*.

No obstante, si en el futuro se hubiera previsto el cierre del lavadero, deberán instalarse rejillas de ventilación, de superficie suficiente de acuerdo al RSIF en función del tipo de refrigerante y superficie.

Unidad de conductos interior y su tubería frigorífica

Aquí sí es necesario comprobar que la carga frigorífica de 2,01 kg no excede de los límites de toxicidad e inflamabilidad permitidos, tanto en los locales que atraviesa la tubería frigorífica como en el local donde se encuentra la unidad interior de conductos. Se considera toda la superficie de la vivienda puesto que las puertas no son estancas y existen rejillas de comunicación en las habitaciones.

4.6.3.2.8.1. Cálculo de la carga límite por toxicidad:

Según la tabla A del apéndice 1 de la instrucción IF-04 del RSIF, para el refrigerante con categoría de seguridad A, categoría de local A, sistema directo, y ubicación de tipo 2, de los dos métodos posibles, se elige en este caso calcular el límite de carga por toxicidad de la fórmula siguiente:

Límite de carga (kg) = límite de toxicidad (ATEL/ODL) x volumen de local (m³).

Donde el límite de toxicidad ATEL se refiere a «exposición a toxicidad aguda» y ODL a «privación de oxígeno» y su valor es una característica del refrigerante utilizado.

El valor del límite de toxicidad (ATEL/ODL) para el refrigerante R-32 es 0,30 kg/m³, por lo que el resultado de la fórmula anterior considerando toda la superficie útil (90 m² de la vivienda, al estar comunicada mediante conductos y aberturas y una altura de techos de 2,5 m) sería el siguiente:

Límite de carga = 0,30 kg/m³ x 80 m² x 2,5 m = 67,5 kg.

Al ser la carga prevista en el equipo 2,01 kg inferior al límite máximo permitido de 65,7 kg, el emplazamiento de la unidad de conductos cumple el requisito de carga máxima por toxicidad.

4.6.3.2.8.2. Cálculo de la carga límite por inflamabilidad

Esta carga límite se calcula, en este caso, con base en la tabla y al apéndice 3 de la instrucción IF-04 del RSIF.

Esta indica que, cuando la carga de un refrigerante con inflamabilidad categoría 2L supera el valor m_1 x 1,5 (para R-32, m_1 x 1,5 = 1,842 kg), la máxima carga de refrigerante admisible en el local se calculará con la fórmula siguiente, sin superar en ningún caso el límite m_2 establecido en la tabla B de la IF-04 (Para R-32, m_2 = 11,973 kg).

$$m_{\text{máx}} = 2,5 \times LII^{5/4} \times h_0 \times A^{1/2}$$

Donde:

- $m_{\text{máx}}$ es la carga máxima permitida en el recinto en kg.
- 2,5 es el valor de una constante.
- A es el área del recinto en m².
- LII es el Límite Inferior de Inflamabilidad en kg/m³.
 - Para R-32; LII= 0,307 kg/m³
- h_0 es la altura de instalación del aparato en m:
 - 0,6 m para un emplazamiento al suelo.
 - 1,8 m para un montaje en la pared.
 - 1,0 m para equipos de ventana.
 - 2,2 m para equipos de techo.

En este caso:

$$m_{\text{max}} = 2,5 \times \sqrt[4]{0,307^5} \times 2,2 \times \sqrt{90} = 11,92 \text{ kg}$$

La carga de la bomba de calor elegida para este caso tipo es de 2,01 kg, por lo que también se encuentra por debajo de esta carga límite por inflamabilidad.

El equipo seleccionado, por tanto, puede instalarse con seguridad en la vivienda objeto de estudio y para el emplazamiento elegido, en las condiciones antes descritas.

4.6.3.2.8.3. Recuperación del refrigerante R-22 para su destrucción

La normativa actual indica que no se pueden usar HCFC de ningún tipo (entre ellos el R-22), incluyendo en esta prohibición gases reciclados o regenerados para el mantenimiento y revisión de equipos. Es decir, no es posible su uso en ninguna circunstancia.

Los equipos con gases HCFC podrían seguir funcionando, no obstante, siempre que no sea necesario recargar el gas. En el caso de que sea necesario intervenir en el circuito de refrigeración de las máquinas que todavía contengan HCFC (R22, etc.) es obligatorio cambiar a un sistema permitido y extraer el gas refrigerante, el cual se debe recuperar y entregar al gestor de residuos para su destrucción.

Es obvio, por tanto, que no se pueden instalar nuevos equipos con este tipo de refrigerante, ni reintroducirlos en el mercado. Esto es, no se pueden vender equipos de segunda mano con refrigerante HCFC. Por este motivo, el instalador recuperará el refrigerante del equipo existente, de R-22, evitando a toda costa su expulsión a la atmósfera, para su posterior entrega, tanto del refrigerante como del equipo, a un gestor de residuos para su destrucción.

4.6.3.2.9. Opción B: regulación y control

En este caso, el control consistirá en un control de caudal de aire a cada espacio mediante el uso de rejillas motorizadas y termostato inalámbrico por estancia, además del mando general.

El equipo instalado ya dispone de comunicación para integrarse con sistemas de control de caudal mediante rejillas motorizadas, por lo que el conjunto unidad de conductos y rejillas motorizadas estará sincronizado, por ejemplo, parando el ventilador en invierno (cuando se ha alcanzado la temperatura de consigna para evitar circulación de aire frío) y manteniéndolo en marcha en verano (para continuar refrescando el ambiente, incluso cuando se ha alcanzado la temperatura de consigna).

Para el caso del ACS, desde el propio sistema de control del depósito se puede modificar la temperatura de acumulación de diseño de 50 °C hasta los 55 °C en modo bomba de calor, o hasta los 75 °C con la resistencia de apoyo (1,64 kW) incorporada e, incluso, realizar la programación horaria para el tratamiento antilegionela, si se considerara necesario.

4.6.3.2.10. Opción B: instalación eléctrica

4.6.3.2.10.1. Sección de conductores y protecciones

Tanto la unidad exterior como el depósito de ACS deben estar alimentados por tensión monofásica de 230 V y 50 Hz y adecuar la sección de los conductores y las protecciones eléctricas a la máxima potencia consumida, que es de 3,15 kW.

El depósito de ACS dispone, adicionalmente, de una resistencia eléctrica de 1,64 kW, que debe tenerse en cuenta a la hora de la contratación de potencia total. Esta resistencia puede estar, no obstante, deshabilitada desde el punto de vista de control y del usuario, al disponer de un volumen de agua acumulada suficiente para la demanda prevista. El cálculo de la sección de los conductores sería el que se muestra en la tabla 4-49.

Opción 100% frigorífica				
Potencia consumida (máx.). Equipo nuevo	Voltaje	Intensidad $I = P/V$	Corrección ITC-BT-47 REBT	Intensidad para el cálculo del conductor = Intensidad x corrección
kW	V	A	Si motor = 1,25	A
3,15	230	14	1,25	21
1,64	230	7	1	7

Tabla 4-49. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Cálculo de los conductores necesarios

A la vista de la tabla 1 de la ITC-BT-19, para la intensidad máxima del equipo considerado, si la naturaleza del aislamiento del conductor elegido es EPR y el agrupamiento es del tipo A2, la sección del conductor debe ser de 6 mm² y su protección de 32 amperios, con temperatura al aire de 40 °C.

Si se dispone de la posibilidad, la resistencia eléctrica del depósito de ACS deberá estar alimentada desde el circuito de utilización C4 (lavadora, lavavajillas y termo eléctrico), según se indica en la tabla 1 «Características eléctricas de los circuitos», de la ITC-BT-25, del REBT. La sección del conductor para la resistencia eléctrica debe ser de 2,5 mm², como se indica en dicha tabla, y su protección de 15 A.

Al estar unida a un circuito con más consumidores, debe comprobarse que el consumo total de la suma de la resistencia eléctrica (termo eléctrico), lavadora y lavavajillas no supera el límite de 3450 W de ese circuito C4. En caso contrario, conectar la alimentación de la resistencia a un nuevo circuito independiente adicional.

4.6.3.2.10.2. Resumen de potencia eléctrica instalada

Opción 100% frigorífica				
	Calefacción		ACS	Total
Potencia máxima para el dimensionamiento de conductores y protecciones	Potencia máxima consumida por bomba de calor	Potencia máxima consumida (resistencia)	Potencia máxima consumida bomba de calor (resistencia + bomba de calor)	Total, máxima instalada
	W	W	W	W
Vivienda	3.015	0	1.640	4.640

Tabla 4-50. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Potencia eléctrica instalada

4.6.3.2.10.3. Contratación de potencia eléctrica adicional

La contratación de potencia eléctrica adicional recomendada sería la siguiente:

Opción 100% frigorífica				
	Calefacción y/o ACS		Equipo A/A	
Caso 2 100% frigorífica	Potencia nominal	Potencia máxima consumida (resistencia)	Potencia equipo retirado	Potencia adicional a contratar recomendada
	W	W	W	W
Vivienda	3.015	0	1.200	1.800

Tabla 4-51. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Potencia nominal y aumento de potencia a contratar sugerido

4.6.3.2.11. Opción B: resumen de necesidades

Una vez definidos estos parámetros de selección, tanto en calefacción y refrigeración como en ACS, un técnico especializado debe elaborar un informe completo a partir de los datos facilitados seleccionando correctamente los equipos a instalar.

Un cuadro resumen con la información de proyecto, como el ejemplo que se muestra en las tablas 4-52, 4-53 y Tabla 4-54, puede resultar de ayuda.

Opción 100% frigorífica	
Necesidades de refrigeración	
Potencia de diseño	5,0 kW
Temperatura exterior de diseño	35 °C
Temperatura interior de diseño	19/27 °C (WB/DB)

Tabla 4-52. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100 % frigorífica. Tabla resumen necesidades de refrigeración

Necesidades de calefacción	
Potencia de diseño	6,5 kW
Temperatura exterior de cálculo para condiciones de proyecto	-1,1 °C
Temperatura exterior para la selección de la unidad exterior	-3,7 °C
Temperatura interior de diseño	20 °C (DB)

Tabla 4-53. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Tabla resumen necesidades de calefacción

Necesidades de ACS	
Demanda total diaria (máxima)	136 l
Temperatura de acumulación	50 °C

Tabla 4-54. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Tabla resumen necesidades de ACS

4.6.3.2.12. Opción B: datos técnicos de los equipos seleccionados

Acudiendo a los datos del fabricante, el conjunto elegido dispone de los rendimientos que se exponen a continuación.

4.6.3.2.12.1. Unidad exterior

Extracto de datos técnicos

Opción 100% frigorífica		
Número de unidades interiores conectables –mín. - máx.)	kW	1-2
Capacidad de refrigeración nominal (mín.-máx.)	kW	7,00 –2,40 - 8,80)
Capacidad de calefacción nominal (mín.-máx.)	kW	8,50 –2,60 - 9,50)
Capacidad con carga plena a -7 °C (1)	kW	6,5
Consumo eléctrico nominal en refrigeración (mín.-máx.)	kW	1,89 –0,46 - 3,20)
Consumo eléctrico nominal en calefacción (mín.-máx.)	kW	2,02 –0,48 - 3,12)
EER/COP		3,70/4,20
SEER/SCOP (condiciones climáticas medias)		7,40/4,60
Clase energética estacional (refrigeración/calefacción)		A++/A++

Tabla 4-55. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Características unidad exterior

Unidad interior: Extracto de datos técnicos

Opción 100% frigorífica			
Tensión de alimentación			1~ 230V 50Hz
Volumen nominal del depósito de ACS		L	190
Clasificación energética en ACS			A+
Perfil declarado			L
Temperatura de consigna	Tset	°C	53
temperatura obtenida	Øwh	°C	52,6
COP _t basado en la norma UNE-EN 16147, consigna 53 °C, temperatura exterior 7 °C	COP _{dhw}	-	3,1
Eficiencia energética n _{wh} estacional (clima medio)			126%
Volumen de agua caliente disponible a 40 °C, (V40), por carga unitaria y a la temperatura de consigna Tset.	Vmax	L	256
Potencia en <i>stand by</i>	Pes	W	26
Tiempo de calentamiento	Time	h: min	2:20
Material del depósito			Acero inox.
Rango de funcionamiento unidad exterior		°C	-15 ~ +37
Peso (vacío/en servicio)		kg	53/243

Tabla 4-56. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Características Depósito (ACS)

4.6.3.2.13. . Opción B: energía renovable

4.6.3.2.13.1. Calefacción

Opción 100% frigorífica				
Q_{usable}	η_s a clima medio en calefacción (-10 °C). Reglamento (UE) N.º 206/2012	SCOP	E_{RES}	Calefacción: % de cobertura de energía renovable
a	b	$c = (b \times 2,5) + (0,03 \times 2,5)$	$d = b \times (1-1/c)$	$e = d/a$
kWh/año	%	kWh/año	kWh/año	%
7.870	181%	4,60	6.159	78%

Tabla 4-57. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Energía renovable en calefacción

4.6.3.2.13.2. ACS

Opción 100% frigorífica					
η_{wh} en condiciones climáticas medias para ACS	$SCOP_{dhw}$	$SCOP_{dhw}$	Q_{usable}	E_{RES}	ACS: % de cobertura de energía renovable
a		b	c	$d = c - x(1 - 1/b)$	$e = d/c$
%		Valor	kWh/año	kWh/año	%
126%	Declarado en ficha técnica	3,1	2.770	1.876	67,74%

Tabla 4-58. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Demanda en ACS, SCOPdhw y energía renovable

4.6.4. Resultados y conclusión

A partir de los datos anteriores, las tablas 4-59 y 4-60 muestran una comparativa entre los sistemas analizados.

Caso tipo dos. Vivienda de 90 m ² dentro de un bloque de viviendas en zona D3. Tabla I								
			Instalación existente		Instalación nueva Opción A: bomba de calor 100% hidráulica. Calefacción por radiadores BT. A/A existente. ACS		Instalación nueva Opción B: bomba de calor 100% frigorífica. Calefacción y refrigeración mediante unidad de conductos. ACS	
Demanda de energía térmica		Referencia	Caldera	A/A	Bomba de calor 100% hidráulica y A/A existente	Variación con respecto a la instalación original	Bomba de calor 100% frigorífica	Variación con respecto a la instalación original
Calefacción	kWh/año	a	7.870		7.948	1%*	7.870	0%
Refrigeración	kWh/año	b		1.632	1.632	0%	1.632	0%
ACS	kWh/año	c	2.304		2.742	19%*	2.742	19%
Total	kWh/año	A = a + b + c	10.174		12.323	17%	12.244	17%
Consumo de energía final		Referencia	Gas natural	Energía eléctrica	Energía eléctrica	Variación	Energía eléctrica	Variación
Rendimiento: calefacción – refrigeración – ACS			0,92-- xx - 0,2	x-- 2 - x	3,9-- xx - 2,9	4,6 - 7,4 - 3,1		
Calefacción	kWh/año	e = a/d	8.554		2.038	-76%	1.711	-80%
Refrigeración	kWh/año	f = b/d		816	816***	0%	221	
ACS	kWh/año	g = b/d	2.504		946	-62%	885	-65%
Total	kWh/año	B = e + f + g	11.874		3.800	-68%	2.816	-76%
Consumo de energía primaria		Referencia	Gas natural	Energía eléctrica	Energía eléctrica	Variación	Energía eléctrica	Variación
Coefficiente E. primaria. (Cep)	kWh Ep/kWh	h	1,195	2,368	2,368		2,368	
Calefacción	kWh Ep/año	i = e x h	10.222		4.826	-53%	4.051	-60%
Refrigeración	kWh Ep/año	j = e x h		1.932	1.932	0%	522	-73%
ACS	kWh Ep/año	k = e x h	2.993		2.239	-25%	2.095	-30%
Total	kWh Ep/año	C = i + j + k	15.147		8.998	-41%	6.668	-56%

Tabla 4-59. Caso tipo 2. Piso en bloque. Resultado de sustitución caldera GN por bomba de calor, Tabla 1

Caso tipo dos. Vivienda de 90 m ² dentro de un bloque de viviendas en zona D3. Tabla II								
			Instalación existente		Instalación nueva Opción A: bomba de calor 100% hidráulica. Calefacción por radiadores BT. A/A existente. ACS		Instalación nueva Opción B: bomba de calor 100% frigorífica. Calefacción y refrigeración mediante unidad de conductos. ACS	
Emisiones de CO ₂		Referencia	Gas natural	Energía eléctrica	Energía eléctrica	Variación	Energía eléctrica	Variación
Coefficiente emisiones CO ₂	kg CO ₂ /kWh	m	0,252	0,331	0,331		0,331	
Calefacción	kg CO ₂ /año	n = e x m	2.156		675	-69%	566	-74%
Refrigeración	kg CO ₂ /año	o = g x m		270	270	0%	73	-73%
ACS	kg CO ₂ /año	p = h x m	631		313	-50%	293	-54%
Total		D = n + o + p	3.057		1.258	-59%	932	-70%
Superficie	m ²	q	90,0		90,0		90,0	
Ratio kgCO ₂ /m ²	kg CO ₂ /m ²	E = D/q	34,0		14,0		10,4	
Clasificación energética de la vivienda, en cuanto a las emisiones de CO ₂			E		C		B	
Consumo de energía primaria no renovable		Referencia	Gas natural	Energía eléctrica	Energía eléctrica	Variación	Energía eléctrica	Variación
Coefficiente E. primaria no renovable (Cep _{nr})	kWh EPnr/kWh	r	1,19	1,954	1,954		1,954	
Calefacción	kWh EPnr/año	s = e x r	10.179		3.982	-61%	3.343	-67%
Refrigeración	kWh EPnr/año	t = g x r		1.594	1.594	0%	431	-73%
ACS.	kWh EPnr/año	u = h x r	2.980		1.848	-38%	1.729	-42%
Total	kWh EPnr/año	F = s + t + u	14.754		7.424	-50%	5.502	-63%
Superficie	m ²	q	90,0		90,0		90,0	
Ratio	EPnr/m ²	G = F/s	163,9		82,5		61,1	
Clasificación energética de la vivienda, en cuanto a consumo de EPnr			E		C		C	

Tabla 4-60. Caso tipo 2. Piso en bloque. Resultado de sustitución caldera GN por bomba de calor, Tabla2

*La diferencia de demanda en calefacción se debe a la incorporación de un depósito de inercia y a las pérdidas estáticas por acumulación en invierno, solo aplicables al equipo de bomba de calor aire-agua

** La diferencia de la demanda de ACS se debe a la incorporación de un depósito de ACS y a las pérdidas estáticas por acumulación todo el año

*** En este caso se ha considerado que la bomba de calor solo tiene un uso en calefacción y que el aire acondicionado existente se mantiene. En el caso de que la bomba de calor aire-agua trabajara en modo refrigeración, el resultado sería más favorable, puesto que el rendimiento en refrigeración es muy superior

Cualquiera de las dos opciones presenta una considerable reducción en energía final y energía primaria, así como en emisiones de CO₂, reducciones que elevan la clasificación energética de nuestra vivienda. Dependiendo de los precios de la energía (gas y electricidad) y del coste de inversión de los equipos, se considera que el plazo de amortización de la opción A (instalación 100% hidráulica) podría estar entre 19 y 26 años y para la opción B (instalación 100% frigorífica) entre 16 y 22 años. Los plazos de amortización resultantes son tan elevados, porque a pesar de que con la sustitución a bomba de calor se producen unos ahorros de energía superiores al 40%, el coste económico de la energía consumida en una vivienda de estas características es pequeño en relación al resto de casos tipos. Por ello, existen ayudas para la sustitución de equipos que usen combustibles fósiles por energías renovables, que, si estimamos una ayuda aproximada del 40%, dicho plazo de amortización podría verse reducido entre 8 y 10 años respectivamente. Este ahorro total, podría verse aumentado significativamente, si se añadiera una instalación de autoconsumo, en este caso, comunitario, lo que redundaría en una reducción de todos los vectores energéticos, así como de emisiones y costes.

Desde el punto de vista del confort, el uso de radiadores ofrece, en calefacción, una mejor sensación térmica, al añadir la componente de radiación de calor, por lo que debe ser tenido en cuenta a la hora de decantarse por una opción u otra. Otras soluciones que también podrían aplicarse a este caso tipo, serían la indicadas en el caso tipo 1, mediante bombas de calor multitarea y emisores de baja temperatura.

4.7. Caso-tipo 3: residencial (piso) – Solo ACS – B3 (CTE)/cálido (SHARES). De termo eléctrico a bomba de calor para ACS

Situación de partida	Solución planteada	Ahorros
<ul style="list-style-type: none"> • Termo eléctrico 120 l individual para ACS de potencia de 1,5 kW 	<ul style="list-style-type: none"> • BC individual ACS de 150 l 	<ul style="list-style-type: none"> • Energía final 67,56% * <ul style="list-style-type: none"> ◦ Mismo ahorro para energía primaria, energía primaria no renovable, costes y emisiones kg CO₂

Condiciones previas que deben estudiarse/barreras

- Estado de la instalación, patologías hidráulicas previas, aislamientos, etc.
- Perfil de consumo y demanda real de ACS. Recirculación de ACS.
- Canalización de aire de la bomba de calor de ACS, aislamiento y diámetro.
- Espacio físico disponible para la unidad interior, accesorios, inercia, peso, etc.
- El usuario comprende el concepto de uso.
- Conocer y respetar la normativa, etc.
- Seguir las instrucciones del fabricante.

Otras soluciones viables para este caso tipo

- Instalación equipo de calefacción/refrigeración.
- Centralización de la instalación de ACS.

4.7.1. Descripción de edificio y viviendas

El edificio objeto de rehabilitación es una vivienda individual de 100 m² dentro de un bloque colectivo de viviendas en la ciudad de Murcia (zona climática cálida).

En este caso solo se considera el sistema de ACS de la vivienda.

4.7.2. Descripción del sistema instalado

El ACS se encuentra cubierto con un termo eléctrico independiente, siendo estas la característica de la vivienda:

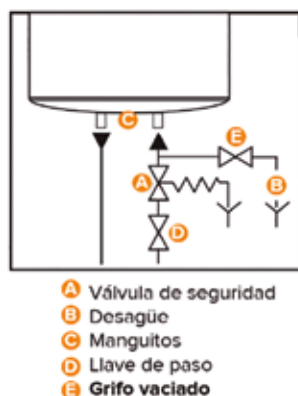


Gráfico 4-32. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico. Conexión habitual de un termo eléctrico

- Vivienda de 3 dormitorios y 2 baños (termo eléctrico de 120 litros).

4.7.2.1. Necesidades de ACS

Con base en el método de cálculo indicado en el CTE y considerando pérdidas en acumulación, distribución y conducción, la demanda de ACS a cubrir sería la reflejada en la tabla 4-61.

Dormitorios	Personas	Demanda ACS/día a 60 °C de acumulación	Demanda ACS/día a 53 °C de acumulación	Demanda ACS Incluidas pérdidas por acumulación
		L/día	l/día	kWh/año
3	4	112	122	2.591

Tabla 4-61. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico. Resumen necesidades ACS

4.7.3. Descripción del sistema propuesto

La actuación se limitará a la sustitución del termo eléctrico por una bomba de calor compacta para ACS.

4.7.3.1. Dimensionamiento en ACS

Para la selección de la bomba de calor compacta de ACS se debe tener en cuenta la demanda prevista y la necesidad de hacer uso de la energía del aire ambiente.

4.7.3.1.1. Equipo elegido

Algunas de las soluciones presentes en el mercado serían las siguientes:

- Bomba de calor de ACS compacta.
- Bomba de calor de ACS *split*.

De las cuales, tras analizar *in situ* las posibilidades de instalación, la propuesta inicial es instalar una bomba de calor de ACS compacta, con acumulador de ACS incorporado y clasificación energética A+ (véase tabla 4-62).

Demanda ACS CTE HE 4 (máx.) a 53 °C	Volumen ACS Termo actual	Volumen de ACS de bomba de calor elegida
l/día	litros	litros
122	120	147

Tabla 4-62. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico. Resumen demanda y selección de bomba de calor

4.7.3.2. Condiciones de instalación

4.7.3.2.1. Emplazamiento de la unidad interior

En el caso objeto de estudio, su emplazamiento será en el lavadero de la vivienda, donde se encontraba el antiguo termo eléctrico. Este es un espacio, no calefactado, que se encuentra ventilado de forma natural y suficiente al exterior. La bomba de calor capta el aire de este local. Se deberá disponer de un desagüe para la recogida de agua de condensados así como una válvula de seguridad, regulación de presión de entrada y vaso de expansión de ACS, este último recomendado.

Debido a que el equipo se encuentra cargado de refrigerante y que su instalación será de interior, es necesario que la estancia se encuentre bien ventilada, así como que disponga de un volumen mínimo. Este dato se encuentra dentro de la documentación del fabricante o se puede calcular en función de la masa y de la naturaleza del mismo, según se indica en el RSIF.

4.7.3.2.2. Conductos

Desde un punto de vista técnico, si la bomba de calor dispone de presión suficiente en los ventiladores, el aire del que se extrae la energía para aportarla al ACS puede provenir del exterior a la vivienda o de su interior.

4.7.3.2.2.1. Aire que proviene del interior de la vivienda

En este caso, la temperatura de entrada de aire suele ser elevada. La norma UNE-EN 16147, el Reglamento de Ecodiseño 814/2013 y el Reglamento Delegado 812/2013, establecen que la temperatura que debe considerarse como temperatura de entrada de aire de extracción, a una bomba de calor aire-agua para la producción de ACS, será de 15 °C cuando el aire proviene de un espacio sin calefactar, y de 20 °C cuando el aire proviene de espacios calefactados.

En el caso de extraer el aire de un espacio no calefactado, por ejemplo, un garaje, un sótano, etc., debe garantizarse la entrada de aire exterior a este espacio no calefactado, mediante aberturas dispuestas al exterior, de superficie suficiente, que permitan al ventilador alcanzar el caudal de aire necesario para la producción de ACS, durante las horas de trabajo.

No obstante, en el segundo caso, «extracción de aire interior de un espacio calefactado», puesto que esta extracción para el calentamiento de ACS puede incurrir en añadir pérdidas a la instalación térmica existente, interferir con el sistema de ventilación, así como estar considerada dentro del apartado 5 del punto 3.1 del HE-4 en cuanto a la consideración de energía renovable, donde se indica que «[...] Únicamente se tomará en consideración la energía obtenida por la instalación de recuperadores de calor ajenos a la propia instalación térmica del edificio...», por lo en este caso sería energía recuperada. El técnico deberá justificar adecuadamente que esta solución cumple con todas las exigencias que le sean de aplicación.

4.7.3.2.2.2. Aire que proviene del exterior de la vivienda

En este caso, la bomba de calor toma el aire del exterior y lo devuelve al exterior, por lo que las temperaturas exteriores de la localidad considerada deben permitir trabajar a la bomba de calor, todos los días del año, tanto en invierno como en verano.

Este modo, junto con el de la extracción de aire de locales no calefactados y con entrada de aire exterior, son los modos de funcionamiento en los que se puede considerar la energía aportada al ACS como energía renovable. Cuando se recupera energía del aire de extracción debe considerarse energía recuperada.

Para verificar este punto, es necesario comprobar que:

1. El rango de temperaturas de trabajo del equipo de bomba de calor está dentro de las temperaturas de la localidad considerada.
2. Las temperaturas del emplazamiento donde se situará la bomba de calor están dentro de los límites indicados por fabricante.

En el caso de Murcia, las horas acumuladas de funcionamiento se representan en el gráfico 4-33.

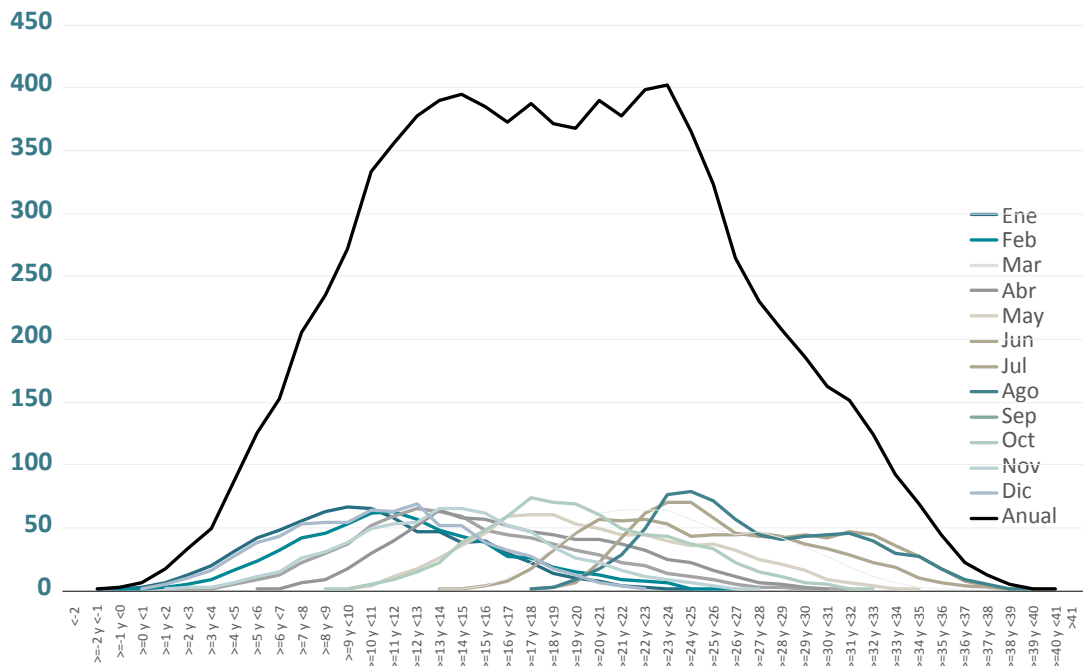


Gráfico 4-33. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico. Frecuencias de repetición en Murcia. Fuente: Programa «Frecuencias» (IDAE)

Del catálogo del fabricante se comprueba que las temperaturas de trabajo de las bombas de calor se encuentran dentro de las temperaturas de la localidad considerada.

Volumen local instalación min	m3	20
Temperatura local instalación min	°C	1
Temperatura local instalación max.	°C	42
Temperatura mínima del aire (b.h. a 90% h.r.) (P)	°C	-5
Temperatura máxima del aire (b.h. a 90% h.r.) (P)	°C	42

Tabla 4-63. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico. Condiciones de instalación requeridas para la bomba de calor en ACS

4.7.3.2.2.3. Aspiración y evacuación de aire

Los conductos deberán ser de un diámetro interior y una longitud tales que su pérdida de carga sea menor que la máxima posible a vencer por el ventilador, preferentemente mucho menor para evitar consumos excesivos de ventilador, así como contar de aislamiento a prueba de difusión de vapor para evitar condensaciones, con el grosor correspondiente según RITE. La pérdida de carga total es la suma de las pérdidas de carga generadas por los conductos de expulsión, admisión, así como accesorios, rejillas, codos, etc.

En cuanto a la expulsión de aire se deberá comprobar que, para cualquier tipología de equipo, los caudales de aire expulsados a fachada, o en circulación a través de la unidad exterior, están dentro de los permitidos en las ordenanzas municipales.

4.7.3.2.2.4. Uso del aire expulsado en refrigeración- deshumectación

En el caso de que no se desee que la bomba de calor expulse el aire al exterior del edificio, por ejemplo, para poder utilizar el efecto de refrigeración y deshumectación disponible mediante la bomba de calor durante el proceso de calentar el ACS, de varias horas, y aplicarlo para secar locales con humedad, o cargas térmicas constantes muy elevadas donde siempre existen demandas de refrigeración, se debe procurar que, el espacio que se enfría, disponga de un volumen y una ventilación suficiente para evitar que se alcancen temperaturas reducidas no deseadas, o un sistema de compuertas que combine la expulsión al interior con la expulsión al exterior.

4.7.3.2.2.5. Combinación con recuperadores de calor

Un uso especial del aprovechamiento del aire exterior, ya refrigerado y expulsado por la bomba de calor de ACS en verano, es su combinación con los sistemas de ventilación con recuperación de calor.

Las bombas de calor de ACS refrigeran el aire durante el proceso de calentamiento del agua sanitaria. En verano, este aire refrigerado puede usar para reducir las cargas de refrigeración, por ejemplo, combinándose con equipos de ventilación con recuperación de calor. Este refrescamiento adicional puede ayudar a reducir ligeramente, durante el tiempo de funcionamiento de la bomba de calor en ACS, la carga de refrigeración de la vivienda. Esta refrigeración no sustituye a los equipos de refrigeración.

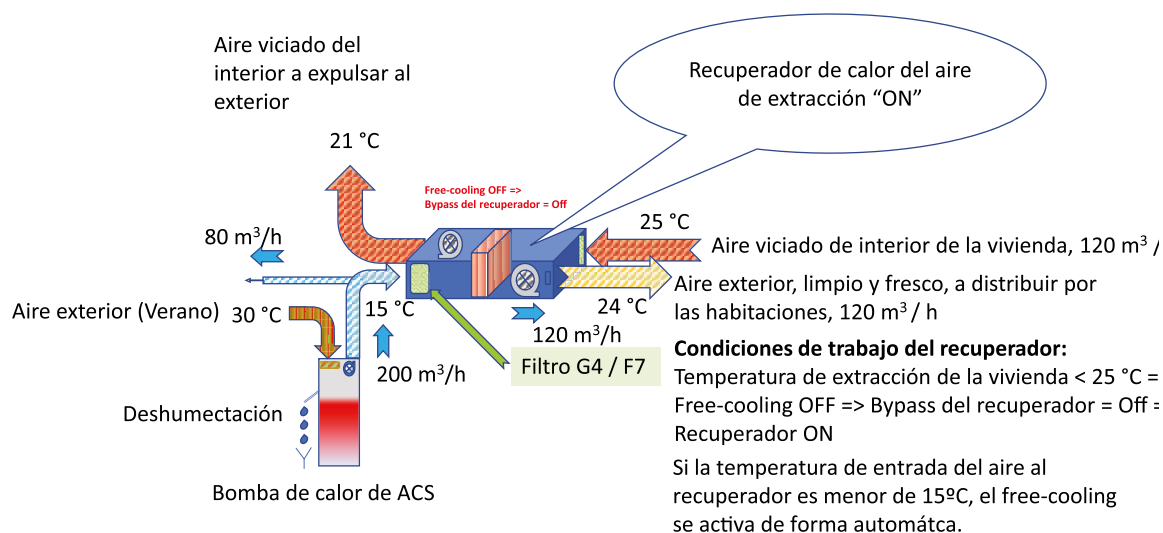


Gráfico 4-34. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico. Ejemplo de integración de bomba de calor de ACS + ventilación con recuperación de calor

El control de dirección de flujo de aire expulsado de la bomba de calor se realiza mediante, por ejemplo, compuertas motorizadas, o un sistema invierno/verano. Lo interesante de la combinación es la de que el control del recuperador de calor realiza la vigilancia de la temperatura interior y actúa de forma autónoma e independiente de la bomba de calor, lo que garantiza el mantenimiento de las temperaturas interiores en toda condición, activando o desactivando el free-cooling, etc.

Todos los conductos, accesorios, etc. deben estar aislados con materiales a prueba de difusión de vapor en todo su recorrido y espesores para refrigeración indicados en el RITE, para evitar condensaciones. Los recuperadores deben disponer de *free-cooling*, control de revoluciones, caudalímetros, etc.

La potencia total aportada en refrigeración, para un consumo medio de 4 personas en ACS, y suponiendo un aprovechamiento, durante los tres meses de verano, queda reflejada en la tabla 4-64.

Uso	Caudal de aire	Δt	Densidad	Calor específico del aire	Potencia de refrigeración (sensible)	Horas de uso de la bomba de calor en ACS/día	Energía en refrigeración útil/día	días de verano	Años	Total, energía extraída en refrigeración
	a	b	c	d	$E = a \times b \times c \times d$	f	$G = E \times f$	h	i	$J = G \times h \times i$
	m ³ /h	K	kg/m ³	kW h/kg °C	kW	horas	kWh/día	días	años	kWh/20 años
Bomba de calor de ACS	200	15	1,225	0,00028	1,03	5				
Ventilación con recuperación	120	13	1,225	0,00028	0,54	5	2,68	90	20	4.824

Tabla 4-64. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico. Ejemplo de integración de bomba de calor ACS + ventilación con recuperación de calor, potencia de refrigeración y energía disponible en el ejemplo

4.7.3.2.3. Niveles sonoros

El equipo debe trabajar dentro de los niveles sonoros adecuados para una vivienda.

4.7.3.3. Esquema de principio

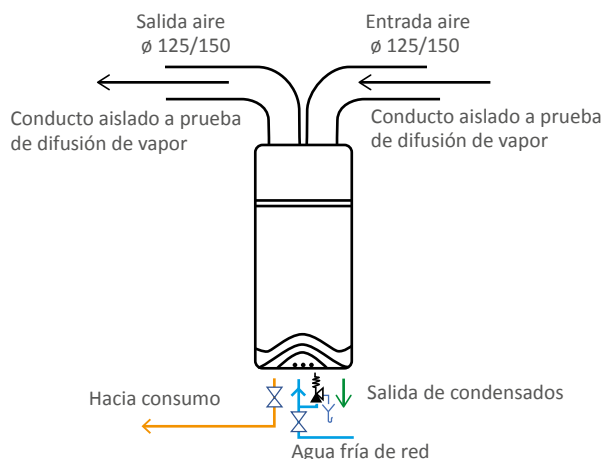


Gráfico 4-35. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico. Esquema de instalación

Para una correcta instalación, el fabricante deberá aportar un esquema de instalación en el que se detallen los componentes necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del equipo y su seguridad.

En caso de existir una red de recirculación de ACS, siempre que el acumulador no disponga de toma de recirculación esta se deberá conectar a la toma de entrada de agua fría del equipo. Se recomienda que la bomba de circulación disponga de programación horaria, sistemas de regulación, etc. Para una mayor eficiencia de la recirculación y para reducir las pérdidas de energía al mínimo.

4.7.3.4. Regulación y control

Los equipos se controlan desde el propio *display* del aparato o desde una aplicación APP, en las versiones con wifi.

4.7.3.5. Instalación eléctrica

No es necesaria la contratación de potencia eléctrica adicional o la modificación de los conductores existentes, de 2,5 mm² de sección actual para los termos instalados, puesto que el consumo nominal de la bomba de calor es de 300 W o de 1.350 W máximo cuando se habilita la resistencia eléctrica, potencia inferior a los 1.500 W actualmente consumido.

Caso tipo 5	Volumen ACS Termo actual	Potencia eléctrica consumida termo actual	Volumen de la nueva bomba de calor elegida	Potencia eléctrica máxima consumida por la bomba de calor	Potencia eléctrica consumida resistencia eléctrica integrada en la bomba de calor	Potencia eléctrica consumida (máx.) bomba de calor y resistencia*
Vivienda	litros	W	litros	W	W	W
90 m ²	120	1.500	147	350	1.200	1.550

Tabla 4-65. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico. Potencia eléctrica máxima consumida

* En general, existen varios modos de uso programable en la bomba de calor que permiten o deshabilitan el uso de resistencia eléctrica

4.7.4. Obras necesarias

Para la sustitución del termo eléctrico se precisan obras necesarias que se concretan en la tabla 4-66.

Obras a realizar	Situación actual	Nueva situación instalación	Albañilería
Instalar bomba de calor para ACS	--	Bomba de calor, para ACS con depósito incorporado, colgada en la pared del lavadero con desagüe canalizado para conducción de condensados.	--
Termo eléctrico ACS	Lavadero	Se elimina	--
Habilitar salida de aire al exterior	-	Salida de aire al exterior en pared o techo a través de un tubo	Remates de salida de aire mediante conducto y nueva rejilla

Tabla 4-66. Caso tipo 3. Obras necesarias para la sustitución del termo eléctrico

4.7.5. Energía renovable

La tabla de ficha de producto en condiciones climáticas medias para ACS, temperatura de la ciudad de Estrasburgo (7 °C), indica un rendimiento estacional sobre el que se calcula la energía renovable aportada.

η_{wh} en condiciones climáticas medias para ACS (temperatura exterior = 7 °C)	SCOP _{dhw}	Q _{usable}	E _{RES}	ACS: % de cobertura de energía renovable
	b	c	d = c x (1 - 1/b)	
%	Valor	kWh/año	kWh/año	%
119,3%	2,9	2.770	1.815	65,52%

Tabla 4-67. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico por bomba de calor. Energía renovable

Resultados y conclusión

A partir de los datos anteriores puede establecerse una comparativa entre los sistemas analizados, que se recoge en la tabla 4-68.

Caso tipo tres. Vivienda de 90 m ² dentro de un bloque de viviendas en zona D3					
Demanda de energía térmica		Referencia	Termo eléctrico	Bomba de calor para ACS	Variación con respecto a la instalación original
ACS	kWh/año	a	2.591	2.591	0%
Consumo de energía final		Referencia	Energía eléctrica	Energía eléctrica	Variación
Rendimiento del generador en ACS		b	1	2,9	
ACS	kWh/año	C = a/b	2.591	893	-66%
Consumo de energía primaria		Referencia	Energía eléctrica	Energía eléctrica	Variación
Coficiente E. primaria. (Cep)	kWh Ep/kWh	d	2,368	2,368	
ACS	kWh Ep/año	E = c x d	6.135	2.116	-66%
Emisiones de CO ₂		Referencia	Energía eléctrica	Energía eléctrica	Variación
Coficiente emisiones CO ₂	kg CO ₂ /kWh	f	0,331	0,331	
ACS	Kg CO ₂ /año	G = C x f	858	296	-66%
Consumo de energía primaria no renovable		Referencia	Energía eléctrica	Energía eléctrica	Variación
Coficiente E. primaria no renovable (Cep _{nr})	kWh EPnr/kWh	h	1,954	1,954	
ACS.	kWh Epnr/año	I = C x h	5.063	1.746	-66%

Tabla 4-68. Resultados. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico

La sustitución de un termo-acumulador eléctrico efecto Joule por una bomba de calor compacta para ACS reduce en gran medida el consumo energético asociado a esta demanda y no supone un gran esfuerzo en cuanto a obras necesarias y tiempo de ejecución.

Tanto el termo-acumulador como la bomba de calor usan como fuente de alimentación la electricidad, por lo que el retorno de la inversión dependerá de los ahorros producidos (eficiencia de la bomba de calor) y del coste de inversión de los equipos. Obviamente, a mayor precio de la energía eléctrica, mayores serán los ahorros y menor el tiempo de amortización. Con unos valores medios del precio de la energía y el coste de la inversión, se considera que el plazo de amortización podría estar entre 5 y 7 años. Estos plazos podrían incluso verse reducidos en 2 o 3 años si se optara a las ayudas existentes para la sustitución de equipos que usen combustibles fósiles por energías renovables.

En zonas donde sea de aplicación, su combinación con equipos de ventilación con recuperación de calor puede reducir la carga térmica debida a la ventilación durante los meses de verano, aumentando el ahorro del conjunto.

4.8. Caso-tipo 4: residencial colectivo, 75 viviendas – CAL+ACS D3 (CTE)/ medio (SHARES). Hibridación calderas GN o gasóleo y bomba de calor

Situación de partida	Solución planteada	Ahorros totales
Calderas		Ahorros
<ul style="list-style-type: none"> • Servicio de calefacción y agua caliente centralizado • Caldera de 500 kW para CAL+ACS • Radiadores 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 x BC multitarea 63,2 kW (CAL+ACS) alta temperatura • ACS de 2 x 2.000 litros • Se mantienen radiadores, caldera, columnas, etc. 	<p>Opción uno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 45-47% menos E. Final • 19-22% menos Ep • 37-45% menos kg CO₂ • 28-31% menos E_{pnr} • 72% menos kg NOx

Condiciones previas que deben valorarse/barreras

- Estado de la instalación, patologías hidráulicas previas, aislamientos, etc.
- Potencia necesaria (real) en las nuevas condiciones de temperatura de impulsión.
- Potencia necesaria en las condiciones de carga parcial.
- Respuesta de los emisores a la temperatura de trabajo prevista.
- Perfil de consumo y demanda real de ACS. Recirculación de ACS.
- Control de la instalación y estrategia.
- Espacio físico disponible para la unidad interior, accesorios, depósito de inercia, peso, etc.
- Espacio físico disponible para la unidad exterior, nivel de ruido, etc.
- La sustitución del generador implica instalar un control de temperatura por cada local.
- Trazado y tipo de instalación entre la unidad interior y exterior.

Mejoras adicionales posibles en esta instalación

- Mejora de la calidad de aire interior mediante equipo de ventilación mecánica controlada.
- Tele gestión para el usuario y el mantenedor.

4.8.1. Descripción del edificio

En este caso tipo se considera la actuación a realizar en el sistema de generación de calefacción y ACS para lograr la descarbonización directa debida a estos usos, en una primera fase, de un edificio residencial colectivo, de 75 viviendas de 80 m² cada una, con 3 dormitorios, en la ciudad de Aranjuez, Madrid (zona climática D3), construido con anterioridad a los años 80.

4.8.1.1. Situación de partida

La calefacción que se considera en este caso tipo es centralizada, con una potencia instalada en radiadores de 349 kW para el total del edificio, lo que hace un total de 4,6 kW de potencia térmica para cada vivienda de 80 m², considerado inicialmente un régimen de funcionamiento de 12 h y para una temperatura de impulsión máxima en calefacción de 80 °C ($\Delta T = 50$ °C con la temperatura ambiente de 20 °C en la vivienda, según UNE-EN 442).

4.8.1.1.1. Demanda de calefacción

Para la estimación de la demanda anual de calefacción se realiza una simulación horaria de demanda del edificio tipo, teniendo en cuenta, para cada hora del año, la temperatura exterior promedio del mes correspondiente para Madrid, ciudad situada en la zona climática D3 del CTE.

A partir de los datos climatológicos históricos se obtiene una temperatura media horaria de años anteriores, por lo que no están representados periodos de frío severos, ya que difícilmente habrá coincidencias, en iguales fechas, en años futuros.

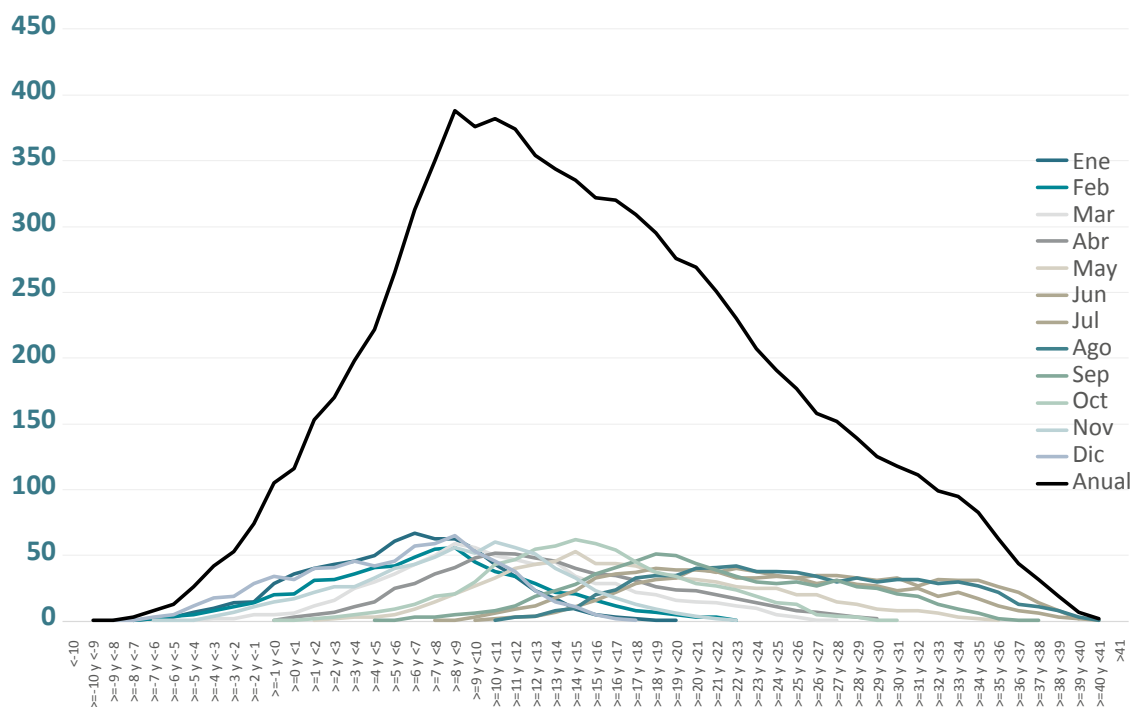


Gráfico 4-36. Caso tipo 4. Frecuencias de repetición para Aranjuez, Madrid, Fuente. Programa «Frecuencias» (IDAE)

En el cálculo de la demanda de energía en calefacción para el horario de 12 horas se incluye la estimación de las pérdidas energéticas previstas en el sistema de distribución de calefacción, calderas, etc., resultando en el total que se describe en la tabla 4-69.

	Unidades	Calefacción
Demanda de energía	kWh/año	595.474
Superficie	m ²	6.000
Ratio	kWh E. final/m ²	99,2

Tabla 4-69. Caso tipo 4. Residencial colectiva. Demanda de calefacción. Situación de partida

4.8.1.1.2. Nueva demanda de calefacción prevista

Con el objeto de obtener el máximo aprovechamiento de las bombas de calor aerotérmicas, según se expone más adelante, se incrementará el horario de calefacción de 12 horas al día a 24 horas, para la misma temporada de calefacción. Este aumento del número de horas tiene como consecuencia un ligero aumento de la demanda total de energía necesaria en calefacción, al estar las viviendas calefactadas durante toda la temporada de calefacción y no solo 12 horas al día. Además, existen mayores pérdidas de energía al tener la instalación en marcha un tiempo de funcionamiento que será el doble del inicialmente previsto, pérdidas que se compensan en parte con una menor temperatura

de impulsión como se indica más adelante. En este caso, se considera que el aumento de la demanda será de un 10% sobre la inicial.

	Unidades	Calefacción
Demanda de energía del edificio	kWh/año	661.638

Tabla 4-70. Caso tipo 4. Residencial colectiva. Demanda de energía del edificio en calefacción prevista

4.8.1.2. ACS

Para la estimación del consumo anual de ACS se ha tenido en cuenta una determinación estadística, basada en datos de instalaciones en condiciones de funcionamiento reales, cuando la producción es centralizada y en edificios residenciales.

Para el cálculo de la demanda energética en ACS se ha considerado una temperatura de preparación y de consumo de ACS de 50 °C.

Se han incluido las pérdidas de energía por distribución, recirculación y acumulación (véase tabla 4-71).

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Consumo volumétrico ACS	m ³	302	302	272	272	242	197	167	167	197	287	287	302
T. Agua Fría	°C	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8
Demanda ACS	kWh/mes	14.749	14.749	12.655	12.013	10.128	7.562	5.831	6.025	7.562	12.352	13.351	14.749
Pérdidas	kWh/mes	6.773	6.773	5.811	5.516	4.651	3.472	2.678	2.767	3.472	5.672	6.131	6.773
Demanda ACS + Pérdidas	kWh/mes	21.522	21.522	18.466	17.529	14.779	11.034	8.508	8.792	11.034	18.024	19.482	21.522
Consumo diario	l/día	9.727	10.769	8.762	9.054	7.798	6.562	5.386	5.386	6.562	9.244	9.553	9.727

Tabla 4-71. Caso tipo 4. Residencial colectiva. Tabla mensual de demanda de ACS

Las necesidades anuales de ACS para el edificio de 75 viviendas se resumen en la tabla 4-72.

	Unidades	ACS
Demanda volumétrica	m ³	2.990
Demanda de energía	kWh/año	192.214

Tabla 4-72. Caso tipo 4. Residencial colectiva. Resumen anual de demanda de ACS

4.8.2. Descripción del sistema instalado

4.8.2.1. Calefacción y ACS

Se analizan las dos variantes de equipos presentes habitualmente en edificios centralizados:

- Para el caso de calderas de gas atmosféricas se considera un grupo térmico formado por cuatro módulos de calderas atmosféricas de gas natural de 126, 75 kW cada una, que suman 507 kW de potencia total.
- Para el caso de calderas estándar presurizadas de gasóleo se consideran dos calderas estándar presurizadas de gasóleo: una de 500 kW para calefacción y otra de 150 kW para ACS.

Para el ACS se cuenta actualmente con dos depósitos de acumulación de 1.000 litros cada uno, calentados mediante caldera.

Los emisores instalados en las viviendas son radiadores convencionales de aluminio, que permanecen.

4.8.3. Descripción del sistema propuesto

El sistema propuesto consiste en una instalación híbrida compuesta por dos bombas de calor de alta temperatura que se combinarán con las calderas existentes, en modo de funcionamiento bivalente paralelo. Esto es, un funcionamiento simultáneo de las bombas de calor y de las calderas como respaldo.

Las bombas de calor serán las que cubran el mayor porcentaje de horas y de energía en calefacción necesaria, mientras que las calderas quedan para asegurar el servicio en los días de mayor severidad climática o como sistema auxiliar en caso de avería.

La instalación estará monitorizada por personal técnico 24 horas, con un sistema y bucle de control específico para este edificio en concreto y mediante el que se vigila, y se ajustan, los parámetros necesarios de manera constante para lograr el objetivo de eficiencia energética y los periodos de amortización calculados.

4.8.3.1. Obras necesarias

Las obras necesarias para la instalación del sistema híbrido serían, al menos, las recogidas en la tabla 4-73.

