

Hidráulica

PUBLICACIÓN PERIÓDICA DE INFORMACIÓN TÉCNICO-PROFESIONAL

8

Enero 2023

Sistemas de bomba de calor aire-agua



CALEFFI XF EXTRA FILTRADO



CALEFFI XF serie 577 es un filtro desfangador magnético de nivel extra. Su malla filtrante con una superficie extra grande y extra fina permite una limpieza insuperable de la instalación. El nuevo imán extraíble retiene incluso las impurezas ferrosas más pequeñas. CALEFFI XF es autolimpiante: su mecanismo de escobillas permite retirar y expulsar todas las impurezas sin desmontar el filtro. **CON LA GARANTÍA DE CALEFFI.**



EDITORIAL

UN FUTURO SOSTENIBLE

20-20-20 fue la denominación asignada al conjunto de medidas planteadas por la UE que se iban a aplicar tras el protocolo de Kioto de 1997. El conjunto de medidas relativas al cambio climático –incluido en la Directiva 2009/29/CE y en vigor desde junio de 2009– preveía reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20 % respecto a los valores de 1990, subir al 20 % la cuota de energía obtenida de fuentes renovables y alcanzar el 20 % de ahorro energético respecto a la evolución prevista.



Llegó 2020 y todos constataron que las medidas aplicadas hasta entonces eran totalmente insuficientes.

En el G20 y el COP26 se intentó encontrar una síntesis entre realidad y necesidad imperiosa. No es fácil poner de acuerdo a todos los países, industrializados y en vías de desarrollo, sobre el tema de las emisiones y la sostenibilidad medioambiental. De momento los objetivos fijados (o deseados) son más ambiciosos respecto al pasado: reducción en un 30 % de los gases de efecto invernadero para 2030 y más del 50 % para 2050. Un baile de cifras que corre el riesgo de confundir y que oculta una pregunta fundamental: ¿cómo lo vamos a conseguir?

Los primeros en verse gravemente afectados son los transportes y la climatización doméstica: los transportes, por el destierro del viejo y querido motor de combustión para el no tan lejano 2035, y la climatización doméstica, por leyes e incentivos que intentan suplantar las calderas con combustibles fósiles favoreciendo su sustitución por las bombas de calor.

En España las máquinas capaces de captar energía térmica de un espacio a baja temperatura y cederla a otro con una temperatura más elevada ya cuentan con ayudas para casi todos los edificios de nueva construcción. Sin embargo, el problema esencial es cómo se puede reemplazar por bombas de calor el gran número de calderas ya instaladas en el parque inmobiliario del país.

Caleffi cree en esta revolución a medio plazo e invierte en investigación, desarrollo y procesos para fabricar componentes específicos para este tipo de sistemas, con el objetivo de simplificar el trabajo de diseñadores e instaladores durante la fase de transición, que seguramente no va a ser sencilla pero sí muy estimulante.

En este número de la revista intentamos proporcionar una visión ponderada de los sistemas de bomba de calor actualmente realizables, desde el marco regulador hasta la elección de cada componente. Es nuestra forma de echar una mano a quien necesita intercambiar y aclarar ideas y una ayuda para abordar este nuevo desafío. Como siempre, en Caleffi estamos preparados.

Domenico Mazzetti

*Product Marketing HVAC and
Post Sales Manager*

Idraulica/Hidráulica
Publicación registrada ante el
Tribunal de Novara
con el n. 26/91 el 28/9/91

Copyright Hidráulica Caleffi.
Reservados todos los derechos.
Prohibida la reproducción o
difusión, parcial o total, de esta
publicación sin autorización por
escrito del Editor.

CALEFFI S.P.A.
S.R. 229, N. 25
28010
Fontaneto d'Agogna (Novara)
Tel. +39 0322-8491
Fax +39 0322-863305
info@caleffi.com
www.caleffi.com

ESPAÑA
COAL SOLUTIONS
(Grupo Vasco Catalana)
Tel. +34 93 633 34 70
Fax +34 93 662 85 35
pedidos@coalsolutions.net
tecnico@coalsolutions.net

AMÉRICA DEL SUR
Tel. +598 94 419551
latinoamerica@caleffi.com

ÍNDICE

- 5 SISTEMAS DE BOMBA DE CALOR AIRE-AGUA**
- 6 EL IMPULSO HACIA LAS BOMBAS DE CALOR**
 - El marco regulador
 - El parque inmobiliario
 - El mercado de calderas
 - El mercado de bombas de calor
- 10 TIPOS DE BOMBA DE CALOR**
 - Principio de funcionamiento
 - Clasificación de las bombas de calor según el tipo de compresión
 - Clasificación de las bombas de calor según el tipo de fuente térmica
- 14 BOMBAS DE CALOR AIRE-AGUA**
- 17 EN DETALLE: EL CONTROL DE LA EMISIÓN DE RUIDO EN LAS BOMBAS DE CALOR**
- 18 EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONVENIENCIA ECONÓMICA**
 - Rendimiento de un generador
 - Ahorro energético
 - Ahorro económico
 - Comparación entre ahorro energético y económico
 - Efectos de la regulación en el COP medio efectivo
- 27 EN DETALLE: BOMBAS DE CALOR Y CLIMA ITALIANO**
- 28 EN DETALLE: GASES REFRIGERANTES**
- 30 SISTEMAS DE BOMBA DE CALOR AIRE-AGUA**
 - Dimensionamiento
 - Parámetros de funcionamiento
 - Ciclo de descongelación
- 38 PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA**
- 40 EN DETALLE: PROTECCIÓN ANTILEGIONELLA EN LOS SISTEMAS DE BOMBA DE CALOR**
- 41 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE BOMBA DE CALOR**
 - Terminales de emisión
 - Separador hidráulico
 - Acumulador de inercia
 - Tratamiento del agua
 - Válvula de zona de 3 vías
 - Dispositivos para el mantenimiento de la circulación
 - Vaso de expansión
 - Protección antihielo
- 46 FILTRO DESFANGADOR MAGNÉTICO CALEFFI XF**
- 48 EN DETALLE: ¿INSTALACIÓN ELÉCTRICA MONOFÁSICA O TRIFÁSICA?**

SISTEMAS DE BOMBA DE CALOR AIRE-AGUA

La eficiencia energética es uno de los objetivos primarios de este período histórico. La estrategia de la **Renovation Wave** (Ola de renovación) apuesta por una profunda renovación energética de 35 millones de edificios en Europa para 2030.

En esta eficiencia deben implicarse todos los sectores, de los fabricantes a los usuarios, empezando por las materias primas, el método de mecanizado, transporte y venta, hasta el uso e incluso el reciclaje o eliminación.

Por supuesto, esta búsqueda de la eficiencia energética afecta también al sector de la climatización, donde las bombas de calor (en adelante indicadas con el acrónimo BDC) representan una aportación importante para alcanzar los nuevos objetivos de descarbonización de la UE: su tecnología es una de las herramientas clave para un sistema energético renovable e inteligente.

Hoy en día, instalar una bomba de calor para reemplazar un viejo generador es una de las actuaciones más comunes y, a veces, es especialmente conveniente gracias a las ayudas estatales disponibles.

El objetivo de este número de la revista es precisamente abordar el mundo de las bombas de calor.

En la primera parte se van a analizar los diferentes tipos para destacar ventajas y desventajas de cada uno y ayudar a encontrar el más adecuado para el sistema de climatización que se está diseñando. Posteriormente, se estudiarán las bombas de calor aire-agua que actualmente son las más extendidas entre los sistemas hidrónicos.

En la segunda parte se abordarán la eficiencia energética y las ventajas económicas, para intentar contestar una pregunta recurrente: “¿Cuándo es realmente conveniente instalar

una bomba de calor?”. En efecto, a menudo no es tan fácil comprender si realmente es posible ahorrar adoptando esta opción. Para localizar los ámbitos con mayor potencial de actuación, hay que tener en cuenta la distribución de las viviendas por zona climática, el tipo de edificio en el que están ubicadas (unifamiliares o plurifamiliares), así como el sistema de climatización (centralizado o autónomo).

La última parte está dedicada a los sistemas de bomba de calor, su dimensionamiento y la elección de los parámetros de funcionamiento. En efecto, sobre el papel sus ventajas son inigualables, pero para lograrlas realmente, la máquina debe poder funcionar en condiciones óptimas. También el dimensionamiento de los componentes es fundamental para el correcto funcionamiento del sistema.



EL IMPULSO HACIA LAS BOMBAS DE CALOR

Ings. Claudio Ardizzoia y Alessia Soldarini

El papel de las bombas de calor se está volviendo cada vez más determinante en la transición energética para calefacción y climatización. Su aportación para llegar a consumir fuentes térmicas renovables está destinada a crecer a lo largo de los años, también gracias a las estrategias nacionales y comunitarias adoptadas por varios países. A continuación, se presenta una síntesis del marco regulador que impulsará la tendencia al crecimiento de las bombas de calor en los próximos años en Italia y Europa.

EL MARCO REGULADOR

El protocolo de Kioto, que entró en vigor en 2005, representa el primer acuerdo internacional entre países con el objetivo de contrarrestar el calentamiento global. Aplicando las recomendaciones del protocolo de Kioto, la Unión Europea adoptó unas medidas para la protección del clima y el medio ambiente: la Directiva sobre productos relacionados con la energía (*Energy Related Products* - ErP) y la Directiva sobre

etiquetado energético (*Energy Labelling Directive* - ELD). El objetivo final es la mejora de las prestaciones generales de los sistemas de climatización en los países, a través de un nuevo modo de evaluar las prestaciones de productos y sistemas de climatización.

El primer objetivo del protocolo de Kioto, denominado "20-20-20", tenía que alcanzarse para 2020 y representaba el *Climate and Energy Package* (conjunto de medidas relativas al cambio

climático y la energía). En cambio, los objetivos clave para 2030 se recogen en el *Climate and Energy Framework* (marco de actuación en materia de clima y energía) y se concentran en la reducción de los gases de efecto invernadero y el reglamento para la utilización del suelo. Sin embargo, la visión estratégica a largo plazo de la Comisión Europea apunta a 2050 para una economía climáticamente neutra con el objetivo de no sobrepasar 2 °C de aumento de la temperatura mundial e incluso reducir dicho límite a un valor inferior a 1,5 °C.

Estos objetivos se podrán alcanzar solo diseñando y poniendo en marcha una estrategia de recalificación energética de los edificios existentes con vistas a 2050 (*Renovation Wave*), basada en las sinergias entre mejora de la eficiencia energética y utilización de las energías renovables: en este contexto el papel de las bombas de calor va a ser fundamental.

LA DIRECTIVA ERP PARA BOMBAS CALOR

En 2015 la Directiva ErP introdujo la obligación de unos requisitos mínimos de rendimiento para todos los sistemas de calefacción y producción de agua caliente sanitaria. Todos los productos deben ir acompañados de una etiqueta energética que proporciona al usuario información precisa y sencilla para una rápida comparación. Entre los datos técnicos que aparecen en la etiqueta de las bombas de calor deben incluirse la potencia térmica suministrada y la emisión de ruido, además de la clase de eficiencia energética (de A+++ a G).

Desde septiembre de 2019, se eliminaron las clases de menor eficiencia (de E a G) y las bombas de calor de altas prestaciones se volvieron aún más fácilmente reconocibles, introduciendo la clase A+++.