Obras a realizar	Situación actual	Nueva situación instalación	Albañilería
Unidad exterior		Terraza. Desagüe bomba de calor	Canalización de los condensados al desagüe de la terraza
Tuberías hidráulicas		Por fachada de la terraza oculta en canaleta hasta la conexión con el circuito actual de calefacción de los radiadores	Remates de pasos de tubos por fachada y asilamiento de tuberías
Depósito de inercia y válvula de presión diferencial		Se instala depósito de inercia y válvula de presión diferencial	Conexión con las tuberías existentes
Depósito/acumulador ACS	--	Depósito/acumulador incorporado en la sala de calderas	Ampliación de accesos para introducir los equipos en la sala de calderas
Caldera		Se mantiene	
Conducciones e instalaciones eléctricas		Vista (canaleta)	Instalación para alimentar la unidad exterior

Tabla 4-73. Caso tipo 4. Obras necesarias

4.8.3.2. Mantenimiento de los radiadores existentes

Para alcanzar los amplios objetivos marcados por la necesaria descarbonización de sistemas de calefacción y ACS centralizados, la conservación de los emisores existentes en instalaciones centralizadas, en una primera fase de intervención, redunda en favor de una muy buena relación coste-beneficio.

Para conocer si esta solución es posible en el edificio de estudio, solo es necesario acudir a los datos históricos del edificio y a la curva de calefacción seleccionada o a las habituales para instalaciones de calefacción central con radiadores. El concepto «curva de calefacción» es elevar la temperatura de impulsión en función de la temperatura exterior y viceversa, donde su inclinación depende del aislamiento del edificio; esto es, cuantas más pérdidas de energía tiene el edificio más vertical es su curva y viceversa. Mediante esta regulación de curva de calefacción se trata de suministrar al edificio exactamente la cantidad de energía que el edificio está perdiendo y, a la vez, preparar el agua a la temperatura más ventajosa desde el punto de vista del generador. Esto es especialmente importante con bomba de calor, puesto que su rendimiento es mayor cuanto menor es la temperatura de impulsión. El uso de curvas de calefacción en función de la temperatura exterior va siempre ligado al uso de la calefacción durante las 24 horas, dentro de la temporada de calefacción prevista.

Un gráfico de curva de calefacción habitual se muestra en el gráfico 4-37, donde se han representado la temperatura de trabajo máxima elegida para esta instalación en régimen continuo, que será de 60 °C, con una curva 1,75, y las diferentes zonas de uso, solo bomba de calor o sistema combinado.

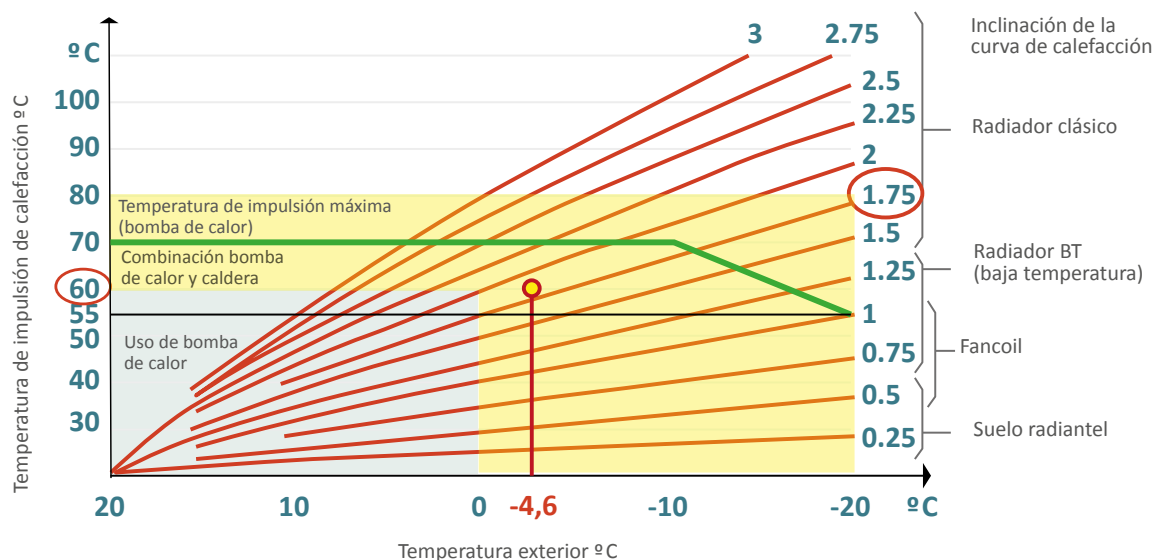


Gráfico 4-37. Caso tipo 4. Curva seleccionada para el funcionamiento en régimen de 24 horas, durante la temporada de calefacción

Para la localidad de este caso tipo, Aranjuez, al acudir a los datos de frecuencias de repetición de la temporada de calefacción, y la curva de calefacción seleccionada, el dato indica que, durante más del 70% de las horas de dicha temporada, no es necesario una temperatura de impulsión superior a 45 °C.

La temperatura exterior de proyecto en calefacción considerada es de -4,6 °C para el percentil 99,6%, tomado en este caso (véase tabla 4-74).

Intervalo de temperatura exterior	Horas de repetición del intervalo de temperatura	Horas de calefacción acumuladas	% sobre el total de horas	Temperatura de impulsión necesaria en régimen de 24h °C Curva 1,75	Temperatura de impulsión necesaria en régimen de 12h °C Curva 2,6
>=-10 y <-9	1	4988	100,00%		
>=-9 y <-8	1	4987	99,98%		
>=-8 y <-7	3	4986	99,96%		
>=-7 y <-6	8	4983	99,90%		
>=-6 y <-5	13	4975	99,74%		
>=-5 y <-4	26	4962	99,48%	60	80
>=-4 y <-3	42	4936	98,96%	58,5	78
>=-3 y <-2	53	4894	98,12%	57	76
>=-2 y <-1	74	4841	97,05%	55,5	74
>=-1 y <0	105	4767	95,57%	54	72
>=0 y <1	116	4662	93,46%	52,5	70
>=1 y <2	153	4546	91,14%	51	68
>=2 y <3	170	4393	88,07%	49,5	66
>=3 y <4	198	4223	84,66%	48	64
>=4 y <5	222	4025	80,69%	46,5	62
>=5 y <6	265	3803	76,24%	45	60
>=6 y <7	313	3538	70,93%	43,5	58
>=7 y <8	350	3225	64,66%	42	56
>=8 y <9	388	2875	57,64%	40,5	54
>=9 y <10	376	2487	49,86%	39	52
>=10 y <11	382	2111	42,32%	37,5	50
>=11 y <12	374	1729	34,66%	36	48
>=12 y <13	354	1355	27,17%	34,5	46
>=13 y <14	344	1001	20,07%	33	44
>=14 y <15	335	657	13,17%	32	38

Tabla 4-74. Caso tipo 4. Frecuencias de repetición de intervalos horarios durante la temporada de calefacción en Aranjuez, Madrid. Fuente: programa «Frecuencias» (IDAE) y temperatura de impulsión necesaria calculada por curva

La temperatura mínima de impulsión o de «arranque de la calefacción», cuando la temperatura exterior se encuentra en los 16 °C, se sitúa entre los 32 °C y los 38 °C en función de la curva.

4.8.3.3. Datos técnicos del equipo seleccionado

El equipo dispone de los datos técnicos recogidos en la tabla 4-75 (extracto).

T condensador: 40-45 °C/T exterior: 7 °C	
Potencia calorífica (kW)	63,2
Potencia absorbida (kW)	20,9
COP	3,02
T condensador: 50-55 °C/T exterior: 7 °C	
Potencia calorífica (kW)	62,8
Potencia absorbida (kW)	25,6
COP	2,5
T condensador: 65-70 °C/T exterior: 7 °C	
Potencia calorífica (kW)	58,7
Potencia absorbida (kW)	32,6
COP	1,8

Tabla 4-75. Caso tipo 4. Residencial colectiva. Extracto de datos de ficha técnica de la bomba de calor

4.8.3.4. Resumen de necesidades previstas

	Actual	Bomba Calor Híbrida
Edificio		
Tipo edificio	Residencial en altura	
Número viviendas y superficie	75 viviendas de 80 m ²	
Año construcción	1970	
Ubicación	Madrid	
Zona climática	D3	
Instalación		
Tipo Instalación	Radiadores convencionales de aluminio	
Servicios	Calefacción y agua caliente sanitaria	
Generadores	Caldera gas atmosférica/ Caldera gasóleo estándar presurizada	<ul style="list-style-type: none"> • Principal: bomba calor alta temperatura. Temperatura máxima: 70 °C a -10 °C exterior • Respaldo: Caldera existente
E. Primaria	Gas natural/Gasóleo	<ul style="list-style-type: none"> • Principal: electricidad • Respaldo: gas natural/gasóleo
Calefacción		
Tipo emisores	Radiadores convencionales de aluminio	
Temporada calefacción	12/octubre - 31/mayo	
Temperatura exterior en condiciones de proyecto	-4,6 °C (TS_ 99,6) *	-4,6 °C (TS_ 99,6) *
Horario calefacción	7:00 - 19:00 (12 h)	24 h
Temperatura consigna día	24 °C	23 °C**
Temperatura consigna noche	-	21 °C
Demanda calefacción	595.474 kWh/año	661.638 kWh/año
Acs		
Temperatura de acumulación	50 °C	
Consumo anual	39,87 m ³ /vivienda	
Demanda	192.214 kWh/año	

Tabla 4-76. Caso tipo 4. Residencial colectiva. Demanda de energía y características

* Para este cálculo se mantienen las condiciones de temperatura exterior de proyecto original. Caso más desfavorable

** El cálculo se realiza para las condiciones de diseño establecidas en el RITE (Real Decreto 1027/2007)

4.8.3.5. Beneficios de la reducción de demanda energética

En el gráfico de curva de calefacción se observa que cualquier intervención posterior a la hibridación en la que se reduzcan las pérdidas de energía del edificio, por ejemplo, mediante sistemas de ventilación con recuperación de energía, intervención sobre la envolvente, etc., permitirá reducir la temperatura de impulsión futura necesaria (inclinación de la curva) y aumentará también la eficacia del sistema híbrido, al reducir el uso de caldera y al mejorar la eficiencia de la bomba de calor.

4.8.3.6. Simulaciones térmicas en edificios

Todos los cálculos sobre edificios existentes deben partir de los datos de consumo histórico de la instalación objeto de estudio, curvas existentes, y/o validarse de forma más detallada y precisa mediante programas de cálculo para el modelado energético del edificio que sigan, por ejemplo, la metodología descrita en la *Guía técnica de procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios* (IDAE).

4.8.3.7. Dimensionamiento en calefacción

Una vez determinado el nuevo horario continuo y la validez de los radiadores existentes para la nueva temperatura de impulsión y calculada la demanda anual, tanto de calefacción como de ACS del edificio, se modeliza el funcionamiento de las bombas de calor de forma horaria, teniendo en cuenta, para cada hora del año, la temperatura exterior promedio del mes correspondiente. Se emplean para ello las curvas características de potencia térmica y rendimiento del equipo en función de las temperaturas exteriores y las de impulsión.

Tras la realización de un análisis exhaustivo para este caso tipo, se determina que la relación de hibridación óptima en cuanto a coste de la inversión y ahorros generados es la que responde al criterio de que la potencia en bomba de calor esté en torno al 30% de la potencia nominal instalada en radiadores (considerando un salto térmico máximo de diseño $\Delta T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ con respecto al ambiente interior). El resto de la potencia será aportada por la caldera de respaldo, lo que coincide con la curva teórica del sistema bivalente paralelo.

- El régimen de calefacción sea de 24 horas.
- Se cuenta con control de temperatura interior
- La temperatura de régimen nocturno se mantenga como máximo a 1-2 $^{\circ}\text{C}$ inferior a las consignas diurnas.

Como se mencionaba anteriormente, la estimación de las demandas está basada en datos climatológicos promedio, en los que no están representadas las temperaturas de frío más severas que puedan producirse y que, en todo caso, se espera sean cubiertas mediante las calderas de respaldo.

En cuanto a las calderas de respaldo se mantienen las calderas existentes, asegurando de esta forma el confort para los usuarios en las condiciones más severas de frío. Si, por el contrario, no fuera viable mantener las calderas y tuvieran que ser sustituidas por unas nuevas, la potencia mínima necesaria sería la diferencia entre la potencia instalada en radiadores (349 kW) y la que se vaya a instalar en bomba de calor (126 kW), que equivaldría a 223 kW, salvo que se intervenga en la envolvente y en la ventilación para reducir las pérdidas de energía del edificio (véase, a modo de resumen, la tabla 4-77 para la instalación considerada).

Frecuencias de repetición			Potencia			Energía térmica		
Intervalo de temperatura exterior (°C)	Horas anuales acumuladas	Horas de calefacción totales acumuladas	Potencia bomba de calor (kW)	Potencia caldera (kW)	Potencia térmica necesaria (kW)	Bomba de calor (MWh/año)	Caldera (MWh/año)	Energía total (MWh/año)
	a	b	c	d	e = d + c	f = a x c/1000	g = a x d/1000	h = f + g
>=-5 y <-4	26	4.962	86	263	349	2	7	9
>=-4 y <-3	42	4.936	86	246	332	4	10	14
>=-3 y <-2	53	4.894	86	230	316	5	12	17
>=-2 y <-1	74	4.841	86	213	299	6	16	22
>=-1 y <0	105	4.767	86	197	283	9	21	30
>=0 y <1	116	4.662	86	180	266	10	21	31
>=1 y <2	153	4.546	86	163	249	13	25	38
>=2 y <3	170	4.393	86	147	233	15	25	40
>=3 y <4	198	4.223	102	114	216	20	23	43
>=4 y <5	222	4.025	111	89	199	25	20	44
>=5 y <6	265	3.803	119	64	183	31	17	48
>=6 y <7	313	3.538	127	39	166	40	12	52
>=7 y <8	350	3.225	127	23	150	44	8	52
>=8 y <9	388	2.875	127	6	133	49	2	52
>=9 y <10	376	2.487	116	0	116	44	0	44
>=10 y <11	382	2.111	100	0	100	38	0	38
>=11 y <12	374	1.729	83	0	83	31	0	31
>=12 y <13	354	1.355	66	0	66	24	0	24
>=13 y <14	344	1.001	50	0	50	17	0	17
>=14 y <15	335	657	33	0	33	11	0	11
>=15 y <16	322	322	17	0	17	5	0	5
					Total	443	218	662
					% de cobertura	67%	33%	

Tabla 4-77. Caso tipo 4. Residencial centralizada. Tabla resumen de potencia y energía en cada intervalo de temperatura exterior

El gráfico 4-38 refleja las oberturas energéticas, que varían en función del número de horas.

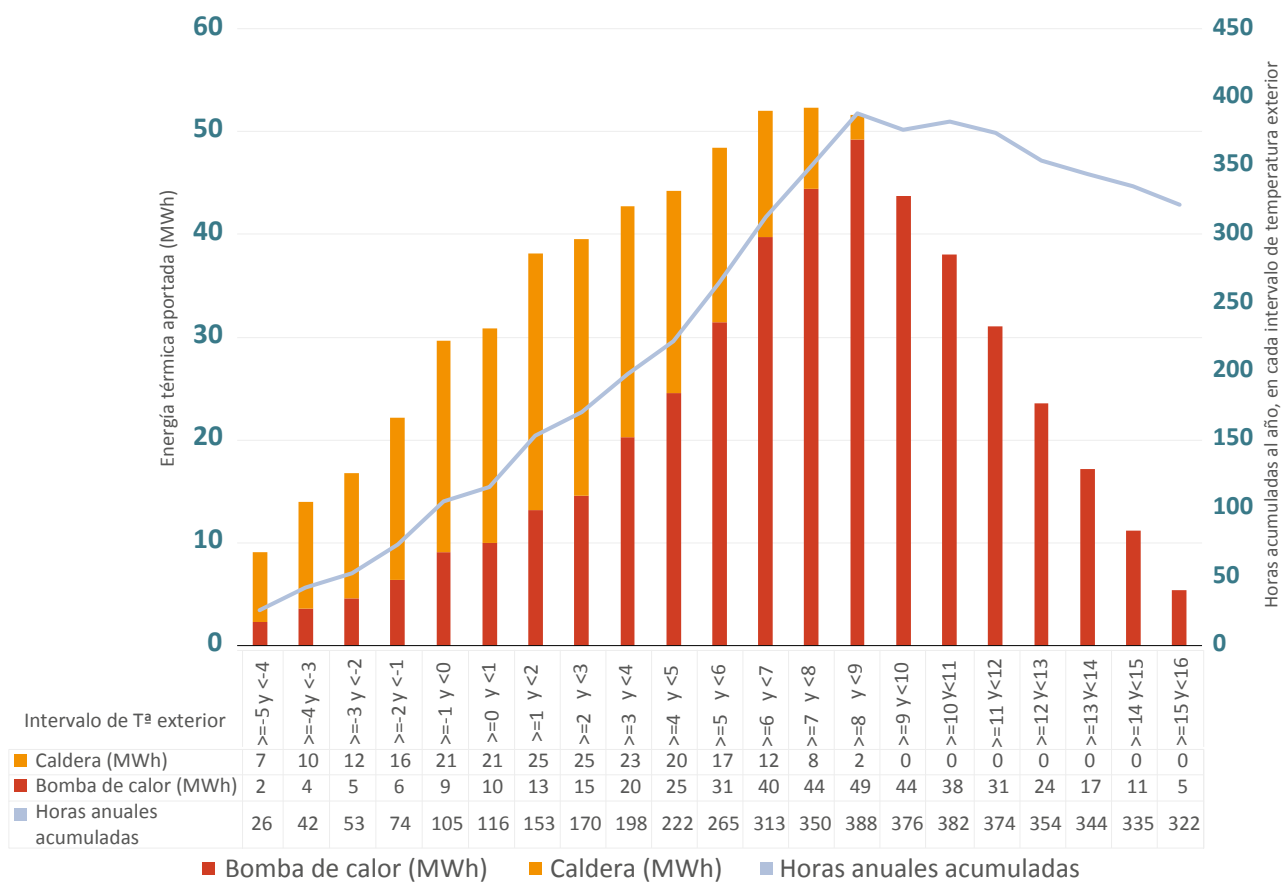


Gráfico 4-38. Caso tipo 4. Energía térmica anual aportada en cada intervalo de temperatura exterior y horas acumuladas/año en cada intervalo

La potencia a aportar se reparte entre la bomba de calor y la caldera (véase gráfico 4-39).

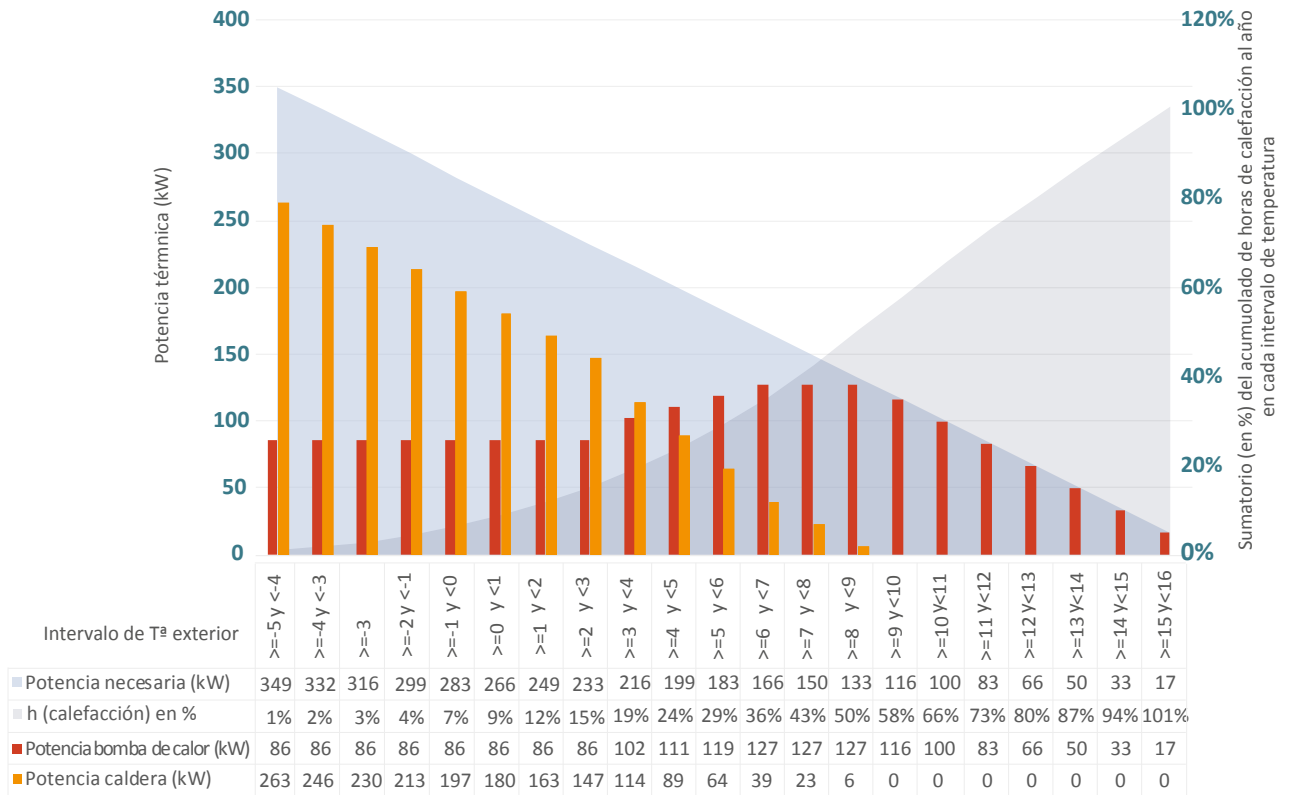


Gráfico 4-39. Caso tipo 4. Residencial centralizada. Variación simplificada de la potencia necesaria en función de la temperatura exterior

4.8.3.7.1. Instalación hidráulica y esquema de principio

Desde un punto de vista hidráulico, las bombas de calor precisan un caudal de agua concreto a través de su intercambiador, en función de su salto térmico (habitualmente 5 K), mientras que el necesitado en los circuitos secundarios, según las diferentes situaciones de instalación, suele ser de 10 K o 20 K. Debido a esta diferencia de salto térmico (y caudal) será siempre imprescindible realizar un desacople hidráulico entre la bomba de calor y los circuitos de calefacción y ACS, tanto en circuitos primarios como en secundarios, mediante agujas hidráulicas o intercambiadores de placas, por lo que serán necesarias bombas de circulación independientes en cada circuito.

El gráfico 4-40 muestra un esquema hidráulico básico de la instalación híbrida para calefacción y ACS, con válvulas de corte para separar demandas gestionadas desde el bucle de control.

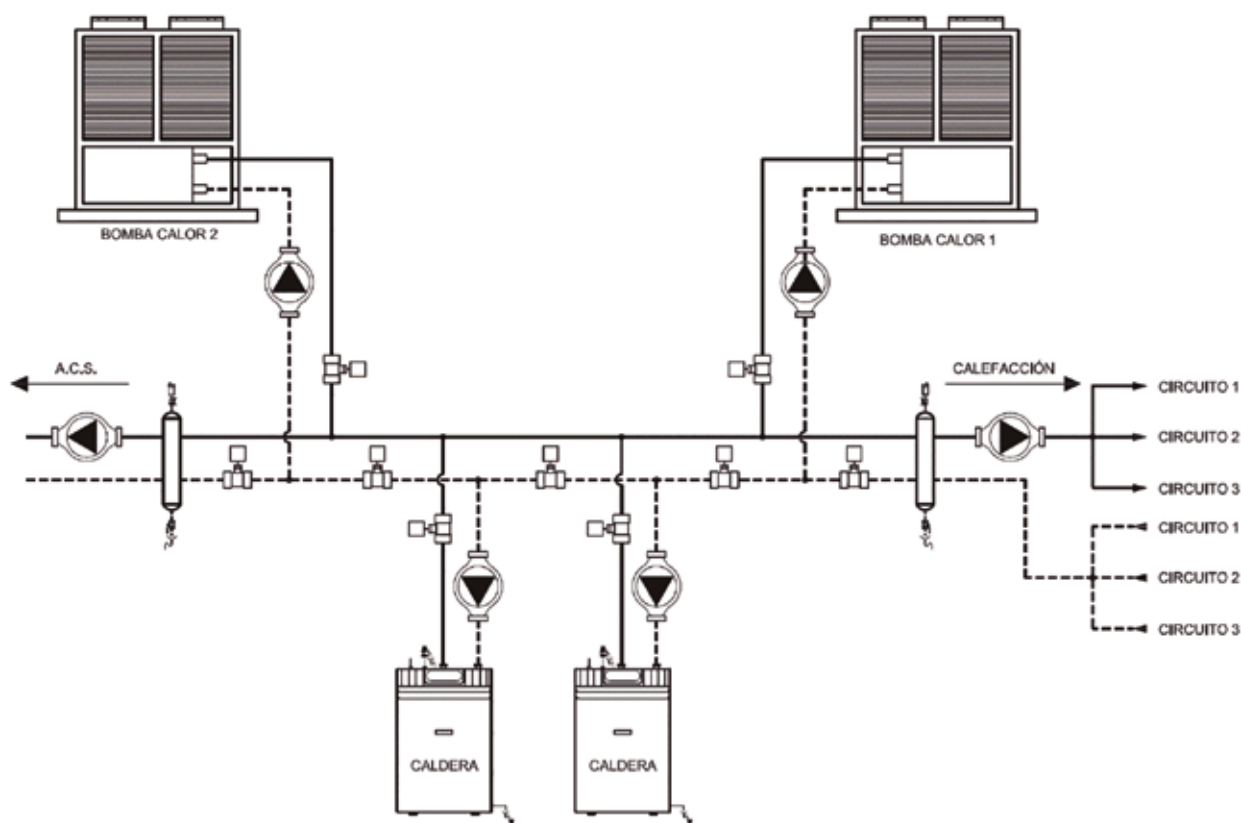


Gráfico 4-40. Caso tipo 4. Esquema hidráulico básico

En este esquema básico, cada generador está conectado de manera independiente a un colector común. De esta forma se consiguen independizar los servicios de calefacción y ACS, con producción simultáneamente incluso precisando distinta temperatura de impulsión de primario, maximizando el rendimiento de las bombas de calor.

No obstante, cada instalación es diferente y requerirá de un esquema específico, tanto hidráulico como especialmente de una estrategia de regulación y control.

4.8.3.8. Dimensionamiento del acumulador de ACS

Para obtener una producción eficiente de ACS mediante bomba de calor es conveniente que el ACS a suministrar al edificio se caliente íntegramente con bomba de calor, sin necesidad de aporte adicional de las calderas de apoyo. Para conseguir este objetivo, debido a la menor potencia de la bomba de calor, debe aumentarse el volumen de acumulación de ACS existente hasta ahora y, para su cálculo, deberá tenerse en cuenta los perfiles de extracción y el tiempo de recuperación mediante bomba de calor, generalmente acumulando el volumen de consumo punta diario.

En cuanto a las puntas de consumo de ACS en el sector residencial, por regla general aunque cada edificio es distinto, se producen dos puntas: una a primera hora los días laborables y otra por la tarde. Puesto que alguno de estos periodos puede coincidir con demandas de calefacción, para evitar coincidencia y evitar el uso de caldera, es necesario contar, en primer lugar, con una acumulación suficiente (en volumen) que pueda permitir responder a las demandas con seguridad y, en segundo

lugar, con un sistema de control que pueda gestionar los momentos de recarga de los acumuladores de ACS, para que no coincidan con los de máxima demanda de calefacción. Por último, se deben sobredimensionar también los intercambiadores de calor para los nuevos caudales, saltos térmicos y presión disponible para los equipos de bomba de calor previstos, muy diferentes de los hasta ahora empleados con caldera.

Para este caso tipo, el volumen de acumulación seleccionado para la instalación de referencia es de 4.000 litros, que se repartirán en dos depósitos de 2.000 litros cada uno, cubriéndose la demanda en las puntas previstas.

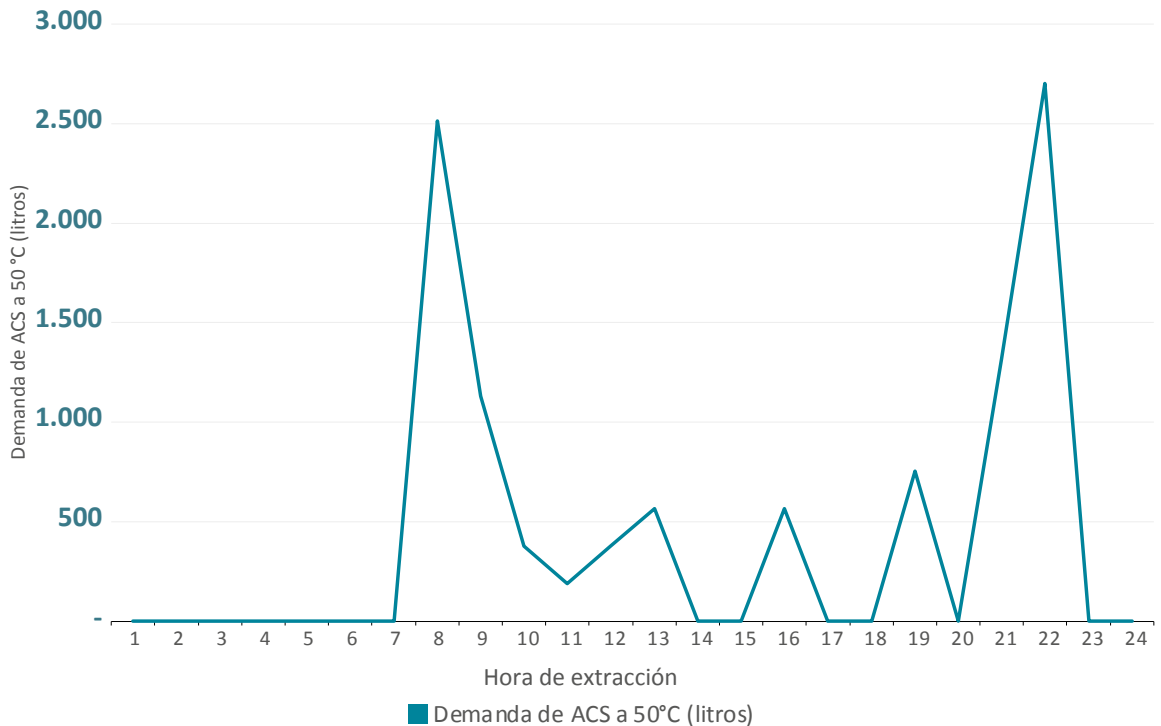


Gráfico 4-41. Caso tipo 4. Extracción de ACS según el perfil considerado

Es de destacar que, en las instalaciones centralizadas existentes y monitorizadas, se suelen conocer de antemano todos los datos reales del edificio en cuestión, por lo que la selección de la acumulación correcta, una vez determinada la potencia de las bombas de calor, es sencilla.

Una variante de cómo realizar la producción de ACS mediante bomba de calor de alta temperatura, es la del trabajo con acumuladores de producción instantánea o con sistemas de acumulación de inercia y estaciones de transferencia para ACS, que no precisan de acumulación de ACS propiamente dicha, puesto que el agua se calienta mediante intercambiadores de placas o al paso, que, a modo de ejemplo, se compondría de un esquema similar al representado en el gráfico 4-42.

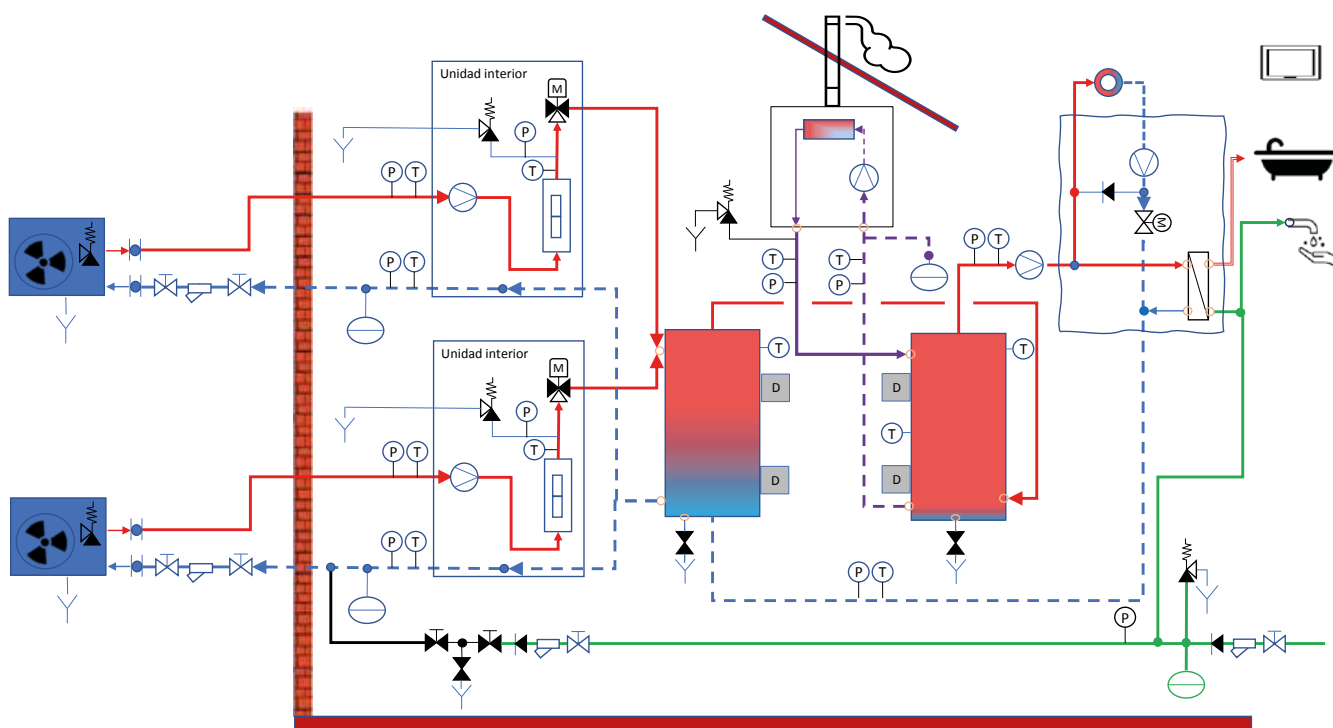


Gráfico 4-42. Caso tipo 4. Ejemplo de sistema híbrido con estaciones de transferencia para ACS y calefacción

4.8.3.9. Equipo elegido

El sistema propuesto consistirá en una instalación híbrida de dos bombas de calor compactas aire-agua de alta temperatura, con las calderas actuales como respaldo.

4.8.3.9.1. Rendimiento estacional en calefacción y ACS

Las bombas de calor seleccionadas son bombas de calor de alta temperatura, de 63,2 kW de potencia máxima cada una, capaces de alcanzar una temperatura máxima de impulsión de 70 °C, con temperaturas exteriores de hasta -10 °C y de 65 °C hasta -15 °C. No obstante, se regularán para trabajar a la menor temperatura posible, en curva de calefacción.

Disponen de dos compresores *scroll inverter* con inyección de líquido y emplean un gas refrigerante de clasificación de seguridad L1.

De su ficha ErP se toma un extracto de la eficiencia energética y SCOP y se calcula para las condiciones de trabajo a la temperatura deseada en esta instalación (60 °C).

Temperatura máxima de impulsión	Condiciones climáticas medias en calefacción (-10 °C)		Condiciones climáticas cálidas en calefacción (2 °C)	
	°C	$\eta_{s,h}$	SCOP	$\eta_{s,h}$
35	131%	3,31	1,58	4,00
55	121%	3,06	1,38	3,49
60	116%	2,93	1,28	3,24

Es de destacar que esta bomba de calor está diseñada para alta temperatura, por lo que su rendimiento en baja temperatura es similar, debido a la tecnología empleada.

El ACS se suministrará mediante dos acumuladores de 2.000 litros cada uno, con intercambiador de placas externo, diseñado para un salto térmico máximo de 5 °C, para minimizar las temperaturas de trabajo necesarias y maximizar el rendimiento de las bombas de calor.

El rendimiento de la bomba de calor en ACS, $SCOP_{DHW}$, tiene un valor de 2,61.

4.8.3.10. Emplazamiento de los equipos

Las bombas de calor se instalarán en la cubierta del edificio, mientras que el resto de equipos (bombas, vasos de expansión, cuadros eléctricos, etc.) se instalarán preferentemente en la sala de calderas, quedando todos los equipos unidos hidráulicamente.

Para la instalación de las bombas de calor en la cubierta es imprescindible realizar primero un estudio de cargas que asegure la resistencia estructural del forjado, puesto que el peso de las unidades exteriores es, por término medio, elevado. En zonas con elevada sismicidad deberá realizarse un estudio que contemple ese escenario.

En términos generales, el uso de sistemas de bomba de calor en secuencia (cascada) permite la selección de equipos de menor peso y de más sencilla ubicación en cubierta, si existe espacio físico.

En este caso las bombas de calor disponen de refrigerante con clasificación de seguridad A1, con todo el contenido en la unidad exterior. En el caso de uso de bombas de calor compactas con el tipo de refrigerante del grupo de seguridad L2 (por ejemplo, R-32, R-452B, etc.) o L3 (por ejemplo, R-290), deben cumplirse las limitaciones indicadas en el *Reglamento de Seguridad para Instalaciones Frigoríficas* y, especialmente, las indicadas en su instrucción IF-20.

4.8.3.11. Regulación y control

Generación independiente para calefacción y ACS

En los sistemas de bomba de calor, la temperatura del agua de producción influye directamente sobre el rendimiento. Por ello, es importante tener en cuenta cuántos servicios a diferente temperatura existen en cada instalación y separar el sistema de generación en tantas partes como servicios a distinta temperatura se encuentren.

En este caso tipo se tienen dos servicios a distinta temperatura: calefacción (en curva de calefacción =1,75) y ACS.

Si no se separase el sistema de calentamiento de ACS del de calefacción (como se planteó en el caso de uso de estaciones de transferencia) sería probablemente necesario hacer funcionar el sistema a la máxima temperatura de servicio, las 24 horas del año, lo que reduciría la eficiencia del sistema. Por esto, para mejorar la eficiencia energética, es recomendable independizar las bombas de calor y contar con valvulería de control que permita trabajar una de las bombas para el sistema de calefacción y la otra para el ACS, de manera que ambas puedan dar servicio a la vez y a temperaturas distintas o ambas a un servicio trabajando a la misma temperatura.

Sonda de temperatura ambiente en vivienda

La propuesta de control derivada de la modificación de RITE, en su punto «IT 1.2.4.3.1 Control de las instalaciones de climatización» incide en que, en los edificios existentes, se exigirá la instalación de «sistemas de control automático necesarios para que se puedan mantener en los locales las condiciones de diseño previstas, ajustando los consumos de energía a las variaciones de la carga térmica», en el caso de que se sustituyan los generadores de calor y cuando sea técnicamente o económicamente viable. Adicionalmente a estos dispositivos, será necesario disponer de una sonda de temperatura exterior y de sondas de temperatura ambiente instaladas en el interior de viviendas de zonas representativas. Con esto se podrá regular la necesidad de encendido del sistema y se podrá corregir la temperatura de impulsión de calefacción en función de la desviación respecto a la consigna, determinada siempre por la temperatura exterior y la curva de calefacción elegida.

Acumulación ACS

Para este edificio se dispondrá de un sistema de control que optimiza la carga de los acumuladores de ACS teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- En el sector residencial se suelen producir dos puntas de consumo diarias en días laborables: una a primera hora de la mañana y otra a última de la tarde.
- Prever el momento de carga del acumulador para optimizar los costes de energía eléctrica.
- Evitar que coincidan los momentos de necesidad de producción de ACS con los de máxima demanda del sistema de calefacción.

4.8.3.12. Conexiones eléctricas

Se requiere el aumento de la potencia eléctrica del suministro correspondiente.

La potencia eléctrica nominal absorbida por cada bomba de calor *inverter* es de 16,35 kW, y su máxima es de 32,7 kW por unidad, por lo que, en este caso, el aumento de la potencia contratada debe ser de, al menos, 65,4 kW, dándose este consumo máximo en las peores condiciones de temperatura exterior, dada la tecnología específica de esta bomba de calor.

Por regla general, deberá valorarse si es necesaria una reforma de la acometida del edificio o si, por el contrario, puesto que habitualmente el consumo del edificio se encuentra durante el 90% del tiempo de uso muy por debajo de la potencia máxima contratada, ya que la simultaneidad de cargas debidas al consumo de los usuarios es muy baja, es posible optimizar el uso de la acometida actual y, por ejemplo, mediante el control de los consumos del edificio, integrar funciones como la activación de la caldera en los momentos de máximo consumo eléctrico, desactivando momentáneamente una o ambas bombas de calor.

A la potencia a consumir por la bomba de calor, deberá añadirse la potencia eléctrica correspondiente al bombeo y el resto de elementos que consuman electricidad y estén conectados al mismo punto de suministro. En general, este incremento de potencia, ya con el uso de bombas de alta eficiencia (necesarias por el número de horas de trabajo y sistema de control), suele ser inferior al 5% de la potencia total consumida por la bomba de calor.

4.8.3.13. Nivel sonoro

Es conveniente la instalación de una bancada flotante sobre la que se ubiquen las bombas de calor para evitar la transmisión de vibraciones de las máquinas a través de la estructura del edificio.

Por su parte, también se debe tener en cuenta el ruido ambiental que pudieran generar y realizar un estudio acústico para comprobar que se cumple con la ordenanza municipal correspondiente sobre ruido ambiente. Para ello, es posible que se requieran soluciones de apantallamiento e insonorización adicionales.

Energía renovable

4.8.3.14. En calefacción

Del rendimiento calculado en condiciones climáticas medias, para la demanda de energía prevista por bomba de calor, se obtienen los datos de la tabla 4-78.

Residencial colectivo – CAL+ACS 75 viviendas, 80 m ² , (3 dormitorios). Zona climática D						
Demanda de energía de calefacción	Factor de cobertura prevista, a cubrir por la bomba de calor, sobre la demanda anual de energía	Q _{usable}	η _s en condiciones climáticas medias en calefacción y calculada a temperatura de impulsión, 60 °C	SCOP	E _{RES}	%
a	b	c = a x b	d	e = (d x 2,5) + (0,03 x 2,5)	f = c x (1-1/e)	g = f/a
kWh/año	%	kWh/año	%		kWh/año	
661.638	66%	436.681	116%	2,93	287.643	43%

Tabla 4-78. Caso tipo 4. Energía renovable en calefacción

En ACS

Residencial colectivo – CAL+ACS 75 viviendas, 80 m ² , (3 dormitorios). Zona climática D			
SCOP _{dhw}	Q _{usable}	E _{RES}	% energía renovable
Valor	kWh/año	kWh/año	%
2,61	192.214	118.569	61,69%

Tabla 4-79. Caso tipo 4. Energía renovable en ACS

Resultados y conclusión

A partir de los datos anteriores, se muestra una comparativa entre los sistemas analizados en las tablas 4-80 y 4-81.

Caso tipo cuatro: residencial colectivo – CAL+ACS 75 viviendas, 80 m ² , (3 dormitorios). Zona climática D3								
Demanda de energía térmica		Referencia	Caldera natural	Gasóleo	Sistema híbrido GN	Variación con respecto a la instalación original	Sistema híbrido gasóleo	Variación con respecto a la instalación original
Calefacción	kWh/año	a	585.000	585.000	661.638	13%	661.638	13%
ACS	kWh/año	b	192.214	192.214	192.214	0%	192.214	0%
Total	kWh/año	A = a + b	777.214	777.214	853.852	10%	853.852	10%
Consumo de energía final		Referencia	Gas natural	Gasóleo	Bomba de calor y GN	Variación	Bomba de calor y gasóleo	Variación
Rendimiento del generador en calefacción		c	0,92	0,86	2,93		2,93	
Rendimiento del generador en ACS		d	0,92	0,86	2,61		2,61	
Calefacción (caldera)	kWh/año	Caldera: e = a/c Híbrido: e = 0,33 * a/c	635.870	680.233	237.327		253.884	
Calefacción (bomba de calor)	kWh/año	Híbrido: f = 0,67 * a/c			151.296		151.296	
Total, calefacción	kWh/año	g = e + f	635.870	680.233	388.623	-39%	405.180	-40%
ACS	kWh/año	h	208.928	223.505	73.645	-65%	73.645	-67%
Total, ACS y calefacción	kWh/año	B = g + h	844.798	903.737	462.268	-45%	478.826	-47%
Consumo de energía primaria		Referencia	Gas natural	Gasóleo	Energía eléctrica y GN	Variación	Energía eléctrica y gasóleo	Variación
Coeficiente E. primaria (Cep)	kWh Ep/kWh	i	1,195	1,182	2,368		2,368	
Calefacción (caldera)	kWh Ep/año	j = e x i	759.864	804.035	283.605		300.091	
Calefacción (bomba de calor)	kWh Ep/año	k = f x i			358.269		358.269	
Total, calefacción	kWh Ep/año	l = j + h	759.864	804.035	641.874	-16%	658.360	-18%
ACS	kWh Ep/año	m = h x i	249.669	264.182	174.392	-30%	174.392	-34%
Total, ACS y calefacción	kWh Ep/año	C = i + m	1.009.533	1.068.217	816.266	-19%	832.752	-22%

Tabla 4-80. Caso tipo 4. Residencial colectivo. Sistema híbrido – CAL+ACS 75 vivienda. Tabla I

			Caldera natural	Gasóleo	Sistema híbrido GN		Sistema híbrido gasóleo	
Emisiones de CO ₂		Referencia	Gas natural	Gasóleo	Energía eléctrica y GN	Variación	Energía eléctrica y gasóleo	Variación
Coefficiente emisiones CO ₂	kg CO ₂ /kWh	o	0,252	0,311	0,331		0,331	
Calefacción (caldera)	kg CO ₂ /kWh	p = e x o	160.239	211.552	59.806		78.958	
Calefacción (bomba de calor)	kg CO ₂ /kWh	q = f x o			50.079		50.079	
Total, calefacción	kg CO ₂ /kWh	r = p + q	160.239	211.552	109.885	-31%	129.037	-39%
ACS	kg CO ₂ /kWh	s	52.650	69.510	24.377	-54%	24.377	-65%
Total, ACS y calefacción	kg CO ₂ /kWh	D = r + s	212.889	281.062	134.262	-37%	153.414	-45%
Superficie	m ²	S	6.000,0	6.000,0	6.000,0		6.000,0	
Ratio kgCO ₂ /m ²	kg CO ₂ /m ²	RCO ₂ = S/D	35,5	46,8	22,4		25,6	
Clasificación energética, en cuanto a las emisiones de CO ₂			E	E	D		D	
Consumo de energía primaria no renovable		Referencia	Gas natural	Gasóleo	Energía eléctrica	Variación	Energía eléctrica	Variación
Coefficiente E. primaria no renovable (Cep _{nr})	kWh Eprnr/kWh	u	1,19	1,182	1,954		1,954	
Calefacción (caldera)	kWh Eprnr/año	v = e x u	756.685	804.035	282.419		300.091	
Calefacción (bomba de calor)	kWh Eprnr/año	w = f x u			295.633		295.633	
Total, calefacción	kWh Eprnr/año	s = v + w	756.685	804.035	578.051	-24%	595.724	-26%
ACS.	kWh Eprnr/año	y	248.625	264.182	143.903	-42%	143.903	-46%
Total, ACS y calefacción	kWh Eprnr/año	E = s + y	1.005.309	1.068.217	721.954	-28%	739.627	-31%
Superficie	m ²	S	6.000,0	6.000,0	6.000,0		6.000,0	
Ratio Eprnr/m ²	kWh Eprnr/m ²	Eprnr=E/S	167,6	178,0	120,3		123,3	
Clasificación energética del edificio por consumo de Eprnr			E	E	C		C	
Emisiones NOx			Gas natural	Gasóleo	Gas natural	Variación	Gasóleo	Variación
Coefficiente	gr NOx/kW	z	171,2	126,7	171,2		126,7	
Calefacción (caldera)	Kg NOx/año	F = B x z (caldera); F = e x z (híbrido)	144.629	114.504	40.630	-72%	32.167	-72%

Tabla 4-81. Residencial colectivo. Sistema híbrido – CAL+ACS 75 vivienda. Tabla II

El caso tipo analizado nos muestra que la hibridación de bombas de calor junto con las calderas existentes en el edificio para abastecer las necesidades de calefacción y ACS reduciría considerablemente la energía final consumida, así como las emisiones de CO₂ debidas a esos usos.

Dependiendo de los precios de la energía (gas/gasóleo y electricidad) y del coste de inversión de los equipos, se considera que el plazo de amortización de la opción con la caldera de gas natural existente podría estar entre 10 y 13 años y, para la opción de hibridación si la instalación existente es una caldera de gasóleo, entre 7 y 9 años. Existen ayudas para la instalación de equipos que usen energías renovables, por lo que, si estimamos una ayuda aproximada del 40% sobre coste de inversión, dicho plazo de amortización podría verse reducido entre 3 y 5 años.

Paralelamente, hay que valorar adecuadamente la necesidad de aumentar la potencia eléctrica contratada al instalar un nuevo equipo consumidor para todo el edificio. Igualmente, sería recomendable, si las condiciones del edificio y la cubierta lo permiten, instalar un sistema de autoconsumo colectivo que abastezca las necesidades de la bomba de calor, consiguiendo de esta manera ahorros todavía mayores.

Es de destacar también la reducción considerable de las emisiones de NOx del sistema híbrido analizado.

4.9. Caso-tipo 5: residencial colectivo, 48 viviendas, - ACS - B3 (CTE)/cálido (SHARES). Cambio de caldera por bomba de calor (ACS)

Situación de partida	Solución planteada	Ahorros
<ul style="list-style-type: none"> • Caldera gas natural • 90% para ACS • Tanque de 1.500 litros 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 x BC aire-agua, 30 kW, de producción instantánea de ACS a alta temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> • 73% menos E. final • 47% menos Ep • 65% menos Kg CO₂

Condiciones previas que deben valorarse/barreras

- Estado de la instalación, patologías hidráulicas previas, aislamientos, etc.
- Estado del acumulador instalado.
- Perfil de consumo y demanda real de ACS.
- Control de la instalación y estrategia.
- Espacio físico disponible para los depósitos, accesorios, inercia, peso, etc.
- Espacio físico disponible para la unidad exterior, nivel de ruido, peso, etc.
- Revisión de la potencia eléctrica contratada.
- Coste y amortización.

Otras soluciones viables para este caso tipo

- Si la caldera permanece para calefacción, preparar la instalación para suministrar ACS con caldera, en puntas de consumo, o en caso de avería.
- Hibridación con energía fotovoltaica para autoconsumo.

4.9.1. Descripción del edificio y necesidades de ACS

Se trata de una vivienda colectiva, en zona B3 (Valencia), que consta de 48 viviendas, 24 de 2 dormitorios y 24 de 3 dormitorios. La instalación de ACS cuenta con una caldera de gas natural centralizada, de 180 kW cuyo rendimiento es del 90%. El sistema dispone de un tanque de acumulación de 1.500 litros.

		Caldera GN
Demanda de ACS + Pérdidas	kWh/año	99.561
Rendimiento generador	%	90
Energía final consumida	kWh/año	110.623

Tabla 4-82. Caso tipo 4. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Demanda de energía.