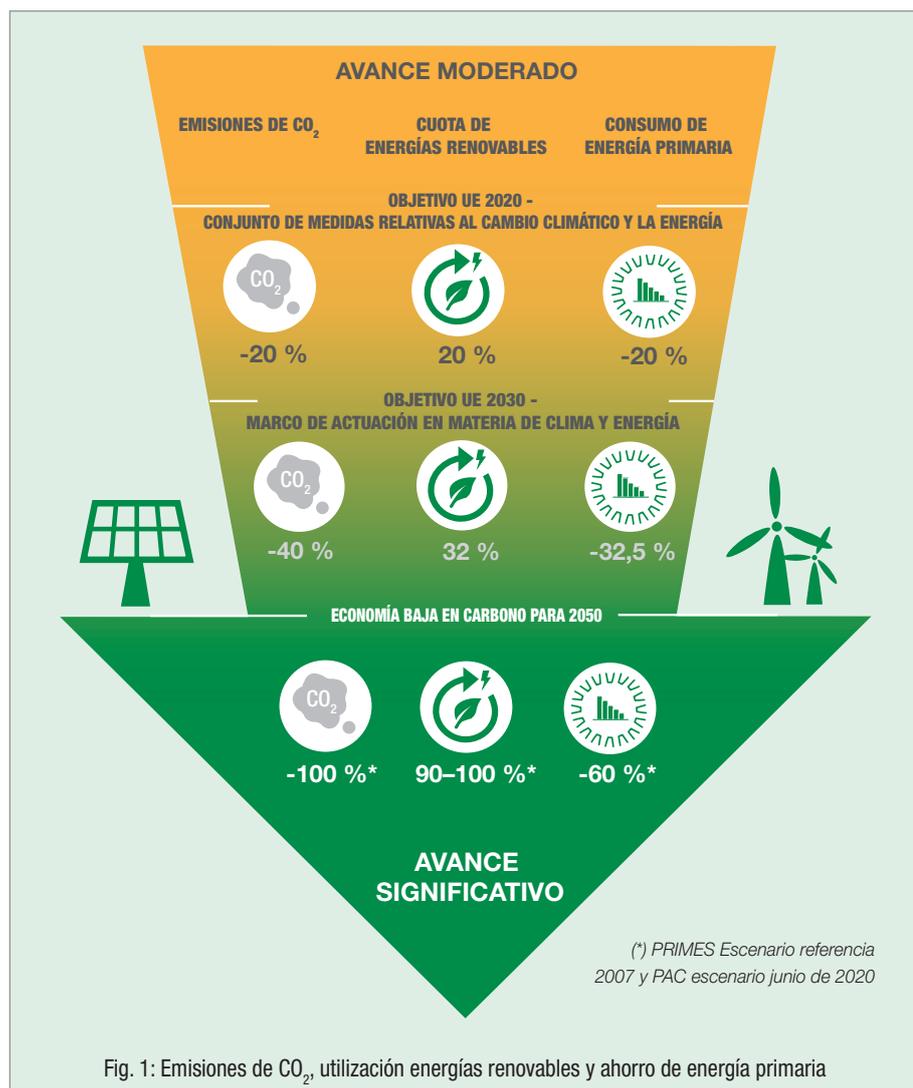


Fig. 1: Emisiones de CO₂, utilización energías renovables y ahorro de energía primaria

LA DIRECTIVA SOBRE ETIQUETADO ENERGÉTICO

Los requisitos de rendimiento de generadores de calor y acumuladores se establecen con la Directiva ErP, mientras que la directiva sobre etiquetado energético se encarga de aclarar como se proporciona a los consumidores la información sobre dichos productos, con la idea de que sólo una información clara y comprensible puede impulsar la compra de productos energéticamente más eficientes.

Desde 2015 también los generadores de calor y los acumuladores para agua caliente sanitaria deben llevar las etiquetas de eficiencia energética. La etiqueta del producto (o del sistema en caso de combinación de varios productos) debe indicar su clase energética, que va de A+++ a D.

LA DIRECTIVA RELATIVA A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS

El sector de la construcción es fundamental para alcanzar los objetivos energéticos y ambientales que impone la Unión Europea. A este respecto la Comisión ha establecido un marco regulador que incluye la Directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios (*Energy Performance of Buildings Directive* - EPBD). La directiva impulsa políticas que van a ayudar a los gobiernos nacionales de la UE a mejorar las prestaciones energéticas del parque de viviendas existente para 2050. Entre las principales medidas impulsadas por la EPBD destacan: la necesidad de establecer los requisitos mínimos de rendimiento energético para sustituir o actualizar los sistemas de

calefacción y refrigeración, la adopción de tecnologías inteligentes, como los dispositivos de automatización y control que regulan la temperatura ambiente en cada espacio, y la utilización de sistemas que favorezcan un saludable aire interior, como la ventilación mecánica. La EPBD, junto con otras iniciativas, va a permitir desbloquear el potencial de la eficiencia energética del parque de edificios actual y futuro: viviendas más eficientes aseguran un ahorro económico para los usuarios finales y una menor contaminación, mejorando la calidad del medio ambiente en el que se vive.