Esquema de principio de la instalación existente

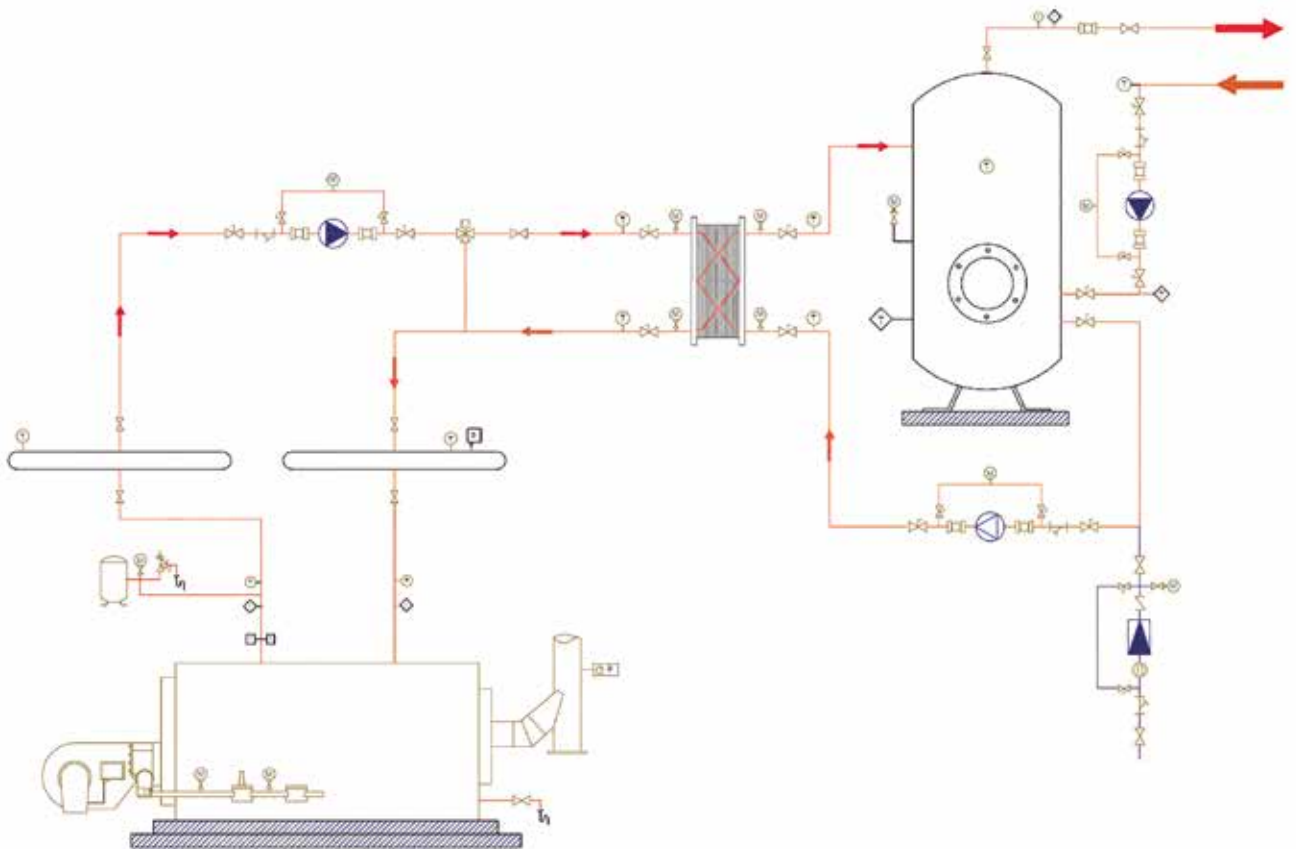


Gráfico 4-43. Caso tipo 5. Centralizada. Bomba de calor de producción instantánea de ACS. Esquema de la instalación existente

4.9.2. Descripción del sistema propuesto

Se propone el cambio del generador de ACS centralizado existente por una bomba de calor aire-agua de alta temperatura de producción de ACS instantánea, mediante ciclo termodinámico de CO₂, manteniendo la centralización del sistema para la distribución de ACS. Estos sistemas de bomba de calor por CO₂ permiten producciones de agua caliente entre 60 y 90 °C de forma instantánea.

4.9.2.1. Obras necesarias

Las obras necesarias serían, al menos, las especificadas en la tabla 4-83.

Obras a realizar	Situación actual	Nueva situación instalación	Albañilería
Unidad exterior		Terraza/azotea. Desagüe bomba de calor	Canalización de los condensados al desagüe de la terraza/azotea
Tuberías hidráulicas		Por fachada de la terraza oculta en canaleta hasta la conexión con el circuito actual	Remates de pasos de tubos por fachada y asilamiento de tuberías
Deposito/acumulador de ACS	--	Depósito/acumulador de ACS en cuarto de calderas	--
Caldera	Cuarto de calderas	Se elimina	Remates para eliminar la salida de chimenea
Mando ambiente de caldera		Se sustituye por el mando ambiente de la bomba de calor	Remate
Conducciones e instalaciones eléctricas	Empotrada	Vista (canaleta)	Instalación de alimentación unidad exterior

Tabla 4-83. Caso tipo 5. Obras necesarias

4.9.2.2. Dimensionamiento de la bomba de calor

4.9.2.2.1. Cálculo de la demanda de ACS

De acuerdo con la distribución de los dormitorios de estas 48 viviendas, al aplicar el método de cálculo indicado en el documento HE 4 del CTE, se obtiene que el número de personas en el edificio es de 168 y que el factor de centralización es de 0,85, por lo que la demanda de litros al día, a 60 °C sería:

$$\text{Demanda litros/día} = 168 \times 28 \times 0,85 = 3.998 \text{ l/d a } 60^\circ\text{C}.$$

La demanda de energía anual para suministrar todo el ACS es de 77.035 kWh/año.

4.9.2.2.2. Caudales simultáneos

Para calcular los caudales simultáneos se suman los de todos los aparatos del edificio, aplicando un coeficiente de simultaneidad de uso, ya que no todos los aparatos de un mismo edificio se utilizan al mismo tiempo.

Cada vivienda cuenta con 8 aparatos consumidores de ACS, repartidos en:

- Cocina (fregadero, lavadora y lavavajillas).
- Baño (bañera, lavabo, bidé e inodoro).
- Aseo (ducha, lavabo e inodoro).

Siguiendo la metodología expuesta en la *Guía técnica de agua caliente sanitaria central* (IDAE), el cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$Q_c = A \cdot (Q_T)^B + C$$

Siendo:

- Q_c : caudal simultáneo de cálculo (l/s).
- Q_T : caudal total, suma de todos los aparatos del edificio (l/s).
- A, B y C: coeficientes que dependen del tipo de edificio, de los caudales totales del edificio y de los caudales máximos por aparatos.
- En la tabla 02 de la citada guía se dan los coeficientes (A, B y C) para cada tipo de edificio.

Cálculo del caudal total en el edificio (Q_T)

Para hallar el caudal total en el edificio, en primer lugar, calculamos el caudal máximo por vivienda (véase tabla 4-84).

Zonas y locales		ACS		
		Aparatos	Unitario	Total
Cocina	Fregadero	1	0,1	0,1
	Lavadora	1	0,15	0,15
	Lavavajillas	1	0,1	0,1
	Total, cocina	3	–	0,35
Baño	Bañera >1,40 m	1	0,2	0,2
	Lavabo	1	0,065	0,065
	Bidé	1	0,065	0,06
	Inodoro con cisterna	–	–	–
	Total, baño	3	–	0,33
Aseo	Ducha	1	0,1	0,1
	Lavabo	1	0,065	0,065
	Inodoro con cisterna	–	–	–
	Total, aseo	2	–	0,165
Total, vivienda		8	–	0,845

Tabla 4-84. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Caudales instantáneos

En cada vivienda se dispone de 8 aparatos consumidores de ACS, con un total de 0,845 l/s; el aparato de mayor caudal es la bañera, con 0,2 l/s, con lo que, para 48 viviendas, el caudal total del edificio será de:

- Caudal total por vivienda
 - según los elementos instalados en ella= 0,845 l/s.
- Caudal total en el edificio
 - $Q_T = 48 \times 0,845$; $Q_T = 40,56$ l/s.

Cálculo del caudal simultáneo Q_c (l/s)

De los datos anteriores y al aplicar los coeficientes A, B y C para un caudal total $Q_T > 20$ l/s, los coeficientes para vivienda se relacionan en la tabla 4-85.

Tipo de edificio	Caudales (l/s)		Coeficientes		
	Q_u	Q_T	A	B	C
Viviendas	<0,5	≤ 20	0,682	0,45	-0,14
	$\geq 0,5$	≤ 1	1	1	0
	$\geq 0,5$	≤ 20	1,7	0,21	-0,7
	Sin límite	>20	1,7	0,21	-0,7

Tabla 4-85. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Coeficientes

Y de la expresión anterior; $Q_c = A \cdot (Q_T)^B + C$, obtenemos que el caudal simultáneo es:

$$Q_c \text{ (l/s)} = 1,7 \times 40,56^{0,21} - 0,7 = 3,0 \text{ l/s.}$$

4.9.2.2.3. Potencia de la bomba de calor

A la hora de dimensionar cualquier generador para ACS, se debe de tener en cuenta que es la suma de la producción y la acumulación la que debe ser suficiente para cubrir la energía demandada, en la punta de máximo consumo como a lo largo del día, con el concepto de «a menor volumen, mayor potencia» y viceversa.

La bomba de calor elegida para esta instalación es una bomba de calor de CO₂ de producción de ACS instantánea.

4.9.2.2.3.1. Fórmula de cálculo

La potencia necesaria a cubrir por la bomba de calor a instalar resultará de la expresión:

$$P_{BdC} = [Q_{punta} \times (T_{ACS} - T_{AFCH}) - V_{acumulación} \times (T_{acumulación} - T_{AFCH}) \times F_{uso\ acumulación}] \times 1,16 / \eta_{prdACS}$$

Siendo:

- P_{BdC} : potencia de la bomba de calor (W).
- Q_{punta} : caudal punta (l).
- T_{ACS} : temperatura de utilización del ACS (°C).
- T_{AFCH} : temperatura del agua de red (°C).
- $V_{acumulación}$: volumen total de los depósitos (l).

- $T_{\text{acumulación}}$: temperatura de acumulación del agua (°C).
- $F_{\text{uso acumulación}}$: factor de uso del volumen de acumulación.
- 1,16 : Calor específico del agua (W h / l °C)
- η_{prdACS} : rendimiento del sistema de producción de ACS.

4.9.2.2.3.1.1 Cálculo del caudal Punta (Q_{punta})

La dificultad principal para la resolución de la ecuación anterior quizá estribe en conocer el caudal punta, tanto en valor como en duración, para lo cual no existen datos oficiales publicados ni normas establecidas. Hay que tener en cuenta que incluso dos edificios iguales en el mismo emplazamiento y con la misma ocupación, no tienen los mismos perfiles de consumo ni los mismos caudales punta. Por este motivo, debe partirse siempre de hipótesis conservadoras.

En este caso, a falta de más información y para edificios de vivienda, de partida puede considerarse que el consumo punta tendrá la duración de una hora y que el volumen de agua extraída, dentro de esta hora, será el del 50% de la demanda de agua diaria media, a la temperatura prevista.

En este caso, el consumo hora punta (Q_{punta}), sería el siguiente:

$$Q_{\text{punta}} = 3.998 \times 0,5 = 1.999 \text{ l.}$$

4.9.2.2.3.1.2 Dimensionamiento del acumulador de ACS

La instalación actual dispone de un acumulador de 1.500 litros, que sustuiremos por un nuevo acumulador de 2.000 litros, que cubrirá el 100% del consumo punta del edificio.

4.9.2.2.3.1.3 Cálculo del rendimiento del sistema de producción

El rendimiento del sistema de producción de ACS indica cuánto de eficiente es el sistema en su conjunto, demanda y pérdidas, donde la demanda de ACS es la considerada en el edificio y las pérdidas se reparten en tres capítulos:

Pérdidas estáticas

Se calcula que las pérdidas estáticas en los depósitos de ACS, por el espesor, tipo de aislamiento y ubicación de los depósitos, son de 154 W. Esto hace una pérdida de energía diaria de:

$$154\text{W} \times 24\text{h/día} = 3,696 \text{ kWh/día.}$$

Pérdidas por el anillo de recirculación

- Se comprueba *in situ* que la bomba de recirculación de ACS tiene las siguientes características. Caudal constante, 24 h, de 1.080 l/h.
- La diferencia de temperatura entre la salida de ACS de los depósitos y la temperatura de la tubería de retorno de ACS es de 2 °C.

Por lo que, a partir de estos datos, calculamos las pérdidas de energía diaria y mensual.

Con el fin de unificar unidades, realizamos en primer lugar la conversión de las unidades de calor específico de J a kW·h (véase tabla 4-86).

Calor específico Agua a 60 °C (C_p)	Definición de vatio	Tiempo	Factor de conversión De kJ a kWh	Calor específico agua a 60 °C (C_p)
$C_p = J/K \cdot kg$	W	1 hora	J a kWh	kWh/K · kg
4.185	1 W = 1 J · s	1h = 3.600 s	4.185 J * 1h/3.600 s x 1000	0,0011625

Tabla 4-86. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Conversión unidades

Por lo que las pérdidas por recirculación serían las que se observan en la tabla 4-87.

Magnitud	Instalación		Datos agua a 60 °C		Pérdidas por recirculación de ACS	
	Caudal V	Δt	Densidad ρ	Calor específico (C_p)	Potencia $P = (V \cdot \rho) \cdot C_p \cdot \Delta t$	Energía/día = $P \times 24$ h/día
Unidades	m ³ /h	K	kg/m ³	kWh/K · kg	kW	kWh/día
Valores	1,08	2	983,13	0,0011625	2,47	59,25

Tabla 4-87. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Pérdidas por recirculación

En el mes más deficitario, enero, se consideraría un porcentaje de pérdida de energía de:

	ENE
Días	31
Pérdidas	1.836,67
Demanda	7.206,48
%	25,49%

Tabla 4-88. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. % de pérdidas anuales

A falta de medición de saltos térmicos mensuales, para los cálculos de este ejemplo se toma este porcentaje de pérdidas de 25,49% como lineal, para todos los meses del año.

Pérdidas por distribución (conducción)

Se estima un 2% de la demanda total de energía demandada en ACS, por lo que el rendimiento del sistema de producción, anual en ACS, sería, en porcentaje:

$\eta_{\text{prdACS}} = (\text{Demanda anual de energía en ACS} / \text{demanda total de la instalación, incluidas las pérdidas}) * 100$

$$\eta_{\text{prdACS}} = (77.035 / 99.561) * 100 = \mathbf{77.37\%}$$

Factor de uso del acumulador ($F_{\text{uso acumulación}}$)

El factor de uso del acumulador indica la influencia de la geometría del depósito ACS (capacidad de estratificación) en la disponibilidad real de ACS a la temperatura deseada. El factor de uso del volumen de acumulación ($F_{\text{uso acumulación}}$) del depósito se calcula según la fórmula:

$$F_{\text{uso acumulación}} = 0,63 + 0,14 \times H/D.$$

Siendo:

- H: altura del depósito.
- D: diámetro del depósito.

Para el nuevo depósito elegido de 2.000 l, estos valores son: H = 2.280 mm y D = 1.360 mm, por lo que el factor de uso de acumulador sería:

$$F_{\text{uso acumulación}} = 0,86.$$

A mayor relación entre la altura y el diámetro, mejor factor de uso.

4.9.2.2.4. Resultado del cálculo

A partir de las anteriores premisas y tomando T_{AFCH} (temperatura de agua fría) con el valor de la temperatura de agua de red más fría de todos los meses (10 °C para el mes de enero) y 60 °C de temperatura de acumulación y suministro, se calcula la potencia necesaria de la bomba de calor a instalar:

$$P_{\text{Bdc}} = [Q_{\text{punta}} \times (T_{\text{ACS}} - T_{\text{AFCH}}) - V_{\text{acumulación}} \times (T_{\text{acumulación}} - T_{\text{AFCH}}) \times F_{\text{uso acumulación}}] \times 1,16 / \eta_{\text{prdACS}}$$

$$P_{\text{Bdc}} = [((1999 \times (60 - 10)) - ((2000 \times (60 - 10)) \times 0,86) \times 1,16 / 0,7737] = 20,965 \text{ kW.}$$

Donde el tiempo de calentamiento del depósito es de 7,2 horas.

Según estos resultados, la potencia necesaria es de 21 kW, por lo que, con base en los modelos disponibles en el mercado, se decide proponer la instalación de una unidad bomba de calor aire-agua de 30 kW, accionada por electricidad. La bomba de calor se selecciona para una temperatura de producción instantánea de ACS a 60 °C y para las condiciones más desfavorables en la localidad de proyecto.

4.9.2.3. Selección de la potencia de la bomba de calor

Temperatura exterior de selección de la bomba de calor:

En la localidad estudiada en este caso, Valencia, se considera una temperatura exterior seca de 0,3 °C y un 73,1% de humedad relativa, por lo que la temperatura de bulbo húmedo será de -1,2 °C.

En cumplimiento del punto «1.2.4.1.3.3 Maquinaria frigorífica enfriada por aire» del RITE, se obtiene la siguiente temperatura de cálculo del equipo:

TSC (99%)	HUMcoin	Temperatura de entrada de aire a la unidad exterior a la que esta debe aportar la potencia necesitada en el edificio	Potencia necesaria en el edificio
0,3 °C	73,1%	-1,2 -2 = -3,2 °C	21 kW

Tabla 4-89. Caso tipo 5. Centralizada. Bdc de producción instantánea de ACS. Cálculo de la temperatura exterior para la selección de la bomba de calor

La temperatura exterior de cálculo de la bomba de calor, para aportar la potencia necesitada, será de -3,2 °C.

Tabla de selección de la bomba de calor

Para el cálculo de la potencia de esta bomba de calor de CO₂ de alta temperatura, de producción instantánea en ACS, es necesario conocer la temperatura de agua de red que será la de la entrada al intercambiador de la bomba de calor. En este caso, la temperatura mínima de entrada de agua de red es de 10 °C.

Según las tablas de potencia y rendimientos del fabricante, la potencia para la producción de ACS a 60 °C es que se muestra en la tabla 4-90.

Hot water outlet temperature: 60 °C		Heating capacity	Power consumption	COP
Feed water temperatura	Outdoor air temperature	kW	kW	–
5 °C	25 °C	30.0	5.38	5.58
	16 °C	30.0	6.02	4.98
	7 °C	30.0	7.05	4.26
	2 °C	30.0	9.93	3.02
	-7 °C	30.0	10.42	2.88
	-10 °C	28.5	10.22	2.79
	-20 °C	24.0	9.51	2.52
	-25 °C	21.0	8.91	2.36
17 °C	25 °C	30.0	6.16	4.87
	16 °C	30.0	6.82	4.40
	7 °C	30.0	7.91	3.79
	2 °C	30.0	10.72	2.80
	-7 °C	30.0	11.28	2.66
	-10 °C	28.5	11.08	2.57
	-20 °C	24.0	10.39	2.31
	-25 °C	21.0	9.80	2.14

Tabla 4-90. Caso tipo 5. Centralizada. Bdc de producción instantánea de ACS. Capacidad de la bomba de calor

En ausencia en el catálogo del dato para una entrada de agua fría a 10 °C, se realiza una interpolación entre los dos más cercanos, de la que se obtiene los datos resultantes en la tabla 4-91.

	TAF	Text	Potencia disponible	Consumo	COP
	°C	°C	kW	kW	--
Catálogo	5	2	30	9,93	2,88
Cálculo	5	-3,4	30	9,98	2,87
Catálogo	5	-7	30	10,42	2,79
Cálculo	10	14	30	8,98	3,34
Cálculo	10	2	30	10,00	2,87
Cálculo	10	-3,4	30	10,05	2,86
Cálculo	10	-7	30	10,49	2,78
Catálogo	17	2	30	10,72	2,8
Cálculo	17	-3,4	30	10,78	2,78
Catálogo	17	-7	30	11,28	2,66

Tabla 4-91. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Capacidad a 60°C de producción de ACS

Por lo que, para la temperatura exterior de -3,4 °C, agua de red a 10 °C y temperatura de producción de 60 °C, el equipo dispone de una potencia instantánea de producción de ACS de 30 kW, un consumo estimado de 10 kW y un COP de 2,86. Esta potencia, 30 kW, cubre las necesidades del edificio, 21 kW, según el volumen de acumulación previsto.

4.9.2.4. Respuesta del acumulador

El control del sistema permite medir la estratificación vertical del acumulador de ACS, gracias a su construcción y a la disposición de varios sensores en varias posiciones del acumulador, por lo que es posible parar la bomba de calor durante las horas en las que no es necesario que esté en marcha, si existe suficiente energía acumulada, controlada desde el mando del equipo.

Además, el rendimiento de este modelo de bomba de calor en concreto, que calienta ACS de manera instantánea, por su tecnología, es máximo cuanto más fría está el agua que entra en la bomba de calor, por lo que este control de la estratificación es también necesario de cara a optimizar el rendimiento del equipo.

En función del perfil de consumo simulado para este bloque de viviendas en particular se calcula la respuesta de la bomba de calor, con los periodos de parada de la bomba de calor previstos (véase gráfico 4-44).

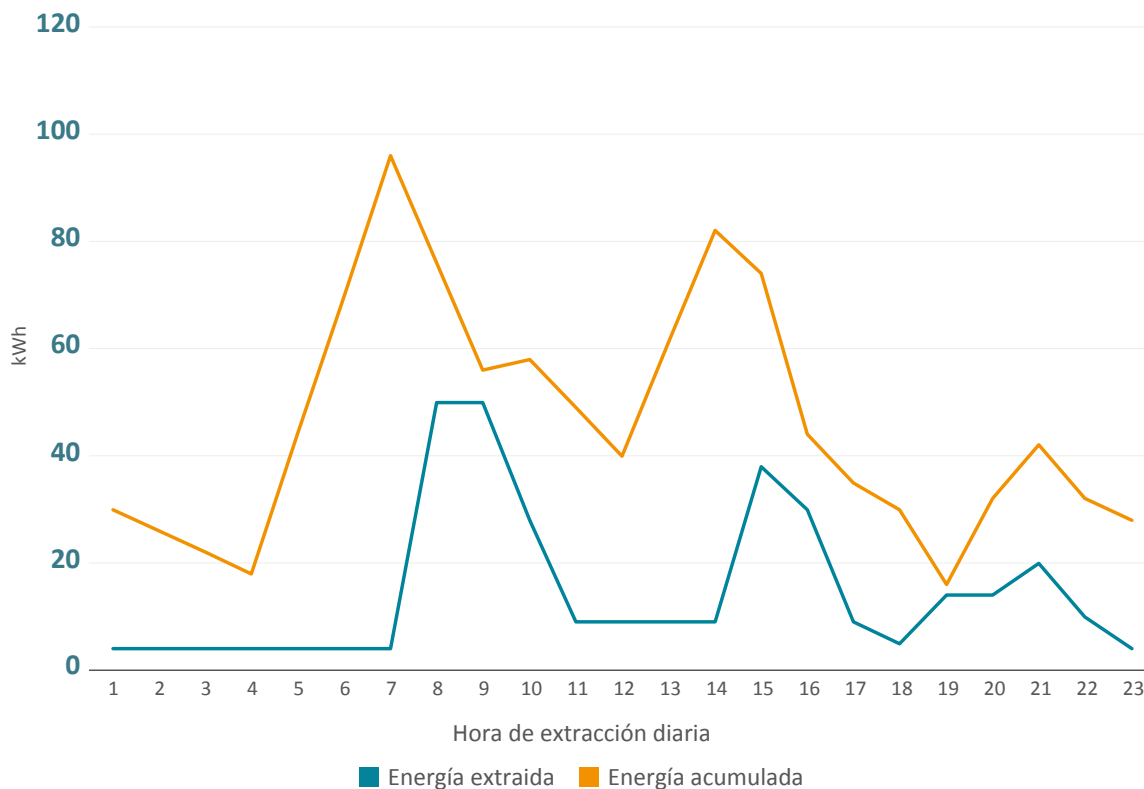


Gráfico 4-44. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. bomba de calor ON-OFF y producción

En este perfil, la bomba de calor se pone en marcha a las 4:00 de la mañana y se para a las 21:00 h, con funcionamientos intermitentes a lo largo del día. La energía acumulada es siempre superior a la demanda, por lo que el acumulador permanece siempre con la parte superior a la temperatura de consigna, gestionado por el sistema de control de estratificación.

La producción instantánea de este modelo de bomba de calor es de 500 litros de ACS a 60 °C por hora, por lo que se dispone de capacidad de respuesta en caso de variaciones en el perfil de un consumo.

4.9.2.5. Frecuencias de repetición

Para la localidad considerada, Valencia, las frecuencias de repetición y las horas acumuladas de temperatura exterior prevista serían las que se muestran en el gráfico 4-45.

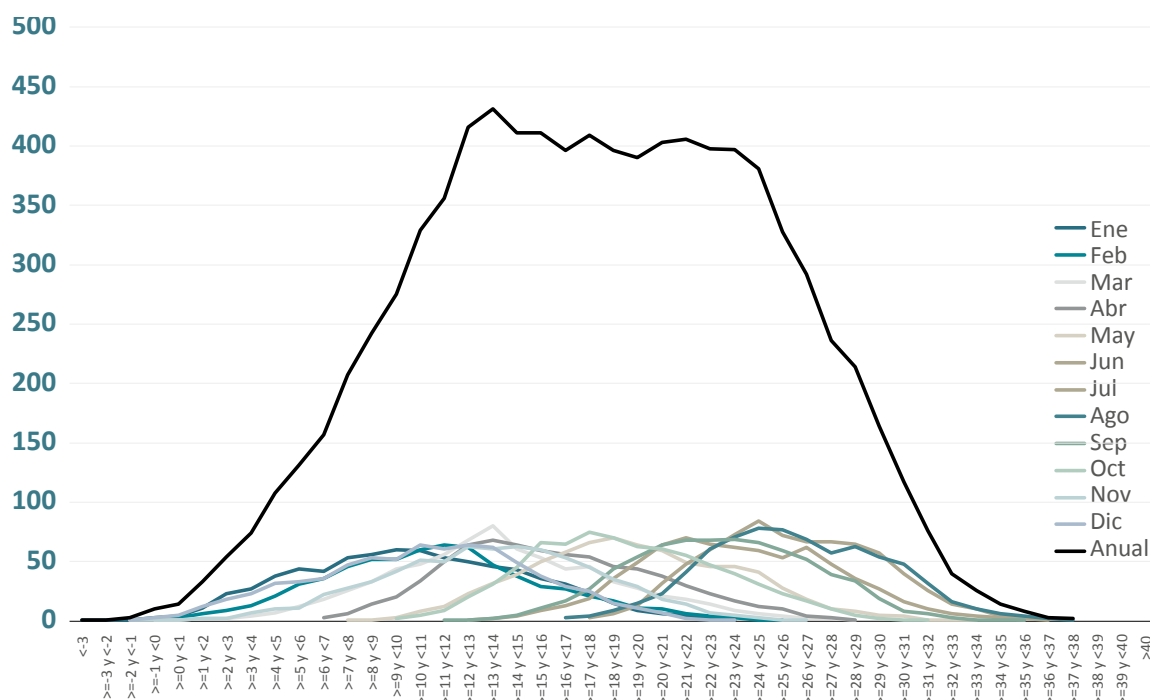


Gráfico 4-45. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Frecuencias de repetición. Valencia. Fuente: Programa «Frecuencias» (IDAE)

4.9.2.6. Emplazamiento de los equipos

La bomba de calor irá ubicada en cubierta, mientras que el acumulador de 2.000 litros seguirá ubicado en planta sótano.

Respecto al emplazamiento, se comprueban los espacios mínimos necesarios para su correcto funcionamiento y mantenimiento (véase gráfico 4-46).

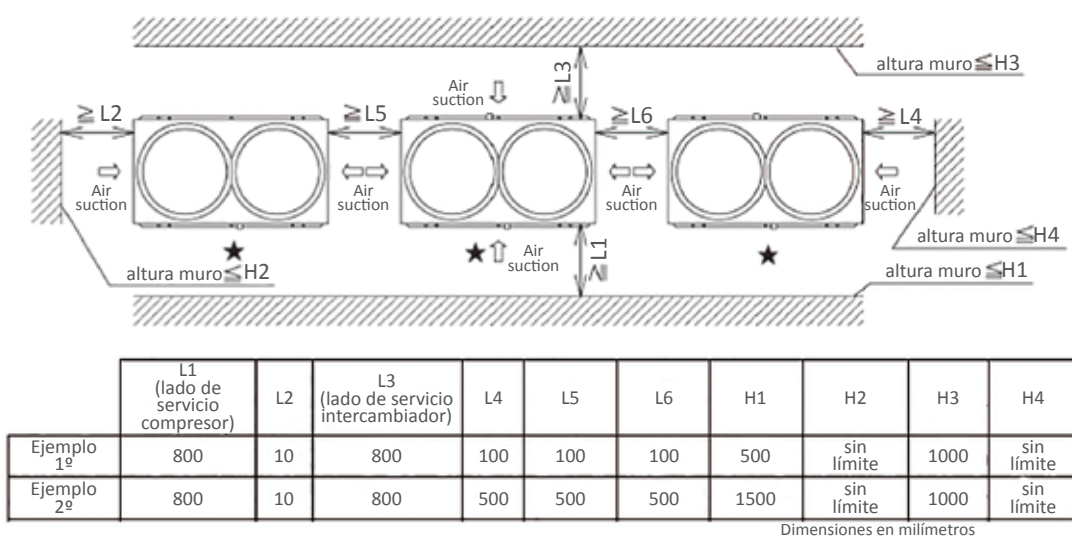


Gráfico 4-46. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Distancias mínimas de instalación a otros equipos o paredes. Debe evitarse la recirculación de aire

En nuestro caso tipo existe una diferencia de altura vertical entre la cubierta y el sótano de 15 metros (edificio de 5 alturas aproximadamente), una distancia horizontal en cubierta de 5 metros, y en sala de calderas hasta los tanques de 10 metros. Por lo tanto, la longitud total de tubería entre la bomba de calor y el depósito acumulador son unos 60 metros (ida más retorno).

El modelo de bomba de calor seleccionado incorpora una bomba circuladora de agua de tipo *inverter*, cuyo caudal máximo es de 1.020 l/h. La tubería principal se estima que será de 28 mm de diámetro exterior con 1,2 mm de pared. Para el diámetro interior resultante, el material de la tubería, teniendo en cuenta el resto de elementos (codos, llaves, etc.), se estima una pérdida de carga de unos 4 m.c.a (40 kPa aproximadamente).

La pérdida de carga máxima que puede vencer la bomba hidráulica integrada en este modelo concreto de bomba de calor es de 49 kPa para el caudal indicado, por lo que la bomba circuladora que lleva incorporada la propia bomba de calor es válida para este proyecto y puede ejecutarse la tubería en el diámetro previsto.

Los aislamientos de las tuberías y demás elementos deben cumplir lo indicado en el *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)*.

4.9.2.7. Regulación y control

El equipo seleccionado dispone de un sistema de control formado por un mando y las sondas de temperatura a repartir por el tanque, de forma que el sistema controle la acumulación horaria programada.

Desde el mando se programará el perfil de acumulación según la curva horaria de demanda del edificio, teniendo en cuenta la acumulación y la producción instantánea del equipo (unos 500 l/h a 60 °C directamente a consumo).

Los equipos dispondrán de salidas libres de tensión para indicar funciones de error y funcionamiento, así como de entradas disponibles libres de tensión para las de paro de emergencia, activación de modo legionela y marcha/paro.

4.9.2.8. Esquema de principio

El esquema de principio de la instalación se representa en el gráfico 4-47, con producción instantánea de ACS desde la bomba de calor, temperatura de entrada a la bomba de calor de 10 °C y 60 °C de temperatura de salida mínima de la bomba de calor.

Esquema de la instalación (Véase gráfico 4-47).

4.9.2.9. Conexiones eléctricas

La bomba de calor deberá contar con estas secciones de cable y protecciones:

Modelo unidad exterior	consumo eléctrico máximo (A)	Fuente de alimentación	Sección mínima de cable (mm ²) *	Longitud de cable máxima en metros para la sección indicada	Cable de tierra mm ²	Magneto térmico (A)	Diferencial (mA)
Bomba de calor	21	trifásica 380/415 v 50 hz	10	74	10	32	300

[* CAÍDA TENSIÓN MÁXIMA ADMISIBLE: 2%]

Tabla 4-92. Caso tipo5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Sección del conductor eléctrico, tensión e intensidad consumida

Como se ha indicado en el caso tipo uno, la sección de conductor y sus protecciones deben cumplir lo indicado en el REBT, tabla 1 de La ITC-BT-14.

4.9.3. Balance de energía renovable en ACS

4.9.3.1. Cálculo simplificado

La demanda total de energía para la producción de ACS, según la tabla de resultados, es de 99.561 kWh (incluyendo pérdidas), y queda cubierta por la bomba de calor.

El valor de COP en ACS es de 3,34 a la temperatura de aire exterior de 14 °C, valor que puede asimilarse como el SCOP en ACS en condiciones climáticas cálidas. Así, la cantidad de energía renovable será:

$$ERES = 99.561 \times (1 - 1/3,34) = 69.752 \text{ kWh.}$$

Comparando este resultado con la demanda de 99.561 kWh, la energía procedente de fuentes renovables supone un 70,06% de contribución.

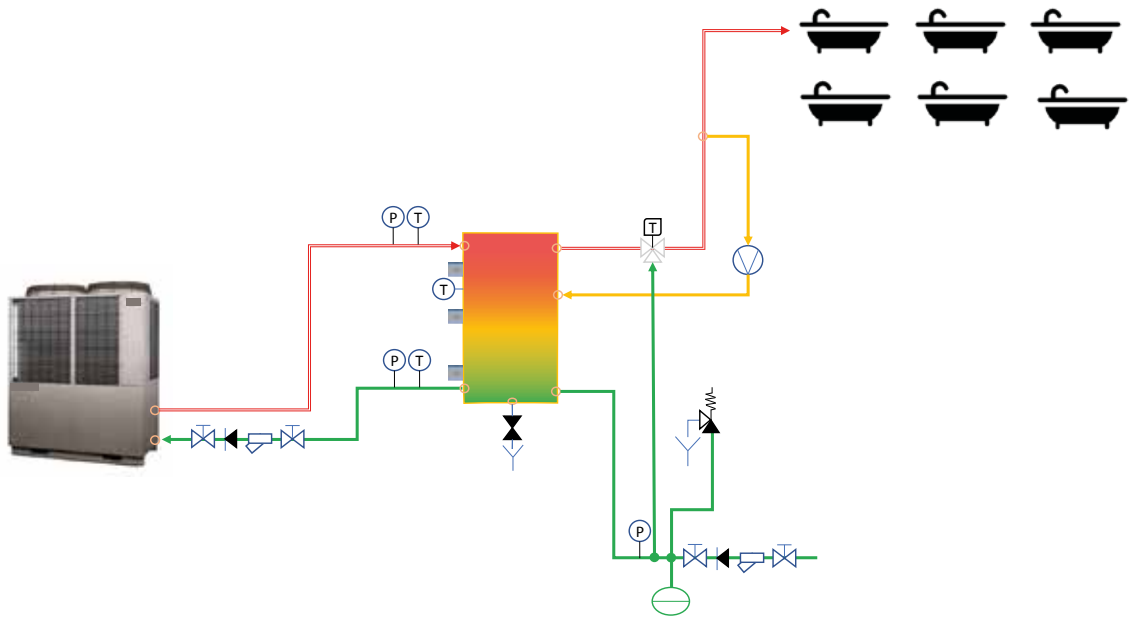


Gráfico 4-47. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Esquema de principio

La tabla 4-93 se presenta a modo de resumen.

Sustitución de caldera de gas natural en instalación centralizada por bomba de calor de producción de ACS instantánea			
$SCOP_{dhw}$	Q_{usable}	E_{RES}	% energía renovable
Valor	kWh/año	kWh/año	%
3,34	99.561	69.752	70,06%

Tabla 4-93. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Rendimiento en ACS, $SCOP_{dhw}$.

Resultados y conclusión

A partir de los datos anteriores se puede establecer una comparativa entre los sistemas analizados, que se muestra en la tabla 4-94.

Caso 5. Sustitución caldera centralizada de Gas natural para ACS por bomba de calor de producción instantánea de ACS					
			Anterior	Nuevo sistema	
Demanda de energía térmica		Referencia	Cadera centralizada ACS	Bomba de calor	Cambio en demanda de energía
			Gas natural	Producción	
				instantánea ACS	
ACS	kWh/año	b	99.561	99.561	0,00%
Demanda total de energía	kWh/año	A = a + b	99.561	99.561	0,00%
Consumo de energía final		Referencia	Gas natural	Energía eléctrica	Ahorro en energía final
Rendimiento del generador en ACS		e	0,9	3,34	
ACS	kWh/año	h = b/e	110.623	29.809	-73%
Total	kWh/año	B = g + h	110.623	29.809	-73%
Consumo de energía primaria		Referencia	Gas natural	Energía eléctrica	Ahorro en energía primaria
Coefficiente E. primaria. (Cep)	kWh Ep/kWh	i	1,195	2,368	
ACS	kWh Ep/año	k = h x i	132.195	70.587	-47%
Total	kWh Ep/año	C = j + k + l	132.195	70.587	-47%
Emisiones de CO ₂		Referencia	Gas natural	Energía eléctrica	Ahorro en emisiones de CO ₂
Coefficiente emisiones CO ₂	kg CO ₂ /kWh	m	0,252	0,331	
ACS	Kg CO ₂ /año	p = g x m	27.877	9.867	-65%
Total	Kg CO ₂ /año	D = n + p	27.877	9.867	-65%
Consumo de energía primaria no renovable		Referencia	Gas natural	Energía eléctrica	Ahorro en EPnr
Coefficiente E. primaria no renovable (Cep _{nr})	kWh EPnr/kWh	r	1,19	1,954	
ACS.	kWh Epnr/año	G = h x r	131.642	58.246	-56%
Total	kWh Epnr/año	L = G	131.642	58.246	-56%

Tabla 4-94. Caso tipo 5. Vivienda colectiva. Sustitución de caldera de gas por bomba de calor de producción de ACS instantánea

La implantación de la bomba de calor de CO₂ de alta temperatura reduce significativamente la energía consumida por la instalación.

Igualmente sería recomendable, si las condiciones del edificio y la cubierta lo permiten, instalar un sistema de autoconsumo colectivo que abastezca las necesidades de la bomba de calor, consiguiendo de esta manera ahorros todavía mayores.

4.10. Caso-tipo 6: terciario individual. Clínica de fisioterapia – CAL+REF – Clima D3 (CTE)/cálido (SHARES). Cambio de caldera por bomba de calor

Situación de partida	Solución planteada	Resultados
<ul style="list-style-type: none"> • 1x Caldera de baja temperatura 24 kW para calefacción con radiadores • 1x A/A de expansión directa de conductos 	<ul style="list-style-type: none"> • 1x BC aire-agua, 15 kW para CAL+REF • <i>Fancoils</i> CAL+REF • Depósito de inercia 	<ul style="list-style-type: none"> • 62% menos E. final • 35% menos Ep • 52% menos kg/CO₂

Condiciones previas que deben estudiarse/barreras

- Estado de la instalación, patologías hidráulicas previas, aislamientos, etc.
- Espacio físico disponible para los depósitos, accesorios, inercia, peso, etc.
- Espacio físico disponible para la unidad exterior, nivel de ruido, ordenanzas, etc.

Otras soluciones viables para este caso tipo

- Instalación de un sistema de calidad de aire interior mediante ventilación mecánica controlada para reducir la demanda térmica, además de obtener aire en perfectas condiciones.
- Bomba de calor aire-aire para calefacción y refrigeración.

4.10.1. Descripción del edificio y necesidades de climatización

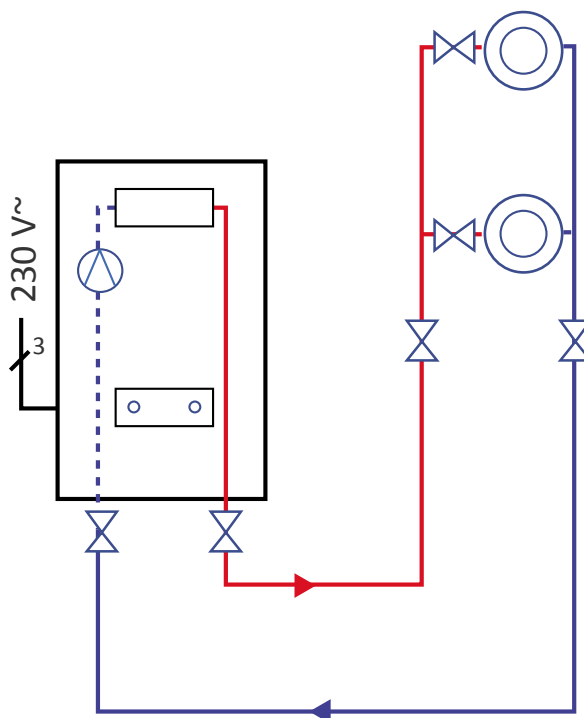


Gráfico 4-48. Caso tipo 6. Clínica de fisioterapia. Esquema de calefacción

La clínica consiste en una planta única de 130m² distribuidos en recepción y la sala de espera (17m²), aseos para pacientes (8m²), sala de consulta (20m²), vestuarios para pacientes (12m²), despacho de administración (16m²), sala de tratamiento (15m²), sala multiusos (20m²), almacén (10m²) y pasillos (12m²). La superficie climatizada total del edificio ocupa 130 m².

El sistema de calefacción se basa en radiadores convencionales y caldera de gas natural de baja temperatura, y el sistema de refrigeración es un sistema de conductos de expansión directa.

Superficie	Generador refrigeración	Potencia en refrigeración	SEER	Generador actual	Potencia (kW)	Rendimiento
M ²	A/A	kW		Caldera	kW	%
130	conductos <i>split</i>	12	2	solo calefacción	24	92

Tabla 4-95 Caso tipo 6. Clínica de fisioterapia. Potencia necesaria

4.10.2. Descripción del sistema propuesto

La demanda mensual considerada se muestra en la tabla 4-96.

Meses	Horas		Demanda	
	Calefacción	Refrigeración	Calor	Refrigeración
Enero	372 h	0 h	2.490 kWh	0 kWh
Febrero	336 h	0 h	1.978 kWh	0 kWh
Marzo	358 h	0 h	1.627 kWh	0 kWh
Abril	260 h	0 h	1.011 kWh	0 kWh
Mayo	0 h	51 h	0 kWh	166 kWh
Junio	0 h	215 h	0 kWh	940 kWh
Julio	0 h	348 h	0 kWh	1.985 kWh
Agosto	0 h	334 h	0 kWh	1.812 kWh
Septiembre	0 h	176 h	0 kWh	768 kWh
Octubre	201 h	0 h	708 kWh	0 kWh
Noviembre	356 h	0 h	1.833 kWh	0 kWh
Diciembre	374 h	0 h	2.470 kWh	0 kWh
Totales	2.257 h	1.124 h	12.118 kWh	5.671 kWh

Tabla 4-96. Caso tipo 6. Clínica de fisioterapia. Demanda de energía mensual

El cálculo de necesidades térmicas se realiza para una temperatura exterior de $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ según la estación meteorológica de Retiro (Madrid) de la *Guía técnica de condiciones climáticas de proyecto* (IDAE), con un resultado de potencia total de calefacción de 10,2 kW y de potencia total de refrigeración de 12,1 kW.

Se decide una solución basada en bomba de calor con *fancoils* para los servicios de calefacción y refrigeración, así como un depósito de inercia de 100 litros.

- 1 bomba de calor aire-agua de 15 kW de potencia nominal.
- 1 depósito de inercia de 100 litros.

Servicio de calefacción

Para la selección del equipo en modo calefacción es necesario consultar la potencia de los equipos en las condiciones de diseño en los datos suministrados por el fabricante; en este caso:

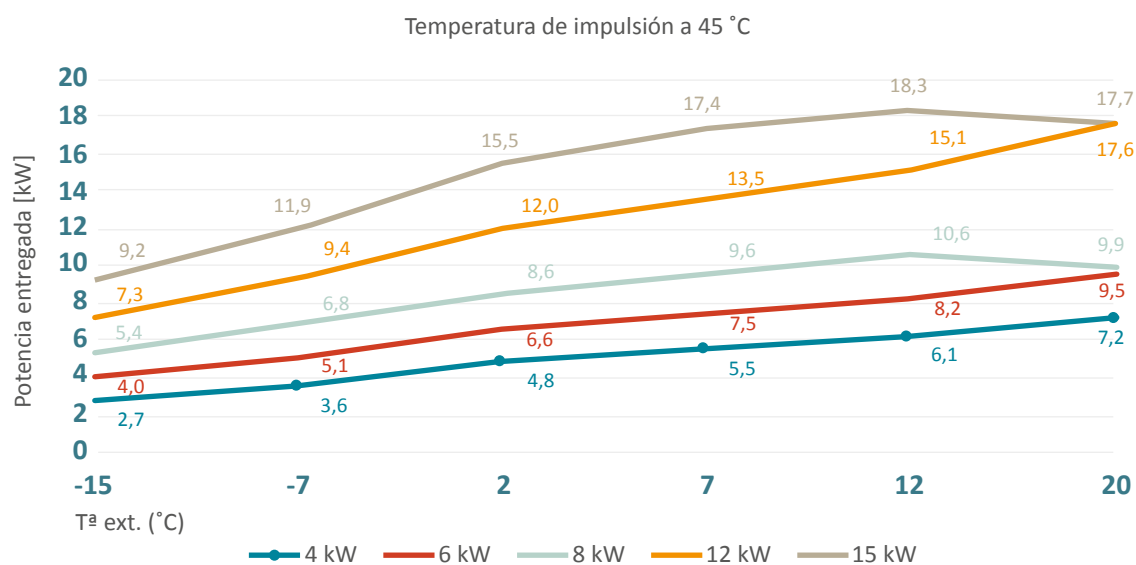


Gráfico 4-49. Caso tipo 6. Clínica de fisioterapia. Potencias máximas por «modelo», en función de la temperatura exterior.

Se consulta la *Guía técnica de condiciones climáticas de proyecto* (IDAE) y se escogen las condiciones climáticas de la estación más próxima a la instalación, obteniéndose una T_{seca} 99,6% de $-0,8$ °C y una humedad relativa del 69%, lo que implica una temperatura exterior húmeda de $-2,5$ °C.

Según la IT.1.2.4.1.3.3, la temperatura mínima de diseño en bombas de calor aire-agua será la temperatura húmeda del percentil más exigente, menos 2 °C, lo que para este caso supone tener una $T_{\text{húmeda}}_{\text{diseño}} = -4,5$ °C.

Según las tablas de potencia del equipo, para dichas condiciones la potencia entregada en modo calefacción es de 13,2 kW, siendo la selección más adecuada.

Servicio de refrigeración

Para la selección del equipo en modo refrigeración es necesario consultar la potencia de los equipos en las condiciones de diseño en los datos suministrados por el fabricante.

Se consulta la *Guía técnica de condiciones climáticas de proyecto* (IDAE) y se escogen las condiciones climáticas de la estación de Retiro (Madrid), obteniendo una T_{seca} 0,4% de $34,8$ °C.

Según la IT.1.2.4.1.3.3, la temperatura máxima de diseño para refrigeración en equipos enfriados por aire será la temperatura seca del percentil más exigente, más 3 °C, lo que para este caso supone tener una $T_{\text{seca}} = 37,8$ °C.

Consultando las tablas de potencia del equipo se obtiene que, para dichas condiciones, la potencia entregada de este equipo en modo refrigeración y una temperatura de impulsión de 7 °C es de 12,5 kW, siendo la selección más adecuada para cubrir la carga solicitada de 12,1 kW.

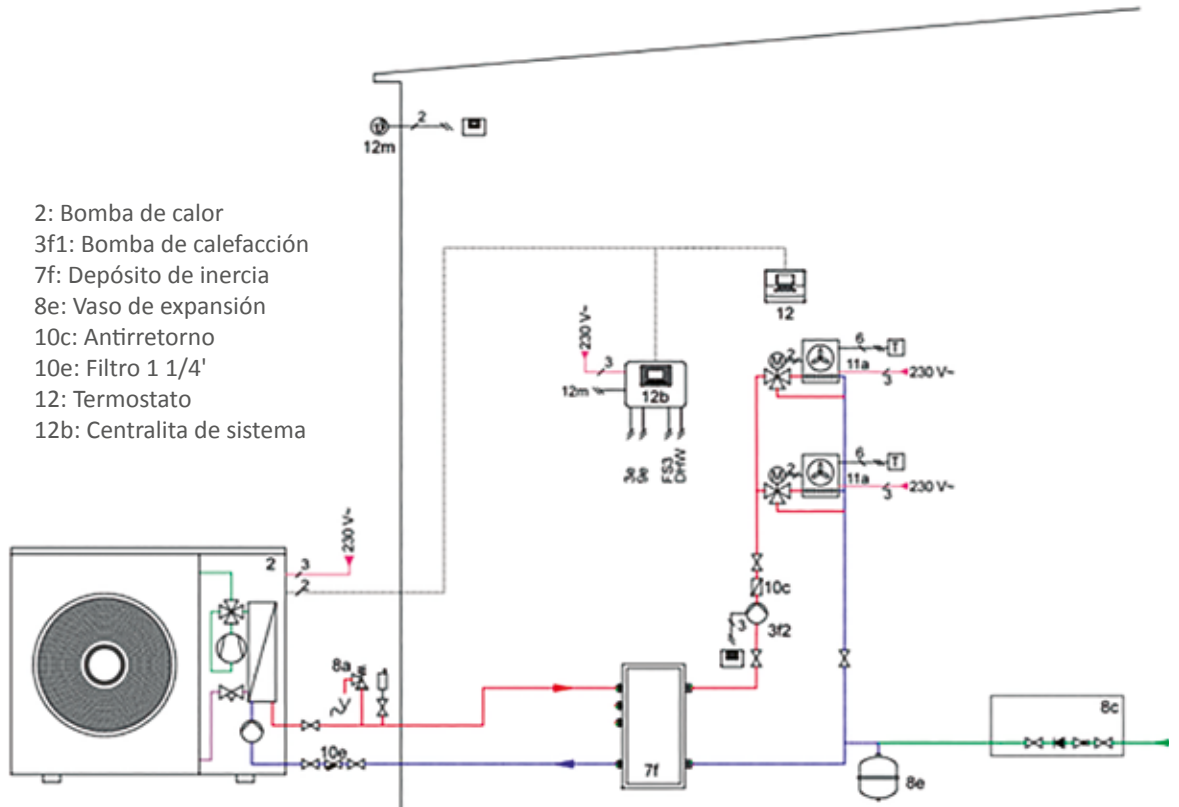


Gráfico 4-50. Caso tipo 6. Clínica de fisioterapia. Esquema hidráulico y componentes

Dimensionamiento de la bomba de calor

El caudal nominal del equipo son 2.580 l/h. La tubería de ida y retorno del circuito primario, de material termoplástico, multicapa serie 5, tiene una longitud total entre la bomba de calor y el depósito de inercia de 30 m. Con un diámetro nominal de 32 mm, la pérdida de carga es aproximadamente de 31,6 kPa, inferior al punto de trabajo nominal con 35 kPa (marcado con las líneas rojas).

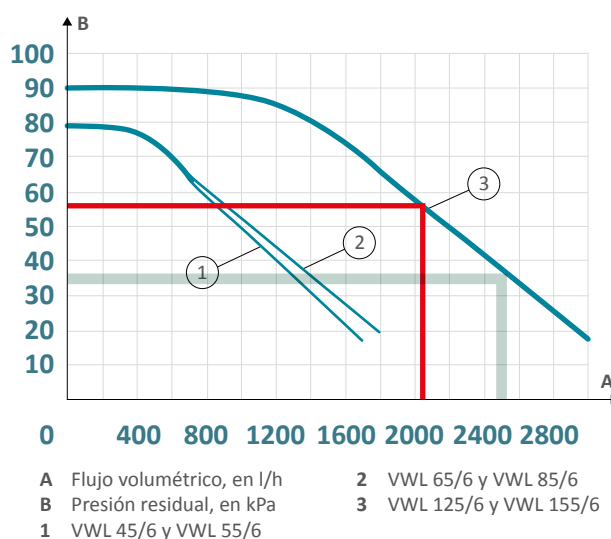


Gráfico 4-51 Caso tipo 6. Clínica de fisioterapia. Punto de trabajo de la curva de la bomba circuladora (línea verde)

Emisores

El sistema seleccionado de emisores es por *fancoils* de conducto por estancia, salvo en el vestuario de pacientes, en donde se considera un *fancoil* de consola para eliminar mejor la estratificación del aire en modo calefacción. Se establece un salto térmico en *fancoils* de 5 °C en refrigeración y 8 °C en calefacción (véase tablas 4-97 y 4-98).

Relación de selección de *fancoils* en régimen de calefacción

Zona	Potencia total diseño kW	Apoyo CAL	Caudal l/h	N.º Uds.	Ø int mín. mm
Sala de espera, pasillo	4.320	0	464	1	22
Sala de consulta	3.050	0	328	1	20
Vestuarios pacientes	1.830	0	197	1	16
Despacho administración	2.440	0	262	1	20
Sala tratamiento	2.288	0	246	1	20
Sala multiusos	3.050	0	328	1	20
TOTAL	16.978	0	1.825	6	32,7

Tabla 4-97. Caso tipo 6. Clínica de fisioterapia. Cálculo potencia en calefacción

Relación de selección de *fancoils* en régimen de refrigeración

Zona	Carga refrig. kW	Pot. sensible diseño kW	Apoyo REF	Caudal l/h	N.º Uds.	Ø int mín. mm
Sala de espera, pasillo	3.133	2.193	0	526	1	22
Sala de consulta	2.161	1.549	0	372	1	20
Vestuario pacientes	1.296	929	0	223	1	20
Despacho administración	1.729	1.239	0	297	1	20
Sala tratamiento	1.621	1.161	0	279	1	20
Sala multiusos	2.161	1.549	0	372	1	20
TOTAL	12.100	8.620	0	2.069	6	32,7

Tabla 4-98. Caso tipo 6. Clínica de fisioterapia. Cálculo potencia en refrigeración.

Se determina, por tanto, que la bomba de secundario tiene que poder trabajar con las condiciones de 2.069 l/h y una pérdida de carga de 60 kPa, considerando las pérdidas de carga de las unidades terminales y de la distribución de la red de tuberías.

Emplazamiento de los equipos

El local dispone de una fachada con patio interior con buena ventilación y espacio adecuado para la instalación y mantenimiento de la unidad exterior.

Regulación y control

La instalación se compone de un control principal programable por el usuario y termostatos de *fancoils* asociados a las diferentes estancias.

El control principal mantiene estable las condiciones de trabajo del agua tanto en calefacción, con compensación según la temperatura exterior, como en refrigeración, utilizando una temperatura constante adecuada para los *fancoils* en modo refrigeración. Cada *fancoil* dispone de un termostato de temperatura ambiente, con control automático de las velocidades del ventilador y control sobre la válvula de tres vías de *fancoil*.

Conexiones eléctricas

Cumplimiento REBT. Instalación trifásica 400 V (+10%/-15%), 50 Hz, 3~/N/PE.

4.10.3. Resultados y conclusión

A partir de los datos anteriores se crea la tabla comparativa 4-99 entre los sistemas analizados.

Caso 6. Clínica de fisioterapia. Sustitución de caldera y aire acondicionado por aerotermia y fancoils						
			Anterior		Nuevo sistema	
Demanda de energía térmica		Referencia	Caldera gas natural	Refrigeración mediante A/A	Bomba de calor + fancoils	Cambio en demanda de energía
Calefacción	kWh/año	a	12118		12755	5%
Refrigeración (equipo A/A original)	kWh/año	c		5671	5671	
Demanda total de energía	kWh/año	$A = a + c$	17.789		18.426	4%
Consumo de energía final		Referencia	Gas natural	Energía eléctrica	Energía eléctrica	Ahorro en energía final
Rendimiento en calefacción - refrigeración		d	0,92		3,19	
Rendimiento en refrigeración		f		2	2,6	
Calefacción	kWh/año	$g = a/d$	13.172		3.998	-70%
Refrigeración	kWh/año	$y = c/f$		2.836	2.156	-24%
Total	kWh/año	$B = g + y$	16.007		6.155	-62%
Consumo de energía primaria		Referencia	Gas natural	Energía eléctrica	Energía eléctrica	Ahorro en energía primaria
Coefficiente E. primaria (Cep)	kWh Ep/kWh	i	1,195	2,368	2,368	
Calefacción	kWh Ep/año	$j = g \times i$	15.740		9.468	-40%
Refrigeración	kWh Ep/año	$l = y \times i$		6.714	5.106	-24%
Total	kWh Ep/año	$C = j + l$	22.455		14.574	-35%
Emisiones de CO ₂		Referencia	Gas natural	Energía eléctrica	Energía eléctrica	Ahorro en emisiones de CO ₂
Coefficiente emisiones CO ₂	kg CO ₂ /kWh	m	0,252	0,331	0,331	
Calefacción	Kg CO ₂ /año	$n = g \times m$	3.319		1.323	-60%
Refrigeración	Kg CO ₂ /año	$q = y \times m$		939	714	-24%
Total (calefacción, ACS y refrigeración)	Kg CO ₂ /año	$D = n + q$	4.258		2.037	-52%
Consumo de energía primaria no renovable		Referencia	Gas natural	Energía eléctrica	Energía eléctrica	Ahorro en E _{pnr}
Coefficiente E. primaria no renovable (Cep _{nr})	kWh E _{pnr} /kWh	r	1,19	1,954	1,954	
Calefacción	kWh E _{pnr} /año	$F = g \times r$	15.674		7.813	-50%
Refrigeración	kWh E _{pnr} /año	$H = y \times r$		5.541	4.213	-24%
Total	kWh E _{pnr} /año	$L = F + G + H$	21.215		12.026	-43%

Tabla 4-99. Caso tipo 6. Clínica de fisioterapia. Sustitución de caldera GN por bomba de calor

La implantación de la bomba de calor reduce considerablemente la energía final, energía primaria y emisiones de CO₂, así como un elevado ahorro económico estimado al poder prescindir del contrato de gas natural. No obstante, hay que valorar adecuadamente la necesidad de aumentar la potencia eléctrica contratada al instalar un nuevo equipo consumidor.

4.11. Caso-tipo 7: terciario centralizado Hotel***, 50 habitaciones. – ACS – A3 (CTE)/medio (SHARES)

Situación de partida	Solución planteada	Resultados
<ul style="list-style-type: none"> • Caldera de 75 kW de gasóleo para ACS • 2 depósitos de 1.000 l cada uno 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 x BC en cascada • Se conservan los depósitos 	<ul style="list-style-type: none"> • 73% menos de E. final • 47% menos de E. primaria • 66% menos de emisiones • 56% menos de EPnr

Condiciones previas que deben estudiarse/barreras

- Estado de la instalación, patologías hidráulicas previas y aislamientos.
- Estado del acumulador existente.
- Determinación de la temperatura de impulsión y salto térmico.
- Estado y preparación de la instalación, bombas hidráulicas e intercambiadores de calor para un salto térmico de 10K o 5K en función del elegido.
- Determinación de la temperatura de acumulación mínima.
- Comprobación de las seguridades para evitar escaldamientos.
- Determinación de potencia necesaria, real, en carga total y parcial.
- Verificación del perfil de consumo de ACS y volumen necesario a acumular.
- Espacio físico disponible para la unidad interior, accesorios, peso, etc.
- Espacio físico disponible para la unidad exterior, nivel de ruido, etc.

Otras soluciones viables para este caso tipo

- Ampliar la reforma incluyendo la calefacción y la refrigeración, por ejemplo, con sistemas de volumen variable de refrigerante y recuperación de calor en verano para ACS, bombas de calor aire-agua con recuperación, etc.

4.11.1. Descripción del edificio y necesidades de climatización

El hotel es urbano, con categoría tres estrellas y 50 habitaciones dobles completas, donde el baño de cada habitación está compuesto por una bañera grande con ducha, lavabo, bidet e inodoro.

Suponemos una localidad como Málaga, a 8 msnm.

Este caso tipo solo trata el servicio de ACS del hotel y se asume que su cafetería es una contrata, con su propio sistema de calentamiento de ACS, y que la refrigeración está resuelta mediante otros medios. En este tipo de establecimientos es frecuente la utilización de sistemas de aire en las habitaciones, bien con unidades de *fancoil* alimentadas por caldera o bien por bombas de calor aire-agua reversibles, o aire-aire con caudal variable de refrigerante, donde en algunos casos es posible recuperar el calor de refrigeración en ACS, caso no analizado aquí.

El ACS de las habitaciones se prepara mediante una caldera de gasóleo de 75 kW, que calienta dos depósitos de acumulación de agua de 1.000 litros, 2.000 litros en total, cada uno de los cuales se calienta mediante un intercambiador de calor de placas externo, de 45 kW, que se alimenta del generador.

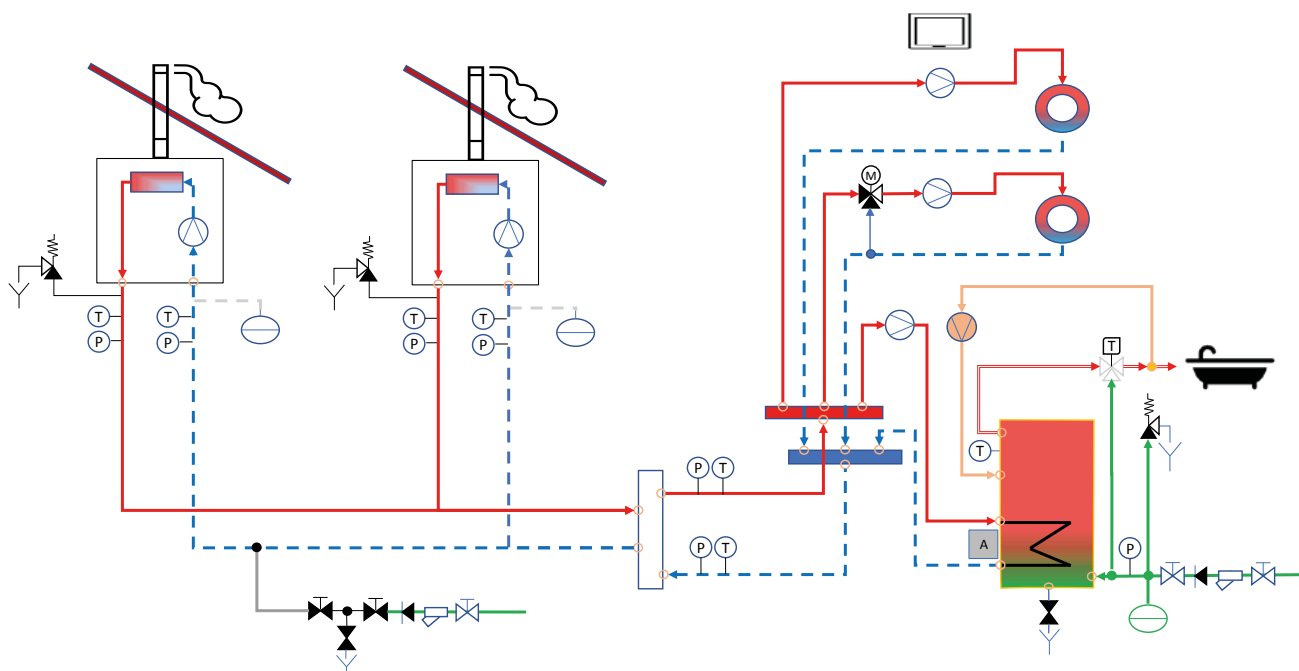


Gráfico 4-52. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Esquema de la instalación existente

4.11.2. Descripción del sistema propuesto

Servicio de ACS

Para el cálculo de los caudales instantáneos se utiliza la Norma UNE 149201, de Abastecimiento de agua. Dimensionado de instalaciones de agua para consumo humano dentro de los edificios, en la cual aparece la siguiente expresión:

$$Q_c = A \cdot (Q_r)^B + C.$$

Siendo:

- Q_c : caudal simultáneo de cálculo (l/s).
- Q_T : caudal total, suma de todos los aparatos del edificio (l/s).
- A, B y C: coeficientes que dependen del tipo de edificio, de los caudales totales del edificio y de los caudales máximos por aparatos.

Aparatos	Ud.	Caudal unit. l/s	Caudal total l/s
Bañera	1	0,2	0,2
Lavabo	1	0,065	0,065
Bidé	1	0,065	0,065
Inodoro	1	-	-
Total, habitación	3	-	0,33

Tabla 4-100. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Tabla de cálculo de caudal simultáneo

Se procede a evaluar el caudal de agua caliente utilizando las tablas del CTE en su HS4 (véase tabla 4-101).

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo (l/s)	
	AFCH	ACS
Urinario con cisterna (c/u)	0,04	-
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo, Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Urinario con grifo temporizado	0,15	-
Grifo aislado	0,15	0,10
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Ducha	0,20	0,10
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Fregadero NO doméstico	0,30	0,20
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Inodoro con fluxor	1,25	-

Tabla 4-101. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Tabla de cálculo de caudal instantáneo

En cada habitación hay un caudal total instantáneo de 0,33 l/s, por lo que el caudal total instantáneo del hotel es:

$$50 \text{ habitaciones} \times 0,33 \text{ l/s} = 16,5 \text{ l/s.}$$

Para calcular el caudal simultáneo Q_c se necesitan ahora los coeficientes A, B y C.

De la tabla (UNE 149201):

Tipo de edificio	Caudales (l/s)		Coeficientes		
	Q_u	Q_c	A	B	C
Viviendas	< 0,5	≤ 20	0,682	0,450	-0,140
	≥ 0,5	≤ 1	1,000	1,000	0,000
	≥ 0,5	≤ 20	1,700	0,210	-0,700
	Sin Límite	> 20	1,700	0,210	-0,700
Oficinas, estaciones, aeropuertos, etc.	< 0,5	≤ 20	0,682	0,450	-0,140
	≥ 0,5	≤ 1	1,000	1,000	0,000
	≥ 0,5	≤ 20	1,700	0,210	-0,700
	Sin Límite	> 20	0,400	0,540	0,480

Tabla 4-102. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Coeficientes caudales simultáneos

Hoteles, discotecas, museos	< 0,5	≤ 20	0,698	0,500	-0,120
	≥ 0,5	≤ 1	1,000	1,000	0,000
	≥ 0,5	≤ 20	1,000	0,366	0,000
	Sin Límite	> 20	1,080	0,500	-1,830
Centros comerciales	< 0,5	≤ 20	0,698	0,500	-0,120
	≥ 0,5	≤ 1	1,000	1,000	0,000
	≥ 0,5	≤ 20	1,000	0,366	0,000
	Sin Límite	> 20	4,300	0,270	6,650
Hospitales	< 0,5	≤ 20	0,698	0,500	-0,120
	≥ 0,5	≤ 1	1,000	1,000	0,000
	≥ 0,5	≤ 20	1,000	0,366	0,000
	Sin Límite	> 20	0,250	0,650	1,250
Escuelas, polideportivos		≤ 1,5	1,000	1,000	0,000
	Sin Límite	≤ 20	4,400	0,270	-3,410
		> 20	-22,500	0,500	11,500

Tabla 4-103. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Coeficientes caudales simultáneos

Donde Q_y es el caudal mayor de un aparato (l/s), que en este caso es la bañera, con $Q_y = 0,2$ l/s.

Como $Q_T < 20$ y $Q_y < 0,5 \Rightarrow A=0,698$

$B=0,500$

$C=-0,120$

De lo que el caudal instantáneo máximo sería:

$$Q_c = A \cdot (Q_T)^B + C = 0,698 \times (16,5)^{0,5} + (-0,12) = 2,715 \text{ l/s.}$$

Para calcular los consumos se utiliza el CTE y la tabla del HE 4.

Tabla c-Anejo F Demanda orientativa de ACS para usos distintos del residencial privado	
Criterio de demanda	Litros/día-persona
Hospitales y clínicas	55
Ambulatorio y centro de salud	41
Hotel*****	69
Hotel****	55
Hotel***	41
Hotel/hostal**	34
Camping	21
Hostal/pensión*	28
Residencia	41
Centro penitenciario	28
Albergue	24
Vestuarios/Duchas colectivas	21
Escuela sin ducha	4
Escuela con ducha	21
Cuarteles	28
Fábricas y talleres	21
Oficinas	2
Gimnasios	21
Restaurantes	8
Cafeterías	1

Tabla 4-104. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Demanda CTE HE-4

Estos consumos son a 60 °C.

En caso de querer conocerlos a otra temperatura deben usarse las fórmulas del CTE recogidas en la tabla 4-105.

$$D(T) = \sum_{i=1}^{12} D_i(T)$$

$$D_i(T) = D_i(60^{\circ}\text{C}) \frac{60 - T_i}{T - T_i}$$

donde:

D(T)	Demanda de agua caliente sanitaria anual a la temperatura T elegida;
D _i (T)	Demanda de agua caliente sanitaria para el mes i, a la temperatura T elegida;
D _i (60°C)	Demanda de agua caliente sanitaria para el mes i, a la temperatura de 60 °C;
T	Temperatura del acumulador final;
T _i	Temperatura media del agua fría en el mes i

Tabla 4-105. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Demanda CTE HE-4 a temperatura diferente de 60 °C

Para este hotel objeto de estudio, con categoría de 3 estrellas y 100 personas de ocupación, el consumo ($C_{\text{día}}$) sería:

$$100 \text{ pax} \times 41 \text{ l/día} = 4.100 \text{ l/día.}$$

Por lo que, a partir del caudal instantáneo calculado, se tendría un consumo punta sostenido de:

$$(4.100 \text{ l/día}) / (2,715 \text{ l/s}) = 1.510 \text{ s/día} \Rightarrow 25 \text{ minutos diarios.}$$

De lo indicado en el CTE HE 4, se realiza el cálculo mensual solicitado, considerando las pérdidas siguientes:

- Pérdidas estáticas del acumulador: 160W; 160 W * 24h = 3,84 kWh/día.
- Pérdidas por distribución (24%), medidas en la instalación.
- Pérdidas por conducción (2%).

Con lo que se obtiene los datos mensuales recogidos en la tabla 4-106.

	Ud.	EN	FE	MA	AB	MY	JN	JL	AG	SE	OC	NO	DI	TOT
Dormitorios/ habitaciones		50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	
N.º personas	Personas	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
ACS. Demanda CTE	l x P. y día	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	
ACS. Demanda CTE	(l/d)	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	
Factor centralización		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
ACS. Demanda corregida	(l/d)	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	
ACS. Tª agua fría	°C	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12	16
ACS. Tª ACS CTE	°C	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
ACS. Demanda mensual	l/mes	127.100	114.800	127.100	123.000	127.100	123.000	127.100	127.100	123.000	127.100	123.000	127.100	
ACS. Tª consigna	°C	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
ACS. Demanda a la Tª de acumulación final	l/mes	127.100	114.800	127.100	123.000	127.100	123.000	127.100	127.100	123.000	127.100	123.000	127.100	
ACS. Demanda mensual de energía	kWh/ mes	7.077	6.392	6.929	6.563	6.487	5.993	5.897	5.897	5.850	6.487	6.563	7.077	77.214
ACS. % pérdidas conducción	%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	
A.C.S. Total (P.C.)	kWh/ mes	141,5	127,8	138,6	131,3	129,7	119,9	117,9	117,9	117,0	129,7	131,3	141,5	1.544
ACS. Demanda de energía en ACS + P.C.	kWh/ mes	7.218	6.520	7.068	6.695	6.617	6.112	6.015	6.015	5.967	6.617	6.695	7.218	
ACS. Pérdidas estáticas	W	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	
ACS. Pérdidas estáticas	kWh/día	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	
Total, ACS (P.E.)	kWh/ mes	119,0	107,5	119,0	115,2	119,0	115,2	119,0	119,0	115,2	119,0	115,2	119,0	1.402
ACS. Pérdidas por recirculación.		24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	
Total, ACS (P.R.)	kWh/ mes	1.698	1.534	1.663	1.575	1.557	1.438	1.415	1.415	1.404	1.557	1.575	1.698	18.531
D. ACS + PC + PE + PR	kWh/ mes	9.036	8.162	8.850	8.385	8.293	7.666	7.550	7.550	7.486	8.293	8.385	9.036	98.691

Tabla 4-106. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Tabla de demanda mensual de ACS

4.11.2.1. Dimensionamiento del acumulador de ACS

El dimensionamiento de un acumulador de ACS con bomba de calor debe seguir una estrategia diferente a la que seguiríamos con caldera, puesto que, mientras que con calderas no existe por lo general una gran diferencia de precio, tamaño y necesidades hidráulicas entre una potencia y otra, cuando utilizamos una bomba de calor, por el contrario, el incremento de potencia implica un drástico incremento del precio y tamaño de las bombas de calor, elementos auxiliares, una mayor complejidad de instalación, mayor caudal en bombas, mayor diámetro de tuberías, aislamientos, etc., puesto que el salto térmico en bomba de calor es hasta cuatro veces menor que el de una caldera, además de una mayor potencia contratada.

Así, para seleccionar un acumulador de ACS que va a ser calentado con bomba de calor, baste recordar que la potencia y la acumulación de agua caliente sanitaria son inversamente proporcionales, es decir:

- A mayor volumen de acumulación de ACS en la instalación, menor necesidad de potencia para hacer frente a las extracciones, puesto que la demanda está ya acumulada con antelación.
- A menor acumulación de ACS en la instalación, mayor necesidad de potencia térmica instalada para poder hacer frente a las extracciones, que habrán vaciado el menor volumen acumulado.

Las ventajas y desventajas de cada solución serían las siguientes:

Gran acumulación, ventajas

- Generadores de menor potencia:
 - Menor coste.
 - Menor contratación de potencia, etc.
 - Permite largos ciclos de funcionamiento de compresores, lo que redundará en una mayor vida útil y un mejor rendimiento.
- Menor caudal:
 - Menor diámetro de tubería y aislamiento.
 - Bombas circuladoras más pequeñas.
 - Intercambiadores más económicos.
- Mejor respuesta:
 - Menor dependencia de la variación horaria de los perfiles de extracción.
 - Menor velocidad vertical en el depósito, mejor estratificación del depósito y menor turbulencia.
 - Mejor aprovechamiento del depósito.
 - Mejor rendimiento al mantener los compresores en marcha evitando paradas.
- Mejor integración:
 - Es posible acumular energía en todo momento.
 - Aprovechamiento fotovoltaico.
 - Tarifas horarias ventajosas.
 - Recuperaciones de energía.

Gran acumulación, desventajas

- Mayor peso (llenos de agua).
- Dificultad de entrada de los acumuladores en salas de máquinas.
- Mayor tiempo de respuesta en caso de avería.
- Mayor energía necesitada para tratamiento de ACS por choque térmico.

Pequeña acumulación, ventajas

- Ocupar un menor espacio.

Pequeña acumulación, desventajas

- Mayor coste:
 - Bomba de calor.
 - Tuberías y aislamientos.
 - Intercambiadores.
 - Bombas circuladoras.
 - Potencia contratada.
 - Mayor complejidad de instalación.

La evolución del volumen disponible con ambas soluciones puede verse en el gráfico 4-53, donde se representa el volumen de ACS disponible acumulado y su variación cuando se realizan las extracciones de ACS (barras violetas), en los momentos de máxima ocupación anual. Los perfiles pertenecen a un hotel real, similar al del objeto de estudio.

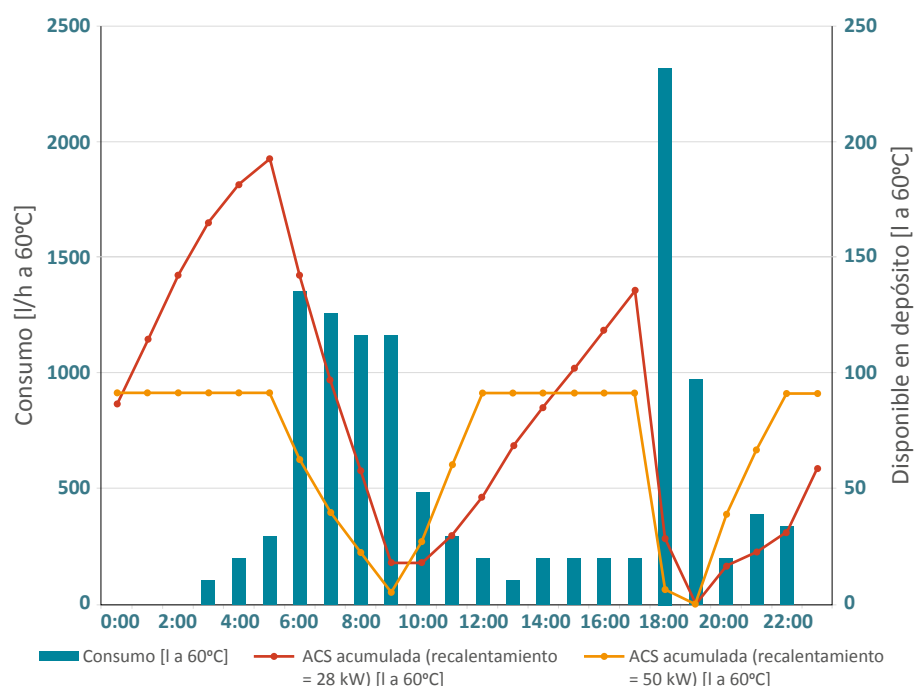


Gráfico 4-53. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Variación de la disponibilidad de ACS en función de la elección del acumulador y la potencia del generador

La línea roja representa la evolución del volumen de agua caliente sanitaria disponible, con un acumulador de 2000l, y un generador de 28 kW.

La línea amarilla representa la evolución del volumen de agua disponible, con un acumulador de 900l y un generador de 50 kW.

En el gráfico se observa que ambas soluciones son válidas, con un mismo punto crítico a las 19:00.

Como resumen, para el dimensionamiento correcto del depósito, algunos aspectos a tener en cuenta desde el punto de vista de diseño son:

- Perfil de extracción previsto, horario, volumen de agua y temperatura.
- Tiempo de recuperación deseado.
- Potencia que es posible transmitir al agua sanitaria mediante los elementos existentes:
 - Superficie, situación y tipo de intercambiador.
 - Salto térmico en el intercambiador.
 - Salto térmico en la bomba de calor, recomendado y máximo.
 - Tipo de bomba circuladora y control de salto térmico.
 - Caudal en primario necesario y posible.
- Depósito de ACS:
 - Depósitos esbeltos, estratificados, con buen nivel de aprovechamiento del volumen.
 - Con un tamaño que permita su introducción en la sala de máquinas, así como su mantenimiento.

Desde el punto de vista de instalación:

- Situación de sensores en el acumulador.
- Recirculación de ACS:
 - No romper la estratificación.

Con estas recomendaciones, al aplicar lo recomendado en la *Guía Técnica de Agua Caliente Central* (IDAE), calculamos el consumo punta para la elección del acumulador. A falta de más información, como estimación inicial y falta de más datos, tomaremos el dato del 50% del consumo medio diario.

De este cálculo, el volumen mínimo a acumular sería, por tanto:

$$\text{Consumo punta: } 4.100 \times 0,5 = 2.050 \text{ litros.}$$

Al acudir al tamaño comercial más cercano, 2.000 litros, se elige uno con 1.200 mm de diámetro y 2.110 mm de altura.

Con los datos anteriores, caudal punta, temperaturas, volumen de acumulación, etc., es posible ya determinar la potencia necesaria en el generador, calculada según la fórmula siguiente:

$$P_{\text{generador}} = [Q_{\text{punta}} \cdot (T_{\text{ACS}} - T_{\text{AFCH}}) - V_{\text{acumulación}} \cdot (T_{\text{acumulación}} - T_{\text{AFCH}}) \cdot F_{\text{uso acumulación}}] \cdot 1,16 / \eta_{\text{prdACS}}$$

donde:

T_{AFCH} : es la temperatura mínima mensual (°C) del agua fría de la red, para la localidad considerada.

T_{ACS} : es la temperatura (°C) de consumo de ACS.

$V_{\text{acumulación}}$: es el volumen total de los depósitos, en litros.

$T_{\text{acumulación}}$: es la temperatura de acumulación, puede ser igual o superior a la de uso (T_{ACS}).

$F_{\text{uso acumulación}}$: es el factor de uso del volumen del acumulador, en %. Informa del aprovechamiento real del agua caliente acumulada en depósito, puesto que en el interior de los mismos existe una zona de mezcla entre las aguas fría y caliente, en la cual la temperatura resulta inferior a la del uso deseado y que depende de su geometría (esbeltez), construcción interna y del número de depósitos. Se obtiene de la fórmula $F_{\text{uso acumulación}} = 0,63 + 0,14 \cdot H/D$, donde H=altura, D=diámetro del depósito.

η_{prdACS} : es el rendimiento del sistema de producción de ACS, entendida como la relación entre la demanda ACS anual (kWh) y la energía a generar para satisfacer la demanda (kWh), por lo que aporta a la ecuación anterior la influencia de las pérdidas por intercambio, acumulación, distribución y recirculación.

De los datos anteriores:

$$F_{\text{uso acumulación}}: 0,63 + 0,14 \times 2110/1200 = 71\%.$$

$$\eta_{\text{prdACS}}: 77.214/98.691 = 78,23\%.$$

Por lo que la potencia necesaria en generadores será:

$$P_{\text{generador}} = [Q_{\text{punta}} \cdot (T_{\text{ACS}} - T_{\text{AFCH}}) - V_{\text{acumulación}} \cdot (T_{\text{acumulación}} - T_{\text{AFCH}}) \cdot F_{\text{uso acumulación}}] \cdot 1,16 / \eta_{\text{prdACS}} =$$

Potencia necesaria del generador									
Q punta	TACS	TAFCH	Vacumul	Tacumulación	TAFCH	F _{uso acumulación}	Calor específico Cp	Eficiencia del conjunto del sistema producción-acumulación-distribución-recirculación	Potencia necesaria en el generador Pgenerador
l/día	°C	°C	Litros	°C	°C	%	W h/litro K	%	W
2.050	60	12	2.000	60	12	0,875	1,16	78,23%	21.352

Tabla 4-107. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Potencia necesaria en el generador

Con esta potencia, calculamos el tiempo de calentamiento:

$$t_{\text{cal}} = V_{\text{acumulación}} \cdot (T_{\text{acumulación}} - T_{\text{AFCH}}) \cdot 1,16 / [P_{\text{generador}} \cdot \eta_{\text{prdACS}}]$$

Tiempo de calentamiento tcal, con la potencia calculada						
V _{acumul}	T _{acumulación}	TAFCH	Calor específico	Pgenerador	η _{prdACS}	tcal
Litros	°C	°C	W h/litro K	W	%	h
2.000	60	12	1,16	21.352	78,23%	6,7

Tabla 4-108. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Tiempo de calentamiento

Sin embargo, para la acumulación elegida y para poder asegurar la recuperación entre la punta de la mañana, la de la tarde, y el perfil de extracción previsto, el tiempo de calentamiento total no debería ser superior a cuatro horas. Es necesario, por tanto, reajustar la potencia del generador (véase tabla 4-109).

Potencia necesaria para tcal = 4 horas						
$P_{\text{generador}} = V_{\text{acumulación}} \cdot (T_{\text{acumulación}} - T_{\text{AFCH}}) \cdot 1,16 / [T_{\text{cal}} \cdot \eta_{\text{prdACS}}]$						
Vacumul	Tacumulación	TAFCH	Calor específico	tcal	η _{prdACS}	Pgenerador
Litros	°C	°C	Wh/litro K	h	%	W
2.000	60	12	1,16	4,0	78,23%	35.587

Tabla 4-109. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Potencia para el tiempo de calentamiento calculado

Con base en los cálculos anteriores, la potencia necesaria en el generador será de 35,6 kW, para el calentamiento del acumulador seleccionado.

Tras analizar los dos depósitos de 1.000 litros existentes, similares en geometría al de mercado, y comprobar que los intercambiadores existentes, las bombas circuladoras y demás elementos son compatibles en caudal y salto térmico con las bombas de calor, se decide mantener los elementos existentes.

4.11.2.2. Dimensionamiento de la bomba de calor

Una vez conocida la potencia necesaria a aportar y las temperaturas secas exteriores, para el cálculo del dimensionamiento de las bombas de calor se acude a lo indicado en la «IT 1.2.4.1.3.3 Maquinaria frigorífica enfriada por aire», donde se indica lo siguiente:

«IT 1.2.4.1.3.3 Maquinaria frigorífica enfriada por aire

1. Los condensadores de la maquinaria frigorífica enfriada por aire se dimensionarán para una temperatura seca exterior igual a la del nivel percentil más exigente más 3 °C.
2. La maquinaria frigorífica enfriada por aire estará dotada de un sistema de control de la presión de condensación, salvo cuando se tenga la seguridad de que nunca funcionará con temperaturas exteriores menores que el límite mínimo que indique el fabricante.
3. Cuando las máquinas sean reversibles, la temperatura mínima de diseño será la húmeda del nivel percentil más exigente menos 2 °C».

De este modo, el dimensionamiento de las bombas de calor para el servicio de ACS debe considerar la humedad relativa coincidente y la temperatura seca al percentil elegido. Con la ayuda de un diagrama psicrométrico se obtiene la temperatura húmeda, 4,4 °C, de la que se restan 2 °C, con el siguiente resultado.

TSC (99%)	HUMcoin	Temperatura de entrada de aire a la unidad exterior a la que esta debe aportar la potencia necesitada en el edificio
5,8 °C	81%	4,4 - 2 = 2,4 °C

Tabla 4-110. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Temperatura de selección unidad exterior

Para este uso en ACS se elige una tipología de bomba de calor de alta temperatura, con un doble ciclo frigorífico y refrigerantes R-410A y R-134a, que permite alcanzar los valores de temperatura de impulsión necesitados en primario e incluso superarlos, pues puede impulsar hasta 80 °C.

Para obtener una temperatura de acumulación de 60 °C en el depósito, la temperatura de retorno debe ser de 60 °C, por lo que se acude a las tablas de impulsión de los fabricantes.

A falta del dato concreto en la tabla se realiza una ponderación a partir de las tablas de potencia nominal de los equipos (véase tabla 4-111).

	Datos técnicos			Cálculo			Datos técnicos		
Temperatura Impulsión	65			70			75		
Temperatura retorno	55			60			65		
Salto térmico	Dt=10K			Dt=10K			Dt=10K		
Temperatura ext.	Potencia	Consumo	COP	Potencia	Consumo	COP	Potencia	Consumo	COP
°C	kW	kW		kW	kW		kW	kW	
-7	12,7	5,88	2,160	12,65	6,17	2,050	12,6	6,46	1,950
-2	13,3	5,93	2,243	13,3	6,285	2,116	13,3	6,64	2,003
2	13,5	5,8	2,328	13,55	6,195	2,187	13,6	6,59	2,064
3	14,0	5,754	2,433	14,04	6,144	2,285	14,04	6,542	2,146
4	14,5	5,708	2,540	14,53	6,098	2,383	14,53	6,494	2,237
5	15	5,662	2,649	15,02	6,052	2,482	15,02	6,446	2,330

Tabla 4-111. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Datos técnicos BdC

En la tabla se observa que para una temperatura exterior de 2,4 °C y una temperatura de producción de ACS a 60 °C, cada equipo ofrece una potencia nominal de 13,55 kW.

Para alcanzar los 35,4 kW de potencia se decide instalar tres equipos en secuencia, con lo que la potencia total será de 40,65 kW a 2,4 °C exteriores.

Esta selección precisará de un gestor de cascada, que irá arrancando compresores en función de las necesidades, gestionará las horas de funcionamiento de las distintas máquinas para que el desgaste de las mismas sea homogéneo, cambiará los equipos en caso de avería, etc.

La potencia máxima de cada equipo es de hasta 16 kW en las condiciones observadas, por lo que cumple con creces el objetivo de potencia.

4.11.2.3. Esquema hidráulico

El gráfico 4-54 representa el esquema que contempla el aporte al sistema de calefacción del edificio, cuando sea posible, con prioridad para ACS (véase gráfico 4-54).

4.11.2.4. Emplazamiento de los equipos

En este caso tipo, es de especial interés la posibilidad de ubicar las unidades exteriores en cubierta y dejar las unidades interiores en la antigua sala de calderas, lo que permite ahorrar espacio en esta y una instalación más sencilla.

Varias premisas deben tenerse en cuenta a la hora de elegir el emplazamiento de las máquinas:

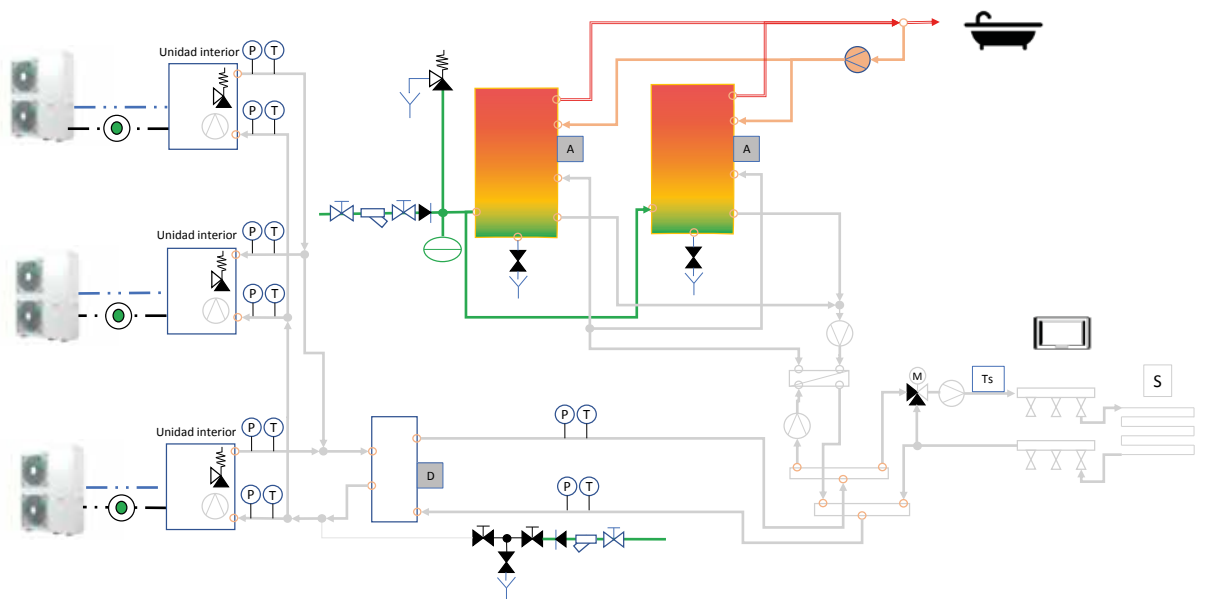


Gráfico 4-54. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Esquema de principio ACS y calefacción

- Servidumbre de espacios. Respetar las medidas mínimas de la servidumbre alrededor de las máquinas, no solo para la eventual reparación o mantenimiento de las mismas, sino para asegurar el correcto flujo de aire a las baterías.
- Distancias y desniveles en las líneas frigoríficas. En aparatos con condensador y el evaporador separado, respetar las distancias máximas y mínimas indicadas por el fabricante, así como la máxima diferencia de cota permitida entre exterior e interior, y la posible gestión del aceite, con la eventual instalación de sifones (trampas de aceite) en caso de ser necesarios, pues de otro modo pueden producirse daños graves en los compresores, rendimientos bajos, e incluso el deterioro de la máquina. En algunos modelos, las distancias frigoríficas afectan a la potencia aportada, por lo que deberá tenerse en cuenta este factor en el cálculo.
- Volumen de la sala en cumplimiento de la limitación por la carga frigorífica de los equipos.

4.11.2.5. Regulación y control

En una instalación de producción de agua sanitaria, el sistema de control más básico sería un termostato en depósito, asociado a un reloj para programar los tiempos de calentamiento, recalentamiento y desinfección.

En este caso concreto, al tener varios generadores en cascada, se optaría por un sistema de gestión de cascadas que proporcionaría:

- Adecuación de la generación a la demanda: se arrancan más o menos compresores, dependiendo de la demanda momentánea.

- Gestión de tiempos de funcionamiento, para que el desgaste de todos los generadores sea homogéneo.
- Programación horaria y temperaturas.
- Gestión de bombas de secundario.
- Desinfección contra la legionela programada.
- Supervisión a distancia, control mediante integración en el sistema de gestión del edificio, e interfaz web.

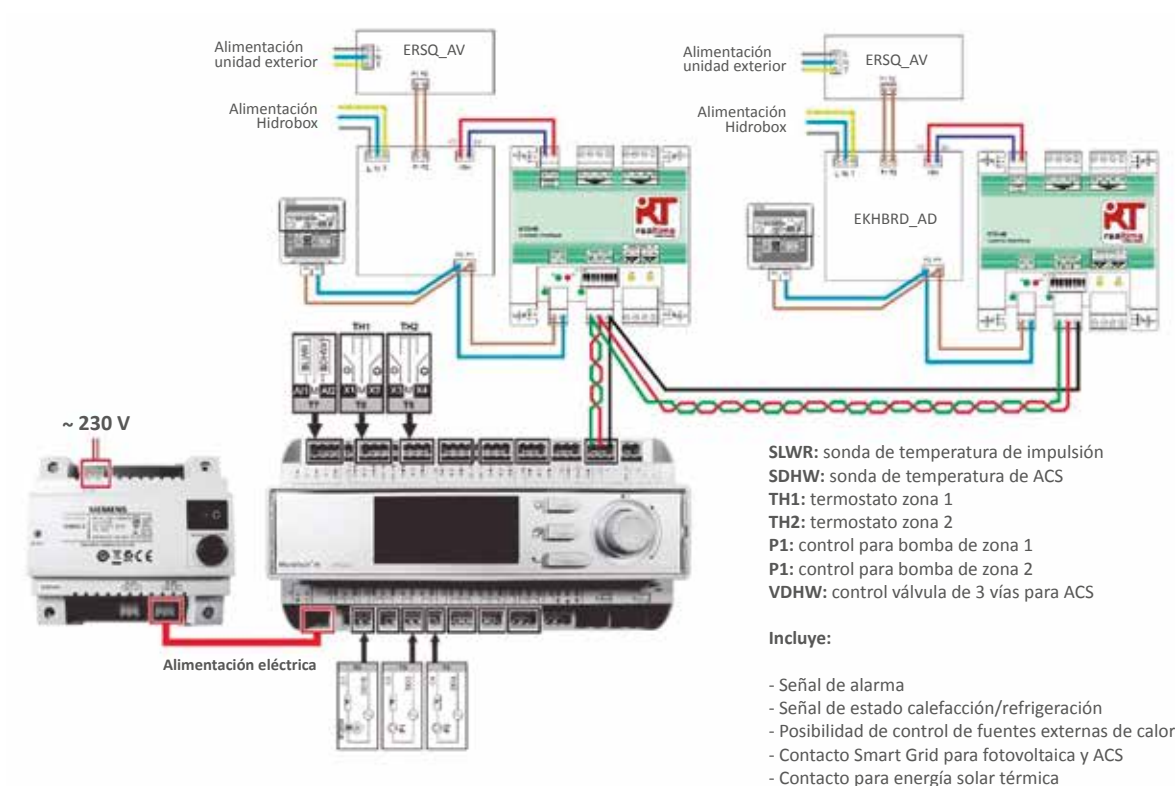


Gráfico 4-55. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Esquema de principio del control

Conexiones eléctricas

Una parte crítica a la hora de proceder a la planificación de la instalación de grandes bombas de calor es la instalación eléctrica de alimentación a las mismas.

Habitualmente todos los cuadros de protección y acometidas han de dimensionarse con respecto a los consumos máximos de las distintas máquinas, prestando especial atención a las especificaciones especiales que puede requerir este tipo de producto, como diferenciales con curvas específicas para evitar cortes injustificados, debido a los armónicos introducidos por determinados motores o electrónicas de potencia, etc.

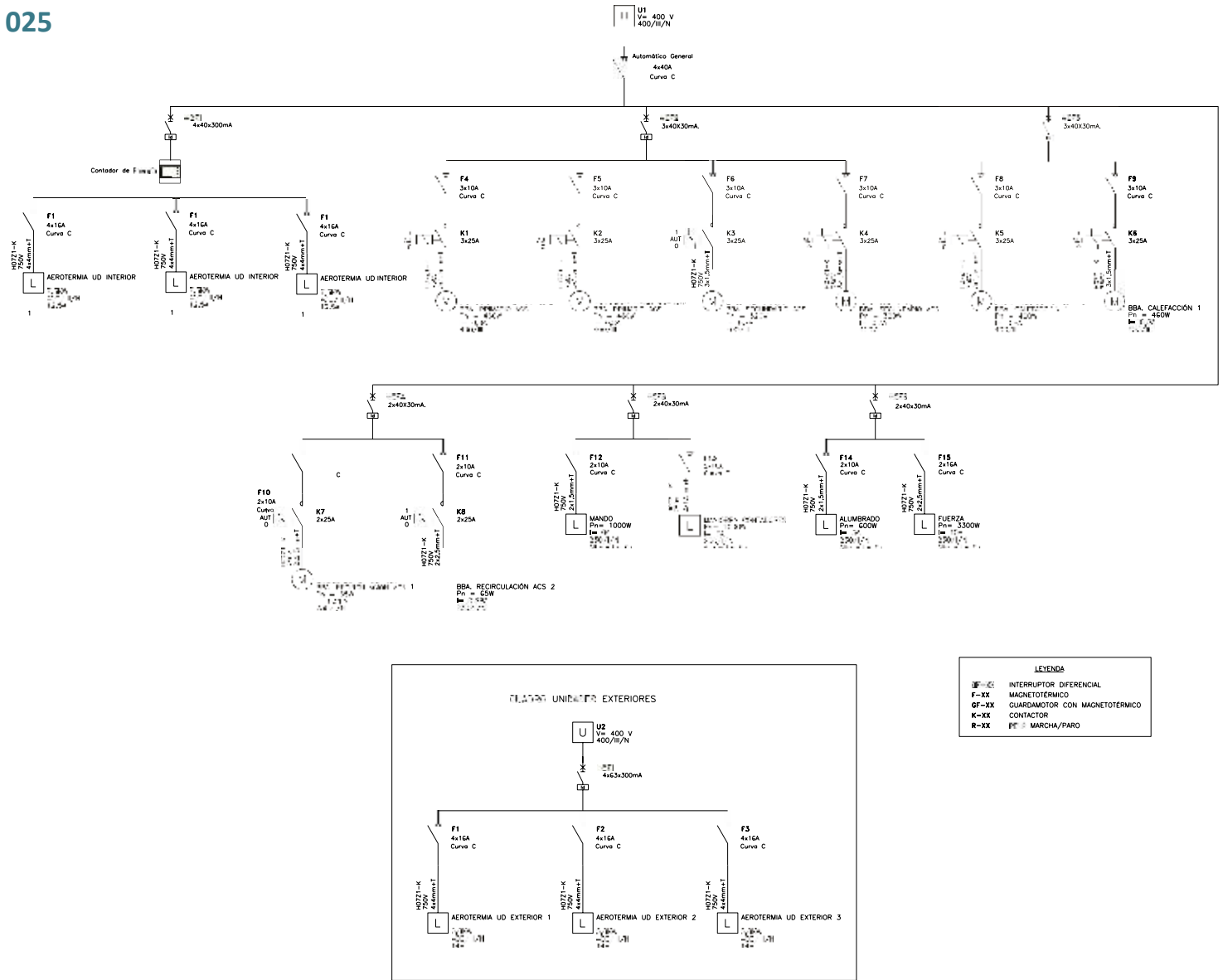


Gráfico 4-56. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Ejemplo de esquema unifilar

Deberá evaluarse si el incremento de potencia eléctrica, necesario para ACS (8 kW x 3 unidades de bomba de calor) = 24 kW precisa de un aumento de la contratación eléctrica.

4.11.3. Energía renovable

La bomba de calor ofrece un rendimiento estacional $SCOP_{dhw} = 3,362$ (véase tabla 4-112).

Caso tipo 7. Hotel. Energía renovable en ACS			
$SCOP_{dhw}$	Q_{usable}	E_{RES}	% energía renovable
Valor	kWh/año	kWh/año	%
a	b	$c = b \times (1-1/a)$	$d = c/b$
3,362	98.691	69.335	70,3%

Tabla 4-112. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Energía renovable en ACS

4.11.4. Resultados y conclusión

A partir de los datos anteriores se puede realizar la comparativa entre los sistemas analizados que se aprecia en la tabla 4-113.

Caso tipo 7. Producción de ACS mediante equipos de caudal variable de refrigerante de alta temperatura					
Demanda de energía térmica		Referencia	Caldera centralizada ACS	Bomba de calor	Cambio en demanda de energía
			Gasóleo		
ACS	kWh/año	a	98.691	98.691	0,00%
Demanda total de energía		A	98.691	98.691	0,00%
Consumo de energía final		Referencia	Gasóleo	Energía eléctrica	Ahorro en energía final
Rendimiento del generador en ACS		b	0,86	3,362	
ACS	kWh/año	$B = A/b$	114.757	29.355	-73%
Total	kWh/año	C	114.757	29.355	-73%
Consumo de energía primaria		Referencia	Gasóleo	Energía eléctrica	Ahorro en energía primaria
Coeficiente E. primaria (Cep)	kWh Ep/kWh	c	1,182	2,368	
ACS	kWh Ep/año	$D = C \times c$	135.643	69.513	-47%
Total	kWh Ep/año	E	135.643	69.513	-47%
Emisiones de CO ₂		Referencia	Gasóleo	Energía eléctrica	Ahorro en emisiones de CO ₂
Coeficiente emisiones CO ₂	kg CO ₂ /kWh	d	0,311	0,331	
ACS	Kg CO ₂ /año	$F = C \times d$	35.689	9.717	-65%
Total	Kg CO ₂ /año	G	35.689	9.717	-65%
Consumo de energía primaria no renovable		Referencia	Gasóleo	Energía eléctrica	Ahorro en EPnr
Coeficiente E. primaria no renovable (Cep _{nr})	kWh Epnr/kWh	e	1,179	1,954	
ACS.	kWh Epnr/año	$H = C \times e$	135.298	57.360	-56%
Total	kWh Epnr/año	I	135.298	57.360	-56%

Tabla 4-113. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Resultado

La sustitución del sistema de producción del sistema de calentamiento de ACS existente por el de bomba de calor reduce considerablemente la energía final consumida, así como las emisiones de CO₂.

Dependiendo de los precios de la energía (gasóleo y electricidad) y del coste de inversión de los equipos, se considera que el plazo de amortización podría estar entre 6 y 8 años. Existen ayudas para la instalación de equipos que usen energías renovables, por lo que, si se estima una ayuda aproximada del 40% sobre coste de inversión, dicho plazo de amortización podría verse reducido entre 2 y 3 años. Además, si se considera la opción de ampliar el sistema, instalando una bomba de calor para climatización con recuperación de calor para ACS, todavía podríamos conseguir mejores resultados en cuanto a ahorro.

En zonas geográficas donde las condiciones climáticas son más severas en invierno, la bomba de calor obtendrá peores rendimientos y puede ser necesario hibridar la bomba de calor con una instalación solar térmica, para reducir el consumo total de la instalación y mejorar la eficiencia en su conjunto.

Igualmente sería recomendable, si las condiciones del edificio y la cubierta lo permiten, instalar un sistema de autoconsumo que abastezca las necesidades de la bomba de calor, consiguiendo de esta manera ahorros todavía mayores.

5 Casos reales de éxito

A continuación se recogen diversos casos reales de éxito de instalaciones de equipos bombas de calor, para el sector residencial y servicios.

Los precios indicados se refieren solamente al sistema de climatización con bomba de calor y no a la reforma completa, salvo que se indique específicamente en cada caso.

5.1. Sector residencial

5.1.1. Vivienda unifamiliar

Zona climática: cálida (según SHARES) y D2 (según CTE). Rehabilitación de una antigua masía para transformarla en 7 viviendas pareadas.

Ubicación

Situada en el casco antiguo de Esclanyà, un pintoresco pueblo en el municipio de Begur (Gerona), a 213 m de altitud.

Descripción del edificio



Gráfico 5-1. Caso de éxito uno. Edificio rehabilitado

Se trata de la antigua masía «Mas Sagrera» construida en el año 1790, rehabilitada para convertirla en un conjunto de 7 viviendas pareadas de dos plantas. La rehabilitación se ha llevado a cabo manteniendo la estética exterior inicial y asegurando que el estilo rústico se mantenga intacto.

La masía no contaba con instalación de calefacción originalmente (véase gráfico 5-1).

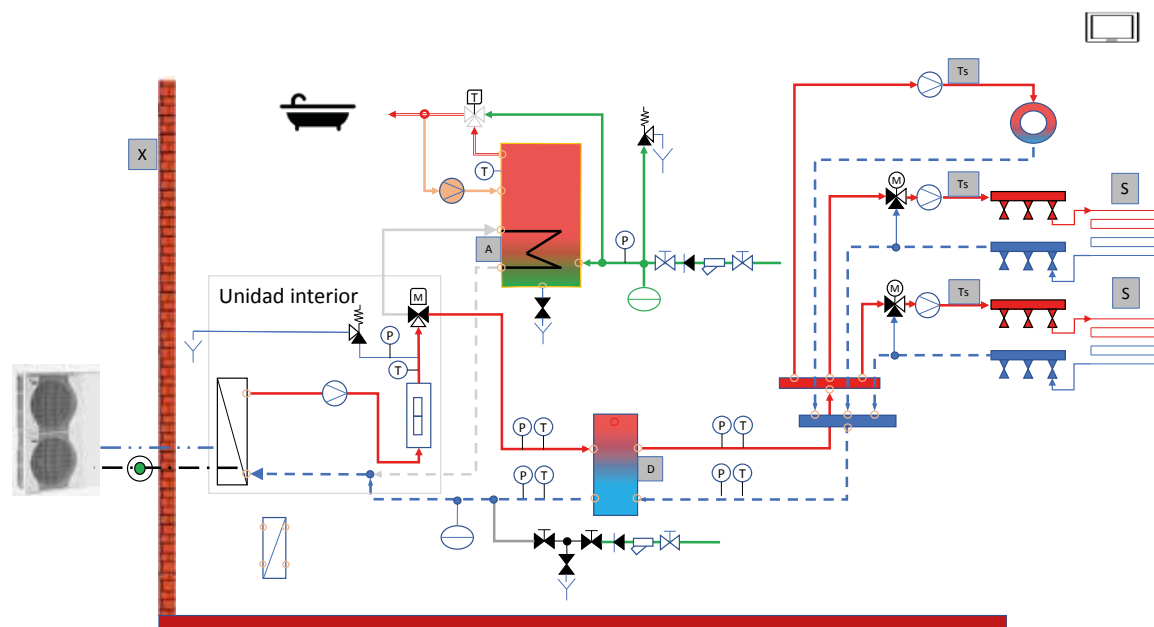


Gráfico 5-2. Caso de éxito uno. Esquema de principio

Descripción del proyecto

En este proyecto se realizó una *instalación de climatización* que combina aerotermia, *fancoils* y suelo radiante, y un sistema de regulación que extrae el máximo partido a las energías renovables y garantiza una temperatura idónea tanto en verano como en invierno (véase gráfico 5-2).

En todas las viviendas se ha optado por un sistema de bombas de calor partidas para la producción de calefacción por suelo radiante y ACS. Para realizar la refrigeración, en 5 de las viviendas se han instalado unos equipos de aire acondicionado de conductos que permiten refrigerar las dos plantas, mientras que, en el resto de las viviendas, se ha optado por una instalación de *fancoils* como sistema de refrigeración.

Las bombas de calor proporcionan calefacción, refrigeración y ACS por medio de acumuladores de 200, 300 y 500 litros, según las demandas de agua caliente sanitaria de cada una de las viviendas.

El sistema de regulación de la temperatura consiste en un termostato inteligente con conexión wifi, con el que se puede controlar, configurar y programar la climatización (calor, frío) y el ACS de forma remota a través de una aplicación móvil.

El termostato modulante se comunica con la bomba de calor para trabajar de un modo más eficiente y con menor consumo energético. Funciones como la programación semanal pueden ayudar a hacer uso solo de la energía realmente necesaria y ahorrar entre un 5% y un 15%.