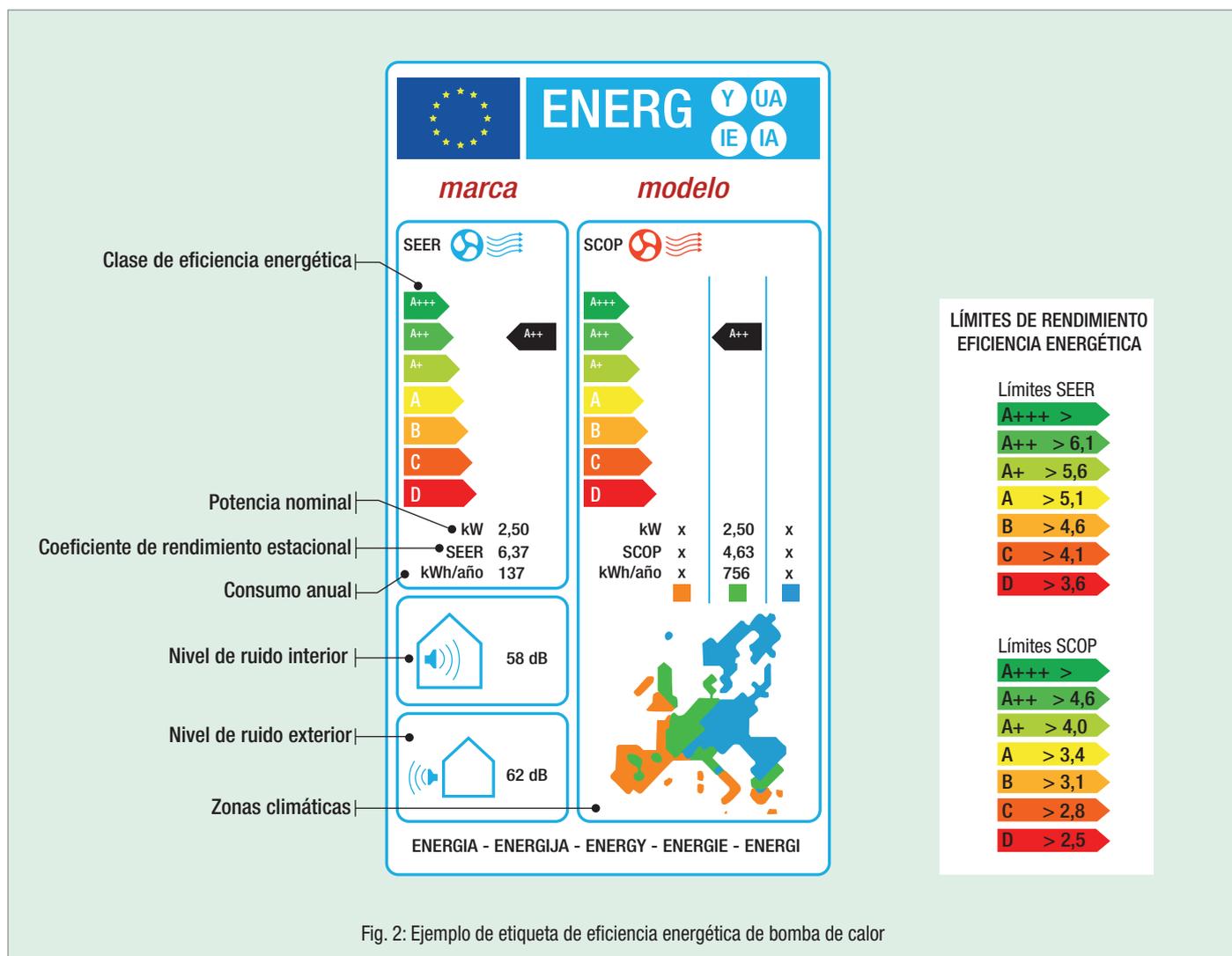


Fig. 2: Ejemplo de etiqueta de eficiencia energética de bomba de calor

EL PARQUE INMOBILIARIO

En el informe anual sobre eficiencia energética (RAEE) de 2020, redactado por ENEA, se indica que el parque inmobiliario de la Unión Europea es uno de los mayores responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero, al ser el primer consumidor europeo de energía.

En los últimos años se han logrado notables avances, en gran medida gracias a las disposiciones de la directiva EPBD para la reducción de los consumos del sector.



El 40 % del consumo energético procede de los edificios



El 36 % de las emisiones de CO2 es causado por los edificios



El 75 % de los edificios es energéticamente ineficiente

Sin embargo, el escenario representado en los gráficos indica, aún hoy en día, una elevada falta de adecuación del parque inmobiliario y destaca, para los edificios más antiguos, un consumo anual que varía de un mínimo de 160 kWh/m² al año a más de 220 kWh/m² al año. Hay que tener en cuenta que una vivienda de clase energética C en zona climática E (donde se encuentra casi la mitad de los municipios italianos)

requiere un consumo entre 60 y 80 kWh/m² al año.

Un consumo energético tan elevado se justifica por el hecho de que la gran mayoría de los sistemas de generación térmica actuales utilizan combustible fósil.

Los siguientes estudios de mercado sobre calderas y bombas de calor en Italia y toda la Unión Europea demuestran lo que se acaba de decir.

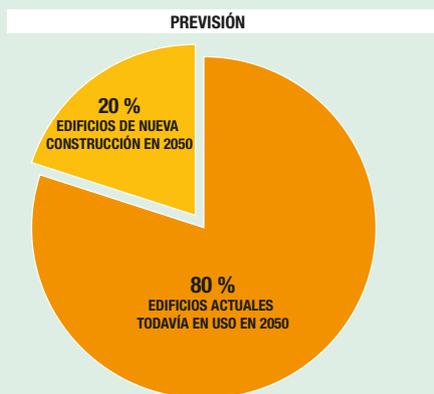
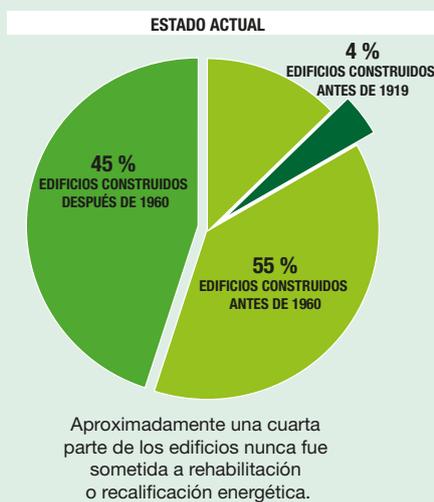


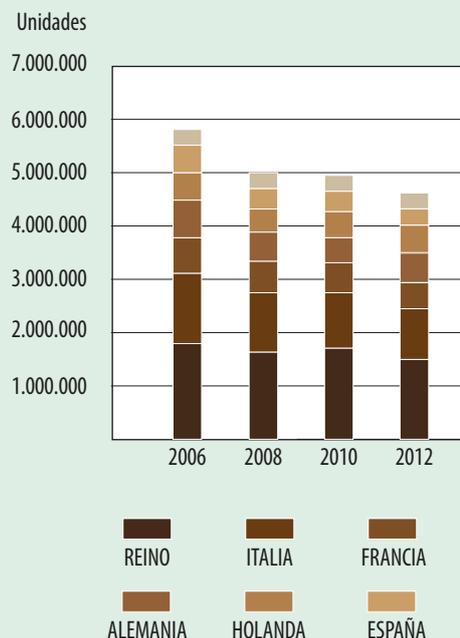
Fig. 3: Parque inmobiliario italiano - Fuente: ENEA

EL MERCADO DE LAS CALDERAS

El parque de calderas instalado en Italia es de más de 19 millones de unidades, entre sistemas autónomos y centralizados, y en su mayoría incluye aparatos de edad avanzada con rendimientos más bien bajos, con consumos y emisiones elevados.

Se calcula incluso que más que 7 millones de calderas son anteriores a la directiva 90/396/CE sobre aparatos de gas, es decir que tienen más de 20 años de edad.

Según un estudio de BSRIA, en los siete países más grandes de



Europa, desde 2006 hasta la fecha, se han vendido e instalado unos 5 millones de calderas al año. En Italia en los últimos años se han vendido e instalado unas 750.000 calderas anuales.

Si por un lado las calderas de condensación están progresivamente reemplazando las calderas tradicionales de menor rendimiento, por otro la tendencia de la transición hacia las bombas de calor se encuentra todavía en fase inicial.

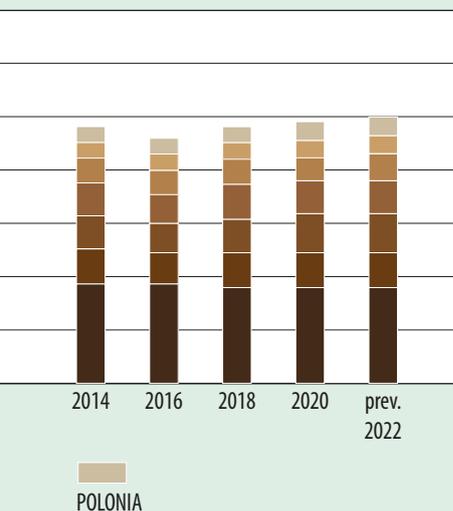


Fig. 4: Mercado europeo de calderas - Fuente: BSRIA

EL MERCADO DE LAS BOMBAS DE CALOR

El estudio de mercado del BSRIA muestra que a partir de 2017 el número de bombas de calor hidrónicas instaladas en el mercado europeo aumentó progresivamente en casi un 10 % al año. La tendencia se confirma también para 2022, con una previsión de futuro de aproximadamente un millón de unidades al año. En la mayoría de las nuevas instalaciones se adoptan bombas de calor aire-agua, tanto en versión split como monobloque, destinadas a la producción combinada para climatización y ACS o bien solo para ACS. Las bombas de calor agua-agua, es decir las que utilizan como fuente fría aguas subterráneas, el calor del subsuelo (geotérmicas) y el aire

de renovación, proporcionan una aportación marginal y estable a nivel numérico (consulte “Clasificación de las bombas de calor”, pág. 12).

A pesar del importante desarrollo del mercado de las bombas de calor, notablemente impulsado por los incentivos y los reglamentos nacionales, la relación entre bombas de calor y calderas instaladas cada año en el ámbito europeo sigue siendo fuertemente desequilibrada. Con la tasa de crecimiento actual de este mercado (fig. 5) y suponiendo que la cantidad de calderas vendidas disminuya cada año en un número equivalente al incremento de las bombas de calor (fig. 4), todavía se tardarán 12-15 años para que ambos mercados presenten cifras similares.

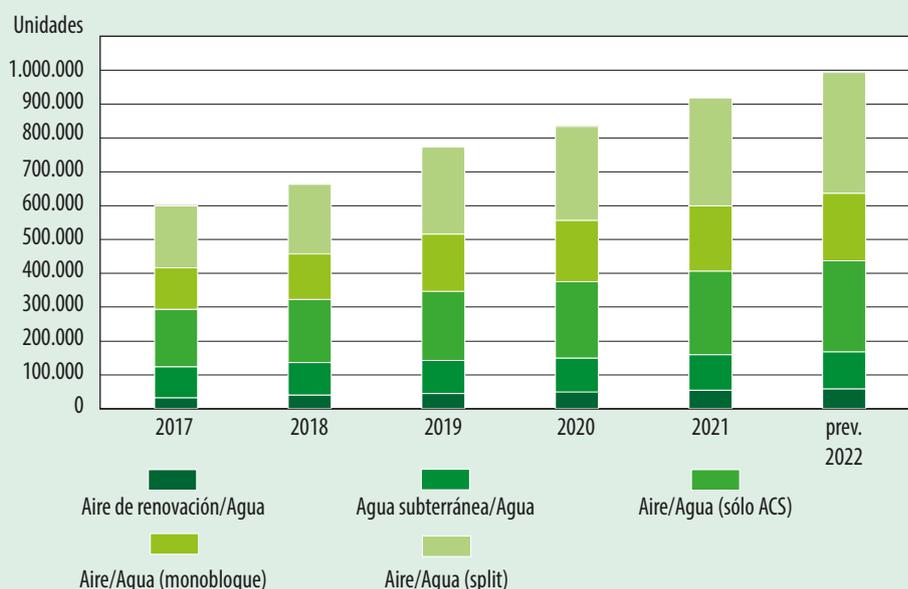


Fig. 5: Mercado europeo de bombas de calor - Fuente: BSRIA

TIPOS DE BOMBA DE CALOR

Ings. Mattia Tomasoni y Alessia Soldarini

Las bombas de calor transfieren calor de una fuente de menor temperatura a otra de mayor temperatura: fuente exterior e interior. La bomba de calor utiliza entorno al 75 % de energía de forma gratuita, procedente del sol y acumulada por aire, agua y suelo, y el 25 % de energía eléctrica para garantizar un óptimo bienestar en invierno y verano.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento de la bomba de calor es similar al de un frigorífico normal: se basa en un ciclo termodinámico de un fluido, llamado gas o fluido refrigerante, que puede presentarse en estado líquido o gaseoso, dependiendo de la temperatura y la presión a la que se encuentra en condiciones de uso.

[Para más detalles, consulte la revista *Hidráulica* n.º 33 IT.]