Conclusión

Esta combinación garantiza un ahorro de más del 30% respecto a una instalación convencional con combustibles fósiles. Asimismo, garantiza el uso de energías limpias y la adaptación a la legislación de la Unión Europea para reducir emisiones de CO₂.

Al no existir una instalación previa de calefacción, no se pueden estimar los ahorros obtenidos al hacer esta rehabilitación, pero sí se pueden analizar las previsiones de consumos y emisiones de CO₂ en el supuesto de haber instalado otras tecnologías. En este caso, dada la ubicación de la vivienda en un entorno rural, la alternativa más habitual hubiera sido una caldera de gasóleo, por lo que es razonable hacer la comparación con esta tecnología.

Tomando como referencia la vivienda más grande de todo el complejo, de 5 habitaciones y 208 m², y haciendo el estudio energético de la instalación de aerotermia para calefacción y agua caliente sanitaria, se obtienen los resultados de la tabla 5-1.

Mes	Días	Consumos previstos ACS		Consumos previstos Calefacción		Temperatura exterior	COP ACS	Energía aerotérmica ACS kWh	COP Calefacción	Energía aerotérmica Calefacción kWh	Energía eléctrica resistencia kWh
		Temperatura Agua fría °C	Consumo útil kWh	Grados día 15/15 °C	Consumo útil kWh	°C					
Enero	31	7,1	390	295	4.870	5,5	2,70	390	3,49	4.870	0
Febrero	28	8,1	343	235	3.890	6,6	2,77	343	3,57	3089	0
Marzo	31	9,1	369	202	3.332	8,5	2,90	369	3,75	30332	0
Abril	30	10,1	347	141	2.332	10,3	2,96	347	3,84	2.332	0
Mayo	31	13,1	328	28	461	14,1	3,23	328	4,19	461	0
Junio	30	15,1	297	0	0	18,1	3,50	297	4,54	0	0
Julio	31	18,1	276	0	0	21,5	3,76	276	4,89	0	0
Agosto	31	17,1	287	0	0	21,1	3,70	287	4,80	0	0
Septiembre	30	16,1	287	0	0	18,6	3,56	287	4,63	0	0
Octubre	31	13,1	328	34	564	13,9	3,23	328	4,19	564	0
Noviembre	30	9,1	357	183	3.026	8,9	2,90	357	3,75	3.026	0
Diciembre	31	8,1	379	267	4.409	6,4	2,70	379	3,49	4.409	0
Total	365	12,0	3.988	1.384	22.885	12,8	3,08	3.988	3,63	22.885	0

Tabla 5-1. Caso de éxito uno. Tabla mensual de demanda de ACS

A partir de este estudio se obtienen fácilmente las emisiones de CO₂ para esta vivienda con aerotermia. Al compararla con las que se hubieran producido con una caldera de gasóleo, se observa que la reducción de emisiones es de más del 70%.

Presupuesto

A título de ejemplo, en la tabla 5-2 se indica el presupuesto de los equipos y materiales, sin instalación, de los materiales y equipos a ser instalados de una de las viviendas, donde la más grande del complejo consta de 5 habitaciones y 208 m².

Concepto	Precio PVP
Bomba de calor aire-agua de 16 kW (Ud.), acumulador de 300 l y accesorios	9.875
Suelo radiante (plancha, tubo, armarios y accesorios)	4.576
Fancoil (ud.)	762
Termostatos regulación wifi	320
Acumulador de inercia y circuladores	1.171

Tabla 5-2. Caso de éxito uno. PVP de materiales necesarios

5.1.2. Vivienda Colectiva (Instalación Centralizada)

Zona climática: cálida (según SHARES) y D3 (según CTE). Sustitución de calderas para calefacción y ACS por bomba de calor.

Ubicación

Vivienda situada en la localidad de Las Rozas, municipio de Madrid a 875 m de altitud.

Descripción del edificio

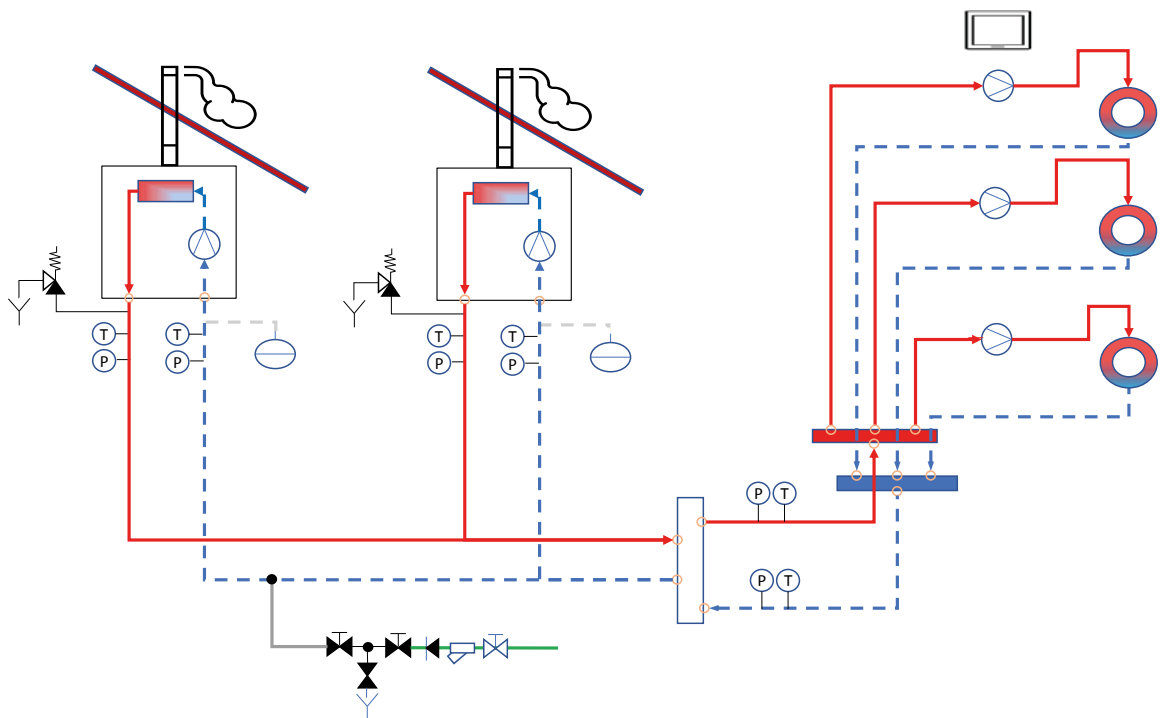


Gráfico 5-3. Caso de éxito dos. Esquema solo calefacción

Se trata de un edificio residencial formado por una planta baja y 3 altas, que cuenta con 63 viviendas de 1, 2 y 3 dormitorios y zonas comunes.

La instalación inicial constaba de tres calderas centralizadas de gas natural, una caldera para ACS y dos para calefacción por suelo radiante.

En el siguiente esquema se puede ver la instalación inicial de las dos calderas de calefacción.

Descripción del proyecto

El edificio cuenta con una superficie para calefactar de 5.400 m². La rehabilitación de fachadas y aislamientos se realizaron conforme al CTE 2007 con una demanda total de 306.651 kWh.

Para el cálculo de necesidades térmicas se ha considerado una temperatura exterior de $-2,9^{\circ}\text{C}$, según la estación meteorológica más próxima al edificio de acuerdo a la *Guía técnica de condiciones climáticas de proyecto* (IDAE), con un resultado de 247,1 kW.

Teniendo en cuenta el número de viviendas y de dormitorios, según el HE4 del CTE, se considera un total de 239 personas, que con un factor de centralización del 80%, el edificio tendrá una demanda total de ACS de 5.342 litros/día a 60°C , siendo la demanda total de ACS de 117.899 kWh.

La solución adoptada, manteniendo los servicios centralizados de calefacción por suelo radiante y producción de ACS, es mediante 20 bombas de calor aire-agua de alto rendimiento, de 15 kW, en cascada. La nueva instalación contará también con 2 cuadros de control y 2 depósitos de 2.000 litros cada uno. Aunque la configuración en cascada con equipos inverter de alta modulación permite trabajar en condiciones de bajo volumen de inercia, se considera recomendable instalar un mínimo de 20 litros de agua por kW de la potencia mínima del sistema, con todos los equipos en marcha, para evitar paradas innecesarias, es decir: $20 \times 4,4 \times 20 = 1760$ litros.

El esquema de principio sería el siguiente:

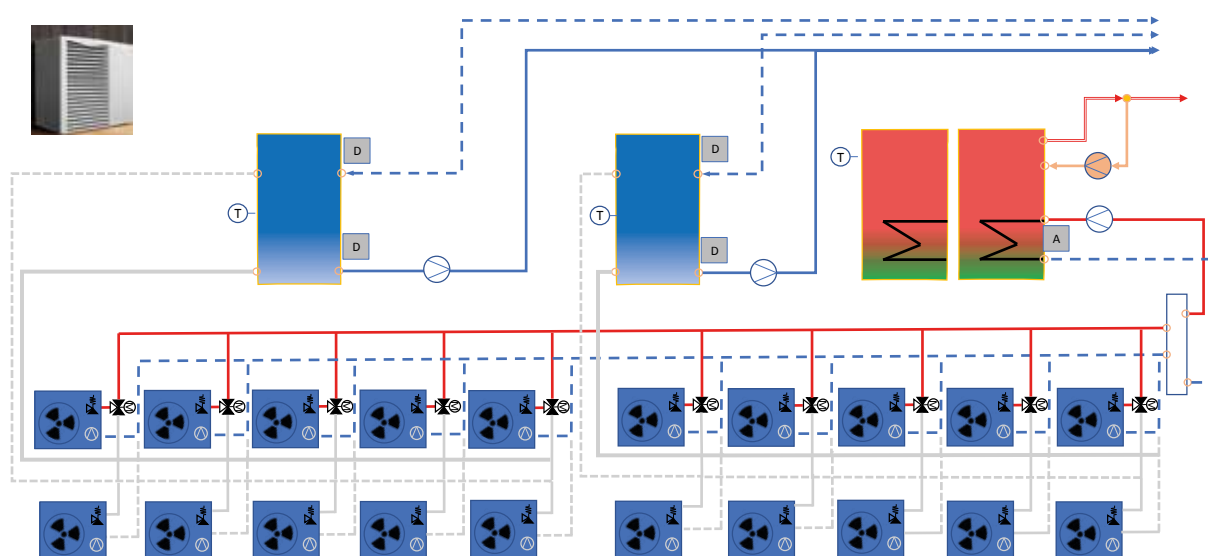


Gráfico 5-4. Caso de éxito dos. Esquema de instalación ejecutada

En cuanto a la ubicación de los equipos, se dispone de un espacio reservado en cubierta. Los acumuladores nuevos sustituirán a los antiguos en el cuarto de instalaciones.

Conclusión

Los resultados tras la reforma se concretan en las tablas 5-3 y 5-4.

Fuente	Energía consumida		Coste anual estimado	Emisiones CO ₂	Energía primaria	Energía primaria no renovable
	Calefacción	ACS				
	kWh/año	kWh/año	Euros	kg	kWh	kWh
Gas natural	363.438	140.675	30.247 €	127.036	602.415	599.894
Aeroterminia	80.281	34.421	17.890 €	45.766	271.614	224.128
Ahorro	78%	76%	41%	64%	55%	63%

Tabla 5-3. Caso de éxito dos. Resultados

Presupuesto por bomba de calor unitaria. Solo el equipo:

Concepto	Precio PVP (€)
Bomba de calor 15 kW (unidad)	9.220

Tabla 5-4. Caso de éxito dos. PVP de bomba de calor

5.1.3. Piso en bloque de viviendas

Zona climática: cálida (según SHARES) y B3 (según CTE). Sustitución de caldera para calefacción y ACS por bomba de calor para calefacción, ACS y refrigeración.

Ubicación

Vivienda situada en Coll D'En Rabassa (Mallorca), situada a 33 metros de altitud.

Descripción de las viviendas

Se trata de dos pisos de las mismas características, que forman parte de un bloque de viviendas de 4 alturas. La superficie de los pisos es de 65 m², con 2 habitaciones y 2 baños (uno en la habitación principal). Disponen de una caldera de gas natural estanca, de baja temperatura, con producción instantánea de ACS de 18 kW. La ocupación es todo el año. Disponen de suelo radiante (véase gráfico 5-5).



Gráfico 5-5. Caso de éxito dos. Bloque de viviendas

Descripción del proyecto

Se propone instalar un equipo de aerotermia, tipo *split*, con una unidad exterior y conectada frigoríficamente con una unidad interior compacta que incorpora un interacumulador para ACS de 220 litros.

	Personas	Demanda	Volumen depósito ACS	Demanda ACS	Pérdidas por acumulación	Energía total en ACS
	número	Litros/día	litros	kWh/año	kWh/año	kWh/año
ACS	3	84	220	2127	525,6	2653

Tabla 5-5. Caso de éxito tres. Demanda de ACS

Puesto que se proyecta una reforma integral de la vivienda, con cambio de fontanería, ventanas, etc., se modifica la instalación hidráulica para instalar un circuito de *fancoil* adicional para los dormitorios, cocina y el salón, que se usará sobre todo para refrigeración, de la que carecía la vivienda. Este nuevo sistema puede usarse para apoyo a calefacción si fuera necesario. El sistema de suelo radiante permanece, por lo que se realiza una limpieza del circuito de suelo radiante (véase tabla 5-6).

Resumen anual en calefacción y ACS		Demanda ACS	Rendimiento en ACS	Demanda en calefacción	Rendimiento en cal. %	Energía consumida en calefacción	Energía consumida en ACS	Energía final consumida
Situación	Generador	kWh/año	%	kWh/año		kWh/año	kWh/año	kWh/año
Inicial	Caldera GN	2127,09	92%	4500	92%	4.891	2.312	7203
Final	BdC	2652,69 ⁽¹⁾	280%	2900 ⁽²⁾	440%	659	947	1606

Tabla 5-6. Caso de éxito tres. Resumen comparativo. Incluidas las pérdidas de acumulación

Se reduce la demanda por mejora de la envolvente, pero interviniendo en menos del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio.

La potencia del equipo instalado es de 4,1 kW de potencia térmica nominal en condiciones A7/W35 y A35/W7 (véase tabla 5-7).

	Superficie	Ratio W/m ²	Potencia necesaria	Potencia nominal	Temperatura exterior
	m ²	W/m ²	W	W	°C
Calefacción	65	50	3250	4100	-0,6
Refrigeración	40	90	3600	4100	38

Esta unidad interior incorpora un depósito de inercia de 40 litros de capacidad, apto para frío-calor y situado en el retorno, así como un kit de ampliación con bombas y regulación para el gobierno de un segundo circuito de mezcla en calefacción (dos temperaturas diferentes a dos circuitos distintos), por lo que la unidad interior dispone en su interior de dos grupos de bombeo independientes, uno de ellos con válvula mezcladora, con capacidad para impulsar a diferentes temperaturas de impulsión en cada uno de los circuitos, diferente programación horaria, etc.

Este equipo se instala en la misma pared de la caldera, apoyado en el suelo, por lo que no hay que hacer reforma para su instalación. Se comprueba que el suelo soporta el peso de la unidad interior cuando el depósito está lleno (>360 Kg). El emplazamiento del equipo consta de ventilación natural. El equipo funciona con gas refrigerante R32, siendo su carga total, incluyendo la necesaria en las tuberías frigoríficas, inferior a 1,5 kg. La unidad exterior se instala en la terraza de la vivienda, junto con el desagüe de condensados correspondiente (véase gráfico 5-6).

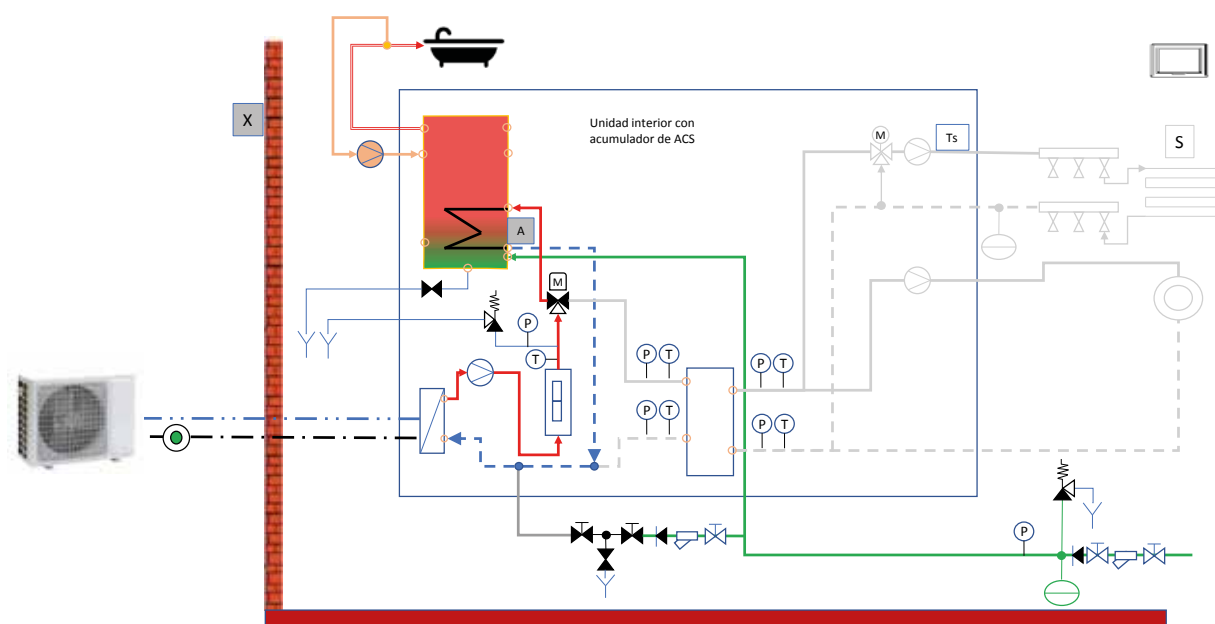


Gráfico 5-6. Caso de éxito tres. Esquema de principio

Conclusión

Los resultados tras la reforma se recogen en la tabla 5-8.

Resumen anual en calefacción y ACS		Energía final consumida	Energía primaria consumida	Energía primaria no renovable	Emisiones CO ₂	Coste anual
Situación	Generador	kWh/año	kWh/año	kWh/año	Kg CO ₂ /año	euros/año
Inicial	Caldera GN	7.203	8.608	8.572	1.815	360
Final	BdC	1.606	4.898	4.768	1.497	193
Ahorro		77,70%	43,10%	44,38%	17,52%	46,48%

Tabla 5-8. Caso de éxito tres. Resumen de energía, emisiones y ahorros

El factor de energía primaria, energía primaria no renovable y CO₂ aplicados son los correspondientes a las Islas Baleares (extrapeninsular), del documento reconocido de factores de paso. No se ha tenido en cuenta la refrigeración en el ahorro comparativo, puesto que antes no disponía de este servicio, el consumo anual en refrigeración es de 106 euros/año. La energía total consumida por el equipo, incluida en refrigeración, es de 2645 kWh/año y la total aportada es de 9237 kWh/año.

Presupuesto de los equipos, sin instalación:

Concepto	Precio PVP (€)
Bomba de Calor 4,1 kW + <i>fancoils</i> y conjunto hidráulico, etc.	7.914

Tabla 5-9. Caso de éxito tres. PVP bomba de calor y equipos sin instalación

5.1.4. Bloque de viviendas con Bomba de calor y fotovoltaica

Zona climática: cálida (según SHARES) y C1 (según CTE). Sustitución de instalación centralizada de ACS y calefacción mediante caldera de gasóleo, por bombas de calor de alta temperatura con apoyo de energía fotovoltaica.

Ubicación

Avenida Linares Rivas, 12-14, La Coruña, España.

Descripción del edificio



Gráfico 5-7. Caso de éxito cuatro. Emplazamiento del edificio

Se trata de un edificio de 20 viviendas con 4 oficinas y 2 locales comerciales, de once plantas y dos sótanos, construido en el año 1980, con una potencia total instalada de 974 kW, cubierta mediante dos calderas de gasóleo con un consumo anual de 33.998 litros/año, con acumulación para ACS en dos depósitos de 500 litros, calentados por las calderas (véase gráfico 5-7).

Las instalaciones, tanto térmica como eléctrica, se encontraban en una situación de incumplimiento normativo.

La instalación hidráulica, en particular, sufría varias patologías, aislamientos deteriorados en ACS y calefacción, distribución por múltiples columnas con gran pérdida de energía, corrosión en tuberías, ausencia de equilibrado hidráulico, pisos con bajo confort, red de recirculación con grandes pérdidas y expuesta, que ocasionaban grandes pérdidas de energía, lo que se traducía en un coste anual en energía desmesurado y altas emisiones de CO₂.

Descripción del proyecto

Se propone una solución completa, para cubrir las demandas de ACS y calefacción solo con energía renovable, para ello será necesario adecuar ambas instalaciones, hidráulica y eléctrica. Se diseña la generación mediante bombas de calor en cascada, capaces de trabajar a alta temperatura si fuese necesario (70 °C) y de potencia nominal 190 kW, utilizando gas refrigerante natural sin PCA y todo ello apoyado con un campo solar fotovoltaico en cubierta.

En calefacción:

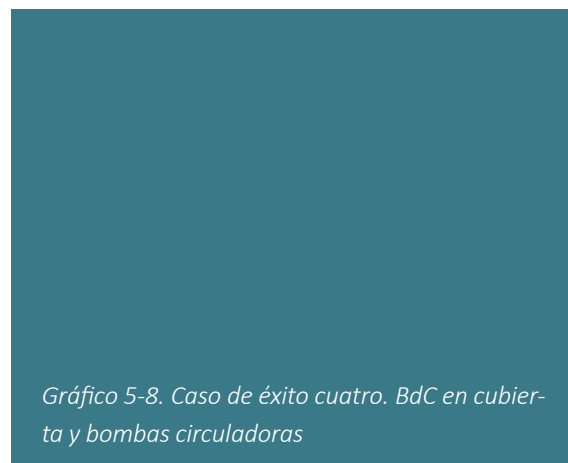


Gráfico 5-8. Caso de éxito cuatro. BdC en cubierta y bombas circuladoras

Se realiza un estudio detallado de cargas térmicas, comprobando que, a 60 °C de impulsión, se cubre la demanda de calefacción con los emisores existentes de fundición, a pesar de que la bomba de calor prevista permite una temperatura de impulsión de 70 °C. Las unidades exteriores y los equipos de mando de las bombas se emplazan en patio trasero (véase gráfico 5-8).

Además se diseñan nuevas columnas generales, con aislamientos y materiales adecuados, preparadas para una generación central con un consumo individual con contadores individuales equipados con telemedida.

- En ACS: se rediseña la instalación para producción instantánea, mediante 3.000 litros de inercia, que es utilizada tanto para calefacción como para ACS, generando ACS a 53 °C (véase gráfico 5-9) .
- Instalación eléctrica: se reforma completamente la instalación de enlace del edificio, incluidas las derivaciones individuales de las viviendas, y se tabica la sala de calderas, dejando un local contiguo para la nueva centralización eléctrica, preparado para la infraestructura vehículo eléctrico y autoconsumo compartido del campo solar fotovoltaico. La nueva previsión de cargas eléctricas, requiere la legalización de la instalación de enlace del edificio mediante solicitud de Excepcionalidades ante la Consejería de Industria (véase gráfico 5-10).



Gráfico 5-9. Caso de éxito cuatro. Depósitos s de producción instantánea



Gráfico 5-10. Caso de éxito cuatro. Paneles FV

Demandas finales y esquema de principio

ACS		
Viviendas	20	Demanda diaria
Número de personas	90	
Demanda diaria	2.520	litros/día
Energía en ACS, incluidas pérdidas	56.494	kWh/año
Calefacción		
Superficie	180	m ²
Emisores	Radiadores existentes	
Temperatura máxima	60	°C
Δt	10	°C
Demanda energía anual	180.227	kWh/año
Demanda energía viv.	50,06	kWh/m ² · año

Tabla 5-10. Caso de éxito cuatro. Resumen demanda ACS y calefacción

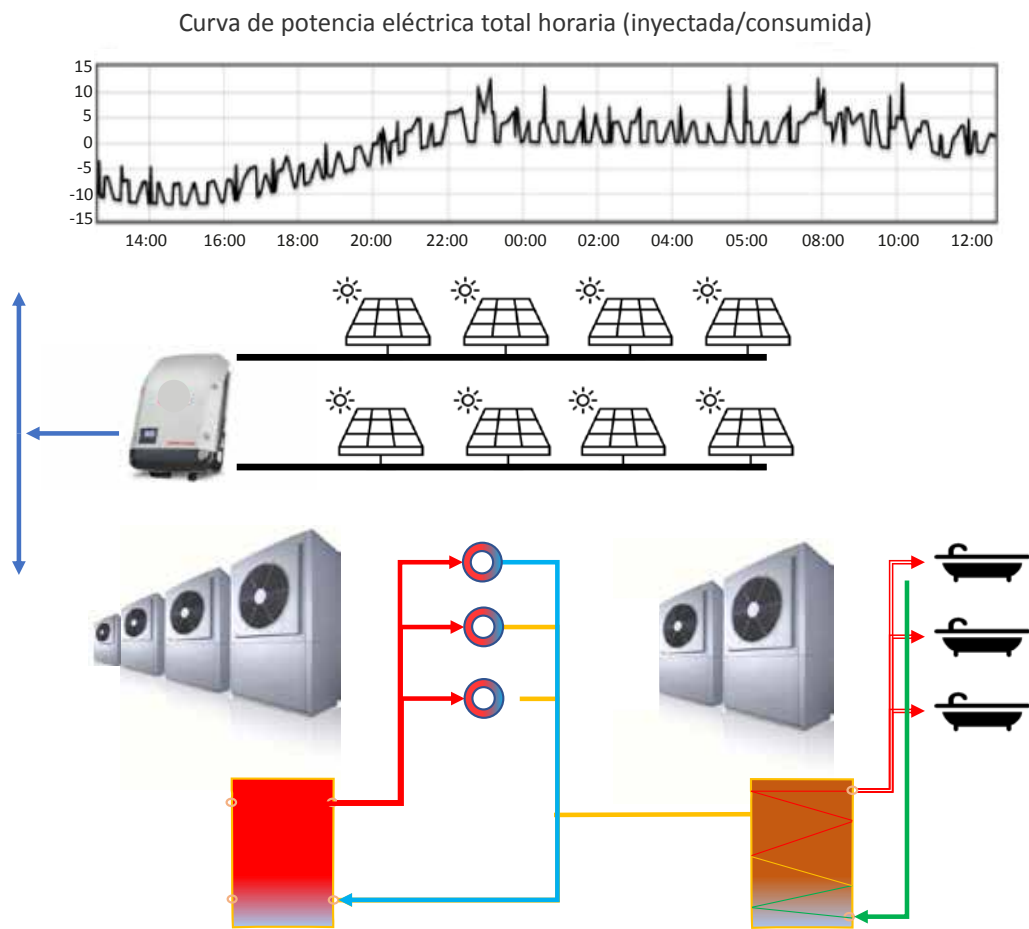


Gráfico 5-11. Caso de éxito cuatro. Esquema de principio

Resultados

Resumen anual en calefacción y ACS		Energía útil aportada al edificio	Energía final consumida	Energía generada sistema. fotovoltaico	Energía final consumida total	Energía primaria consumida	Energía primaria no renovable	Emisiones CO ₂	Coste anual
Situación	Generador	kWh/año	kWh/año	kWh/año	kWh/año	kWh/año	kWh/año	Kg CO ₂ /año	euros/año
Inicial	Caldera gasóleo	244.650	349.499		349.499	413.108	412.060	108.694	26.031 €
Final	Bomba de calor	236.721	83.060	17.848	65.212	154.422	127.424	21.585	9.782 €
Ahorro		3,24%	77,42%			62,62%	69,08%	80,14%	62,42%

Tabla 5-11. Caso de éxito cuatro. Resumen de energías, emisiones y consumos

Presupuesto

El presupuesto de la sustitución de las calderas, junto con los cambios hidráulicos, instalación de las bombas de calor, etc. se recoge en la tabla 5-12.

Concepto	Precio PVP (€)
Reforma sala de calderas con bombas de calor	197.887,93
Reforma hidráulica general + contaje individual	82.025,77
Reforma instalación enlace edificio + derivación individual a viviendas	66.125,19
Instalación fotovoltaica con línea de vida	25.195,30

Tabla 5-12. Caso de éxito cuatro. Resumen PVP

5.2. Sector servicios

5.2.1. Restaurante

Zona climática: cálida (según SHARES) y C4 (según CTE). Climatización (calefacción y refrigeración) y producción de ACS a alta temperatura.

Ubicación

Situado en Plasencia (Cáceres), con una altitud de 368 metros.

Descripción del edificio

Se trata de una rehabilitación de un edificio del siglo XVI para uso como restaurante de comida rápida.

El hospital de San Roque, hospital de la Cruz u hospital de Doña Beatriz de Trejo es un edificio histórico del siglo XVI ubicado en la ciudad de Plasencia, en la provincia de Cáceres (véase gráfico 5-12).

Situado junto a la Puerta del Sol, a las afueras de la muralla, funcionó desde 1550 hasta principios del siglo XIX como hospital de convalecencia, albergando además una enfermería para los franciscanos descalzos de la zona. En el siglo XIX, el hospital fue desamortizado, parcialmente destruido y dividido en varias parcelas. Actualmente solo se conserva, muy transformada, la iglesia del hospital, cuyo interior alberga desde 2019 un restaurante de Burger King (véanse gráficos 5-13, 5-14 y 5-15).



Gráfico 5-12. Caso de éxito cinco. Edificio antes de la rehabilitación



Gráfico 5-13. Caso de éxito cinco. Edificio después de la rehabilitación



Gráfico 5-14. Caso de éxito cinco. Edificio después de la rehabilitación



Gráfico 5-15. Caso de éxito cinco. Edificio después de la rehabilitación

Descripción del proyecto

Se ha optado por instalar 3 sistemas VRF de la siguiente manera:

- Sistema de bomba de calor para climatización de la zona de restaurante de planta baja mediante unidades de conductos.
- Sistema de bomba de calor para climatización de la zona de restaurante de las plantas primera y segunda mediante unidades de conductos.
- Sistema en recuperación de calor para climatización de las cocinas y producción de ACS mediante *hidrokit* de alta temperatura.

Mediante el sistema VRF con recuperación de calor, debido a que las cocinas tienen una demanda térmica eminentemente en refrigeración (3.696,90 kWh/año), y la demanda de ACS del edificio está estimada en 50.486,73 kWh/año, al menos un 7,3% de la demanda de ACS se producirá mediante energía térmica residual.

Aun no siendo una cantidad demasiado alta, la solución adoptada ha servido para contribuir a la amortización del sistema por parte de la propiedad y se ha vuelto a utilizar en los posteriores proyectos de la misma cadena de restaurantes.

Para evitar el impacto visual de los equipos en la cubierta del edificio, se decidió ubicar todas las unidades exteriores en la planta bajo cubierta, implementando las correspondientes entradas y salidas de aire para un correcto funcionamiento de los sistemas con temperaturas exteriores que rondan los 40 °C cada verano (véase gráfico 5-16).

Conclusiones

Ahorro Energético

Servicio	Ahorro energético	Observaciones
Climatización	35,7 kWh/(m ² ·año)	35% frente al edificio de referencia (Calener, sin bomba de calor)
ACS	17,6 kWh/(m ² ·año)	40% frente al edificio de referencia (Calener, sin bomba de calor)
	5,9 kWh/(m ² ·año)	13,5% adicional por recuperación de calor

Tabla 5-13. Caso de éxito cinco. Reducción de consumo

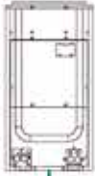
Esto supone un ahorro económico del 41,4% en el consumo de los sistemas.

Reducción de Emisiones

Servicio	Ahorro Emisiones	Observaciones
Climatización	43,9 kgCO ₂ /(m ² ·año)	
ACS	2,3 kgCO ₂ /(m ² ·año)	21,2% frente al edificio de referencia (Calener, sin bomba de calor)
	1,5 kgCO ₂ /(m ² ·año)	13,5% adicional por recuperación de calor

Tabla 5-14. Caso de éxito cinco. Reducción de consumo

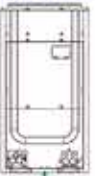
U.E. Plantas 1 y 2
Cooling Capa / Heating Capa
33.60 kW / 37.80 kW



U.E. Planta Baja
Cooling Capa / Heating Capa
33.60 kW / 37.80 kW



U.E. Cocina +
Cooling Capa / Heating Capa
33.60 kW / 37.80 kW



ACS Alta Tª
Cooling Capa / Heating Capa
0.00 kW / 16.00 kW



Comedor P2
Cooling Capa / Heating Capa
2.60 kW / 3.20 kW



Sala P. Primera_1
Cooling Capa / Heating Capa
18.00 kW / 20.00 kW



Sala P. Primera_2
Cooling Capa / Heating Capa
18.00 kW / 20.00 kW



Sala P. Baja_1
Cooling Capa / Heating Capa
18.00 kW / 20.00 kW



Sala P. Baja_2
Cooling Capa / Heating Capa
18.00 kW / 20.00 kW



Cocina
Cooling Capa / Heating Capa
22.40 kW / 25.00 kW

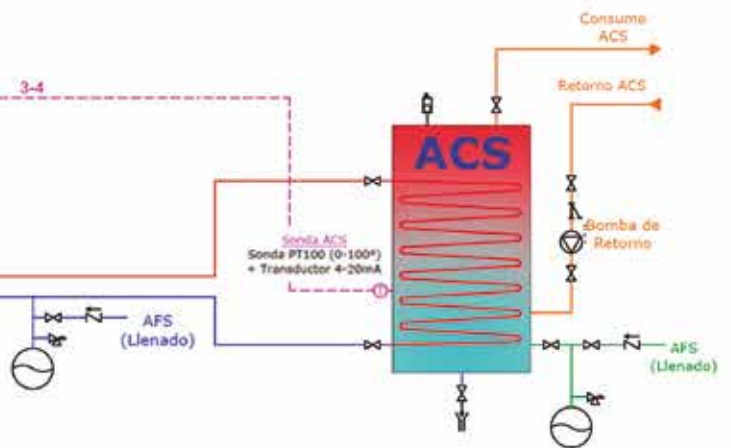


Gráfico 5-16. Caso de éxito cinco. Esquema de principio

Presupuesto

La propiedad invirtió más de un millón de euros en la rehabilitación total del edificio. La parte correspondiente solamente a los equipos de producción se muestra en la tabla 5-15.

Concepto	Precio PVP (€)
Bomba de Calor 33,5 kW (Ud.)	10.128
VRF con recuperación de calor (Ud.) + unidad interior (Ud.)	13.227
Accesorios eléctricos, mecánicos y conductos	20.094
Caja de recuperación	1.739
Sistema de control individualizado	434

Tabla 5-15. Caso de éxito cinco. PVP equipos instalados

5.2.2. CEIP

Zona climática: cálida (según SHARES) y C2 (según CTE). Sustitución de caldera por bomba de calor en el CEIP L'Estany – Zer Empordanet-Gavarres.

Ubicación

El Centro de Educación Infantil y Primaria (CEIP) está situado en la C/ Tramuntana, N.º 9 de Ullastret, en la comarca del bajo Ampurdán en Gerona, a 49 m de altitud.

Descripción del edificio

El centro cuenta con una instalación realizada en 2006, en la que en 2020 se acomete una reforma de la central de producción de calor.

La instalación original era una caldera de gas para la producción de la calefacción y ACS con una potencia de 90 kW, que trabajaba directamente con un colector común del que salían dos circuitos para la calefacción y un circuito para el ACS que es apoyado además con unas placas solares térmicas. Las unidades terminales eran radiadores de aluminio.

El gráfico 5-18 muestra un esquema de la parte original de la instalación de calefacción y un detalle del cuarto de calderas (véase gráfico 5-18).

Los circuitos de calefacción corresponden, uno a las zonas comunes (circuito 1) y el otro a las aulas (circuito 2).

Descripción del proyecto

Se observó que la potencia de la caldera estaba sobredimensionada, siendo necesarios solo 59,95 kW para la producción de calefacción, por lo que se ajustó la nueva solución a las necesidades, mante-

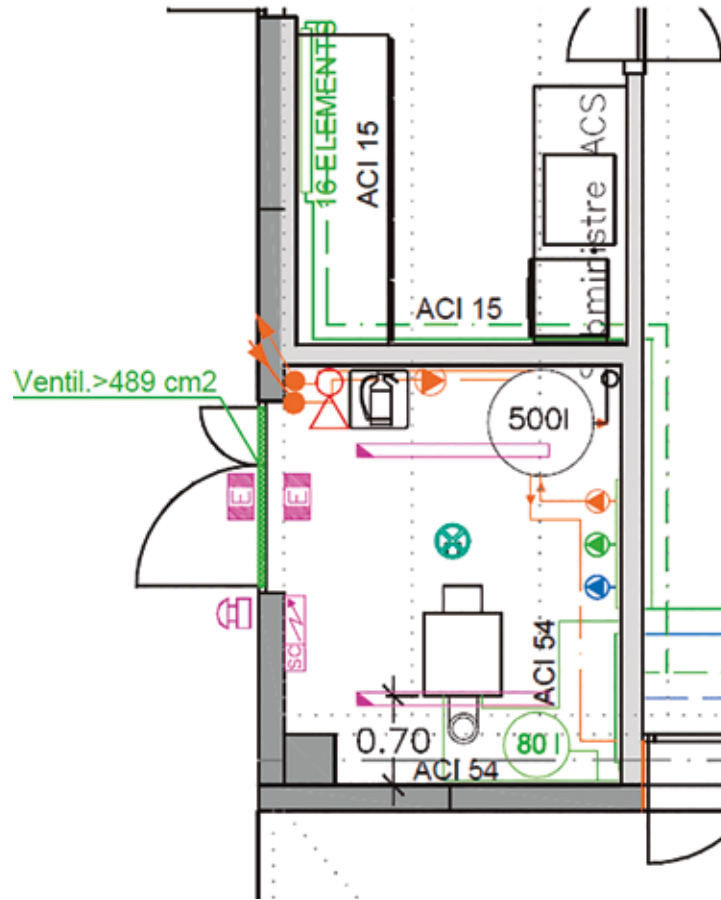


Gráfico 5-17. Caso de éxito seis. Implantación

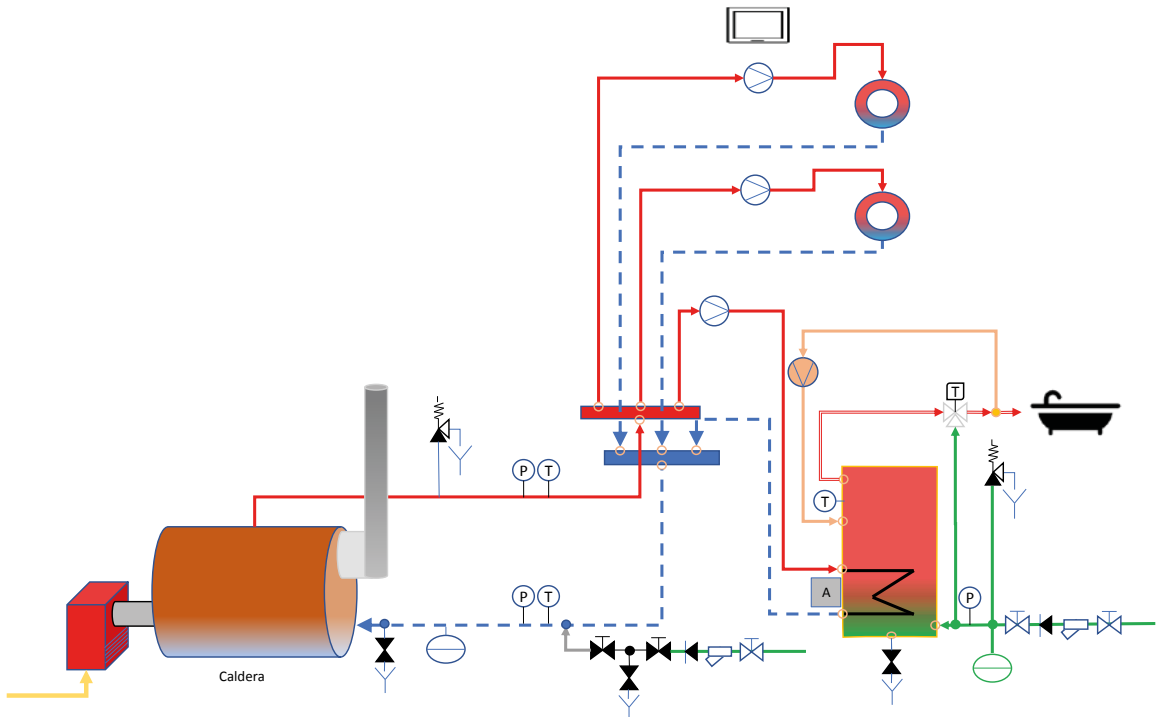


Gráfico 5-18. Caso de éxito seis. Esquema instalación existente

niendo en todo momento los elementos terminales (radiadores de aluminio). Para la producción de ACS se mantienen igualmente los colectores solares térmicos de apoyo (véase gráfico 5-17).

La nueva instalación consta de 3 unidades de aerotermia de alta temperatura de 17,8 kW cada una (80 °C incluso con temperaturas exteriores de hasta -20 °C sin resistencia), funcionando en cascada.

Este control en cascada permite secuenciar las unidades cuando la potencia requerida no sea máxima y así disminuir el consumo trabajando a cargas parciales. Además, otro punto a destacar sería la ventaja de los posibles desescarches que tenga que realizar el conjunto de unidades y que, gracias al control en cascada, se podrán desincronizar para que siempre haya unidades generadoras de calor trabajando. En este caso, con 3 unidades en cascada el desescarche se realizará de uno en uno.

Conclusiones

El ahorro económico anual inicialmente estimado es del 42%.

Presupuesto

Concepto	Precio PVP (€)
3 bombas de Calor de 17,8 kW + control en cascada	43.023

Tabla 5-16. Caso de éxito seis. PVP equipos instalados

5.2.3. Gimnasio

Zona climática: cálida (según SHARES) y C4 (según CTE). Sustitución de caldera por bomba de calor en el IES Vegas Bajas.



Gráfico 5-19. Caso de éxito siete. Edificio

Ubicación

El Instituto de Educación Secundaria (IES) está situado en la C/ Virgen de Barbaño, N.º 23, en Montijo, provincia de Badajoz, a 201 m de altitud (véase gráfico 5-19).

Descripción del edificio

El centro cuenta con una instalación antigua, en la que en 2019 se acomete una reforma de la central de producción de calor.

La instalación original consta de una caldera de gasoil para la producción de la calefacción y ACS de los vestuarios y aseos del gimnasio. Las unidades terminales son de aluminio.

Descripción del proyecto

Sustituir la caldera de gasoil por una bomba de calor aerotérmica aire-agua, para proporcionar calefacción y ACS, manteniendo los radiadores originales de aluminio.

La nueva instalación consta de una unidad de aerotermia compacta de alta temperatura de 16,7 kW.

La característica más importante de esta unidad es la producción de alta temperatura hasta 80 °C, incluso con temperaturas exteriores de hasta -20 °C sin resistencia (véase gráfico 5-20).

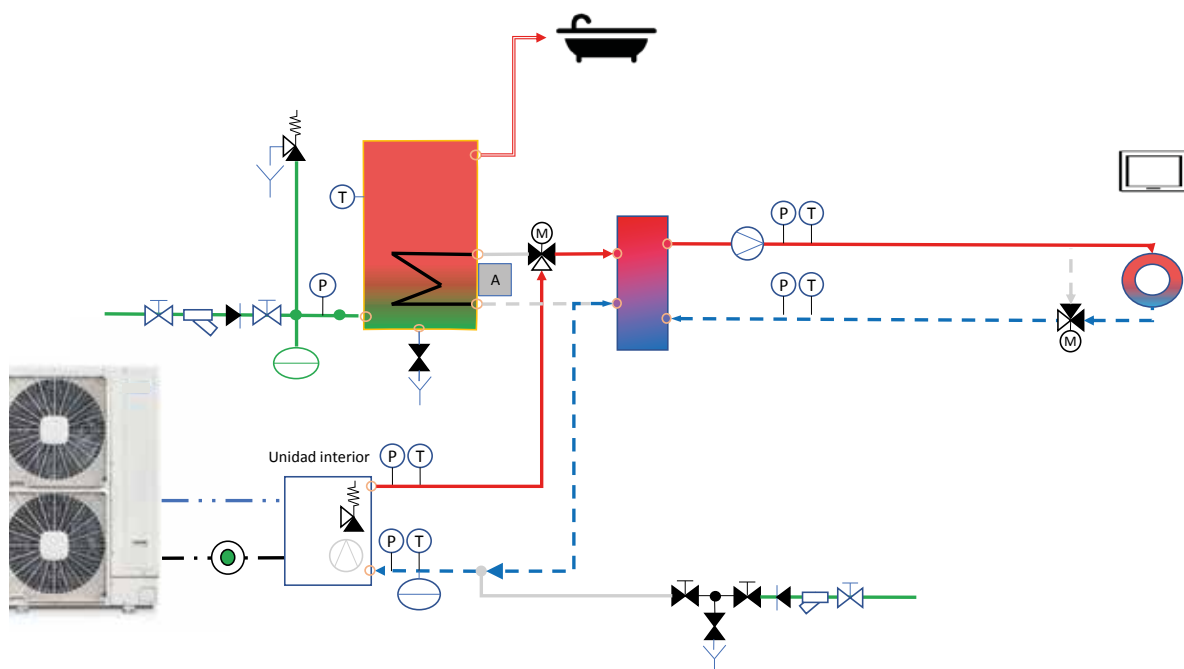


Gráfico 5-20. Caso de éxito siete. Esquema instalación existente

Conclusiones

Es muy común sustituir una caldera de combustibles fósiles que trabaje a alta temperatura, por una o varias unidades de aerotermia de alta temperatura capaces de alcanzar hasta 80 °C sin utilizar la resistencia, lo que le da al sistema un salto de calidad en cuanto eficiencia, consumos, espacios, limpieza y mantenimiento de la instalación.

El ahorro económico anual estimado es del 36%.

Presupuesto

Concepto	Precio PVP (€)
Bomba de calor de 16,7 kW	12.949

Tabla 5-17. Caso de éxito siete. PVP bomba de calor

5.2.4. Balneario

Zona climática: media (según SHARES) y D2 (según CTE). Sustitución de caldera de gas por bomba de calor en un balneario.

Ubicación

Situado en Almeida de Sayago (Zamora), a 787 m de altitud.

Descripción del edificio

Se trata del balneario «*La Dama Verde*», compuesto por un edificio principal con 34 habitaciones dobles para clientes, una planta dedicada a SPA y balneario, restaurante y cafetería y dependencias varias de servicios al balneario.

El edificio, inicialmente, disponía de dos calderas a gas y dos acumuladores, uno para ACS y otro de inercia (véase gráfico 5-21).



Gráfico 5-21. Caso de éxito ocho. Balneario

Descripción del proyecto

El objetivo del proyecto es optimizar la instalación existente manteniendo una de las calderas, como equipo auxiliar de apoyo, e integrar dos bombas de calor.

Tratándose de un balneario, la demanda más importante a cubrir será la de ACS, además de disponer de calefacción para los meses de invierno y refrigeración para los meses de verano.

Para ello se ha optado por sustituir una de las calderas de gas, por dos bombas de calor de 17,7 kW cada una, una de ellas para dar servicio a la calefacción y a la refrigeración, mediante la instalación de suelo radiante, en las zonas comunes, y *fancoils* en las habitaciones del hotel. Y la otra, multitarea, para dar servicio a la demanda de ACS con acumulador de 500 litros, además de refrigeración y calefacción.

Se ha instalado un grupo hidráulico híbrido por cada bomba de calor para la distribución y prioridad de cada una de las instalaciones térmicas de cada servicio, también se han sustituido los acumuladores, ambos de 500 litros, uno para ACS y el otro que funcionará como depósito de inercia en la instalación de primario de calefacción.

Las tuberías de la instalación han sido realizadas en material plástico, ya que tiene buena resistencia a los químicos, siendo recomendable que en la parte exterior estén protegidas frente a los rayos del sol.

En el gráfico 5-22 (esquema de la instalación) se puede ver la conexión de las bombas de calor y los dos acumuladores de 500 litros, así como el equipo auxiliar de apoyo (caldera) y los dos circuitos de calefacción de suelo radiante y *fancoils* a distintas temperaturas de distribución del agua de primario.

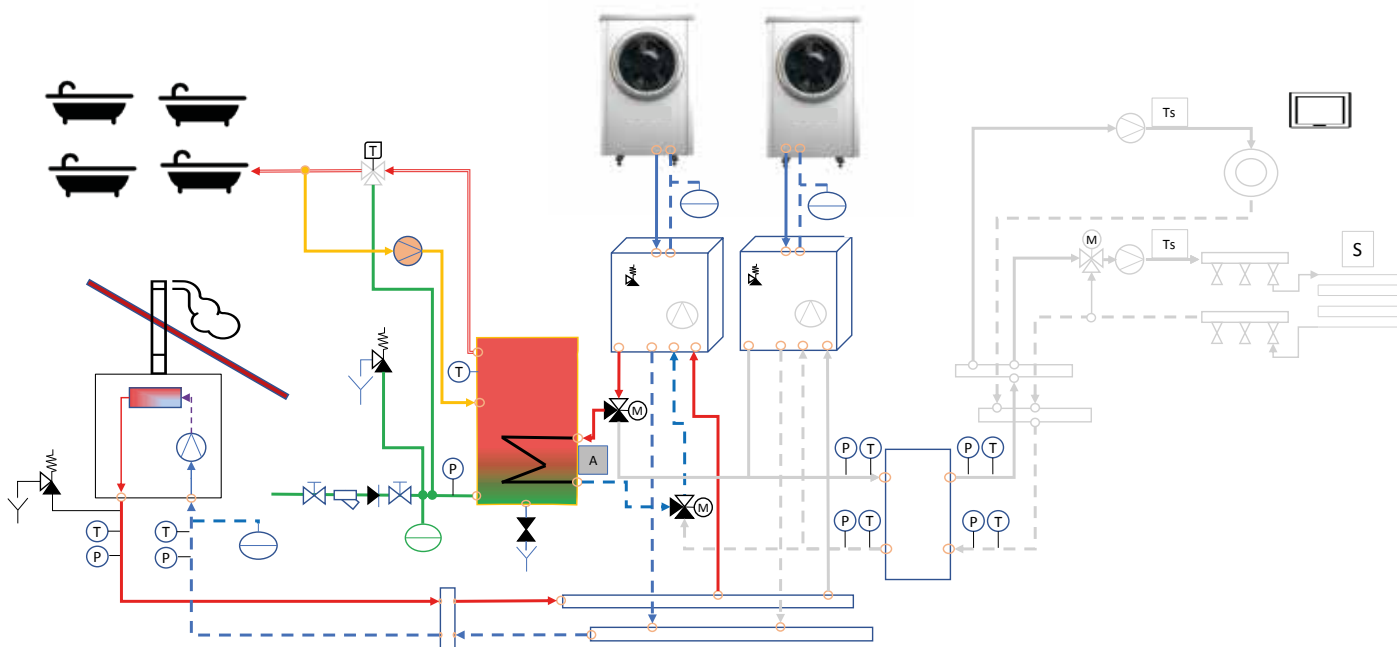


Gráfico 5-22. Caso de éxito ocho. Esquema de principio

En relación a la ubicación de los equipos, las dos unidades exteriores se instalaron al lado del edificio de servicios generales del hotel, y las unidades interiores híbridas, así como los dos acumuladores de 500 litros, se centralizaron en un cuarto de máquinas en el interior del mismo edificio de servicios generales.

Conclusión

La satisfacción de la propiedad del balneario ha sido alta por los ahorros en costes de explotación y por el nuevo servicio incorporado de refrigeración para la temporada de verano. El objetivo era hacer atractivo el balneario en los meses veraniegos, equilibrando más la ocupación y demanda de estancias a lo largo del año. Al realizar una comparativa entre la instalación de calderas de gas con equipos de aire acondicionado tipo bomba de calor aire-aire y la bomba de calor aire-agua, se obtuvieron los resultados recogidos en la tabla 5-18, en cuanto a consumos de energía primaria no renovable, energía primaria total, emisiones de CO₂ y costes de explotación según los factores de conversión del IDEA.

Capital Provincia	E. Primaria	NO renovable	E. Prim. renov.	E. Primaria total		Emis. CO2		Costes	%
Zamora	kWh/año	consumida	kWh/año	kWh/año	consumida	kgCO2/año	Mínimo	EUR/año	renov. acs
Bomba de calor calefacción+a.c.s.									
A.c.s.:	16902		22648	39550		2863		1124	71,4%
Calefacción:	10874		2304	13178		1842		723	
Frío:	5821		1233	7054		986		387	
Total	33597		26185	59782		5691		2235	
Gas Natural calefacción + Solar a.c.s. + recuperador aire infiltración									
A.c.s.:	45034		189	45223		9537		1892	0,0%
Calefacción:	33526		153	33679		7100		1409	
Frío:	6015		1274	7289		1019		400	
Total	84575		1617	88192		17655		3701	

Datos Relevantes

39,5% de ahorro económico en costes de explotación anuales.

60,2% de ahorro energético en el consumo de energía no renovable.

67% reducción de emisiones en kgCO₂ anuales.

Tabla 5-18. Caso de éxito ocho. Ahorros obtenidos

Presupuesto de los principales equipos generadores de calor y frío

Concepto	Precio PVP (€)
Bomba de calor 17,7 kW (unidad)	7.125
Módulo híbrido (unidad)	1.730
Depósito con un serpentín 500 (unidad)	1.360
Grupo de bombeo sin válvula termostática (unidad)	625
Grupo de bombeo con válvula termostática (unidad)	935

Tabla 5-19. Caso de éxito ocho. Esquema de principio. PVP Bombas de calor

5.2.5. Centro de salud

Zona climática: cálida (según SHARES) y C4 (según CTE). Sustitución de caldera de gasóleo y termo eléctrico, por bomba de calor.

Ubicación

Situado en Almendralejo (Badajoz), a 335 m de altitud (véase gráfico 5-23).



Gráfico 5-23. Caso de éxito nueve. Centro de salud

Descripción del edificio

Se trata del Centro de Salud San José, de Almendralejo, con una superficie de aproximadamente de 1.130 m² repartida en dos módulos.

La instalación inicial, con más de 20 años de antigüedad, estaba formada por una caldera de gasóleo de 290 kW para calefacción, una enfriadora solo frío, de 260 kW, con torre de refrigeración en cubierta para refrigeración y termos para ACS, solo para consultas.

Las unidades terminales eran *fancoils* a cuatro tubos con batería para frío y batería para calor.

Descripción del proyecto

El objetivo del proyecto es reducir el elevado coste energético del edificio, principalmente en gasóleo, acometiendo las mínimas actuaciones y alcanzando el máximo beneficio con el menor coste. Para ello se han sustituido la caldera, la torre de refrigeración y la enfriadora por una bomba de calor aire-agua, de 300 kW, para proporcionar calefacción y refrigeración, manteniéndose los termos para ACS y los *fancoils* como elementos terminales (véase gráfico 5-24).

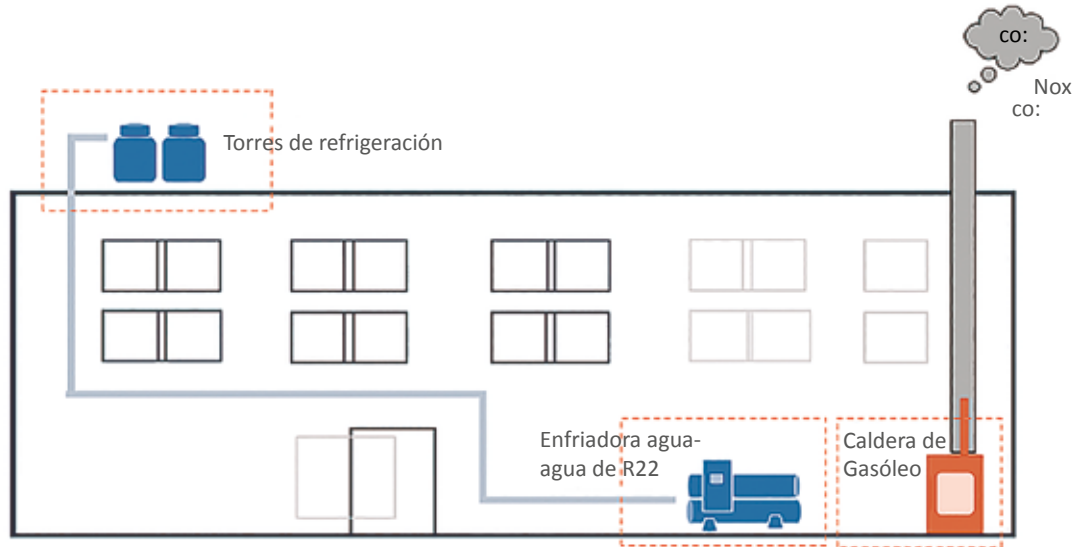


Gráfico 5-24. Caso de éxito nueve. Instalación sustituida

La bomba de calor permite sacar el agua para *fancoil* a 45 °C, lo que evita una mala difusión del calor, puntos calientes y un bajo confort.

En cuanto a su ubicación, se ha situado en la cubierta, donde estaba la torre de refrigeración, de modo que las dos tuberías que servían para traer el agua de condensación a la torre son las que se han utilizado para bajar el agua, en este caso, tanto caliente como fría, a la sala de bombas (donde se encontraba la enfriadora agua-agua) y se ha colocado un depósito de inercia y una bomba doble para el circuito primario.

Con esta solución, además de simplificarse la instalación con un solo equipo, se ha reducido la necesidad de m² de cuarto de calderas, lo que deja posibilidad de un nuevo espacio para otros usos.

Conclusión

Con esta solución, se ha conseguido:

58% de ahorro económico
47,0% de ahorro en energía primaria
66,1% reducción de emisiones en kg CO2 anuales

Tabla 5-20. Caso de éxito nueve. Ahorro de energía emisiones y económico obtenido

Concepto	Precio PVP (€)
Bomba de calor de 300 kW (unidad)	37.000

Tabla 5-21. Caso de éxito nueve. PVP bomba de calor

5.3. Sector terciario

5.3.1. Edificios centrales de un polígono Industrial

Sustitución de caldera y enfriadora por bomba de calor geotérmica

Ubicación

La reforma de la mejora de la eficiencia energética se lleva a cabo en los edificios centrales del polígono industrial de «A Granxa», en O Porriño (Pontevedra).

Se trata de un conjunto de 4 edificios para los cuales es necesario cubrir demandas de calefacción y refrigeración.

La instalación inicial constaba de una caldera de gas para las demandas de calefacción, y enfriadoras para las demandas de refrigeración.

Descripción del proyecto

Se busca llevar a cabo una reducción sobre los elevados consumos energéticos y reducir la huella de CO₂ provocada por la instalación.

Al no aplicarse ninguna mejora en el aislamiento, ni cambio de los sistemas emisores, se consideran los consumos anuales como una referencia para el dimensionamiento de las bombas de calor. La demanda de calefacción es de 142.501 kWh/año, y la de refrigeración de 216.545 kWh/año.

La instalación está compuesta por una cascada de tres bombas de calor geotérmicas modulantes (inverter) que proporcionan un total de 270 kW (véase gráfico 5-25).

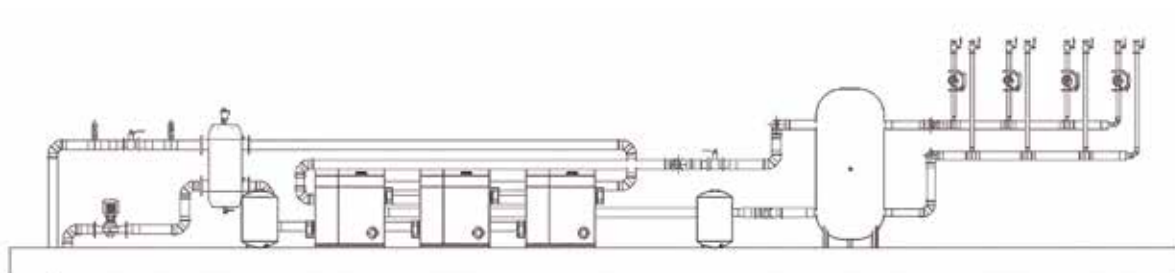


Gráfico 5-25. Caso de éxito diez. Esquema de principio

Esquema de la instalación

Todo esto es posible gracias a una captación geotérmica vertical compuesta por 24 pozos de una profundidad de 140 metros cada uno, que permiten obtener la energía necesaria para hacer trabajar las bombas de calor geotérmicas con un rendimiento elevado (véase gráfico 5-26).



Gráfico 5-26. Caso de éxito diez. Proceso de perforación

Proceso de perforación geotérmica

La sala técnica cuenta con un gestor capaz de adaptar el funcionamiento de la cascada de bombas de calor a la potencia demandada, seleccionando el número de bombas de calor que trabajan y las revoluciones de sus compresores, para asegurar que el grupo de bombas de calor trabaje siempre en los rangos de máxima eficiencia (véase gráfico 5-27).



Gráfico 5-27. Caso de éxito diez. Foto de sala de máquinas de geotermia

Imagen sala técnica

Conclusión

Sistema anterior					
Fuente	Energía consumida		Emisiones CO ₂	Energía primaria	Energía primaria no renovable
	Calefacción	Refrigeración			
	kWh/año	kWh/año	Kg/año	kWh/ año	kWh/ año
Gas natural*	167.648	-	42.247	200.340	199.501
Enfriadora**	-	72.182	23.892	170.927	141.044

Tabla 5-22. Caso de éxito diez. Datos del sistema anterior

(*) Rendimiento de la caldera 80%. ** Rendimiento de la enfriadora, SPF 3.

Nuevo sistema					
Fuente	Energía consumida		Emisiones CO ₂	Energía primaria	Energía primaria no renovable
	Calefacción	Refrigeración			
	kWh/año	kWh/año	Kg/año	kWh/ año	kWh/ año
Geotermia***	25.909	39.372	21.608	154.585	127.559

Tabla 5-22. Caso de éxito diez. Datos del nuevo sistema con bomba de calor

***Rendimiento bomba de calor geotérmica, SPF 5,5

5.3.2. Lavadero industrial de camiones

Sustitución de calderas para calentamiento de agua caliente

Ubicación

Industria de lavado de camiones situada en la localidad de Monzón, municipio de Huesca a 279 m de altitud.

Descripción de la industria

Se trata de un lavadero de camiones y vehículos industriales.

Instalación inicial constaba una caldera centralizada de gasoil para el calentamiento instantáneo de ACS.

Descripción del proyecto

La industria tiene unas necesidades de agua caliente a 60 °C de 20.000 litros/día que se consumen de lunes a viernes de 8:00 a 20:00 h y los sábados de 8:00 a 14:00 h. Domingo cerrado.

Para el cálculo de la demanda térmica se ha partido de las temperaturas de agua mensuales según CTE y unas temperaturas BS exteriores mensuales de la zona (véase tabla 5-24).

	Temperatura agua de red (°C)	Temperatura seca exterior (°C)
Enero	7,0	5
Febrero	8,0	5,9
Marzo	10,0	9,8
Abril	11,0	12
Mayo	14,0	16,3
Junio	16,0	22,2
Julio	19,0	23,4
Agosto	18,0	23,3
Septiembre	17,0	19,2
Octubre	13,0	14,9
Noviembre	9,0	8,5
Diciembre	7,0	4,9

Tabla 5-24. Caso de éxito 11. Tempertura entrada agua fría

Se han considerado un 5% de perdidas (véase tabla 5-25).

	Energía ACS (kWh)	Pérdidas (kWh):	Total, demanda energía (kWh):
Enero	30.805	1.541	32.346
Febrero	26.597	1.330	27.927
Marzo	29.061	1.453	30.514
Abril	27.341	1.367	28.708
Mayo	26.736	1.337	28.073
Junio	24.551	1.228	25.779
Julio	23.830	1.192	25.022
Agosto	24.411	1.221	25.632
Septiembre	23.993	1.200	25.193
Octubre	27.318	1.366	28.684
Noviembre	28.457	1.423	29.880
Diciembre	28.341	1.417	29.758

Tabla 5-25. Caso de éxito 11. Demanda de energía térmica

Se opta por la instalación de un sistema de producción instantánea de ACS a 60 °C, mediante bomba de calor por refrigerante CO₂, formado por un tándem de dos unidades, cada una de ellas de 30 kW de producción térmica. Total: 60 kW.

Esta potencia se mantiene constante hasta los -7 °C para asegurar una producción térmica constante, aún con las condiciones más desfavorables.

Las bombas de calor cubren el 100% de la demanda.

El resumen de los consumo de las bomba de calor (BdC) se recogen en la tabla 5-26.

	Energía consumida por la BdC (kWh)	COP medio mensual
Enero	8.901	3,63
Febrero	7.312	3,82
Marzo	7.224	4,22
Abril	6.614	4,34
Mayo	6.270	4,48
Junio	5.380	4,79
Julio	5.552	4,51
Agosto	5.662	4,53
Septiembre	5.710	4,41
Octubre	6.451	4,45
Noviembre	7.168	4,17
Diciembre	8.245	3,61

Tabla 5-26. Energía consumida y COP medio mensual

Energía eléctrica total consumida por la bomba de calor: 80.489 kWh.

Esquema de la instalación

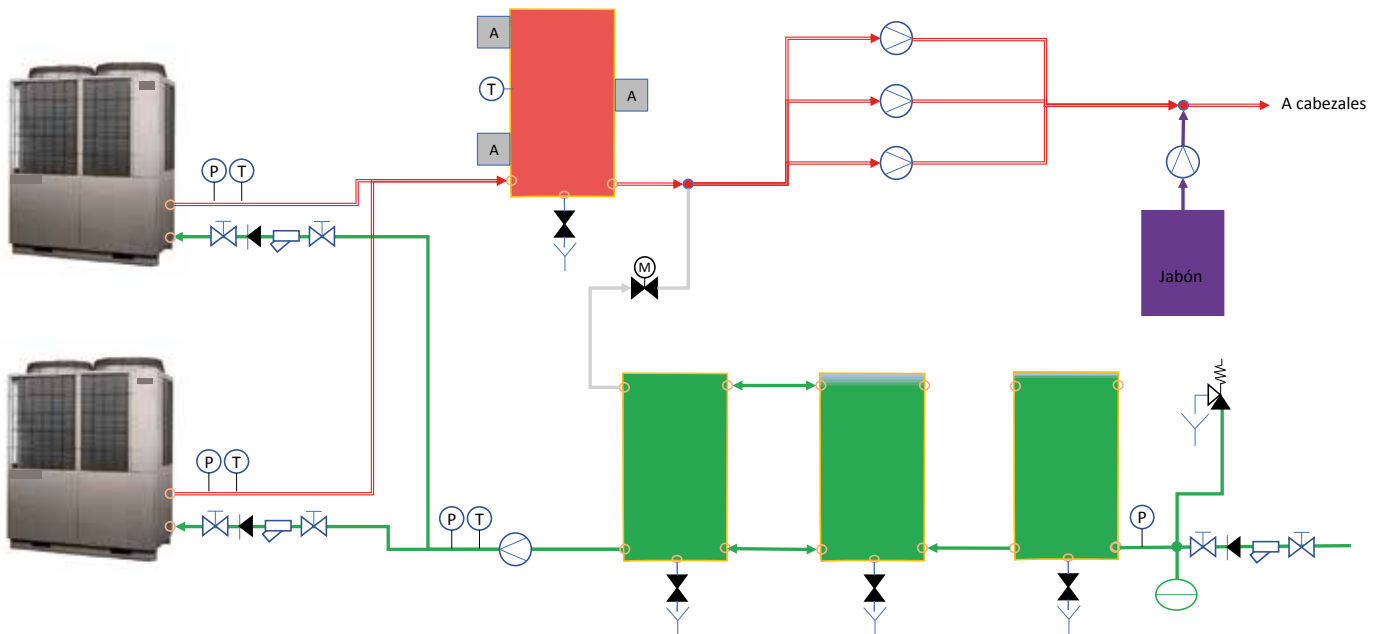


Gráfico 5-28. Caso de éxito once. Esquema de principio

Foto de la instalación.



Gráfico 5-29. Caso de éxito once. Unidades exteriores en bancada



Gráfico 5-30. Caso de éxito once. Depósito de acumulación de agua caliente

En cuanto a la ubicación de los equipos, van situados en una estructura metálica anexa al edificio. Existe un acumulador de 30 m³ situado en el interior de la nave.

Conclusión

Fuente	Energía consumida anual (*)		Emisiones de CO ₂	Energía primaria	Energía primaria no renovable
	Calefacción (kWh)	ACS (kWh)	(kg)	(kWh)	(kWh)
Gasóleo*	0	397.078	123.491	469.346	468.155
Aeroterminia	0	80.489	26.642	190.597	157.276

Tabla 5-27. Caso de éxito once. Resumen

(*) Rendimiento de la caldera = 85%

6 Normativa aplicable

6.1. Legislación europea

6.1.1. Directivas

- Directiva (UE) 2018/2002, de 11 de diciembre de 2018, por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética.
- Directiva (UE) 2018/2001, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovable.
- Directiva (UE) 2018/844, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética.
- Directiva 2014/68/UE, de 15 de mayo de 2014, relativa a la armonización de las legislaciones de los Estados miembros sobre la comercialización de equipos a presión.
- Directiva 2014/35/UE, de 26 de febrero de 2014, sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de comercialización de material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión (refundición).
- Directiva 2014/34/UE, de 26 de febrero de 2014, sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas (refundición).
- Directiva 2014/30/UE, de 26 de febrero de 2014 sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética (refundición).
- Directiva 2012/27/UE, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética.
- Directiva 2012/19/UE, de 4 de julio de 2012, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- Directiva 2010/31/UE, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- Directiva 2009/125, de 21 de octubre de 2009, por la que se instaure un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía.
- Directiva 2006/42/CE, de 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas.

6.1.2. Reglamentos

- Reglamento Delegado (UE) 2019/826, de 4 de marzo de 2019, que modifica los anexos VIII y IX de la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al contenido de las evaluaciones completas del potencial de una calefacción y una refrigeración eficientes.
- Reglamento (UE) 2017/1369, de 4 de julio de 2017, por el que se establece un marco para el etiquetado energético y se deroga la Directiva 2010/30/UE.
- Reglamento (UE) 2016/2282, de 30 de noviembre, por el que se modifican diversos Reglamentos, entre ellos los Reglamentos 640/2009 (relativo a motores eléctricos), 327/2011 (relativo a ventiladores), 206/2012 (relativo a acondicionadores de aire), 813/2013 (relativo a aparatos de calefacción y calefactores combinados), 814/2013 (relativo a calentadores de agua y depósitos de agua caliente), 1253/2014 (relativo a unidades de ventilación) y 2016/2281 (relativo a productos de calefacción por aire, productos de refrigeración, enfriadoras procesos de alta temperatura y ventiloconvectores), en lo que respecta al uso de tolerancias en los procedimientos de verificación.
- Reglamento (UE) 2016/2281, de 30 de noviembre, que aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía, en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos de calentamiento de aire, los productos de refrigeración, las enfriadoras de procesos de alta temperatura y los ventiloconvectores.
- Reglamento 517/2014, de 16 de abril, sobre los gases fluorados de efecto invernadero, por el que se deroga el Reglamento (CE) N.º 842/2006.
- Reglamento 814/2013, de 2 de agosto, por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE, en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para calentadores de agua y depósitos de agua caliente.
- Reglamento 813/2013, de 2 de agosto, por el que se desarrolla la Directiva 2009/125/CE, respecto de los requisitos de diseño ecológico aplicables a los aparatos de calefacción y a los calefactores combinados.
- Reglamento Delegado 812/2013, de 18 de febrero, por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE en lo que respecta al etiquetado energético de los calentadores de agua, los depósitos de agua caliente y los equipos combinados de calentador de agua y dispositivo solar.
- Reglamento Delegado 811/2013, de 18 de febrero, por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE en lo relativo al etiquetado energético de aparatos de calefacción, calefactores combinados, equipos combinados de aparato de calefacción, control de temperatura y dispositivo solar y equipos combinados de calefactor combinado, control de temperatura y dispositivo solar.

- Reglamento 206/2012, de 6 de marzo, por el que se desarrolla la Directiva 2009/125/CE, respecto de los requisitos de diseño ecológico aplicables a los acondicionadores de aire y a los ventiladores.
- Reglamento Delegado 244/2012, de 16 de enero de 2012, que complementa la Directiva 2010/31/UE, relativa a la eficiencia energética de los edificios, estableciendo un marco metodológico comparativo para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y sus elementos.
- Reglamento Delegado (UE) 626/2011, de 4 de mayo de 2011, por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE en lo que respecta al etiquetado energético de los acondicionadores de aire.
- Reglamento (CE) N.º 1005/2009, de 16 de septiembre de 2009 sobre las sustancias que agotan la capa de ozono.
- Reglamento 2019/1781, 1 de octubre de 2019, por el que se establecen requisitos de diseño ecológico para los motores eléctricos y los variadores de velocidad de conformidad con la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, se modifica el Reglamento (CE) 641/2009 en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico aplicables a los circuladores sin prensaestopas independientes y a los circuladores sin prensaestopas integrados en productos y se deroga el Reglamento (CE) 640/2009 de la Comisión.
- Reglamento 2019/1020, de 20 de junio de 2019, relativo a la vigilancia del mercado y la conformidad de los productos y por el que se modifican la Directiva 2004/42/CE y los Reglamentos (CE) 765/2008 y (UE) 305/2011

6.1.3. Decisiones

- Decisión de la Comisión 2014/314, de 28 de mayo de 2014, por la que se establecen criterios para la concesión de la etiqueta ecológica de la UE a los calefactores a base de agua.
- Decisión 2013/114/UE, de la Comisión de 1 de marzo, por la que se establecen las directrices para el cálculo por los Estados miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor de diferentes tecnologías, conforme a lo dispuesto en el artículo 5 de la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.
- Corrección de errores de la Decisión 2013/114/UE de la Comisión, de 1 de marzo, por la que se establecen las directrices para el cálculo por los Estados miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor de diferentes tecnologías, conforme a lo dispuesto en el artículo 5 de la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.

6.2. Legislación Nacional

- Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el *Código Técnico de la Edificación*, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.

- 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*.
- Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.
- Real Decreto-ley 20/2018, de 7 de diciembre, de medidas urgentes para el impulso de la competitividad económica en el sector de la industria y el comercio en España. Disposición transitoria segunda. Condiciones para las instalaciones que contengan refrigerantes del grupo A2L.
- Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores
- Real Decreto 564/2017, de 2 de junio, por el que se modifica el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.
- Real Decreto 115/2017, de 17 de febrero, por el que se regula la comercialización y manipulación de gases fluorados y equipos basados en los mismos, así como la certificación de los profesionales que los utilizan y por el que se establecen los requisitos técnicos para las instalaciones que desarrollen actividades que emitan gases fluorados.
- Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos.
- Real Decreto 144/2016, de 8 de abril, por el que se establecen los requisitos esenciales de salud y seguridad exigibles a los aparatos y sistemas de protección para su uso en atmósferas potencialmente explosivas.
- Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- Real Decreto 709/2015, de 24 de julio, por el que se establecen los requisitos esenciales de seguridad para la comercialización de los equipos a presión.
- Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- Real Decreto 1042/2013, de 27 de diciembre, por el que se aprueba el *Reglamento del Impuesto sobre los Gases Fluorados de Efecto Invernadero* que desarrolla el artículo 5, de la Ley 16/2013 por la que se establecen determinadas medidas en materia de fiscalidad medioambiental y se adoptan otras medidas tributarias y financieras.
- Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas de *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*, aprobado por el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.
- Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.
- Real Decreto 187/2011, de 18 de febrero de 2011, relativo al establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía.

- Real Decreto 1826/2009, de 27 de noviembre de 2009, por el que se modifica el *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios*, aprobado por el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.
- Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.
- Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio de 2007, por el que se aprueba el *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo de 2006, por el que se aprueba el *Código Técnico de la Edificación*.
- 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*.
- Real decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificio*.
- *Real Decreto 842/2002*, de 2 de agosto, por el que se aprueba el *Reglamento electrotécnico para baja tensión*.

6.3. Normas

UNE-EN 16905-2:2021. Bombas de calor accionadas por motor endotérmico de gas. Parte 2: Seguridad.

UNE-EN 14276:2021. Equipos a presión para sistemas de refrigeración y bombas de calor.

- Parte 1: recipientes. Requisitos generales.
- Parte 2: redes de tuberías. Requisitos generales.

UNE-EN 12102-2:2020. Acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido, bombas de calor, enfriadoras de procesos y deshumidificadores con compresores accionados eléctricamente. Determinación del nivel de potencia acústica. Parte 2: bomba de calor para producción de agua caliente.

UNE-EN 15316:2019. Eficiencia energética de los edificios. Método para el cálculo de las demandas energéticas y de las eficiencias de los sistemas.

- Parte 4-2: sistemas de generación para calefacción de locales, sistemas de bomba de calor, módulos M3-8-2, M8-8-2.
- Parte 4-8: sistemas de generación para calefacción de locales, sistemas de calefacción por aire y de calefacción por radiación suspendidos, incluyendo estufas (locales), módulo M3-8-8.

UNE-EN 14825:2019. Acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido y bombas de calor con compresor accionado eléctricamente para la calefacción y la refrigeración de recintos. Ensayos y clasificación en condiciones de carga parcial y cálculo de rendimiento estacional.

UNE-EN 14511:2019. Acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido y bombas de calor para la calefacción y la refrigeración de locales y enfriadoras de proceso con compresores accionados eléctricamente.

- Parte 1: términos y definiciones.
- Parte 2: condiciones de ensayo.
- Parte 3: métodos de ensayo.
- Parte 4: requisitos.

UNE-EN 16905-4:2018. Bombas de calor accionadas por motor endotérmico de gas. Parte 4: Métodos de ensayo.

UNE-EN 16573:2018. Ventilación de edificios. Ensayos de prestaciones de componentes para edificios residenciales. Equipos de ventilación equilibrados y multifuncionales para viviendas unifamiliares, incluyendo las bombas de calor.

UNE-EN 15316-1:2018. Eficiencia energética de los edificios. Método para el cálculo de las demandas energéticas y de las eficiencias de los sistemas. Parte 1: generalidades y expresión de la eficiencia energética, módulos M3-1, M3-4, M3-9, M8-1, M8-4.

UNE-EN ISO 14903:2018. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Clasificación de la estanquidad de los componentes y las uniones. (ISO14903:2017).

UNE-EN 12102-1:2018. Acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido, bombas de calor, enfriadoras industriales y deshumidificadores con compresor accionado eléctricamente. Determinación del nivel de potencia acústica. Parte 1: Acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido, bombas de calor para la calefacción y la refrigeración de locales, deshumidificadores y enfriadoras industriales.

UNE-EN 16905:2017. Bombas de calor accionadas por motor endotérmico de gas.

- Parte 1: términos y definiciones.
- Parte 3: condiciones de ensayo.
- Parte 5: cálculo de los rendimientos estacionales en modo de calefacción y refrigeración.

UNE-EN 12178:2017. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Dispositivos indicadores de nivel de líquido. Requisitos, ensayos y marcado.

UNE-EN 378: 2017. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales.

- Parte 1: requisitos básicos, definiciones, clasificación y criterios de elección
- Parte 2: diseño, fabricación, ensayos, marcado y documentación.

- Parte 3: instalación in situ y protección de las personas.
- Parte 4+A1:2020: operación, mantenimiento, reparación y recuperación.

UNE-EN 13136:2014+A1:2019. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Dispositivos de alivio de presión y sus tuberías de conexión. Métodos de cálculo.

UNE-CEN ISO/TS 16491:2012. Directrices para la evaluación de la incertidumbre en la medición de los ensayos de potencia frigorífica y calorífica de los acondicionadores de aire y las bombas de calor (ISO/TS 16491:2012) (Ratificada por AENOR en febrero de 2013).

UNE-EN 15879-1:2011. Ensayos y determinación de las características de las bombas de calor con intercambio directo con el terreno con compresor accionado eléctricamente eléctrico para calefacción y/o refrigeración de locales. Parte 1: bombas de calor de intercambio directo con el agua.

UNE-EN 13313:2011. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Competencia del personal.

UNE-EN 12693:2009. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales. Compresores volumétricos para fluidos refrigerantes.

UNE-EN 15450:2008. Sistemas de calefacción en edificios. Diseño de los sistemas de calefacción con bomba de calor.

UNE-EN 60335-2-40:2005/A13:2012/AC:2013. Aparatos electrodomésticos y análogos. Seguridad. Parte 2-40: Requisitos particulares para bombas de calor eléctricas, acondicionadores de aire y deshumidificadores.

UNE-EN 12284:2005. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Válvulas. Requisitos, ensayos y marcado.

UNE-CEN ISO/TS 16491:2012. Directrices para la evaluación de la incertidumbre en la medición de los ensayos de potencia frigorífica y calorífica de los acondicionadores de aire y las bombas de calor (ISO/TS 16491:2012) (Ratificada por AENOR en febrero de 2013).

7 Anexos

7.1. Problemas más frecuentes en las instalaciones con bomba de calor

Tipo de problema	Naturaleza del problema	Causa	Consecuencias	Más habitual en bombas de calor del tipo	Solución	Se debe tener en cuenta en la fase
ACS	El usuario se queda sin ACS	Acumulación insuficiente de ACS. Dimensionamiento erróneo del acumulador que no ha tenido en cuenta las extracciones previstas ni el perfil horario de consumo	Insuficiente volumen de agua caliente por lo que será necesario usar sistemas auxiliares y el consumo energético será elevado al tener que elevar la temperatura de consigna. La bomba de calor permanecerá un gran número de horas en funcionamiento en ACS, desatendiendo la calefacción/refrigeración (en bombas de calor multitarea).	Aire-agua Agua-agua	El cálculo del volumen de acumulación, especialmente en demandas centralizadas, debe tener en cuenta el perfil horario de extracción. Realizar un estudio detallado de las necesidades y hábitos de consumo para obtener una demanda de ACS más aproximada a la realidad. En el caso de grandes demandas de ACS, utilizar bombas de calor en secuencia o bombas de calor dedicadas solo para ACS.	Diseño del Proyecto
ACS	El usuario se queda sin ACS	Superficie de intercambio insuficiente	La bomba de calor solo aporta una fracción de la potencia térmica disponible	Aire-agua Agua-agua	Elegir intercambiadores diseñados específicamente para bomba de calor con superficie de intercambio suficiente. Realizar un dimensionamiento correcto del intercambiador de placas en función del salto térmico. Controlar el salto térmico y facilitar la estratificación necesaria.	Diseño del Proyecto
ACS	El usuario se queda sin ACS	Recirculación de ACS no controlada, especialmente cuando se conecta a la entrada del agua fría en lugar del tercio superior de acumulador de ACS	Rotura de la estratificación, enfriamiento rápido de ACS. Uso de elementos auxiliares. Cambio de modo constante.	Aire-agua Agua-agua	Conectar la toma de recirculación en el tercio superior del acumulador (si dispone de este) y en todo caso controlar la bomba de recirculación. Utilizar sistema <i>press-control</i> , maniobras eléctricas, etc. que impidan el uso constante de la bomba de recirculación de ACS (salvo en instalaciones centralizadas)	Diseño del Proyecto - Instalación

Tipo de problema	Naturaleza del problema	Causa	Consecuencias	Más habitual en bombas de calor del tipo	Solución	Se debe tener en cuenta en la fase
ACS	El usuario se queda sin ACS	Posicionamiento erróneo de sensores de temperatura en la zona alta del depósito de ACS (tercio superior). Esto ocasiona que la bomba de calor se detenga cuando solo se ha calentado la tercera parte del depósito	Insuficiente volumen efectivo de ACS. Los ciclos de calentamiento de ACS son excesivamente cortos, se desatiende la calefacción-refrigeración de modo constante	Aire-agua Agua-agua	Situar las sondas como indique el fabricante del equipo	Instalación
Control	Elevado consumo	Ausencia de una estrategia clara y detallada, previa a la instalación, de cómo va a funcionar la bomba de calor, en ACS, calefacción, refrigeración, piscina, etc. así como sus prioridades y tiempo necesarios, circuitos hidráulicos, saltos térmicos, temperaturas, etc.	El usuario no quedará satisfecho. Consumos elevados, pérdida de control, etc.	Todas	Planificar cuidadosamente el control de la instalación, teniendo en cuenta las características de los generadores y emisores, evitando por un lado la ausencia de elementos de control suficiente, y por otro lado la sobreinstalación de elementos de control que perjudiquen el rendimiento de los generadores. Prever una curva de aprendizaje (de meses como mínimo) del personal técnico encargado, tanto del Diseño del Proyecto, como de la instalación. Instruir al usuario en el uso del sistema	Diseño del Proyecto
Control	Mal funcionamiento del sistema, elevado consumo	Sistema de control externo a la bomba de calor interfiere negativamente sobre el control propio del equipo	Ciclos de funcionamiento cortos y paradas incontroladas. Rotura de compresor	Todas	Dar prioridad al sistema de control propio del equipo	Uso -Mantenimiento

Tipo de problema	Naturaleza del problema	Causa	Consecuencias	Más habitual en bombas de calor del tipo	Solución	Se debe tener en cuenta en la fase
Eléctrico	Sección de cables insuficiente	No se ha tenido en cuenta los consumos máximos o las exigencias del REBT que difieren de otras de otros países	Caída de tensión, aumento de la intensidad consumida, daños en el conducto, disparo de protecciones eléctricas, parada de equipo	Todas	Considerar la potencia máxima consumida por la bomba de calor, las caídas de tensión y la tensión real de entrada al edificio (especialmente en zonas rurales)	Diseño del Proyecto
Eléctrico	La red eléctrica de la zona (especialmente zonas rurales) no está preparada para grandes consumos	Red eléctrica antigua, distancias elevadas a centros de transformación, etc.	Simultaneidad de consumos hace que caiga la tensión en toda la zona	todas	Analizar la situación de la red eléctrica en la zona y valorar soluciones	Diseño del Proyecto
Eléctrico	No se comprueba el sentido de giro de las fases	Los compresores trifásicos solo funcionan en un sentido, si se le cambia el orden de las fases, rompen	Avería grave puesto que requiere cambiar el compresor	todas	Nunca pulsar un contactor de un compresor trifásico «a mano». Comprobar orden de fases con herramienta específica	Instalación
General	Problemas de circulación de refrigerante	Tuberías de sección incorrecta	Retención de aceite, rotura del compresor, falta de rendimiento	Split	Revisar el trazado y sección de tubería necesarias	Diseño del Proyecto
General	El equipo no llega a la potencia requerida	Agua glicolada en el circuito, no en el proyecto	La presencia de glicol en el circuito hace bajar la capacidad y rendimiento de las máquinas 5-15%	Aire-agua Agua-agua	En caso de ser necesario glicolar, debe preverse para el dimensionamiento de máquina	Diseño del Proyecto
General	Rotura de intercambiadores refrigerante-agua	Congelación del intercambiador por no existir un sistema de protección adecuado	Rotura de la máquina puesto que se contamina el circuito frigorífico. Reparación muy costosa	Aire-agua Agua-agua	Los intercambiadores refrigerante-agua, especialmente los situados en el exterior deben disponer de sistemas de protección antifreezing, automáticos y libres de mantenimiento, que eviten su congelación y rotura	Diseño del Proyecto

Tipo de problema	Naturaleza del problema	Causa	Consecuencias	Más habitual en bombas de calor del tipo	Solución	Se debe tener en cuenta en la fase
General	No se realiza un vacío adecuado	Herramienta en mal estado, desconocimiento de la técnica de vacío, falta de elementos de medida de precisión suficiente	Acidez en el circuito frigorífico, derivación del compresor, drástica reducción de la vida útil	Split	Utilizar herramientas, latiguillos en buen estado, bombas de vacío de doble efecto, con nivel y tipo de aceite correcto. Recomendación: instalar visor de refrigerante apto (>50 bar) para monitorizar el grado de humedad residual presente evitando parar la bomba de calor si el sistema no está seco	Instalación
General	Falta de caudal suficiente en circulación a través de la bomba de calor. Presencia de fangos en el circuito	Utilización de tubos plásticos sin barrera de oxígeno	El oxígeno disuelto en el agua del primario produce fangos que acaban por obstruir intercambiadores, etc.	Aire-agua Agua-agua	Utilizar siempre tubos con barrera de oxígeno. Aditivar adecuadamente el agua de primario	Instalación
General	Ajuste de caudales no coincide con el de Diseño del Proyecto	Ausencia de equilibrado en la instalación	Ruidos, menor rendimiento, estancias con diferentes temperaturas, elevado consumo del sistema	todas	Siempre es necesario equilibrar las instalaciones en la puesta en marcha, o transcurridos unos días	Instalación - Mantenimiento
Hidráulico	La bomba de calor se queda sin caudal	Elementos de corte de los circuitos locales interrumpen o reducen el flujo de agua por debajo del mínimo operativo	Parada del equipo, avería, falta de rendimiento, pérdida de servicio	Aire-agua Agua-agua	Las bombas de calor precisan un caudal de agua nominal para poder obtener el mejor rendimiento. Si se interrumpe el flujo de agua, el equipo se detiene bruscamente, además de correr riesgo el intercambiador por congelaciones, etc.	Diseño del Proyecto

Tipo de problema	Naturaleza del problema	Causa	Consecuencias	Más habitual en bombas de calor del tipo	Solución	Se debe tener en cuenta en la fase
Hidráulico	Falta de caudal suficiente en circulación a través de la bomba de calor	Sección interior insuficiente de las tuberías hidráulicas o elevadas pérdidas de carga generada por el número de codos, accesorios, etc.	Parada del equipo, interrupción del suministro, bajo rendimiento de la bomba de calor, congelamiento de intercambiadores, etc.	Todas	Aumentar sección y/o incorporar separadores hidráulicos y/o depósitos de inercia, especialmente en el caso de la incorporación de elementos de corte «aguas arriba»	Diseño del Proyecto
Hidráulico	Entrada de elementos extraños a los intercambiadores	Ausencia de elementos de filtrado antes de la entrada a los intercambiadores	Falta de circulación, parada de equipo, congelaciones y rotura, falta de potencia, etc.	Todas	Incorporar filtros adecuados de baja pérdida de carga y mantenerlos limpios. Enjuagar la instalación antes de la primera puesta en marcha.	Diseño del Proyecto
Hidráulico	Aire en la instalación hidráulica que impide la circulación	Ausencia de purgadores en puntos altos	Parada de la bomba de calor. Falta de potencia	Aire-agua Agua-agua	Situar correctamente los elementos de purga, en número suficiente.	Diseño del Proyecto
Hidráulico	Condensaciones y pérdida de potencia	Instalaciones con falta de aislamiento o falta de control sobre las unidades terminales	Una falta de aislamiento de tuberías hidráulicas puede provocar condensaciones en la instalación y una bajada de la potencia entregada. Los suelos refrescantes no controlados o mal diseñados pueden provocar condensaciones en toda su superficie	Aire-agua Agua-agua	Se debe aislar correctamente todos los elementos de la instalación que vaya a tener una temperatura distinta a la de la vivienda. Se debe diseñar la temperatura para el suelo refrescante en función de las condiciones propias de la vivienda (temperatura y humedad)	Diseño del Proyecto
Hidráulico	Disparos de válvulas de seguridad	Las instalaciones no disponen de los elementos básicos necesarios	El sistema se queda sin agua para su funcionamiento	Aire-agua Agua-agua	Se debe prever todos los elementos básicos de una instalación hidráulica recogidos en el RITE. Algunos de estos elementos serían: vasos de expansión, válvulas antirretorno, filtros, desfangadores, válvulas reductoras de presión, válvulas de equilibrado, válvulas de corte...	Diseño del Proyecto - Instalación

Tipo de problema	Naturaleza del problema	Causa	Consecuencias	Más habitual en bombas de calor del tipo	Solución	Se debe tener en cuenta en la fase
Hidráulico	Circuitos hidráulicos con calidad del agua muy deficiente	Zonas geográficas con calidades de agua muy deficientes (alta concentración de cal por ejemplo). Reutilización de instalaciones sin una correcta rehabilitación	Corrosiones, obstrucciones y posibles roturas del intercambiador de calor de la unidad interior	Aire-agua Agua-agua	Se debe prever un tratamiento adecuado del agua que se hará llegar a la instalación. Este tratamiento varía en función de la zona geográfica o incluso del edificio. Se debe consultar con un especialista para hacer el tratamiento correcto. En instalaciones reutilizadas es importante tener en cuenta el estado de la instalación, así como los materiales utilizados en todo el circuito hidráulico	Mantenimiento
Mantenimiento	Imposibilidad para realizar un correcto mantenimiento de los equipos	No existe suficiente espacio para acceder a las máquinas y realizar las tareas de mantenimiento	Posibles averías por incorrecto mantenimiento y aumento del costo de las posibles reparaciones	Todas	Las unidades exteriores y también las interiores precisan accesos laterales, posteriores y frontales con suficiente espacio que permitan acceder a un técnico	Diseño del Proyecto - Instalación
Mantenimiento	Pérdidas de presión en los circuitos hidráulicos	Fugas de agua en los circuitos de calefacción. El agua de llenado transporta oxígeno, cal y otros elementos que pueden ocasionar lodos, oxidaciones, hierro en suspensión, etc., lo que obstruye y daña los equipos	La máquina al no tener presión se para y hay que llenar con mucha frecuencia el circuito de calefacción	Aire-agua Agua-agua	Localizar fugas y repararlas	Instalación - Mantenimiento
Mantenimiento	Fallos electrónicos	Ausencia de punteras en los cables, herramienta inadecuada, aflojamiento por el calentamiento y uso	Daños a la electrónica, averías esporádicas de muy difícil diagnóstico, molestias a los usuarios	todas	Los cables deben instalarse con punteras, y los contactos estar apretados con la herramienta adecuada	Instalación - Mantenimiento
Mantenimiento	El equipo no calienta lo suficiente	Filtros sucios en la unidad interior, suciedad acumulada	La suciedad penetra en todos los elementos, intercambiadores, rodetes de ventiladores, impulsores, plásticos, etc.	Split	Limpiar los filtros de las unidades interiores	Mantenimiento

Tipo de problema	Naturaleza del problema	Causa	Consecuencias	Más habitual en bombas de calor del tipo	Solución	Se debe tener en cuenta en la fase
Potencia térmica	La bomba de calor tiene ciclos cortos de marcha-paro durante un gran número de horas	La potencia necesaria en la instalación es mucho menor que la potencia mínima que la bomba de calor puede aportar	Envejecimiento prematuro de la bomba de calor. Rotura del compresor por falta de retorno de aceite (un compresor debe permanecer en marcha al menos de 15 a 20 minutos para que el aceite en circulación a través del circuito frigorífico retorne). Los sistemas de separación de aceite solo son efectivos con presiones de régimen de funcionamiento, lo que lleva tiempo alcanzar	Todas	Tener en cuenta el tiempo mínimo de funcionamiento y la mínima potencia del equipo en la fase de Diseño del Proyecto. En instalaciones de bombas de calor aire-agua, prever un volumen de agua suficiente si se han instalado elementos de corte por local o instalar un depósito de inercia	Diseño del Proyecto
Potencia térmica	No se alcanza la temperatura de confort en la vivienda	Error en el cálculo de la potencia térmica en las condiciones de temperatura exterior de proyecto en calefacción	Cuando la temperatura exterior es muy baja, la bomba de calor no alcanza la potencia térmica necesaria para calentar la vivienda a la temperatura de confort	Todas	En la fase de diseño, determinar correctamente la potencia para la temperatura exterior de proyecto en función de la ubicación de este y analizar la curva de potencia de la máquina. Tener en cuenta la temperatura de confort real que desea o necesita el usuario (por ejemplo, si existen personas con discapacidad, centros hospitalarios, residencias de ancianos, etc.)	Diseño del Proyecto
Potencia térmica	No se alcanza la temperatura de diseño de la instalación	La carga térmica real es diferente a la prevista en proyecto	No se alcanzan las condiciones de confort	Todas	Calcular la carga térmica correctamente en la fase de proyecto o prever el uso de sistemas auxiliares si la instalación ya está ejecutada	Diseño del Proyecto
Potencia térmica	Falta de potencia térmica	Cuando las distancias frigoríficas son elevadas, debe considerarse el factor reductor de la potencia	No se dispondrá de la potencia de refrigeración calculada y por lo tanto no se alcanzarán las condiciones de confort	Split	Tener en cuenta el factor reductor por distancia frigorífica equivalente a la hora de seleccionar el equipo	Diseño del Proyecto

Tipo de problema	Naturaleza del problema	Causa	Consecuencias	Más habitual en bombas de calor del tipo	Solución	Se debe tener en cuenta en la fase
Potencia térmica	Bloqueo de los ventiladores	Nieve acumulada	El equipo no funciona	Aire-Aire Aire-Agua	Las bombas de calor deben levantarse del suelo a una altura suficiente, para evitar que la nieve pueda bloquear las palas	Instalación
Refrigerante	Concentraciones de refrigerante elevadas en la instalación	No se ha previsto el volumen de refrigerante total que tendrá la instalación después de realizar la carga de refrigerante adicional	Incumplimiento del RSIF e imposibilidad de legalizar la instalación	Split	Durante el diseño se debe tener en cuenta los límites de carga para cada tipo de refrigerante indicados en el RSIF. Por ejemplo, en el caso de refrigerante R32, si se superan los 1,84 Kg de carga de refrigerante en la instalación, se debe verificar si el local cumple con superficie mínima exigida por el RSIF y en caso contrario, prever medidas si fuera necesario (ventilación forzada, detectores de refrigerante, etc.)	Diseño del Proyecto
Refrigerante	Fugas de refrigerante	Mala praxis en la realización de abocardados, soldadura, etc.	Mal funcionamiento de la máquina y elevados costes de reparación. Daños medioambientales	Split	Utilizar materiales de calidad y una correcta praxis en la instalación de los equipos. Se debe llevar a cabo por empresas habilitadas de reconocida solvencia técnica	Instalación
Refrigerante	Mal funcionamiento del sistema, elevado consumo	Falta de refrigerante en circulación porque no se ha tenido en cuenta la distancia frigorífica entre las unidades y no se ha añadido la carga de refrigerante adicional	Falta de rendimiento del equipo. Imposibilidad de conseguir la potencia nominal o la temperatura de impulsión esperada	Split	Se debe añadir correctamente la carga adicional de refrigerante y calificarla según las indicaciones del fabricante	Instalación

Tipo de problema	Naturaleza del problema	Causa	Consecuencias	Más habitual en bombas de calor del tipo	Solución	Se debe tener en cuenta en la fase
Rendimiento	El sistema no funciona correctamente o tiene elevado consumo	La temperatura de entrada de aire a la unidad exterior cae drásticamente en invierno o aumenta drásticamente en verano. Emplazamiento inadecuado, el aire expulsado por la unidad exterior recircula y vuelve a ser aspirado	Pérdida total de potencia en calefacción o en refrigeración, imposibilidad de alcanzar la potencia de diseño del proyecto, necesidad de elementos auxiliares, elevado consumo y sin embargo no se alcanza la temperatura de consigna en el edificio	Aire-Aire Aire-Agua	Cambiar el lugar de emplazamiento de las bombas de calor. Evitar su instalación en el fondo de fosos puesto que el aire frío es más pesado que el aire caliente y se acumulará en el fondo. Evitar expulsar el aire de unas máquinas a otras. Instalarlas libres de obstáculos en su parte frontal (los equipos domésticos mueven 1 m ³ de aire por segundo, que no debe revocar).	Diseño del Proyecto
Rendimiento	En instalaciones híbridas, muchas horas de funcionamiento y consumo de caldera, en detrimento de la bomba de calor	Error en el diseño y la estrategia de funcionamiento del sistema híbrido caldera-bomba de calor. Manejo inadecuado de la instalación por la empresa de mantenimiento	La caldera funciona muchas más horas de las previstas en el proyecto y la bomba de calor solo aporta una mínima parte de la calefacción. No se obtienen los ahorros previstos.	Híbridas	Planificar detalladamente cuál será la estrategia de funcionamiento de los equipos y diseñar un esquema hidráulico acorde a dicha estrategia. En fase de operación, prever un tiempo de aprendizaje de los técnicos de mantenimiento (meses), ya que la complejidad técnica es mayor que una instalación convencional. Realizar control remoto de las instalaciones (especialmente registro gráfico)	Diseño del Proyecto
Rendimiento	Averías por cancelación de desescarche	falta de volumen de agua suficiente en la instalación	El usuario se queda sin servicio	Aire-agua Agua-agua	Disponer de volumen de agua suficiente en la instalación y que esté siempre disponible para la bomba de calor	Diseño del Proyecto

Tipo de problema	Naturaleza del problema	Causa	Consecuencias	Más habitual en bombas de calor del tipo	Solución	Se debe tener en cuenta en la fase
Rendimiento	Montaña de hielo en la bandeja de la unidad exterior	Cuando las temperaturas de entrada a la unidad exterior son inferiores a 0 °C, durante los desescarches puede que restos de agua en la bandeja de drenaje se acumulen, helándose a continuación, provocando el efecto «montaña de hielo», que provoca una obstrucción adicional en el evaporador y una pérdida de rendimiento	Incremento del número de desescarches	Aire-agua Agua-agua	Existen diferentes soluciones para evitar este problema, como tubería de descarga integrada en bandeja, resistencias de traseado de bajo consumo para las bandejas de condensados, etc., así como sistemas para su control que hace que solo funcionen cuando sea imprescindible	Diseño del Proyecto
Rendimiento	El sistema no funciona correctamente o tiene elevado consumo	Parametrización incorrecta de la máquina	Mal funcionamiento (por ejemplo, constantes marchas-paros)	Todas	La parametrización del equipo requerirá del ajuste por parte del técnico de puesta en marcha y del instalador. Puede ser recomendable disponer de tele gestión para poder monitorizar el equipo de modo remoto y observar gráficamente los registros de funcionamiento	Puesta en marcha - Mantenimiento
Ruido	Ruidos en la instalación, pérdida de potencia y mal funcionamiento de la máquina en general	Sección INTERIOR de tubería insuficiente. No se ha tenido en cuenta el diámetro interior a la hora de la selección de tubería sino su diámetro exterior sin tener en cuenta el espesor.	Gran pérdida de carga, falta de caudal, consumo y ruidos	Aire-agua Agua-agua	La presencia de múltiples tipos de tubo, materiales y herramientas específicas hace muy complejo a veces la selección de tubería puesto que puede precisar herramientas distintas cuyo coste es elevado. No obstante, es crítico elegir tuberías con diámetro interior correcto, y calcular la pérdida de carga, incluidos los codos, longitud, llaves de corte, elementos de filtrado	Diseño del Proyecto - Instalación

Tipo de problema	Naturaleza del problema	Causa	Consecuencias	Más habitual en bombas de calor del tipo	Solución	Se debe tener en cuenta en la fase
Ruido	Ruido en la instalación interior	Velocidad de agua superior a 1 m/s	Molestias a los usuarios, especialmente de noche	Aire-agua Agua-agua	Calcular correctamente el diámetro de las tuberías. Utilizar separadores hidráulicos y/o depósitos de inercia.	Diseño del Proyecto
Ruido	Ruido de la unidad exterior	Ausencia de amortiguación o estado defectuoso de la misma	Molestias a los vecinos	Aire-Aire Aire-Agua	Prever la necesidad de amortiguación sonora y su sustitución con el paso del tiempo.	Diseño del Proyecto - Mantenimiento
Uso	Rotura del compresor	No se respetan los tiempos mínimos de calentamiento del aceite del compresor (calentamiento de cárter, bien mediante resistencia sumergida, bien mediante <i>inverter</i>). Aunque depende de la tecnología empleada, lo habitual es que los compresores tengan dispositivos de calentamiento que, en periodos de parada, permiten evaporar el líquido en su interior para evitar así golpes de líquido que puedan dañarlos permanentemente	Daños permanentes en el compresor	Todas	Mantener las bombas de calor permanentemente con tensión o al menos 24-48h antes de la puesta en marcha, para permitir al sistema calentar periódicamente el compresor	Uso
Uso	En segundas residencias con suelo radiante, el equipo tarda días en calentar	La casa se encuentra a una temperatura muy reducida (<10 °C) y no se ha puesto la calefacción en una larga temporada	El tiempo de calentamiento hasta alcanzar la temperatura de confort puede ser de días en función de los elementos terminales (por ejemplo, suelo radiante)	Todas	Se recomienda no permitir que la vivienda baje de una temperatura de 15 °C, para poder calentarla en un tiempo razonable. Los sistemas de bomba de calor y suelo radiante son de baja potencia y muy inerciales, por lo que necesitan tiempo para calentar	Uso

7.2. Ejemplos de fichas técnicas

7.2.1. Ficha técnica con base en el Reglamento de Ecodiseño 813/2013

El Reglamento de Ecodiseño 813/2013, de 2 de agosto de 2013, por el que se desarrolla la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo respecto de los requisitos de diseño ecológico aplicables a los aparatos de calefacción y a los calefactores combinados, indica los datos que deben indicarse en la documentación técnica de una bomba de calor. La tabla 7-1 incluye un ejemplo.