La máquina se denomina bomba de calor o máquina frigorífica según el efecto útil que se desea conseguir, es decir calentar o refrigerar la fuente interior (vivienda). Las máquinas que pueden dirigir el fluido caliente tanto hacia la fuente interior como hacia la fuente exterior, a través de válvulas adecuadas, pueden funcionar como bomba de calor y como máquina frigorífica, dependiendo del tipo de fuente caliente o fría. Estas máquinas se llaman de ciclo frigorífico reversible o simplemente reversibles.

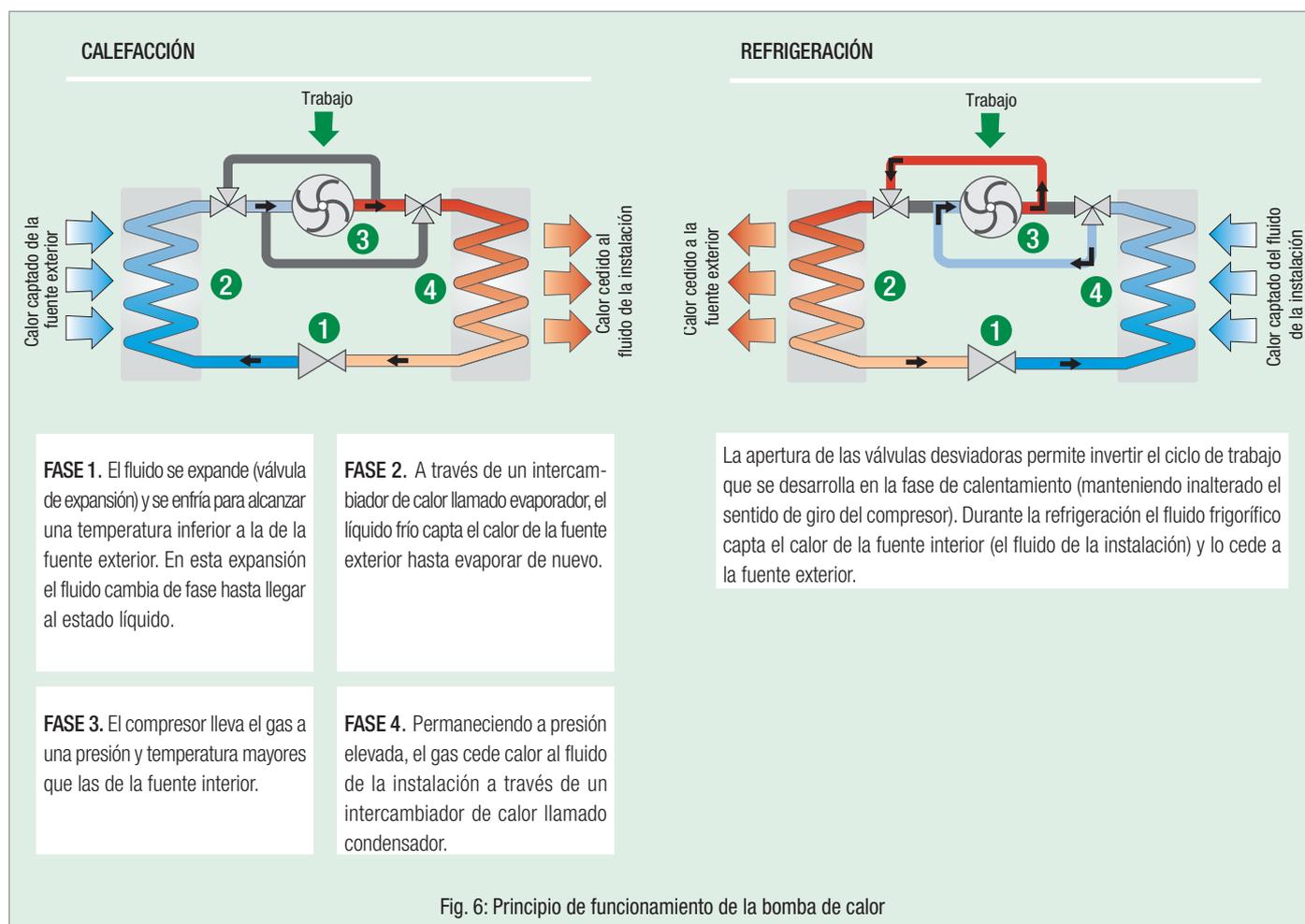


Fig. 6: Principio de funcionamiento de la bomba de calor

CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS DE CALOR SEGÚN EL TIPO DE COMPRESIÓN

La fase en la que suben la presión y la temperatura del fluido frigorífico (fase 3, figura 6) se puede desarrollar de varias maneras, pero todas prevén la aportación de energía al fluido. El método actualmente más extendido es el de los compresores accionados por motores eléctricos; sin embargo, existen también otros que, aunque en aplicaciones muy específicas, presentan peculiaridades convenientes y aprovechables.

BOMBAS DE CALOR DE COMPRESIÓN CON MOTOR ELÉCTRICO

Se trata de las bombas de calor más extendidas por su versatilidad y el coste reducido de los motores eléctricos, además de la posibilidad de utilizar la electricidad como vector energético. Los compresores son variados, pero los más utilizados son de tipo scroll, swing, de tornillo o de levitación magnética.

Entre las ventajas se pueden citar su bajo coste, el escaso mantenimiento y la ausencia de sistemas auxiliares (puesto que en general son autorrefrigerados). Sin embargo, las temperaturas de ida son limitadas y podría producirse un elevado consumo eléctrico debido a las fuertes corrientes de arranque (parcialmente moderadas por la electrónica de potencia).