Parámetros técnicos según Reglamento 813/2013						
Marca «Ejemplo»		Modelo uno		Modelo dos		
Bomba de calor aire-agua	(Sí/No)	Sí	Sí	Sí	Sí	
Bomba de calor agua-agua	(Sí/No)	No	No	No	No	
Bomba de calor agua glicolada/agua	(Sí/No)	No	No	No	No	
Bomba de calor de baja temperatura	(Sí/No)	No	Sí	No	Sí	
Con generador de calor auxiliar	(Sí/No)	No	No	No	No	
Caldera mixta con bomba de calor	(Sí/No)	No	No	No	No	
Valores en condiciones climáticas medias, para aplicaciones de media temperatura de impulsión (55 °C) o baja temperatura de impulsión (35 °C)						
			55 °C	35 °C	55 °C	35 °C
Potencia calorífica nominal (1)	P_{rated}	kW	5	6	7	8
Potencia térmica aportada a carga parcial, con temperatura interior de 20 °C y con una temperatura exterior T_j (2)						
$T_j = -7\text{ °C}$	P_{dh}	kW	5,2	5,3	7,0	7,4
$T_j = +2\text{ °C}$	P_{dh}	kW	4,0	3,8	4,3	4,8
$T_j = +7\text{ °C}$	P_{dh}	kW	3,0	2,4	3,2	3,0
$T_j = +12\text{ °C}$	P_{dh}	kW	1,7	1,8	1,3	1,3
T_j temperatura de bivalencia	P_{dh}	kW	5,9	6,3	7,7	8,4
$T_j =$ límite de temperatura de servicio	P_{dh}	kW	6,0	6,0	8,3	7,6
Para bombas de calor aire-agua $T_j = -15\text{ °C}$ (si $TOL < -20\text{ °C}$)	P_{dh}	kW	-	-	-	-
Temperatura de bivalencia	T_{biv}	°C	-10	-10	-10	-10
Eficiencia energética estacional en modo calefacción	η_s	%	110	150	122	154

COP a carga parcial, con temperatura interior de 20 °C y temperatura exterior Tj (3)						
Tj = -7 °C	COP _d	-	2,66	2,65	2,56	3,18
Tj = +2 °C	COP _d	-	4,32	5,97	3,46	4,98
Tj = +7 °C	COP _d	-	5,67	6,55	5,21	6,94
Tj = +12 °C	COP _d	-	6,39	7,03	6,81	8,34
Tj = temperatura de bivalencia	COP _d	-	2,83	3,37	2,32	2,96
Tj = límite de temperatura de servicio	COP _d	-	2,46	3,21	2,65	3,33
Para bombas de calor aire-agua Tj = -15 °C (si TOL < -20 °C)	COP _d	-				
Para bombas de calor aire-agua: Temperatura límite de funcionamiento	TOL	°C	-10	-10	-10	-10
Temperatura límite de calentamiento de agua	WTOL	°C	60	65	60	60
Consumo de electricidad en modos distintos del activo. Modo desactivado	P _{OFF}	kW	0,016	0,016	0,016	0,016
Consumo de electricidad en modos distintos del activo. Modo desactivado por termostato	P _{TO}	kW	0,020	0,020	0,020	0,020
Consumo de electricidad en modos distintos del activo. Modo de espera	P _{SB}	kW	0,030	0,030	0,030	0,030
Consumo de electricidad en modos distintos del activo. Calentador de cárter	P _{CK}	kW	0,000	0,000	0,000	0,000
Potencia calorífica nominal generador de calor auxiliar	P _{sup}	kW	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 7-1. Ejemplo de datos (ficticios) de una ficha técnica. Reglamento 813/2013

Explicación de la tabla:

- Potencia calorífica nominal en condiciones:
 - Aeroterminia: A7/W35 o A7/W55
 - Geoterminia B0/W35 o B0/W55
 - Hidrotermia W10/W35 o W10/W55
- Potencia en carga parcial a aportar por la bomba de calor en cada punto de temperatura exterior
- COP a carga parcial en los puntos de trabajo considerados.

7.2.2. Ejemplo de ficha técnica con base en el Reglamento de Ecodiseño 814/2013

El Reglamento Delegado 814/2013, de 2 de agosto de 2013, por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para calentadores de agua y depósitos de agua caliente, indica los datos que deben constar en la documentación técnica de la bomba de calor (véase ejemplo en la tabla 7-2).

Modelo	«Ejemplo 300I»		
Campo	Símbolo	Valor	Unidad
Consumo eléctrico diario (clima medio) [kWh]	Q_{elec}	3,933	kWh
Perfil de carga declarado		L	
Nivel sonoro, interior/exterior	LWA	44/38	dB
Para calentadores de agua con valor «smart» declarado como «1»			
Consumo de combustible semanal con control inteligente	$Q_{elec, week, smart}$	0,000	kWh
Consumo de combustible semanal con control inteligente	$Q_{elec, week, smart}$	0,000	kWh
Para calentadores de agua por acumulación con perfiles declarados 3XS, XXS y XS			
V		286,0	l
Para calentadores de agua por acumulación con perfiles declarados M, L, XL, XXL, 3XL y 4XL			
Agua mezclada a 40 °C	V_{40}	399	l
η_{wh}			
Eficiencia energética (clima medio)	η_{wh}	124	kWh

Antes de proceder al montaje, instalación, mantenimiento, desmontaje o reciclado deben leerse los manuales de usuario e instalación y seguir sus instrucciones, así como respetar la normativa vigente

Tabla 7-2. Ejemplo de ficha técnica en base al Reglamento de Ecodiseño 814/2013

7.2.3. Ejemplo de ficha de producto con base en el Reglamento Delegado 811/2013

El citado Reglamento Delegado 811/2013, de 18 de febrero de 2013, por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al etiquetado energético de aparatos de calefacción, calefactores combinados, equipos combinados de aparato de calefacción, control de temperatura y dispositivo solar y equipos combinados de calefactor combinado, control de temperatura y dispositivo solar, indica los datos que debe contener la documentación técnica de bomba de calor.

Así, la tabla 7-3 simula un ejemplo para dos modelos de bomba de calor (simulados) de diferente potencia, 7 y 9 kW, que disponen de una clasificación energética, en condiciones climáticas medias, de (A+++) para aplicaciones a baja temperatura (35 °C) y una clasificación energética (A+) para aplicaciones a media temperatura (55 °C).

Ficha de producto conforme al Reglamento Delegado 811/2013					
Marca «EJEMPLO»					
Modelo «SIMULADO»					
Datos para aplicación a baja temperatura, (35 °C) (1)				Modelo uno	Modelo dos
Condiciones climáticas (2)	Clase de eficiencia energética estacional de calefacción (3)			A+++	A+++
Medias	Potencia calorífica en condiciones nominales (4)	P_{rated}	kW	7	9
Frías	Potencia calorífica en condiciones nominales	P_{rated}	kW	7	9
Cálidas	Potencia calorífica en condiciones nominales	P_{rated}	kW	7	9
Medias	Eficiencia energética estacional de calefacción (5)	η_s	%	162	171
Frías	Eficiencia energética estacional de calefacción	η_s	%	138	139
Cálidas	Eficiencia energética estacional de calefacción	η_s	%	204	214
Medias	Consumo anual de energía (6)	Q_{HE}	kWh	2340	3198
Frías	Consumo anual de energía	Q_{HE}	kWh	3801	5223
Cálidas	Consumo anual de energía	Q_{HE}	kWh	1199	1680
	Nivel de potencia acústica, ud. Exterior (7)	LWA	dB	55	56
Datos para aplicación a media temperatura, (55 °C) (1)					
Condiciones climáticas	Clase de eficiencia energética estacional de calefacción			A+	A+
Medias	Potencia calorífica en condiciones nominales	P_{rated}	kW	6,2	7,7
Frías	Potencia calorífica en condiciones nominales	P_{rated}	kW	5,4	5,9
Cálidas	Potencia calorífica en condiciones nominales	P_{rated}	kW	6,7	7,4
Medias	Eficiencia energética estacional de calefacción	η_s	%	108	110
Frías	Eficiencia energética estacional de calefacción	η_s	%	100	101
Cálidas	Eficiencia energética estacional de calefacción	η_s	%	124	124
Medias	Consumo anual de energía	Q_{HE}	kWh	3047	2568
Frías	Consumo anual de energía	Q_{HE}	kWh	3981	4287
Cálidas	Consumo anual de energía	Q_{HE}	kWh	1845	1987
	Nivel de potencia acústica, Ud. Exterior	LWA	dB	55	56

Tabla 7-3. Ejemplo de datos (ficticios) de una ficha de producto. Reglamento Delegado 811/2013

Explicación de la tabla incluida en la ficha:

1. Dos aplicaciones posibles en función de la temperatura de impulsión considerada, baja temperatura (35 °C) o media temperatura (55 °C). En ambas aplicaciones se considera una variación de la temperatura de impulsión y potencia en función de las condiciones climáticas exteriores.
2. Condiciones climáticas para calefacción, consideradas en el cuadro 12 del anexo VII del Reglamento Delegado 811/2013.
 - a. Frías (hasta -22 °C)
 - b. Medias (hasta -10 °C)
 - c. Cálidas (hasta +2 °C)
3. Clasificación energética en función de los cuadros uno y dos del anexo II del Reglamento Delegado 811/2013.
4. Potencia nominal a carga parcial en las condiciones indicadas en la UNE-EN 14825.
5. Eficiencia energética estacional en % para cada condición climática (frías, medias o cálidas). Se tiene en cuenta las horas de trabajo acumuladas, con variación de la potencia y temperaturas de impulsión en función de la temperatura exterior.
6. Consumo de energía eléctrica máxima para cada una de las condiciones climáticas en función de la eficiencia energética estacional indicada.
7. Potencia sonora de la unidad exterior medida en las condiciones de la norma que corresponda. No confundir con la presión sonora, que depende de la distancia al equipo, geometría del espacio donde se encuentra ubicada, etc.

7.2.4. Ejemplo de ficha de producto en base al Reglamento Delegado 812/2013

En el Reglamento Delegado 812/2013, de 18 de febrero de 2013, por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al etiquetado energético de los calentadores de agua, los depósitos de agua caliente y los equipos combinados de calentador de agua y dispositivo solar, se indican los datos que debe ofrecer la documentación técnica de una bomba de calor. La tabla 7-4. recoge un ejemplo.

Ficha de producto (según Reglamento Delegado N.º. 812/2013)			
(a) nombre comercial		MARCA «EJEMPLO»	
(b) Identificador del modelo del proveedor		MODELO SIMULADO	
(c) Perfil de carga declarado		L	
(d) Clase de eficiencia energética en calentamiento de agua (clima medio)		A	
(e) Eficiencia energética en calentamiento de agua (clima medio)		127	%
(f) Consumo anual de electricidad (clima medio)		819	kWh
(g)	Otros perfiles de carga	-	
	Eficiencia energética en calentamiento de agua (clima medio)	0	%
	Consumo anual de electricidad correspondiente (clima medio)	0	kWh
(h) Ajustes de temperatura del termostato		55	°C
(i) Nivel de potencia sonora, dentro		44	dB
(j) El calentador es capaz de trabajar solo en horas valle		sí	
(k) Precauciones específicas para el montaje, instalación y mantenimiento		Antes de proceder al montaje, instalación o mantenimiento deben estudiarse los manuales de usuario e instalación y seguir las instrucciones, así como la normativa vigente.	
(l) Factor de control inteligente		0	no aplicable
(m)	Eficiencia energética en calentamiento de agua (Condiciones climáticas más frías)	110	%
	Eficiencia energética en calentamiento de agua (condiciones climáticas más cálidas)	134	%
(n)	Consumo anual de electricidad (Condiciones climáticas más frías)	954	kWh
	Consumo anual de electricidad (Condiciones climáticas más cálidas)	762	kWh
(o-v)	No aplicable		
(w) Nivel de potencia sonora		38	dB

Tabla 7-4. Ejemplo de ficha de producto en base al Reglamento Delegado 812/2013

Siendo:

- a. nombre o marca comercial del proveedor.
- b. identificador del modelo del proveedor.
- c. el perfil de carga declarado, expresado mediante la letra correspondiente y el uso típico de conformidad con el cuadro 3 del anexo VII del Reglamento Delegado 812/2013.
- d. la clase de eficiencia energética de caldeo de agua del modelo, determinada de conformidad con el punto 1 del anexo II del Reglamento Delegado 812/2013; para los calentadores de agua solares y los calentadores de agua con bomba de calor, se aplican condiciones climáticas medias.
- e. la eficiencia energética de caldeo de agua en %, redondeada al número entero más próximo y calculada de conformidad con el punto 3 del anexo VIII del Reglamento Delegado 812/2013; para los calentadores de agua solares y los calentadores de agua con bomba de calor, se aplican condiciones climáticas medias.
- f. el consumo anual de electricidad en kWh en términos de la energía final y/o el consumo anual de combustible en GJ en términos de GCV, redondeado al número entero más próximo y calculado de conformidad con el punto 4 del anexo VIII del Reglamento Delegado 812/2013; para los calentadores de agua solares y los calentadores de agua con bomba de calor, se aplican condiciones climáticas medias
- g. cuando proceda, otros perfiles de carga para los que sea adecuado el uso del calentador de agua, y la eficiencia energética de caldeo de agua y el consumo anual de electricidad correspondientes, tal como se establece en las letras e) y f).
- h. los ajustes de temperatura del termostato del calentador de agua en el momento de su comercialización por el proveedor.
- i. el nivel de potencia acústica LWA en interiores, en dB, redondeado al número entero más próximo (cuando proceda para los calentadores de agua con bomba de calor).
- j. cuando proceda, una indicación de que el calentador de agua puede funcionar solamente durante las horas de baja demanda.
- k. cualesquiera precauciones específicas que hayan de tomarse durante el montaje, instalación o mantenimiento del calentador de agua
- l. cuando se declare que el valor de smart es «1», una indicación de que la información sobre la eficiencia energética de caldeo de agua y el consumo anual de electricidad y combustible, según proceda, se refieren exclusivamente a los ajustes de control inteligente activado; además, en lo que respecta a los calentadores de agua solares y a los calentadores de agua con bomba de calor
- m. eficiencia energética de caldeo de agua en porcentaje, en condiciones climáticas más frías y más cálidas, redondeada al número entero más próximo y calculada de conformidad con el punto 3 del anexo VIII del Reglamento Delegado 812/2013
- n. el consumo anual de electricidad en kWh en términos de energía final o el consumo anual de combustible en GJ en términos del GCV, en condiciones climáticas más frías y más cálidas, redondeado al número entero más próximo y calculado de conformidad con el punto 4 del anexo VIII del Reglamento Delegado 812/2013
- o. el nivel de potencia acústica LWA en exteriores, en dB, redondeado al número entero más próximo

7.2.5. Etiqueta de clasificación energética

Un ejemplo de etiqueta energética de equipos de calefacción y de equipos combinados (calefacción y ACS) sería el que se muestra en los gráficos 7-1 y 7-2.

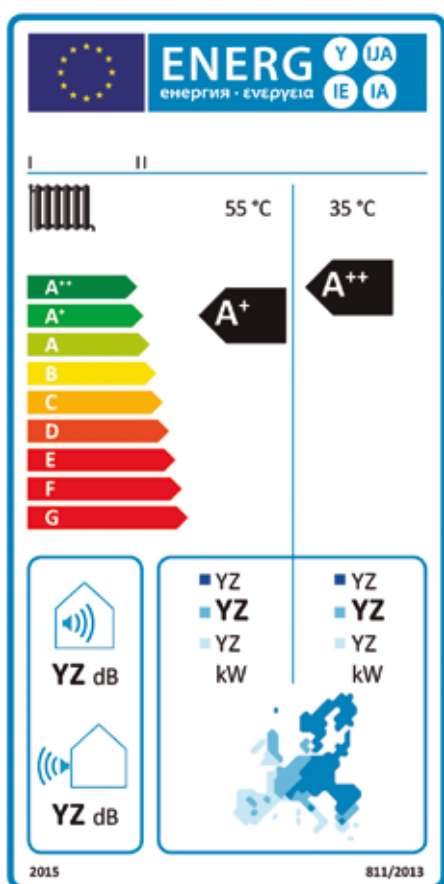


Gráfico 7-1. Ejemplo de etiquetado energético de aparatos de calefacción con bomba de calor, excepto bombas de calor exclusivamente de baja temperatura

- I. Nombre o marca comercial del proveedor.
- II. Identificador del modelo del proveedor.
- III. La temperatura de calefacción para aplicaciones de media (55 °C) y baja temperatura (35 °C), respectivamente.
- IV. Clase de eficiencia energética estacional de calefacción en condiciones climáticas medias (-10 °C) para aplicaciones de media (55 °C) y baja temperatura (35 °C), respectivamente
- V. Nota: Estas temperaturas de impulsión desde el generador solo se alcanzan cuando la temperatura exterior se encuentra en su límite operativo
- VI. La potencia calorífica nominal, incluida, en su caso, la potencia calorífica nominal de los calefactores complementarios, expresada en kW, en condiciones climáticas medias, más frías y más cálidas, redondeada al siguiente número entero.
- VII. Mapa de temperaturas de Europa que muestra tres zonas de temperatura indicativas.
- VIII. El nivel de potencia acústica L_{wa} , en el interior (si procede) y el exterior, en dB.

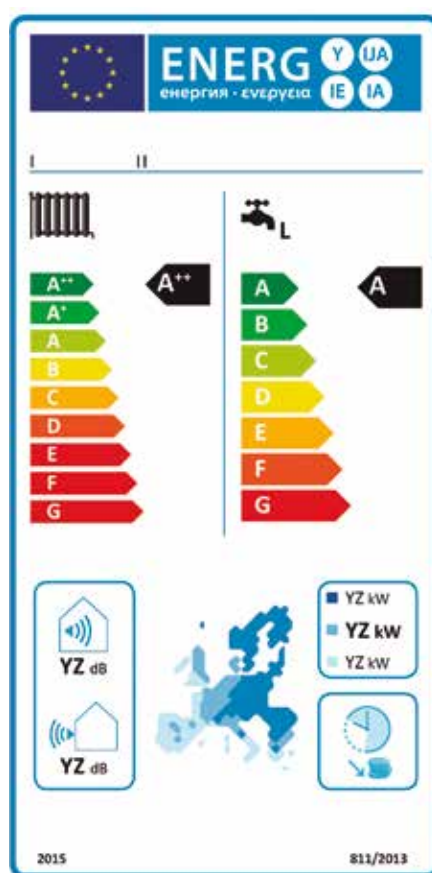


Gráfico 7-2. Ejemplo de etiquetado energético de un calefactor combinado (calefacción y ACS) con bomba de calor

- I. Nombre o marca comercial del proveedor.
- II. Identificador del modelo del proveedor.
- III. La función de calefacción de espacios para una aplicación de media temperatura y la función de caldeo de agua, incluido el perfil de carga declarado expresado mediante la letra correspondiente.
- IV. La clase de eficiencia energética estacional de calefacción en condiciones climáticas medias para aplicaciones de media temperatura y la clase de eficiencia energética del caldeo de agua en condiciones climáticas medias.
- V. La potencia calorífica nominal, incluida, en su caso, la potencia calorífica nominal de los calefactores complementarios, expresada en kW, en condiciones climáticas medias, más frías y más cálidas, redondeada al siguiente número entero.
- VI. Mapa de temperaturas de Europa que muestra tres zonas de temperatura indicativas.
- VII. El nivel de potencia acústica L_{wa} , en el interior (si procede) y el exterior, en dB.
- VIII. Para calefactores combinados con bomba de calor que puedan funcionar solamente durante las horas de baja demanda, puede añadirse el pictograma indicado en el Reglamento Delegado 811/2013.

Tabla 7-5. Etiquetas energéticas de bombas de calor de media y baja temperatura, en calefacción

Un ejemplo de etiqueta energética de bombas de para ACS sería el siguiente:

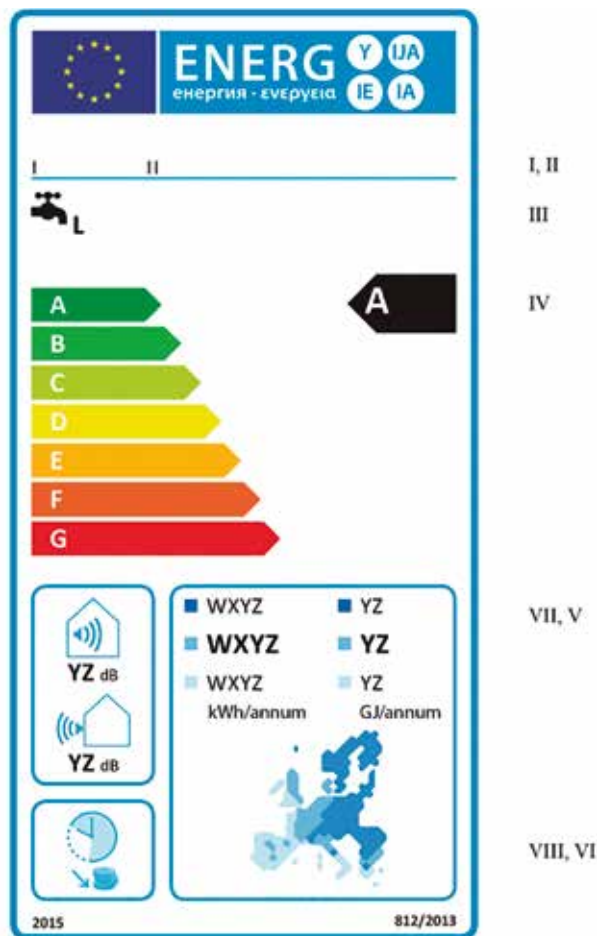


Gráfico 7-3. Etiqueta energética para bombas de calor para ACS

En la etiqueta figurará la siguiente información:

- I. nombre o marca comercial del proveedor.
- II. identificador del modelo del proveedor.
- III. función de caldeo del agua, con inclusión del perfil de carga declarado, expresado con la letra adecuada de conformidad con el cuadro 3 del anexo VII del Reglamento Delegado 812/2013.
- IV. la clase de eficiencia energética del caldeo de agua en condiciones climáticas medias, determinada de conformidad con el punto 1 del anexo II del Reglamento Delegado 812/2013; la punta de la flecha que contiene la clase de eficiencia energética del caldeo de agua del calentador se colocará a la misma altura que la punta de la clase de eficiencia energética correspondiente.
- V. el consumo anual de electricidad en kWh en términos de energía final o el consumo anual de combustible en GJ en términos del GCV, en condiciones climáticas medias, más frías y más cálidas, redondeado al número entero más próximo y calculado de conformidad con el punto 4 del anexo VIII del Reglamento Delegado 812/2013.
- VI. mapa de temperaturas de Europa que muestra tres zonas de temperatura indicativas.
- VII. el nivel de potencia acústica LWA, en el interior (si procede) y el exterior, en dB, redondeado al número entero más próximo
- VIII. para los calentadores de agua con bomba de calor capaces de trabajar solo durante las horas valle, se puede añadir el pictograma mencionado en el punto 6, letra d), número 11, del anexo III del Reglamento Delegado 812/2013.
- IX. Los aspectos de diseño de la etiqueta para los calentadores de agua con bomba de calor se ajustarán a lo indicado en el punto 6 del presente anexo. No obstante, en el caso de que un modelo haya obtenido una «etiqueta ecológica de la UE» de conformidad con el Reglamento (CE) no 66/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo, DO L 27 de 30.1.2010, p. 1., podrá añadirse una copia de dicha etiqueta ecológica.

7.3. Detalle de cálculo por mejora de envolvente

Con el fin de ilustrar este efecto, se lleva a cabo una simulación en tres ciudades, Sevilla, Barcelona y Madrid, con climas C, B y D, respectivamente. Se considera una vivienda unifamiliar de 150 m², construida con muros según el CTE 2007 y con ventanas de cristal simple de marco metálico. El sistema de calefacción original a sustituir está basado en una caldera y suelo radiante.

Sobre esta vivienda se realizan dos simulaciones, en las que en ambas se sustituye la caldera mixta de gas natural de 24 kW.

- En la primera simulación no se modifica el aislamiento de la vivienda.
- En la segunda se mejora el aislamiento por medio de un SATE (Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior), en la cubierta se añade una capa adicional de aislamiento y se utilizan marcos de altas prestaciones de PVC, con vidrio aislante 4-12-4, de baja emisividad y con relleno de argón. Resaltar que el SATE no solo mejora los coeficientes de transmisión de los muros, sino que reduce el efecto negativo de los puentes térmicos. En la cubierta se añade una capa adicional de aislamiento y, por último, en los cerramientos, se utilizan marcos de altas prestaciones de PVC, con vidrio aislante 4-12-4 baja emisividad y con relleno de argón.

Los resultados de las dos simulaciones y para las tres ciudades, están reflejados en las tablas 7-6, 7-7 y 7-8.

SIMULACIONES ENERGÉTICAS		U *	U	U	Puentes térmicos	Demanda anual calefacción	Consumo anual calefacción kWh	SCOP	Potencia nominal BdC
		(W/m ² x K)	(W/m ² x K)	(W/m ² x K)		kWh/año	kWh/año		kW
Caso A	Madrid	0,82	0,45	5,7	Sin aislar	16.069	3.563	4,51	11
	Barcelona	0,82	0,45	5,7	Sin aislar	11.468	2.280	5,03	11
	Sevilla	0,82	0,45	5,7	Sin aislar	8.378	1.630	5,14	11
Caso B	Madrid	0,52	0,35	1,6	Aislados	9.390	1.964	4,78	6
	Barcelona	0,52	0,35	1,6	Aislados	6.668	1.251	5,33	4
	Sevilla	0,52	0,35	1,6	Aislados	4.870	891	5,46	6

Tabla 7-6. Simulación de mejora en consumo anual de energía

U * = Transmitancia

Común			Sin intervención sobre la envolvente térmica			
Estación meteorológica (aeropuerto):	Temperatura en condiciones de proyecto TS_99 (°C)	Superficie	Demanda energética en calefacción considerada	Potencia máxima necesaria antes de la rehabilitación	Ratio de potencia en calefacción	Potencia de la bomba de calor elegida (A7/W35) Nominal (máxima)
	°C	m ²	kWh/año	kW	W/m ²	kW
Madrid	-2,4	150	16.069	10,6	71	10,6 (11)
Sevilla	4,5	150	11.468	9,1	61	10,6 (11)
Barcelona	2,7	150	8.378	9,5	63	10,6 (11)
Común			Con intervención sobre la envolvente térmica			
Estación meteorológica (aeropuerto):	Temperatura en condiciones de proyecto TS_99 (°C)	Superficie	Demanda energética en calefacción considerada	Potencia máxima necesaria en las nuevas condiciones de aislamiento en condiciones de proyecto	Ratio de potencia en calefacción	Potencia de la bomba de calor elegida (A7/W35) Nominal (máxima)
	°C	m ²	kWh/año	kW	W/m ²	kW
Madrid	-2,4	150	9.390	5,9	39	6 (8)
Sevilla	4,5	150	6.668	4,0	33	4 (6)
Barcelona	2,7	150	4.870	5,3	35	6 (8))

Tabla 7-7. Comparación de demandas térmicas y potencias de BdC, antes y después de la intervención sobre la envolvente

Sin intervención sobre aislamiento									
Común				LT		MT		A temperatura de impulsión de proyecto	
Localidad	Temperatura en condiciones de proyecto TS_99 (°C)	Potencia nominal de la bomba de calor	Condiciones climáticas. Cuadro 10. Anexo VII del Reglamento Delegado 811/2013	SCOP a baja temperatura de impulsión máxima de 35 °C, en las condiciones climáticas UNE-EN 14825	Tª máxima en condiciones de baja temperatura de impulsión LT	SCOP a media temperatura de impulsión en las condiciones climáticas	Tª Máxima en condiciones de media temperatura de impulsión MT	Tª de impulsión antes de la intervención sobre la envolvente	SCOP calculado, a la Tª de impulsión necesaria.
	--	--	--	a	b	c	d	e	$f = a - ((e-b) \times (a-c) / (55-35))$
	° C	kW			° C		° C	° C	
Madrid	-2,4	10,6	medias (-10 °C)	4,44	35	3,32	55	34	4,51
Sevilla	4,5	10,6	cálidas (2 °C)	6,28	35	4,33	55	48	5,03
Barcelona	2,7	10,6	cálidas (2 °C)	6,28	35	4,33	55	47	5,14
Con intervención sobre aislamiento									
Localidad	Temperatura en condiciones de proyecto TS_99 (°C)	Potencia nominal de la bomba de calor	Condiciones climáticas. Cuadro 10. Anexo VII del Reglamento Delegado 811/2013	SCOP a baja temperatura de impulsión máxima de 35 °C, en las condiciones climáticas	Temperatura máxima en condiciones de baja temperatura de impulsión LT	SCOP a media temperatura de impulsión en las condiciones climáticas	Temperatura máxima en condiciones de media temperatura de impulsión MT	Temperatura de impulsión necesaria después de la intervención sobre la envolvente	SCOP calculado, a la temperatura de impulsión necesaria.
				a	b	c	d	e	$f = a - ((e-b) \times (c-a) / (55-35))$
		kW		° C		° C	° C	° C	
Madrid	-2,4	6 (8)	medias (-10 °C)	4,47	35	3,25	55	30*	4,78
Sevilla	4,5	4 (6)	cálidas (2 °C)	6,27	35	4,02	55	43*	5,33
Barcelona	2,7	4 (6)	cálidas (2 °C)	6,1	35	3,29	55	40*	5,46

Tabla 7-8. Comparación de la variación de rendimientos en las Bdc, antes y después de la intervención sobre la envolvente, en función de la nueva temperatura de impulsión necesitada

* No todos los suelos radiantes existentes pueden trabajar a la temperatura óptima de la bomba de calor, puesto que pudieron ser construidos para temperaturas más elevadas (por ejemplo 43°C). Cada instalación precisará una temperatura en función de esta construcción.

A partir de esta tabla se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- La mejora del aislamiento no solo representa una reducción en la demanda de la vivienda, sino también una menor potencia necesitada en calefacción y refrigeración y un tamaño menor de la bomba de calor.
- Esto permite, aparte de ventajas en la integración arquitectónica, una disminución en el coste de los equipos.
 - En el siguiente cuadro se refleja el incremento porcentual (aproximado) de precio en función de la potencia de una máquina u otra.

Potencia	Incremento de precio (referencia al equipo de 4 kW)
4 kW	0%
6 kW	+4%
8 kW	+13%
11 kW	+43%
14 kW	+60%
16 kW	+76%

Tabla 7-9. Estimación (ejemplo) de variación de precio del equipo en función de la potencia aportada

- En el caso de Sevilla, se llega incluso a reducir la potencia nominal de la bomba de calor de 11 kW a 4 kW, lo que conlleva una gran disminución de la inversión, además de ir acompañada de un incremento del rendimiento de la instalación.
- Combinando ambas ventajas, la intervención sobre la envolvente y la reducción de la temperatura de impulsión y modelos de bomba de calor elegidos, se puede hablar de diferencia de los consumos eléctricos de estas máquinas del orden del 45%, lo que supone a su vez una reducción similar en emisiones de CO₂, consumo de energía primaria y gastos en energía.

7.4. Certificación de equipos y ensayos normalizados

Según se define en la norma UNE-EN 45020, la certificación es el proceso mediante el cual, una tercera parte asegura que un producto, proceso o servicio es conforme con unos requisitos específicos.

Ensayar una bomba de calor puede tener diferentes objetivos:

- Medición de parámetros durante la fase de diseño y desarrollo de nuevos modelos.
- Determinación de manera empírica de datos técnicos de los aparatos.
- Comprobación del cumplimiento con los requisitos de la legislación europea.

- Certificación de producto.
- Vigilancia de mercado.

Los ensayos más habituales se pueden agrupar en cinco grandes familias, que se corresponden, aproximadamente, con las Directivas Europeas en vigor para estos equipos:

- **Seguridad eléctrica:** ensayos diseñados para comprobar la protección contra los peligros provenientes del propio material eléctrico y los causados por efecto de influencias exteriores sobre el citado material (Directiva 2014/35/UE, de 26 de febrero de 2014, sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de comercialización de material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión).
- **Compatibilidad electromagnética:** ensayos dirigidos a verificar que las perturbaciones electromagnéticas generadas están dentro de un nivel que posibilita a los equipos de radio y de telecomunicaciones o a otros equipos funcionar con el fin para el que han sido previstos, así como a garantizar que el equipo presenta un nivel de protección frente a las perturbaciones electromagnéticas previsibles que le permita funcionar sin una degradación inaceptable en su uso previsto (Directiva 2014/30/UE, de 26 de febrero de 2014, sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética).
- **Resistencia a la presión:** ensayos consistentes en la realización de una prueba de resistencia a la presión de las distintas partes del equipo, con el fin de comprobar su comportamiento frente a las altas presiones que puede alcanzar el refrigerante en situaciones extremas (Directiva 2014/68/UE, de 15 de mayo de 2014, relativa a la armonización de las legislaciones de los Estados miembros sobre la comercialización de equipos a presión).
- **Potencia y eficiencia energética:** ensayos realizados para determinar la potencia frigorífica o calorífica de las bombas de calor en condiciones específicas, así como su eficiencia energética en las mismas condiciones. Los rendimientos energéticos estacionales se pueden determinar mediante varios ensayos en diferentes condiciones de funcionamiento (Directivas 2009/125/CE y Reglamento (UE) 2017/1369 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2017, por el que se establece un marco para el etiquetado energético y se deroga la Directiva 2010/30/UE).
- **Nivel de potencia acústica:** Ensayos dirigidos a determinar la potencia acústica de las bombas de calor, funcionando en condiciones específicas (Directivas 2009/125/CE y Reglamento (UE) 2017/1369 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2017, por el que se establece un marco para el etiquetado energético y se deroga la Directiva 2010/30/UE).

Este capítulo trata solamente de los ensayos relativos a potencia térmica y eficiencia energética y a nivel de potencia acústica, por ser estos muy específicos en el caso de las bombas de calor.

7.4.1. Métodos de ensayo para la medida de la potencia térmica

Las prestaciones de las bombas de calor pueden determinarse en diversas condiciones de funcionamiento y servicio. Las prestaciones principales tomadas como nominales son la potencia entregada y su rendimiento. El servicio para el cual se dan esas prestaciones puede ser el de calefacción, refrigeración y/o producción de ACS, y las condiciones de funcionamiento hacen referencia a las condiciones térmicas, tanto del fluido interior como del medio de captación. Adicionalmente, estas condiciones podrán ser estacionarias (para un funcionamiento en unas condiciones fijas) o estacionales (variables a lo largo de un periodo de funcionamiento).

Al objeto de facilitar la información relativa a las bombas de calor en unas condiciones establecidas, se ha desarrollado una serie de normas que establecen el método de ensayo aplicable. A modo de resumen, la normativa aplicable a estos equipos en función de los aspectos citados se recoge en la tabla 7-10.

Campo De Aplicación	Condiciones de Funcionamiento	Servicio	Norma
Acondicionadores de aire Enfriadoras de líquido Bombas de calor	Estacionarias	Calefacción Refrigeración	UNE-EN 14511
Acondicionadores de aire Enfriadoras de líquido Bombas de calor	Estacionales	Calefacción Refrigeración	UNE-EN 14825
Bombas de calor	Estacionarias y estacionales	Agua caliente sanitaria	UNE-EN 16147

Tabla 7-10. Normativa aplicable para ensayos de bombas de calor

Existen varios métodos de ensayo para la medida de la potencia térmica suministrada por las bombas de calor. Cada uno de ellos tiene unas características concretas, entre las que se encuentran:

- Tipo de aparato a ensayar.
- Rango de condiciones que se pueden establecer.
- Rango de potencias que permite medir.
- Incertidumbre de medida.
- Duración del ensayo.

En el caso de equipos para rehabilitación nos limitaremos a equipos aire-agua y agua-agua, para calefacción, refrigeración y producción de agua caliente sanitaria.

La norma UNE-EN 14511 «Acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido y bombas de calor con compresor accionado eléctricamente para la calefacción y la refrigeración de locales» describe estos

ensayos y los define en condiciones de régimen estacionario, a excepción de los ensayos con desescarche, que los determina en condiciones de régimen transitorio.

Las condiciones de ensayo más habituales hasta hace pocos años eran las denominadas condiciones nominales, que dependen del tipo de bomba de calor y, en el caso de calefacción o enfriamiento de agua, del tipo de emisor.

En las tablas 7-11 y 7-12 se presentan las condiciones de ensayo para bombas de calor aire-aire y agua-agua de baja temperatura, respectivamente.

Modo	Parámetro	Intercambiador de calor exterior	Intercambiador de calor interior
Refrigeración	Temperatura de bulbo seco	35 °C	27 °C
	Temperatura de bulbo húmedo	-	19 °C
Calefacción	Temperatura de bulbo seco	7 °C	20 °C
	Temperatura de bulbo húmedo	6 °C	-

Tabla 7-11. Condiciones nominales de ensayo: aire-aire (exterior-recirculado)

Modo	Parámetro	Intercambiador de calor exterior	Intercambiador de calor interior
Refrigeración	Temperatura de entrada	30 °C	23 °C
	Temperatura de salida	35 °C	18 °C
Calefacción	Temperatura de entrada	10 °C	30 °C
	Temperatura de salida	7 °C	35 °C

Tabla 7-12. Condiciones nominales de ensayo para equipos agua-agua (baja temperatura)

Para los equipos agua-agua, en el lado interior, existen más condiciones nominales dependiendo del tipo de emisor: en modo refrigeración 12/7 °C, y en modo calefacción 40/45 °C, 47/55 °C y 55/65 °C.

Los nuevos reglamentos relativos a etiquetado y diseño ecológico han cambiado las condiciones de ensayo más habituales, como se recoge en el punto «Determinación de las prestaciones de calefacción y refrigeración en condiciones estacionarias», realizándose los ensayos en condiciones de carga parcial para varias condiciones de temperatura de aire exterior.

El método de ensayo normalizado en Europa para estos equipos es el *Método de entalpía en líquido*: Se mide el caudal del líquido y sus temperaturas a la entrada y salida de la bomba de calor, para el intercambiador del lado interior.

Es un método relativamente sencillo de implementar y el que mejor se adapta a las bombas de calor que tengan circuitos de agua.



Gráfico 7-4. Sala de ensayo para equipos aire-agua de hasta 100 kW

El límite superior de potencia que se puede medir depende de la potencia instalada en el laboratorio para compensar el efecto del equipo en prueba. Hay pocos laboratorios que puedan superar los 100 kW, y el más grande que se conoce permite medir potencias de hasta 1 MW. El tiempo mínimo para la realización de un ensayo en condiciones normalizadas es de 2,5 horas para régimen estacionario y de 4,5 horas para régimen transitorio.

Existen otros métodos de ensayo, como el *Método de entalpía en refrigerante*, pero su uso está poco extendido, principalmente por la dificultad de su implementación y porque puede modificar el funcionamiento del aparato, por ejemplo, introduciendo pérdidas de carga adicionales en el circuito de refrigerante.

En la tabla 7-13 se presenta una comparativa de los distintos métodos de medida de la potencia térmica.

Método	Ventajas	Inconvenientes
Entalpía en agua	Muy buena precisión	Requiere muchas precauciones al instalar la instrumentación
	El más adecuado para bombas de calor que tengan un circuito de agua	La incertidumbre puede ser elevada para medidas a carga parcial con caudal de agua constante
	Ensayos relativamente rápidos e instalación de ensayo relativamente económica	
	Permite medir grandes potencias (en general hasta 1.000 kW, aunque algunos laboratorios pueden llegar a más)	
Entalpía en aire	Adecuado para equipos con conducto	Riesgo de modificar el caudal de aire en caso de aparatos sin conducto y de poca potencia
	Ensayos relativamente rápidos	Incertidumbre de medida alta en caso de diferencia de temperatura pequeña
	Instalación de ensayo relativamente económica	Poco aconsejable para medidas a carga parcial con caudal de aire constante (diferencia de temperatura entre entrada y salida de aire de las unidades pequeña)
	Permite medir potencias relativamente grandes (en general hasta 100 kW)	Requiere mucha precaución en la medida de la humedad a la salida en modo refrigeración
Calorimétrico	Muy buena precisión	Instalación de ensayo muy cara
	Poco riesgo de error accidental o sistemático	Ensayos largos
	Muy adecuado para medidas en condiciones de carga parcial	Incertidumbre de medida alta para potencias inferiores a 1 kW
		Limitado en potencia con las instalaciones de ensayos habituales (hasta 15 kW)

Tabla 7-13. Comparativa de los distintos métodos de medida de la potencia térmica

7.4.2. (UNE-EN 14511) Determinación de las prestaciones de calefacción y refrigeración en condiciones estacionarias

La norma UNE-EN 14511, «Acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido y bombas de calor con compresor accionado eléctricamente para la calefacción y la refrigeración de locales», establece los métodos de ensayo para la determinación de rendimientos y potencias frigorífica y calorífica. Es una norma que se aplica exclusivamente a la función de calefacción y refrigeración (no a producción de agua caliente sanitaria), y en condiciones de funcionamiento nominales. Es decir, no se aplica a un funcionamiento estacional a lo largo de un periodo de tiempo, aunque sí define los métodos de medida de las potencias frigoríficas y caloríficas para tal caso.

Las condiciones nominales de ensayo para las bombas de calor aire-agua y agua-agua especificadas en la norma se muestran en la tabla 7-14.

Bombas de calor aire-agua				
Modo de funcionamiento	Aplicación	Intercambiador exterior	Intercambiador interior	
		Temp. bulbo seco (entrada)	Temp. retorno	Temp. salida
Calefacción	Alta temperatura	7 °C	55 °C	65 °C
	Media temperatura	7 °C	47 °C	55 °C
	Temperatura intermedia	7 °C	40 °C	45 °C
	Baja temperatura	7 °C	30 °C	35 °C
Refrigeración	Ventiloconvectores	35 °C	12 °C	7 °C
	Suelo refrescante	35 °C	23 °C	18 °C
Bombas de calor agua-agua				
Modo de funcionamiento	Aplicación	Intercambiador exterior	Intercambiador interior	
		Temp. entrada-salida	Temp. retorno	Temp. salida
Calefacción	Alta temperatura	10 -7 °C	55 °C	65 °C
	Media temperatura	10 -7 °C	47 °C	55 °C
	Temperatura intermedia	10 -7 °C	40 °C	45 °C
	Baja temperatura	10 -7 °C	30 °C	35 °C
Refrigeración	Ventiloconvectores	30- 35 °C	12 °C	7 °C
	Suelo refrescante	30- 35 °C	23 °C	18 °C

Tabla 7-14. Condiciones nominales de ensayo para bombas de calor aire-agua y agua-agua

7.4.3. (UNE-EN 14825) Métodos de cálculo, condiciones y procedimientos de ensayo para la eficiencia energética estacional

Las prestaciones determinadas en condiciones nominales resultan útiles a efectos comparativos entre equipos, pero no para evaluar los resultados para aproximar el funcionamiento durante un periodo de tiempo. A estos efectos se definió el concepto de Factor de Rendimiento Estacional (SPF, *Seasonal Performance Factor*) que, para calentamiento y refrigeración, adoptan la denominación de SCOP y SEER, respectivamente. Estos se ensayan y calculan según la norma UNE-EN 14825 «Ensayos y clasificación en condiciones de carga parcial y cálculo de rendimiento estacional para acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido y bombas de calor con compresor accionado eléctricamente para la calefacción y la refrigeración de locales», que se aplica a la producción de calefacción y refrigeración, pero no a la producción de agua caliente sanitaria.

La norma establece una serie de definiciones aplicables a las prestaciones de rendimiento estacional para calentamiento y enfriamiento:

- **SCOP:** coeficiente global de rendimiento estacional para la totalidad de la estación de calefacción designada. Se calcula como la demanda calorífica anual de referencia dividida por el consumo energético anual para calefacción, considerando el consumo en modo activo y además el consumo en modo desactivado por termostato (modo correspondiente a las horas sin ninguna carga térmica del edificio, con función frío o calor activada, pero no operativa), modo espera (modo en el cual el equipo está apagado parcialmente y puede activarse mediante un control externo), modo desactivado (modo en el cual el equipo está conectado eléctricamente, pero sin ninguna función sin poder activarse por ningún control o señal exterior) y modo calentamiento de cárter (modo en el cual la unidad ha activado un dispositivo de calefacción para evitar que el refrigerante migre hacia el compresor).
- **SEER:** coeficiente global de rendimiento estacional para la totalidad de la estación de refrigeración. Se calcula como la demanda frigorífica anual de referencia dividida por el consumo energético anual para refrigeración, considerando el consumo en modo activo y además el consumo en modo desactivado por termostato, modo espera, modo desactivado y modo calentamiento cárter.
- **SCOPon:** coeficiente de rendimiento estacional para calentamiento en modo activo incluyendo el consumo de un calefactor suplementario de apoyo para las condiciones de carga parcial en que la potencia declarada sea inferior a la carga de calefacción. Se entiende por modo activo aquel según el cual la unidad se activa en modo calor. En este modo, la bomba de calor puede tener ciclos de encendido/apagado para alcanzar/mantener la temperatura interior requerida.
- **SEERon:** factor de eficiencia energética media en modo activo de refrigeración.
- **SCOPnet:** coeficiente de rendimiento estacional en modo neto para el clima de referencia designado, sin incluir el consumo de un calefactor suplementario de apoyo para las condiciones de carga parcial en que la potencia declarada sea inferior a la carga de calefacción.

Como resumen, los consumos considerados a efectos de cálculo para cada tipología de rendimiento estacional se concretan en la tabla 7-15.

Consumo considerado	SCOPnet	SCOPon	SCOP
Modo activo	SÍ	SÍ	SÍ
Calentador apoyo	NO	SÍ	SÍ
Modo desactivado termostato	NO	NO	SÍ
Modo espera	NO	NO	SÍ
Modo desactivado	NO	NO	SÍ
Modo calentamiento cárter	NO	NO	SÍ

Consumo considerado	SEERon	SEER
Modo activo	SÍ	SÍ
Modo desactivado termostato	NO	SÍ
Modo espera	NO	SÍ
Modo desactivado	NO	SÍ
Modo calentamiento cárter	NO	SÍ

Tabla 7-15. Consumos considerados para cálculo de coeficientes de rendimiento estacional

De cara a establecer los ensayos en unas condiciones representativas de las distintas climatologías del continente, que tipifica unos intervalos de temperaturas exteriores/horas anuales, la norma define tres climas de referencia:

- Clima medio (A) (asimilado a Estrasburgo).
- Clima más cálido (W) (asimilado a Atenas).
- Clima más frío (C) (asimilado a Helsinki).

En modo calor se han definido tres temporadas de calefacción: media (A por «Average»), cálida (W por «Warmer») y fría (C por «Colder»).

A partir de aquí, la norma establece unas condiciones de ensayo en función del tipo de aparato y su aplicación. Por ejemplo, para la determinación del SEER y SEERon en refrigeración, las condiciones de ensayo normalizadas para equipos aire-agua serían las reflejadas en la tabla 7-16, en la que se especifican cuatro ensayos A...D, con la indicación de las condiciones de carga térmica y temperaturas correspondientes.

	Factor de carga parcial	Factor de carga parcial %	Intercambiador de calor exterior	Intercambiador de calor interior		
			Temperatura de bulbo seco del aire °C	Aplicación para ventilador Temperaturas de entrada/salida de agua		Aplicación para suelo refrescante Temperaturas de entrada/salida del agua °C
				Salida fija °C	Salida variable °C	
A	$(35 - 16) / (T_{\text{designe}} - 16)$	100	35	12 / 7	12 / 7	23 / 18
B	$(30 - 16) / (T_{\text{designe}} - 16)$	74	30	^a / 7	^a / 8,5	^a / 18
C	$(25 - 16) / (T_{\text{designe}} - 16)$	47	25	^a / 7	^a / 10	^a / 18
D	$(20 - 16) / (T_{\text{designe}} - 16)$	21	20	^a / 7	^a / 11,5	^a / 18

^a Con el caudal de agua según se determina durante el ensayo «A» para unidades con un caudal de agua fijo o con un delta T fijo de 5 K para unidades con un caudal de agua variable. Si el caudal resultante está por debajo del caudal mínimo entonces este caudal mínimo se utiliza con la temperatura de salida.

Tabla 7-16. Condiciones de ensayo para cálculo del SEER y SEERon – refrigeración, aire-agua

La norma también establece el modo de cálculo de la eficiencia energética estacional en refrigeración y calefacción de espacios mediante los factores $\eta_{s,s}$, $\eta_{s,h}$ y $\eta_{s,c}$, ya mencionados en el capítulo 2.1 de esta guía. Estos se expresan en porcentaje, parten de los valores de SCOP y SEER, y añaden la corrección mediante el coeficiente de conversión (CC) de energía primaria, que para el caso de bombas de calor accionadas eléctricamente es 2,5¹.

$$\eta_s = \frac{1}{CC} \times SCOP - \sum F(i)$$

donde:

- CC es el coeficiente de conversión, igual a 2,5;
- $\sum F(i)$ es la corrección calculada como sigue:

$$\sum F(i) = F(1) + F(2)$$

1 La próxima revisión de los reglamentos de ecodiseño, prevé la actualización de este coeficiente que pasará de 2,5 a presumiblemente 1,9 para reflejar la mejora de la eficiencia en la producción de energía eléctrica referida a consumo de energía primaria en el conjunto de la UE.

donde

- F(1) es la corrección para tener en cuenta la contribución negativa a la eficiencia energética estacional en calefacción de locales de los calefactores debido a la contribución ajustada de los controles de temperatura, igual a 3%;
- F(2) es la corrección para tener en cuenta la contribución negativa a la eficiencia energética estacional en calefacción de locales de consumo eléctrico de las bombas de salmuera y agua. Este factor se aplica solo en unidades agua-salmuera/agua agua-salmuera/aire y es igual al 5%. $\leq \geq$

En los reglamentos 813/2013 y 811/2013 se establecen los requisitos de diseño ecológico y de etiquetado energético, respectivamente, para bombas de calor de potencia inferior a 400 kW y 70 kW. La clasificación energética para calefacción se establece en clases de energía desde A+++ (la más eficiente) hasta G (la menos eficiente), con los valores de eficiencia energética según tabla adjunta para bombas de calor de baja temperatura.

Clase de eficiencia energética estacional de calefacción	Eficiencia energética estacional de calefacción η_s en %
A+++	$\eta_s \geq 175$
A++	$150 \leq \eta_s < 175$
A+	$123 \leq \eta_s < 150$
A	$115 \leq \eta_s < 123$
B	$107 \leq \eta_s < 115$
C	$100 \leq \eta_s < 107$
D	$61 \leq \eta_s < 100$
E	$59 \leq \eta_s < 61$
F	$55 \leq \eta_s < 59$
G	$\eta_s < 55$

Tabla 7-17. Clases de eficiencia energética estacional de calefacción

El reglamento de etiquetado exige al fabricante la inclusión de una etiqueta energética para bombas de calor con producción de ACS, con una escala que va desde A+++ hasta D. Según se recoge en el Reglamento Marco 1369/2017, las etiquetas volverán a la escala A-G. El reescalado se realizará con base en los Actos delegados que se publiquen relativos a los diferentes Reglamentos Delegados para cada producto o grupo.

7.4.4. (UNE-EN 16147) Determinación de las prestaciones de agua caliente sanitaria

Las prestaciones para producción de agua caliente sanitaria en bombas de calor se ensayan y calculan mediante la norma UNE-EN 16147:2017, «Bombas de calor con compresor accionado eléctricamente.

Ensayos y requisitos para el marcado de equipos para agua caliente sanitaria», aplicable a calentadores termodinámicos aire-agua, agua glicolada-agua, agua-agua, así como bombas de calor mixtas que incluyan un depósito de ACS.

Algunos de los conceptos relevantes introducidos por dicha norma son:

- **Coefficiente de rendimiento estacional ($SCOP_{DHW}$):** el coeficiente de rendimiento estacional $SCOP_{DHW}$ se considera igual al COP_{DHW} , cuando se determina en las condiciones de ensayo indicadas, con un clima especificado para las unidades con aire exterior y bajo el perfil de extracción máximo declarado por el fabricante.
- Las temperaturas de entrada de aire exterior a la bomba de calor para el ensayo, corresponden a las temperaturas medias exteriores anuales de las tres ciudades europeas que determinan las «condiciones climáticas medias», «condiciones climáticas más frías» y «condiciones climáticas más cálidas»: temperaturas y condiciones de irradiancia solar global características de las ciudades de Estrasburgo (7 °C), Helsinki (2 °C) y Atenas (14 °C), respectivamente. Temperaturas medias anuales, puesto que el uso en ACS es todo el año.
- COP_{DHW} : coeficiente de eficiencia energética del agua caliente sanitaria para la bomba de calor, determinado incluyendo las pérdidas del depósito acumulador.
- η_{wh} : eficiencia energética del ACS. Relación entre la energía útil en ACS y la energía necesaria para generarla, expresada en porcentaje.
- **Perfil de extracción:** la norma establece unos perfiles de extracción normalizados crecientes, con las nomenclaturas 3XS, XXS, XS, S, M, L, XL, XXL, 3XL, 4XL. Estos perfiles están asociados a unos ciclos de extracción normalizados, basados en unos ciclos horarios desde las 7:00 h hasta las 21:45 h, fijando para cada extracción o paso de agua, la energía útil extraída, el caudal y la temperatura de ACS.

h		3 XS			XXS			XS			S			
		Q_{tap}	f	T_m	Q_{tap}	f	T_m	Q_{tap}	f	T_m	Q_{tap}	f	T_m	T_p
		kWh	l/min	°C	kWh	l/min	°C	kWh	l/min	°C	kWh	l/min	°C	°C
1	07:00	0,015	2	25	0,105	2	25				0,105	3	25	
2	07:05	0,015	2	25										
3	07:15	0,015	2	25										
4	07:26	0,015	2	25										
41	21:35	0,015	2	25	0,105	2	25							
42	21:45	0,015	2	25	0,105	2	25							
43	Q_{ref}	0,345			2,100			2,100			2,100			

Tabla 7-18. Extracto de algunos de los perfiles de extracción de ACS indicados en la norma UNE-EN 16147

- **Volumen de acumulación, V_m** : volumen medido del depósito acumulador de ACS.
- **Agua mezclada a 40 °C, V_{40}** : cantidad de agua a 40 °C que tiene la misma entalpía que el agua caliente que se suministra a una temperatura inferior a 40 °C a la salida del calentador (volumen equivalente a 40 °C).
- **Pérdidas térmicas en régimen estable, P_{stby}** : pérdidas térmicas en los modos de operación sin demanda de calor (*stand by*).
- **Control inteligente**: dispositivo que adapta el proceso de calentamiento a las condiciones de utilización para reducir el consumo de energía. El factor SCF de control inteligente es el incremento conseguido.