BOMBAS DE CALOR DE COMPRESIÓN CON MOTOR ENDOTÉRMICO

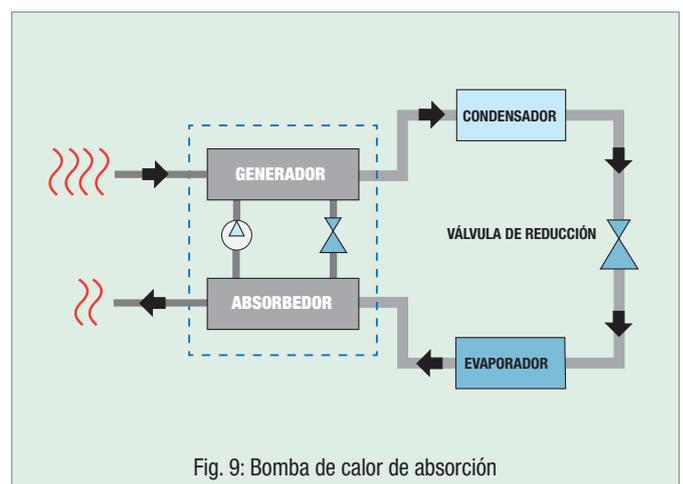
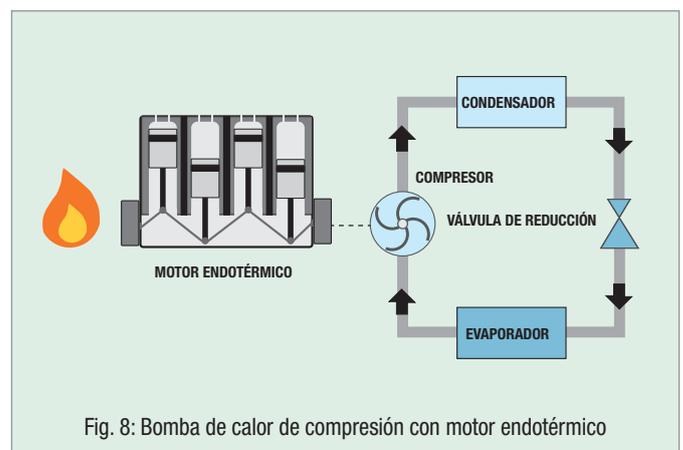
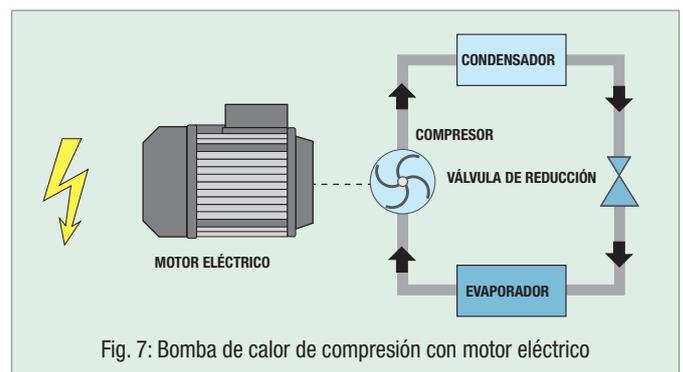
En estas bombas de calor el compresor es accionado por un motor endotérmico, que en general es alimentado con gas y deriva de la automoción. La ventaja de estas máquinas, también llamadas GHP (*Gas Heat Pump* - bomba de calor de gas) o GEHP (*Gas Engine Heat Pump* - bomba de calor accionada por motor de gas), es poder subir su temperatura de ida aprovechando el calor dispersado por el motor a través de los gases de escape y el circuito de refrigeración. Por estas razones es una válida alternativa en las reformas que prevén la sustitución de calderas de gas, sobre todo para potencias elevadas.

Sus ventajas son el consumo preferentemente de gas y la producción de agua a alta temperatura. El coste de la inversión y el mantenimiento son elevados, pero es un sistema aprovechable donde existen limitaciones en términos de capacidad de alimentación eléctrica.

BOMBAS DE CALOR DE ABSORCIÓN

La diferencia más relevante entre las bombas de calor de absorción y las eléctricas (o de gas) es la ausencia de la fase de compresión, totalmente reemplazada por dos fases distintas: la generación y la absorción.

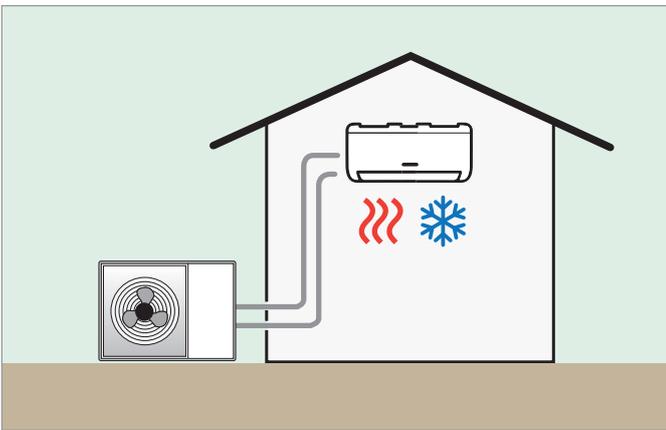
En el absorbedor el fluido refrigerante, que procede del evaporador en estado gaseoso, es absorbido por un fluido (llamado absorbente) y vuelve al estado líquido. Posteriormente el fluido resultante (refrigerante más absorbente) se bombea en el generador donde, gracias a la aportación de calor exterior (procedente, por ejemplo, de cogeneradores, redes de calefacción urbana o procesos industriales), libera de nuevo el fluido refrigerante a presión y temperatura elevadas.



CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS DE CALOR SEGÚN EL TIPO DE FUENTE TÉRMICA

Las **fuentes frías** (o fuentes exteriores) pueden ser: el **aire**, exterior o en algunos casos aire de recuperación (expulsado por equipos de ventilación o circuitos de refrigeración industriales), el **agua**, que puede ser superficial, de la capa freática o procedente de circuitos específicos como anillos de condensación, o bien el **suelo**, donde el calor es absorbido mediante intercambiadores especiales llamados sondas geotérmicas. Las **fuentes calientes** (es decir, el fluido de la instalación o fuentes interiores) pueden ser: el **aire**, cuando la bomba de calor calienta directamente el aire de los espacios, o bien el **agua**, cuando la bomba de calor calienta el agua utilizada como fluido caloportador en los circuitos de calefacción.