El ensayo para determinar las prestaciones de ACS se efectúa según la norma en cuatro fases:

- Estabilización previa del equipo durante 24 h.
- Llenado y determinación del volumen medio del acumulador (V_m) por diferencia de pesada.
- Subida de temperatura según condiciones de ensayo normalizadas en función del equipo hasta el paro por termostato.
- Estabilización a régimen sin extracción durante 48 h o 6 ciclos paro/marcha. Se determina el consumo en este periodo.
- Paso de agua (extracción) con los intervalos, caudales y temperaturas, normalizados según el perfil de extracción declarado por el fabricante. Se determina la energía extraída y consumida en el total del periodo.
- Determinación final del agua mezclada a 40 °C (V_{40}).

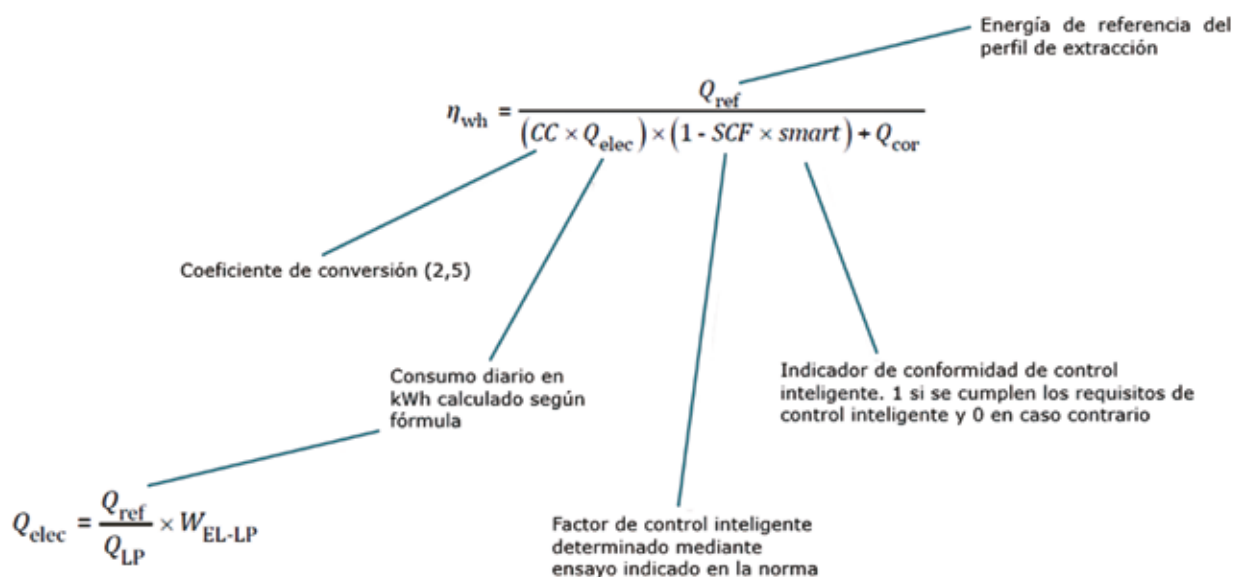


Gráfico 7-5. Ensayo de prestaciones de ACS: 4 fases de T^o-tiempo

El coeficiente de eficiencia energética de ACS se calcula según el balance energético:

$$COP_{DHW} = \frac{Q_{LP}}{W_{EL-LP}}$$

Energía global extraída durante el ensayo
Energía global consumida durante el ensayo

En el año 2017, la norma UNE-EN 16147 fue actualizada, añadiendo puntualizaciones relativas al rendimiento estacional en producción de ACS (hasta ese momento el COP_{DHW} se refería a condiciones estacionarias). En el apartado añadido 7.14.2, se indica que el coeficiente de rendimiento estacional $SCOP_{DHW}$ se considera igual al COP_{DHW} cuando se determina en las condiciones de ensayo indicadas en la norma con un clima especificado, en el caso de unidades con aire exterior y el perfil de extracción máximo declarado por el fabricante. Es decir, ambos coeficientes son determinados del mismo modo según norma.

La eficiencia energética del ACS, η_{wh} , se determina según:

En los reglamentos 814/2013 y 812/2013 se establecen los requisitos de diseño ecológico y de etiquetado energético, respectivamente, para ACS. La clasificación energética para ACS se establece en clases de energía desde A+++ (la más eficiente) hasta G (la menos eficiente), con los valores de eficiencia energética según tabla 7-19.

	3xs	xxs	xs	s	m	l	xl	xxl
a+++	$\eta_{wh} \geq 62$	$\eta_{wh} \geq 62$	$\eta_{wh} \geq 69$	$\eta_{wh} \geq 90$	$\eta_{wh} \geq 163$	$\eta_{wh} \geq 188$	$\eta_{wh} \geq 200$	$\eta_{wh} \geq 213$
a++	$53 \leq \eta_{wh} < 62$	$53 \leq \eta_{wh} < 62$	$61 \leq \eta_{wh} < 69$	$72 \leq \eta_{wh} < 90$	$130 \leq \eta_{wh} < 163$	$150 \leq \eta_{wh} < 188$	$160 \leq \eta_{wh} < 200$	$170 \leq \eta_{wh} < 213$
a+	$44 \leq \eta_{wh} < 53$	$44 \leq \eta_{wh} < 53$	$53 \leq \eta_{wh} < 61$	$55 \leq \eta_{wh} < 72$	$100 \leq \eta_{wh} < 130$	$115 \leq \eta_{wh} < 150$	$123 \leq \eta_{wh} < 160$	$131 \leq \eta_{wh} < 170$
a	$35 \leq \eta_{wh} < 44$	$35 \leq \eta_{wh} < 44$	$38 \leq \eta_{wh} < 53$	$38 \leq \eta_{wh} < 55$	$65 \leq \eta_{wh} < 100$	$75 \leq \eta_{wh} < 115$	$80 \leq \eta_{wh} < 123$	$85 \leq \eta_{wh} < 131$
b	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$35 \leq \eta_{wh} < 38$	$35 \leq \eta_{wh} < 38$	$39 \leq \eta_{wh} < 65$	$50 \leq \eta_{wh} < 75$	$55 \leq \eta_{wh} < 80$	$60 \leq \eta_{wh} < 85$
c	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$36 \leq \eta_{wh} < 39$	$37 \leq \eta_{wh} < 50$	$38 \leq \eta_{wh} < 55$	$40 \leq \eta_{wh} < 60$
d	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$33 \leq \eta_{wh} < 36$	$34 \leq \eta_{wh} < 37$	$35 \leq \eta_{wh} < 38$	$36 \leq \eta_{wh} < 40$
e	$22 \leq \eta_{wh} < 26$	$23 \leq \eta_{wh} < 26$	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$30 \leq \eta_{wh} < 33$	$30 \leq \eta_{wh} < 34$	$30 \leq \eta_{wh} < 35$	$32 \leq \eta_{wh} < 36$
f	$19 \leq \eta_{wh} < 22$	$20 \leq \eta_{wh} < 23$	$23 \leq \eta_{wh} < 26$	$23 \leq \eta_{wh} < 26$	$27 \leq \eta_{wh} < 30$	$27 \leq \eta_{wh} < 30$	$27 \leq \eta_{wh} < 30$	$28 \leq \eta_{wh} < 32$
g	$\eta_{wh} < 19$	$\eta_{wh} < 20$	$\eta_{wh} < 23$	$\eta_{wh} < 23$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 27$

Tabla 7-19. Valores de eficiencia energética para ACS. Reglamento Delegado 812/2013

El reglamento de etiquetado exige al fabricante la inclusión de una etiqueta energética para bombas de calor con producción de ACS con una escala que va desde A+ hasta F.

7.4.5. Normas y métodos de ensayo para la determinación del nivel de potencia acústica

Igual que ocurría con las normas de ensayo para la determinación de las potencias frigoríficas y caloríficas, se han desarrollado una serie de normas de producto que establecen las condiciones de funcionamiento de los equipos de aire acondicionado y bombas de calor (incluida la producción de ACS) para la determinación de los niveles de potencias acústica. Las normas aplicables se recogen en la tabla 7-20.

CAMPO DE APLICACIÓN	CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	SERVICIO	NORMA
Acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido, bombas de calor para la calefacción y refrigeración de locales y enfriadoras industriales	Estacionarias	Calefacción Refrigeración	UNE-EN 12102-1
Bombas de calor para producción de agua caliente sanitaria	Dinámicas y estacionarias	Agua caliente sanitaria	UNE-EN 12102-2

Tabla 7-20. Normativa aplicable: determinación de niveles de potencia acústica

La potencia acústica de una máquina es un dato cada vez más importante debido a los requisitos establecidos en las diferentes normativas tales como marcado CE, protección del medio ambiente y cumplimiento con legislación de ámbito nacional o incluso local (ordenanzas municipales), etiquetado energético, etc., y a las crecientes exigencias de los usuarios.

En consecuencia, su medida adquiere especial relevancia cuando se trata de definir los parámetros principales de una bomba de calor.

No debe confundirse presión acústica con potencia acústica, ya que, aunque los niveles de ambos parámetros se miden en decibelios (dB) o decibelios A (dBA), las referencias en uno y otro caso son distintas, al igual que la naturaleza de la magnitud determinada en cada uno de ellos. La potencia acústica es una magnitud que solo depende de la cantidad de energía radiada por la fuente en el espectro audible (simplificando, sería el «ruido» que emite la fuente), mientras que la presión acústica depende de la fuente y del entorno (equivaldría al «ruido» que percibe quien lo oye, dependiendo de a qué distancia de la fuente y en qué entorno se encuentra). En la práctica, para poder comparar entre sí los aparatos, resulta conveniente utilizar el nivel de potencia acústica en lugar del de presión acústica.

El nivel de potencia acústica es la magnitud adecuada para declarar los niveles de emisión sonora de cualquier equipo, ya que caracteriza al mismo en cuanto a sus niveles de emisión sonora de manera independiente de su lugar de instalación, posición y distancia al punto de medida. Los niveles de potencia acústica deben darse de forma logarítmica en dB o dBA, tomando el valor en W (vatios) de la

potencia acústica con referencia a 1pW. La reglamentación de ecodiseño (Reglamento 206/2012 UE) indica que los niveles de potencia acústica se expresen en dBA. El dBA no es más que una forma de adecuar la potencia acústica a la percepción del oído humano. El oído humano no percibe igual las distintas frecuencias sonoras. En general, somos bastantes «sordos» a frecuencias bajas y muy altas.

Conocida la potencia acústica radiada por un equipo, es posible:

- Comparar de forma directa los niveles de potencia acústica radiada por otros.
- Realizar estimación mediante cálculo de los niveles de presión sonora esperados a una distancia determinada y en un entorno determinado.

Respecto a la medida de la potencia acústica, la norma UNE-EN 12102 especifica todos los aspectos relativos a la instalación de la unidad bajo prueba, e indica que las medidas deben efectuarse con el aparato funcionando en las condiciones nominales indicadas en la norma UNE-EN 14511-2, relativa a las condiciones de ensayo de los acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido y bombas de calor para la calefacción y la refrigeración de locales y enfriadoras de proceso con compresores accionados eléctricamente.

Existen tres familias de métodos de ensayo normalizados con grados de precisión de laboratorio o de ingeniería:

- Medida en sala reverberante o paredes duras (UNE-EN ISO 3741 y serie UNE EN ISO 3743).
- Medida de campo libre sobre un plano reflectante en cámara anecoica o semianecoica (UNE-EN ISO 3745).
- Medida de intensidad (UNE-EN ISO 9641-1, -2, -3).

Cámaras de ensayo para medición de potencia acústica

Método en cámara reverberante



Gráfico 7-6. Cámara reverberante para ensayos acústicos

Método en cámara anecoica o semianecoica



Gráfico 7-7. Cámara anecoica o semianecoica

Método de intensimetría



Gráfico 7-8. Método de Intensimetría

Método	Ventajas	Inconvenientes
Sala reverberante	Muy buena precisión	Coste muy alto
	Permite un buen control de las condiciones de ensayo	Ajuste/cualificación muy costosa de las salas
	Ensayos relativamente rápidos	
Sala semianecoica	Buena precisión	Coste muy alto
	Permite determinar la directividad de la fuente	Tiempo de medida largo Los materiales de las paredes no son compatibles con humedades altas
Intensimetría	Buena precisión	Tiempo de medida largo
	Coste mucho menor que los otros dos métodos, al no requerir de instalaciones específicas	Requiere un alto nivel de formación y cualificación de los técnicos que efectúan los ensayos
		Limitado a 6.300 Hz

Tabla 7-21. Comparativa de los distintos métodos de ensayo acústico

Índice de tablas

Tabla 2-1. Energía total diaria en ACS (UNE-EN 16147:2017) y estimación de demanda _____	18
Tabla 2-2. Ejemplo de datos para ACS (simulados) _____	24
Tabla 2-3. Rendimientos mínimos establecidos en los reglamentos de ecodiseño y etiquetado equivalente, calefacción _____	25
Tabla 2-4. Rendimientos mínimos establecidos en los reglamentos de ecodiseño y etiquetado equivalente, ACS _____	26
Tabla 2-5. Eficiencia energética requerida en ACS _____	27
Tabla 2-6. Clasificación de los refrigerantes según su composición _____	28
Tabla 2-7. Clasificación de los refrigerantes según inflamabilidad y toxicidad _____	29
Tabla 2-8. Tabla comparativa de refrigerantes _____	29
Tabla 2-9. Condiciones iniciales y finales de entrada de aire en una batería de intercambio aire-refrigerante _____	34
Tabla 2-10. Tabla simplificada de emisión de un radiador tipo en función de la temperatura de impulsión. Cada radiador tiene su curva característica que facilita el fabricante _____	54
Tabla 2-11. Cálculo simplificado de la energía necesaria para calentar una habitación de 12 m ² , fancoil- rad. BT vs. suelo radiante _____	58
Tabla 2-12. Cálculo simplificado de la energía necesaria para calentar una habitación de 12 m ² _____	58
Tabla 2-13. Ej. Comparación del tiempo necesario para calentar de 10 °C a 21 °C una habitación de 12 m ² sin muebles. Fancoil (rad. baja temperatura) vs. suelo radiante _____	59
Tabla 2-14. Tabla resumen de la respuesta de emisores con bomba de calor _____	61
Tabla 2-15. Saltos térmicos típicos, potencia aportada y caudal necesario en función del emisor _____	62
Tabla 2-16. Tabla de ejemplo de por qué es necesario alcanzar, al menos, el caudal nominal _____	63
Tabla 2-17. Ejemplo de tabla de longitudes máximas de tubería en función de la instalación elegida para un modelo de bomba de calor simulado _____	65
Tabla 2-18. Resumen de los reglamentos de ecodiseño _____	66
Tabla 2-19. Reglamentos de ecodiseño para bombas de calor _____	67
Tabla 2-20. Requisitos de potencia acústica máxima (hasta 70 kW) _____	68
Tabla 2-21. Reglamentos delegados de etiquetado para bombas de calor y ventilación residencial _____	69
Tabla 2-22. Clasificación energética bombas de calor media y baja temperatura. Reglamento Delegado 811/2013 _____	70
Tabla 2-23. Extracto del Reglamento Delegado 812/2013. Cuadro 6, del Anexo VII _____	73
Tabla 2-24. Tabla con datos (simulados) de recuperación parcial de energía, bomba de calor aire-agua _____	94
Tabla 2-25. Tabla con datos (simulados) de recuperación total de energía, bomba de calor aire-agua _____	94
Tabla 2-26. Ejemplo de potencia térmica disponible, energía térmica recuperada y tiempo de calentamiento necesario en función de la acumulación elegida, con recuperación total de energía. En función del número de horas de refrigeración disponibles puede ser necesario reducir el volumen del acumulador para poder disponer de una temperatura de acumulación útil en ACS. _____	96
Tabla 2-27. Ejemplo de potencia térmica disponible, energía térmica recuperada y tiempo de calentamiento necesario en función de la acumulación elegida, con recuperación parcial de energía. En función del número de horas de refrigeración disponibles puede ser necesario reducir el volumen del acumulador para poder disponer de una temperatura de acumulación útil en ACS. _____	97
El esquema hidráulico podría ser el que se observa en el gráfico 2-68, para las temperaturas anteriores estimadas, considerando un segundo acumulador final que dispone de una bomba de calor de alta temperatura específica para ACS. _____	98
Tabla 3-1. Ejemplo de velocidad en tuberías _____	111
Tabla 3-2. Tabla resumen de los ejemplos de conexión directa _____	112
Tabla 3-3. Resumen del ejemplo de pérdida de carga con conexión directa _____	112
Tabla 3-4. Ejemplo de valores de emisión calorífica de diferentes radiadores de alta temperatura con diferentes saltos térmicos _____	118
Tabla 3-5. Extracto del Anejo F. Cálculo de la demanda de litros de ACS en función de la temperatura de preparación, punto 3, del Documento Básico HE del CTE _____	123
Tabla 3-6. Ejemplo de cálculo de acumulador con bomba de calor en instalaciones domésticas. Valencia _____	123

Tabla 3-7. Rangos de temperatura de trabajo habituales _____	131
Tabla 3-8. Recomendaciones de volumen e inercia _____	134
Tabla 3-9. Documentación técnica de diseño y dimensionado de las instalaciones térmicas _____	137
Tabla 3-10. Responsabilidad del cumplimiento del RITE y contenido mínimo de la documentación técnica de diseño y dimensionado de la instalación térmica _____	138
Tabla 3-11. Suscripción del certificado de la instalación térmica en función de su potencia _____	139
Tabla 3-12. Mantenimiento de las instalaciones térmicas _____	140
Tabla 3-13 Inspecciones periódicas de eficiencia energética instalaciones térmicas en los edificios _____	141
Tabla 4-1. Ejemplo de cálculo de energía renovable en calefacción _____	145
Tabla 4-2. Ejemplo de objetivos de calidad acústica en el exterior de áreas urbanizadas _____	146
Tabla 4-3. Ejemplo de objetivos de calidad acústica interior _____	146
Tabla 4-4. Factores de paso utilizados _____	146
Tabla 4-5. Tabla resumen casos-tipo _____	148
Tabla 4-6. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Comparación demanda ACS _____	150
Tabla 4-7. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Temperatura exterior de selección para la bomba de calor _____	155
Tabla 4-8. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Potencia en radiadores estándar vs. temperatura media _____	156
Tabla 4-9. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Velocidad calculada en la tubería instalada _____	157
Tabla 4-10. Caso tipo 1. Obras a realizar en el caso de mantener radiadores _____	158
Tabla 4-11. Caso tipo 1, obras a realizar en el caso de reforma integral _____	159
Tabla 4-12. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Criterios orientativos de volumen de inercia _____	162
Tabla 4-13. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Tabla simplificada de pérdida de carga del ramal más desfavorable _____	163
Tabla 4-14. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Cálculo de la demanda (I/d) en función de la temperatura de acumulación _____	165
Tabla 4-15. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. COP y potencia consumida a carga parcial para una temperatura interior de 20 °C en función de una temperatura exterior de T _j , COP _____	169
Tabla 4-16. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Cálculo del conductor necesario en función de la potencia y caída de tensión _____	169
Tabla 4-17. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Tabla 1 de la ITC-BT-19 del REBT, «Intensidades admisibles (A) al aire 40 °C. N.º de conductores con carga y naturaleza del aislamiento» _____	170
Tabla 4-18. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Combinación de las características de los circuitos con la potencia real en la vivienda objeto de estudio. Simulación para potencia consumida nominal de la bomba de calor _____	171
Tabla 4-19. Caso tipo 1. Tabla resumen necesidades de calefacción _____	172
Tabla 4-20. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Caso tipo 1. Tabla resumen necesidades de ACS _____	173
Datos técnicos del equipo seleccionado _____	173
Tabla 4-21. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Potencia, consumo y rendimiento instantánea en calefacción a potencia máxima _____	173
Tabla 4-22. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Ficha en condiciones ErP. Reglamento de Ecodiseño 813/2013 _____	174
Tabla 4-23. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Ficha técnica de producto. Reglamento Delegado 811/2013, en condiciones climáticas medias, con etiquetado energético y estimación de consumo de energía anual para una vivienda tipo _____	176
Tabla 4-24. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Datos de bomba de calor en ACS _____	177
Tabla 4-25. Caso tipo 1. Energía renovable en calefacción (radiadores) _____	177
Tabla 4-26. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Energía renovable en calefacción (suelo radiante) _____	177
Tabla 4-27. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Energía renovable en ACS _____	177
Tabla 4-28. Tabla resumen caso 1 _____	178
Tabla 4-29. Tabla resumen caso 1 (II) _____	179
Tabla 4-30. Caso tipo 2. Piso en bloque. Clasificación energética de la vivienda _____	181

Tabla 4-31. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Obras necesarias _____	186
Tabla 4-32. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Temperatura exterior de selección de bomba de calor para aportar la potencia requerida _____	187
Tabla 4-33. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Potencia aportada y potencia necesaria _____	188
Tabla 4-34. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Cálculo de caudal mínimo en la instalación y caudal mínimo necesario en la bomba de calor _____	189
Tabla 4-35. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Cálculo de la velocidad de agua en la tubería instalada en calefacción. En vivienda, no debe ser > 1 m/s _____	190
Tabla 4-36. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Cálculo de la intensidad máxima en el conductor eléctrico debida al consumo de bomba de calor. _____	191
Tabla 4-37. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Cálculo de la intensidad máxima en el conductor eléctrico debida al consumo de la resistencia eléctrica _____	191
Tabla 4-38. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Potencia eléctrica instalada _____	192
Tabla 4-39. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Potencia nominal y aumento de potencia _____	192
Tabla 4-40. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Extracto datos técnicos bomba de calor _____	193
Tabla 4-41. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Extracto datos técnicos bomba de calor de ACS _____	194
Tabla 4-42. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Resumen de necesidades de calefacción _____	195
Tabla 4-43. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Resumen necesidades ACS _____	195
Tabla 4-44. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica _____	196
Tabla 4-45. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Demanda en ACS, SCOPdhw y energía renovable _____	197
Tabla 4-46. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Obras necesarias _____	200
Tabla 4-47. Tabla resumen selección de la bomba de calor en refrigeración _____	201
Tabla 4-48. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Tabla resumen condiciones exteriores, interiores y potencia necesaria _____	202
Tabla 4-49. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Cálculo de los conductores necesarios _____	207
Tabla 4-50. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Potencia eléctrica instalada _____	208
Tabla 4-51. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Potencia nominal y aumento de potencia a contratar sugerido _____	208
Tabla 4-52. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100 % frigorífica. Tabla resumen necesidades de refrigeración _____	209
Tabla 4-53. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Tabla resumen necesidades de calefacción _____	209
Tabla 4-54. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Tabla resumen necesidades de ACS _____	209
Tabla 4-55. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Características unidad exterior _____	210
Tabla 4-56. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Características Depósito (ACS) _____	210
Tabla 4-57. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Energía renovable en calefacción _____	211
Tabla 4-58. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Demanda en ACS, SCOPdhw y energía renovable _____	211
Tabla 4-59. Caso tipo 2. Piso en bloque. Resultado de sustitución caldera GN por bomba de calor, Tabla 1 _____	212
Tabla 4-60. Caso tipo 2. Piso en bloque. Resultado de sustitución caldera GN por bomba de calor, Tabla2 _____	213
Tabla 4-61. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico. Resumen necesidades ACS _____	215
Tabla 4-62. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico. Resumen demanda y selección de bomba de calor _____	216
Tabla 4-63. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico. Condiciones de instalación requeridas para la bomba de calor en ACS _____	218
Tabla 4-64. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico. Ejemplo de integración de bomba de calor ACS + ventilación con recuperación de calor, potencia de refrigeración y energía disponible en el ejemplo _____	220
Tabla 4-65. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico. Potencia eléctrica máxima consumida _____	221
Tabla 4-66. Caso tipo 3. Obras necesarias para la sustitución del termo eléctrico _____	221
Tabla 4-67. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico por bomba de calor. Energía renovable _____	222
Tabla 4-68. Resultados. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico _____	222

Tabla 4-69. Caso tipo 4. Residencial colectiva. Demanda de calefacción. Situación de partida _____	225
Tabla 4-70. Caso tipo 4. Residencial colectiva. Demanda de energía del edificio en calefacción prevista _____	226
Tabla 4-71. Caso tipo 4. Residencial colectiva. Tabla mensual de demanda de ACS _____	226
Tabla 4-72. Caso tipo 4. Residencial colectiva. Resumen anual de demanda de ACS _____	227
Tabla 4-73. Caso tipo 4. Obras necesarias _____	228
Tabla 4-74. Caso tipo 4. Frecuencias de repetición de intervalos horarios durante la temporada de calefacción en Aranjuez, Madrid. Fuente: programa «Frecuencias» (IDAE) y temperatura de impulsión necesaria calculada por curva _____	230
Tabla 4-75. Caso tipo 4. Residencial colectiva. Extracto de datos de ficha técnica de la bomba de calor _____	231
Tabla 4-76. Caso tipo 4. Residencial colectiva. Demanda de energía y características _____	232
Tabla 4-77. Caso tipo 4. Residencial centralizada. Tabla resumen de potencia y energía en cada intervalo de temperatura exterior _____	234
Tabla 4-78. Caso tipo 4. Energía renovable en calefacción _____	242
Tabla 4-79. Caso tipo 4. Energía renovable en ACS _____	242
Tabla 4-80. Caso tipo 4. Residencial colectivo. Sistema híbrido – CAL+ACS 75 vivienda. Tabla I _____	243
Tabla 4-81. Residencial colectivo. Sistema híbrido – CAL+ACS 75 vivienda. Tabla II _____	244
Tabla 4-82. Caso tipo 4. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Demanda de energía. _____	246
Tabla 4-83. Caso tipo 5. Obras necesarias _____	247
Tabla 4-84. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Caudales instantáneos _____	249
Tabla 4-85. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Coeficientes _____	250
Tabla 4-86. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Conversión unidades _____	252
Tabla 4-87. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Pérdidas por recirculación _____	252
Tabla 4-88. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. % de pérdidas anuales _____	252
Tabla 4-89. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Cálculo de la temperatura exterior para la selección de la bomba de calor _____	254
Tabla 4-90. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Capacidad de la bomba de calor _____	254
Tabla 4-91. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Capacidad a 60 °C de producción de ACS _____	255
Tabla 4-92. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Sección del conductor eléctrico, tensión e intensidad consumida _____	259
Tabla 4-93. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Rendimiento en ACS, SCOP _{dhw} . _____	260
Resultados y conclusión _____	261
Tabla 4-94. Caso tipo 5. Vivienda colectiva. Sustitución de caldera de gas por bomba de calor de producción de ACS instantánea _____	261
Tabla 4-95. Caso tipo 6. Clínica de fisioterapia. Potencia necesaria _____	263
Tabla 4-96. Caso tipo 6. Clínica de fisioterapia. Demanda de energía mensual _____	264
Tabla 4-97. Caso tipo 6. Clínica de fisioterapia. Cálculo potencia en calefacción _____	267
Tabla 4-98. Caso tipo 6. Clínica de fisioterapia. Cálculo potencia en refrigeración. _____	268
Tabla 4-99. Caso tipo 6. Clínica de fisioterapia. Sustitución de caldera GN por bomba de calor _____	269
Tabla 4-100. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Tabla de cálculo de caudal simultáneo _____	272
Tabla 4-101. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Tabla de cálculo de caudal instantáneo _____	272
Tabla 4-102. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Coeficientes caudales simultáneos _____	273
Tabla 4-103. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Coeficientes caudales simultáneos _____	273
Tabla 4-104. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Demanda CTE HE-4 _____	274
Tabla 4-105. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Demanda CTE HE-4 a temperatura diferente de 60 °C _____	275
Tabla 4-106. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Tabla de demanda mensual de ACS _____	276
Tabla 4-107. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Potencia necesaria en el generador _____	281

Tabla 4-108. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Tiempo de calentamiento _____	281
Tabla 4-109. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Potencia para el tiempo de calentamiento calculado _____	281
Tabla 4-110. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Temperatura de selección unidad exterior _____	282
Tabla 4-111. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Datos técnicos BdC _____	283
Tabla 4-112. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Energía renovable en ACS _____	286
Tabla 4-113. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Resultado _____	287
Tabla 5-1. Caso de éxito uno. Tabla mensual de demanda de ACS _____	293
Tabla 5-2. Caso de éxito uno. PVP de materiales necesarios _____	294
Tabla 5-3. Caso de éxito dos. Resultados _____	296
Tabla 5-4. Caso de éxito dos. PVP de bomba de calor _____	296
Tabla 5-5. Caso de éxito tres. Demanda de ACS _____	297
Tabla 5-6. Caso de éxito tres. Resumen comparativo. Incluidas las pérdidas de acumulación _____	298
Tabla 5-8. Caso de éxito tres. Resumen de energía, emisiones y ahorros _____	299
Tabla 5-9. Caso de éxito tres. PVP bomba de calor y equipos sin instalación _____	299
Tabla 5-10. Caso de éxito cuatro. Resumen demanda ACS y calefacción _____	302
Tabla 5-11. Caso de éxito cuatro. Resumen de energías, emisiones y consumos _____	303
Tabla 5-12. Caso de éxito cuatro. Resumen PVP _____	303
Tabla 5-13. Caso de éxito cinco. Reducción de consumo _____	305
Tabla 5-14. Caso de éxito cinco. Reducción de consumo _____	305
Tabla 5-15. Caso de éxito cinco. PVP equipos instalados _____	307
Tabla 5-16. Caso de éxito seis. PVP equipos instalados _____	309
Tabla 5-17. Caso de éxito siete. PVP bomba de calor _____	311
Tabla 5-18. Caso de éxito ocho. Ahorros obtenidos _____	314
Tabla 5-19. Caso de éxito ocho. Esquema de principio. PVP Bombas de calor _____	315
Tabla 5-20. Caso de éxito nueve. Ahorro de energía emisiones y económico obtenido _____	316
Tabla 5-21. Caso de éxito nueve. PVP bomba de calor _____	317
Tabla 5-22. Caso de éxito diez. Datos del sistema anterior _____	319
Tabla 5-22 . Caso de éxito diez. Datos del nuevo sistema con bomba de calor _____	319
Tabla 5-24. Caso de éxito 11. Tempertura entrada agua fría _____	320
Tabla 5-25. Caso de éxito 11. Demanda de energía térmica _____	320
Tabla 5-26. Energía consumida y COP medio mensual _____	321
Tabla 5-27. Caso de éxito once. Resumen _____	323
Tabla 7-1. Ejemplo de datos (ficticios) de una ficha técnica. Reglamento 813/2013 _____	345
Tabla 7-2. Ejemplo de ficha técnica en base al Reglamento de Ecodiseño 814/2013 _____	346
Tabla 7-3. Ejemplo de datos (ficticios) de una ficha de producto. Reglamento Delegado 811/2013 _____	347
Tabla 7-4. Ejemplo de ficha de producto en base al Reglamento Delegado 812/2013 _____	349
Tabla 7-5. Etiquetas energéticas de bombas de calor de media y baja temperatura, en calefacción _____	351
Tabla 7-6. Simulación de mejora en consumo anual de energía _____	353
Tabla 7-7. Comparación de demandas térmicas y potencias de BdC, antes y después de la intervención sobre la envolvente _____	354
Tabla 7-8. Comparación de la variación de rendimientos en las BdC, antes y después de la intervención sobre la envolvente, en función de la nueva temperatura de impulsión necesitada _____	355
Tabla 7-9. Estimación (ejemplo) de variación de precio del equipo en función de la potencia aportada _____	356
Tabla 7-10. Normativa aplicable para ensayos de bombas de calor _____	358

Tabla 7-11. Condiciones nominales de ensayo: aire-aire (exterior-recirculado) _____	359
Tabla 7-12. Condiciones nominales de ensayo para equipos agua-agua (baja temperatura) _____	359
Tabla 7-13. Comparativa de los distintos métodos de medida de la potencia térmica _____	361
Tabla 7-14. Condiciones nominales de ensayo para bombas de calor aire-agua y agua-agua _____	362
Tabla 7-15. Consumos considerados para cálculo de coeficientes de rendimiento estacional _____	364
Tabla 7-16. Condiciones de ensayo para cálculo del SEER y SEERon – refrigeración, aire-agua _____	365
Tabla 7-17. Clases de eficiencia energética estacional de calefacción _____	366
Tabla 7-18. Extracto de algunos de los perfiles de extracción de ACS indicados en la norma UNE-EN 16147 _____	367
Tabla 7-19. Valores de eficiencia energética para ACS. Reglamento Delegado 812/2013 _____	369
Tabla 7-20. Normativa aplicable: determinación de niveles de potencia acústica _____	370
Tabla 7-21. Comparativa de los distintos métodos de ensayo acústico _____	372

Índice de gráficos

Gráfico 2-1. Ciclo frigorífico de compresión en calefacción, bomba de calor agua-agua	14
Gráfico 2-2. Modo de funcionamiento	15
Gráfico 2-3. Aporte renovable de las bombas de calor	16
Gráfico 2-4. Definición de COP	16
Gráfico 2-5. Definición de EER	17
Gráfico 2-6. Temperaturas para establecer el rendimiento estacional de las bombas de calor en ACS según se indica en Reglamento Delegado 812/2011. Helsinki (condiciones climáticas frías, 2 °C), Estrasburgo, (condiciones climáticas medias, 7 °C) y Atenas (condiciones climáticas cálidas, 14 °C), donde el COP_{DHW} a esa temperatura equivale al $SCOP_{DHW}$	18
Gráfico 2-7. Comparación de perfiles de demanda de ACS, CTE vs. UNE-EN 16147:2017	19
Gráfico 2-8. Definición de SCOP	19
Gráfico 2-9. Ejemplo de las condiciones estipuladas para obtener el dato del SCOP a baja temperatura de impulsión (35 °C) de una bomba de calor aire-agua en condiciones climáticas medias (Estrasburgo). Puede apreciarse la filosofía de funcionamiento mediante la que se varía la potencia y temperatura de impulsión en función de la temperatura exterior, donde "A" es aire, "W" es agua y el número a continuación de la letra es la temperatura en °C. El porcentaje se refiere a la potencia térmica aportada. La temperatura exterior para el inicio de la calefacción es de 15 °C	20
Gráfico 2-10. Definición de SEER	21
Gráfico 2-11. Bombas de Calor aire-aire	32
Gráfico 2-12. Bombas de Calor aire-agua	32
Gráfico 2-13. Condiciones psicrométricas del aire exterior al atravesar un intercambiador refrigerante-aire, sin aparición de escarcha	33
Gráfico 2-14. Condiciones psicrométricas del aire exterior al atravesar un intercambiador refrigerante-aire, con aparición de escarcha	34
Gráfico 2-15. Condiciones de ensayo de bombas de calor aerotérmicas	35
Gráfico 2-16. Curvas de potencia disponible en bomba de calor geotérmica vs. potencia necesaria en calefacción	36
Gráfico 2-17. Variación de potencia disponible en una bomba de calor inverter (mínimo-nominal-máxima), en función de la temperatura de entrada de aire a la unidad exterior y potencia necesaria en la instalación	37
Gráfico 2-18. Bombas de Calor agua-aire	39
Gráfico 2-19. Bomba de Calor agua-agua	40
Gráfico 2-20. Bombas de calor geotérmicas	41
Gráfico 2-21. Bombas de calor aire-aire multisplit	42
Gráfico 2-22. Sistema de volumen variable de refrigerante, con recuperación de calor	42
Gráfico 2-23. Ejemplo simplificado bomba de calor aire-agua de tipo partido (split)	43
Gráfico 2-25. Bomba de calor compacta agua-aire	44
Gráfico 2-26. Ejemplo bomba de calor geotérmica	44
Gráfico 2-24. Ejemplo de instalación bomba de calor aerotérmica doméstica compacta	44
Gráfico 2-27. Bomba de calor compacta solo calefacción	45
Gráfico 2-29. Funcionamiento bomba de calor reversible en modo refrigeración	45
Gráfico 2-28. Válvula de 4 vías	45
Gráfico 2-30. Funcionamiento bomba de calor reversible en modo calefacción	45
Gráfico 2-31. Ejemplo de sistema con bomba de calor para tres servicios, ACS, S. Rad. y fancoils	46
Gráfico 2-33. Bomba de calor de ACS compacta	47
Gráfico 2-32. Bomba de calor de solo ACS partida con detalle altura máxima y de trampa de aceite cada 4 m, a instalar en la tubería de vapor del circuito de refrigerante, en este caso	47
Gráfico 2-35. Ejemplo de suelo radiante	50
Gráfico 2-34. Detalle de suelo radiante	50

Gráfico 2-36. Ejemplo de suelo radiante con colector, bomba, generador, sonda exterior y termostatos interiores	51
Gráfico 2-37. Ej. Curva de calefacción en instalación centralizada y radiadores convencionales	53
Gráfico 2-38. Radiador de chapa de acero (plano)	55
Gráfico 2-39. Radiador de aluminio	55
Gráfico 2-40. Radiadores de hierro fundido	55
Gráfico 2-41. Radiador de diseño	55
Gráfico 2-42. Radiador de baja temperatura	55
Gráfico 2-43. Comparación de potencia aportada por radiadores de baja temperatura y radiadores convencionales	56
Gráfico 2-44. Distribución de temperaturas interiores con radiadores	57
Gráfico 2-45. Fancoil de techo (ejemplo)	57
Gráfico 2-46. Ejemplo de conexión de bomba de calor aire-agua, fancoils de conductos y equipo de ventilación	60
Gráfico 2-47. Ejemplo conexión bomba de calor aire-agua, fancoils de cassette y de consola de pared y un equipo de ventilación	60
Gráfico 2-48. Comparativo consumo de energía primaria, bomba de calor vs. caldera gas natural	62
Gráfico 2-49. Ejemplo de variación del COP de una bomba de calor aire-agua en función de la temperatura exterior y de la temperatura de impulsión hacia los elementos terminales, 35 °C, 45 °C o 55 °C en condiciones UNE-EN 14511	64
Gráfico 2-50. Ciudades para el establecimiento de las condiciones climáticas más frías (Helsinki), medias (Estrasburgo) y más cálidas (Atenas)	71
Gráfico 2-51. Comparación de frecuencias de repetición en calefacción: Madrid (Barajas) vs. condiciones climáticas frías, medias y cálidas en calefacción, indicadas en el Reglamento 811/2013	72
Gráfico 2-52. Comparación de frecuencias de repetición en calefacción: Burgos/Villafría vs. condiciones climáticas frías, medias y cálidas en calefacción, indicadas en el Reglamento 811/2013	72
Gráfico 2-53. Comparación frecuencias de repetición en calefacción: Sevilla (aeropuerto) vs. condiciones climáticas frías, medias y cálidas en calefacción, indicadas en el Reglamento 811/2013	73
Gráfico 2-54. Temperaturas exteriores para establecer el rendimiento estacional de las bombas de calor en ACS, 2, 7 y 14 °C, donde el COP_{DHW} a esa temperatura diaria media anual equivale al $SCOP_{DHW}$ anual	74
Gráfico 2-55. Comparación de temperaturas medias anuales (no diurnas), Burgos (Villafría) vs condiciones climáticas frías (Helsinki) y medias (Estrasburgo)	74
Gráfico 2-56. Comparación de temperaturas medias anuales (no diurnas), Burgos (Villafría), Madrid (aeropuerto) vs. Estrasburgo (condiciones climáticas medias) y Atenas (condiciones climáticas cálidas)	75
Gráfico 2-57. Comparación de temperaturas medias anuales (no diurnas), Sevilla vs. Atenas (condiciones climáticas cálidas)	75
Gráfico 2-58. Ejemplo de conexión de señal de activación de modo Fotovoltaico	77
Gráfico 2-59. Gráfico orientativo de la producción fotovoltaica a lo largo de un día	78
Gráfico 2-60. Detalle del proceso que determina la activación del modo FV en una bomba de calor compacta de ACS	78
Gráfico 2-61. Instalación hidráulica bomba de calor y bomba de calor solo ACS	82
Gráfico 2-62. Sistema monovalente	84
Gráfico 2-63. Sistema bivalente paralelo	85
Sistema bivalente alternativo	85
Sistema bivalente paralelo y alternativo	86
Gráfico 2-64. Ejemplo de cálculo de temperatura de bivalencia en función de la temperatura interior deseada	87
Gráfico 2-65. Ejemplo de cobertura en Burgos de la energía térmica total en calefacción aportada por cada generador en un sistema bivalente paralelo	89
Gráfico 2-66. Ejemplo de cobertura de energía sobre el total necesario en calefacción en función del modo de funcionamiento del sistema bivalente elegido (paralelo o alternativo)	90
Gráfico 2-67. Diagrama de un circuito frigorífico y zona de recuperación de potencia térmica (parcial o total)	92
Gráfico 2-68. Ejemplo de conexión de bomba de calor con recuperación y trabajo en ACS. Recuperación OFF	98
Gráfico 2-70. Ejemplo de conexión de bomba de calor con recuperación y trabajo en ACS. Recuperación parcial	99

Gráfico 2-71. Recuperación de energía para varios usos (ACS y piscina) _____	99
Gráfico 2-72. Sistema de calefacción con recuperación de calor _____	100
Gráfico 2-73. Demanda de calor vs. Disponibilidad de calor recuperado _____	101
Gráfico 3-1. Ejemplo de esquema de principio de caldera existente con bomba de calor _____	107
Gráfico 3-2. Esquema de principio de bomba de calor con tres circuitos hidráulicos. Funcionamiento en calefacción _____	108
Gráfico 3-3. Esquema de principio de bomba de calor con tres circuitos hidráulicos. Funcionamiento en ACS _____	108
Gráfico 3-4. Esquema de principio conexión directa del circuito a la bomba de calor _____	109
Gráfico 3-5. Ejemplo de variación del COP de una bomba de calor aire-agua de alta temperatura en función de las temperaturas exteriores y la temperatura de impulsión _____	113
Gráfico 3-6. Curvas de potencia de dos modelos de bomba de calor y punto de bivalencia _____	115
Gráfico 3-7. Temperaturas consideradas en un radiador _____	117
Gráfico 3-8. Emisión térmica en función del salto de temperatura de un radiador genérico (cada radiador tiene su curva correspondiente en función de su construcción, altura, etc.) _____	117
Gráfico 3-9. Ejemplo simplificado de uso de intercambiador de placas con bomba de calor, con salto térmico previsto para baja temperatura de acumulación. Acumulador con lanza de carga estratificada _____	121
Gráfico 3-10. Ilustración simplificada de la combinación de un intercambiador de placas para la producción de ACS mediante bomba de calor, con salto térmico previsto para alta temperatura de acumulación y acumulador con lanza de carga estratificada _____	121
Gráfico 3-11. Ejemplo de producción instantánea de ACS con bombas de calor de producción instantánea _____	121
Gráfico 3-12. Depósito interacumulador de ACS para bomba de calor, con serpentín de gran superficie y alta estratificación _____	125
Gráfico 3-13. Consecuencias de la recirculación de aire en modo «calefacción» _____	126
Gráfico 3-14. Consecuencias de la recirculación de aire en modo «Refrigeración» _____	126
Gráfico 3-15. Ejemplos de distancias mínimas para la instalación de una unidad exterior _____	127
Gráfico 3-16. Ejemplos de variación de potencia térmica disponible en calefacción o ACS en función de la distancia frigorífica (equivalente) entre la unidad interior y la unidad exterior, para cuatro modelos de bomba de calor diferentes _____	129
Gráfico 3-17. Ejemplos de variación de potencia de refrigeración disponible en función de la distancia frigorífica (equivalente) entre la unidad interior y la unidad exterior, para cuatro modelos de bomba de calor diferente _____	129
Gráfico 3-18. Rangos de operación habitual de bombas de calor _____	130
Gráfico 3-19. Esquema hidráulico de una bomba de calor compacta aire-agua, con unidad interior, separador hidráulico y bomba de secundario _____	134
Gráfico 4-1. Caso 1. Vivienda unifamiliar. Instalación existente con caldera de gasóleo, un circuito de radiadores y acumulador de ACS _____	150
Gráfico 4-2. Caso tipo 1. Unidad interior (ejemplo) _____	151
Gráfico 4-3. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Esquema de principio (ejemplo) _____	152
Gráfico 4-4. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Ej. Ud. interior _____	153
Gráfico 4-6. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Ubicación de la unidad exterior, interior e inercia _____	153
Gráfico 4-5. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Ej. Ud. Exterior _____	153
Gráfico 4-7. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Suelo radiante _____	160
Gráfico 4-8. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Ejemplo de instalación de ACS, suelo radiante y un equipo de ventilación centralizado con recuperación de calor y distribución de aire _____	161
Gráfico 4-9. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Gráfico de línea de pérdida de carga de la instalación vs. presión disponible y caudal en bomba circuladora _____	164
Gráfico 4-10. Caso tipo 1. Ejemplo de instalación _____	165
Gráfico 4-11. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Frecuencias de repetición, Madrid, Cuatro Vientos. Fuente: Programa «Frecuencias» (IDAE) _____	166
Gráfico 4-12. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Curvas de trabajo en calefacción programables en función de los elementos terminales instalados. _____	167

Gráfico 4-13. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Potencia aportada frente a potencia demandada, variación del COP y horas de funcionamiento, en Madrid, de una bomba de calor para radiadores, según ficha ErP _____	175
Gráfico 4-14. Caso tipo 1. Vivienda unifamiliar. Instalación existente _____	181
Gráfico 4-15. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Esquema de principio universal para calefacción con tres tipos de emisores posibles: suelo radiante, fancoils o radiadores de baja temperatura _____	183
Gráfico 4-16. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Conducto aislado a prueba de difusión de vapor _____	183
Gráfico 4-17. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Esquema de principio para ACS _____	183
Gráfico 4-19. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Dimensiones unidad exterior _____	184
Gráfico 4-18. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Distancias mínimas _____	184
Gráfico 4-20. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica _____	184
Gráfico 4-21. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Implantación _____	186
Gráfico 4-22. Caso tipo 2. Frecuencias de repetición. Zaragoza. Fuente: Programa «Frecuencias» (IDAE) _____	188
Gráfico 4-23. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% hidráulica. Curvas de pérdida de carga disponible por la bomba circuladora y punto de trabajo previsto _____	190
Gráfico 4-24. Caso tipo 2. Representación simulada de la variación de la potencia aportada, en cada punto de temperatura exterior, para el cálculo del rendimiento estacional en calefacción, en condiciones climáticas medias de calefacción (-10 °C) _____	195
Gráfico 4-25. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Esquema de principio _____	198
Gráfico 4-26. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Unidad interior _____	198
Gráfico 4-27. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Unidad conductos _____	199
Gráfico 4-28. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Unidad exterior _____	199
Gráfico 4-29. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Plano de implantación _____	199
Gráfico 4-30. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Modos programables de presión disponible para un mismo caudal _____	201
Gráfico 4-31. Caso tipo 2. Piso en bloque. Opción 100% frigorífica. Ejemplo de cálculo de red de conductos _____	203
Gráfico 4-32. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico. Conexión habitual de un termo eléctrico _____	215
Gráfico 4-33. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico. Frecuencias de repetición en Murcia. Fuente: Programa «Frecuencias» (IDAE) _____	218
Gráfico 4-34. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico. Ejemplo de integración de bomba de calor de ACS + ventilación con recuperación de calor _____	219
Gráfico 4-35. Caso tipo 3. Piso en bloque. Sustitución de termo eléctrico. Esquema de instalación _____	220
Gráfico 4-36. Caso tipo 4. Frecuencias de repetición para Aranjuez, Madrid, Fuente. Programa «Frecuencias» (IDAE) _____	225
Gráfico 4-37. Caso tipo 4. Curva seleccionada para el funcionamiento en régimen de 24 horas, durante la temporada de calefacción _____	229
Gráfico 4-38. Caso tipo 4. Energía térmica anual aportada en cada intervalo de temperatura exterior y horas acumuladas / año en cada intervalo _____	235
Gráfico 4-39. Caso tipo 4. Residencial centralizada. Variación simplificada de la potencia necesaria en función de la temperatura exterior _____	236
Gráfico 4-40. Caso tipo 4. Esquema hidráulico básico _____	237
Gráfico 4-41. Caso tipo 4. Extracción de ACS según el perfil considerado _____	238
Gráfico 4-42. Caso tipo 4. Ejemplo de sistema híbrido con estaciones de transferencia para ACS y calefacción _____	239
Gráfico 4-43. Caso tipo 5. Centralizada. Bomba de calor de producción instantánea de ACS. Esquema de la instalación existente _____	246
Gráfico 4-44. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. bomba de calor ON-OFF y producción _____	256
Gráfico 4-45. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Frecuencias de repetición. Valencia. Fuente: Programa «Frecuencias» (IDAE) _____	257
Gráfico 4-46. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Distancias mínimas de instalación a otros equipos o paredes. Debe evitarse la recirculación de aire _____	257

Gráfico 4-47. Caso tipo 5. Centralizada. BdC de producción instantánea de ACS. Esquema de principio _____	260
Gráfico 4-48. Caso tipo 6. Clínica de fisioterapia. Esquema de calefacción _____	263
Gráfico 4-49. Caso tipo 6. Clínica de fisioterapia. Potencias máximas por «modelo», en función de la temperatura exterior. _____	265
Gráfico 4-50. Caso tipo 6. Clínica de fisioterapia. Esquema hidráulico y componentes _____	266
Gráfico 4-51. Caso tipo 6. Clínica de fisioterapia. Punto de trabajo de la curva de la bomba circuladora (línea verde) _____	267
Gráfico 4-52. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Esquema de la instalación existente _____	271
Gráfico 4-53. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Variación de la disponibilidad de ACS en función de la elección del acumulador y la potencia del generador _____	279
Gráfico 4-54. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Esquema de principio ACS y calefacción _____	284
Gráfico 4-55. Caso tipo 7. ACS para hotel con BdC de VRF alta temperatura. Esquema de principio del control _____	285
Gráfico 5-1. Caso de éxito uno. Edificio rehabilitado _____	291
Gráfico 5-2. Caso de éxito uno. Esquema de principio _____	292
Gráfico 5-3. Caso de éxito dos. Esquema solo calefacción _____	294
Gráfico 5-4. Caso de éxito dos. Esquema de instalación ejecutada _____	295
Gráfico 5-5. Caso de éxito dos. Bloque de viviendas _____	297
Gráfico 5-6. Caso de éxito tres. Esquema de principio _____	299
Gráfico 5-7. Caso de éxito cuatro. Emplazamiento del edificio _____	300
Gráfico 5-8. Caso de éxito cuatro. BdC en cubierta y bombas circuladoras _____	301
Gráfico 5-9. Caso de éxito cuatro. Depósitos de producción instantánea _____	301
Gráfico 5-10. Caso de éxito cuatro. Paneles FV _____	301
Gráfico 5-11. Caso de éxito cuatro. Esquema de principio _____	302
Gráfico 5-12. Caso de éxito cinco. Edificio antes de la rehabilitación _____	304
Gráfico 5-13. Caso de éxito cinco. Edificio después de la rehabilitación _____	304
Gráfico 5-14. Caso de éxito cinco. Edificio después de la rehabilitación _____	304
Gráfico 5-15. Caso de éxito cinco. Edificio después de la rehabilitación _____	304
Gráfico 5-16. Caso de éxito cinco. Esquema de principio _____	306
Gráfico 5-17. Caso de éxito seis. Implantación _____	308
Gráfico 5-18. Caso de éxito seis. Esquema instalación existente _____	308
Gráfico 5-19. Caso de éxito siete. Edificio _____	310
Gráfico 5-20. Caso de éxito siete. Esquema instalación existente _____	311
Gráfico 5-21. Caso de éxito ocho. Balneario _____	312
Gráfico 5-22. Caso de éxito ocho. Esquema de principio _____	313
Gráfico 5-23. Caso de éxito nueve. Centro de salud _____	315
Gráfico 5-24. Caso de éxito nueve. Instalación sustituida _____	316
Gráfico 5-25. Caso de éxito diez. Esquema de principio _____	317
Gráfico 5-26. Caso de éxito diez. Proceso de perforación _____	318
Gráfico 5-27. Caso de éxito diez. Foto de sala de máquinas de geotermia _____	318
Gráfico 5-28. Caso de éxito once. Esquema de principio _____	322
Gráfico 5-29. Caso de éxito once. Unidades exteriores en bancada _____	322
Gráfico 5-30. Caso de éxito once. Depósito de acumulación de agua caliente _____	322
Gráfico 7-1. Ejemplo de etiquetado energético de aparatos de calefacción con bomba de calor, excepto bombas de calor exclusivamente de baja temperatura _____	351
Gráfico 7-2. Ejemplo de etiquetado energético de un calefactor combinado (calefacción y ACS) con bomba de calor _____	351
Gráfico 7-3. Etiqueta energética para bombas de calor para ACS _____	352

Gráfico 7-4. Sala de ensayo para equipos aire-agua de hasta 100 kW	360
Gráfico 7-5. Ensayo de prestaciones de ACS: 4 fases de T ^a -tiempo	368
Gráfico 7-6. Cámara reverberante para ensayos acústicos	371
Gráfico 7-7. Cámara anecoica o semianecoica	371
Gráfico 7-8. Método de Intensimetría	371



IDAIE, Calle Madera, 8, 28004 Madrid. Telf.: 91 456 4900
Fax: 91 523 04 14, mail: comunicacion@idaie.es, www.idaie.es