BOMBA DE CALOR AIRE-AIRE



Estas bombas de calor están provistas de intercambiadores aire/gas refrigerante. La fuente fría es de temperatura variable y, al ser aire exterior, siempre está disponible. Al estar expuestas a temperaturas exteriores muy bajas, requieren una descongelación periódica (consulte “El ciclo de descongelación”, pág. 35).

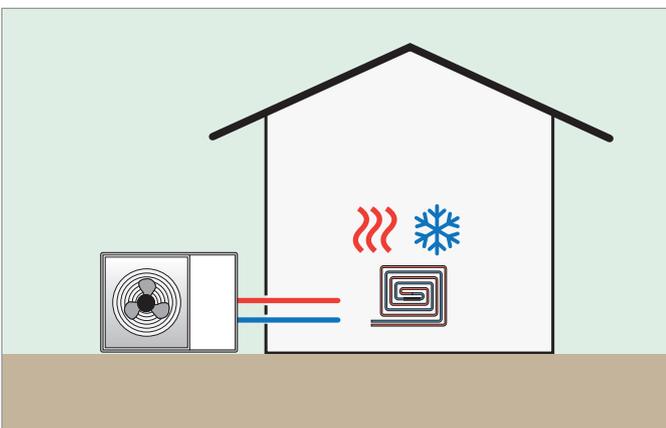
Existen dos tipos:

- **SPLIT.** El intercambiador hacia la fuente fría y los demás componentes del circuito frigorífico se encuentran en el exterior, mientras que el intercambiador hacia la fuente caliente está colocado en el interior de los espacios a calentar. Los intercambiadores están conectados mediante tuberías que contienen gas refrigerante.
- **ROOFTOP.** Todo el circuito frigorífico se encuentra en una única máquina y el aire es encauzado al interior de las viviendas mediante canalizaciones.

En general los equipos aire-aire para pequeños entornos residenciales y comerciales son de tipo split, porque el circuito frigorífico presenta costes bajos y ocupa poco espacio.

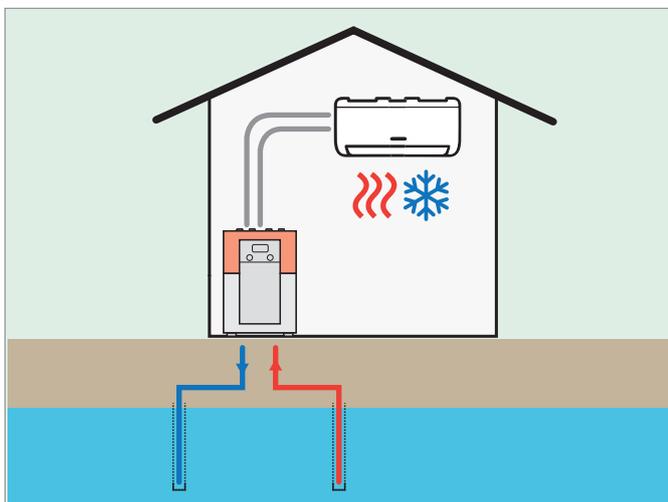
En cambio, los sistemas rooftop son más utilizados en centros comerciales, teatros y entornos productivos donde existe la posibilidad de realizar las canalizaciones necesarias.

BOMBA DE CALOR AIRE-AGUA



La bomba de calor aire-agua permite captar la energía gratuita presente en el aire y transferirla al agua en forma de calor. A diferencia de las bombas de calor aire-aire, la producción de agua técnica al servicio de un sistema hidrónico garantiza una amplia versatilidad en términos de soluciones de diseño. Por lo tanto, es posible utilizar las bombas de calor aire-agua tanto en el sector residencial (con radiadores, fan coils, suelo radiante, etc.) como en el sector servicios e industrial (con baterías hidrónicas al servicio de las unidades de tratamiento del aire). Además, sus elevadas opciones de aplicación permiten conservar el sistema de distribución (y a veces incluso el sistema de emisión) ya existente en instalaciones originariamente provistas de generadores de gas, sin tener que renovar toda la instalación. Las limitaciones están relacionadas con la variabilidad de la potencia y el rendimiento y, sobre todo, con las temperaturas de ida.

BOMBA DE CALOR AGUA-AIRE

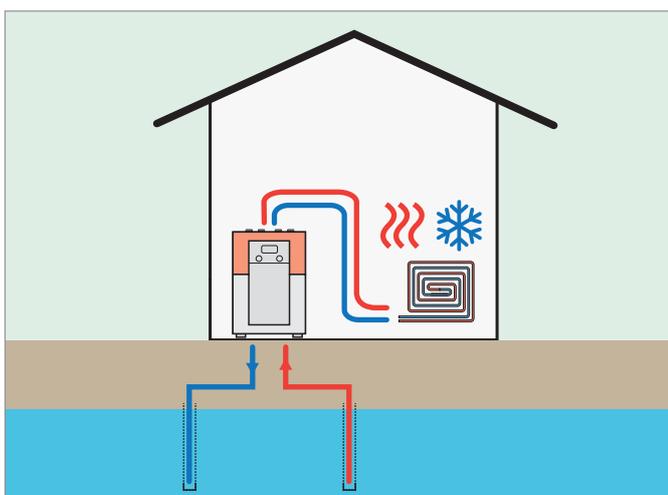


Como fuente fría se utiliza el agua presente en el subsuelo, captada de pozos, y como fuente caliente unos circuitos hidráulicos específicos, como por ejemplo los anillos de condensación.

Normalmente se coloca en la cubierta (rooftop) pero, en casos especiales por razones de espacio o estética, se puede colocar internamente y asociada a los splits.

Este tipo es poco utilizado porque requiere la realización de pozos de extracción del agua de la fuente fría, los cuales están sujetos a análisis geológicos y permisos de extracción.

BOMBA DE CALOR AGUA-AGUA



En esta bomba los intercambios de calor de las fuentes fría y caliente se realizan con agua.

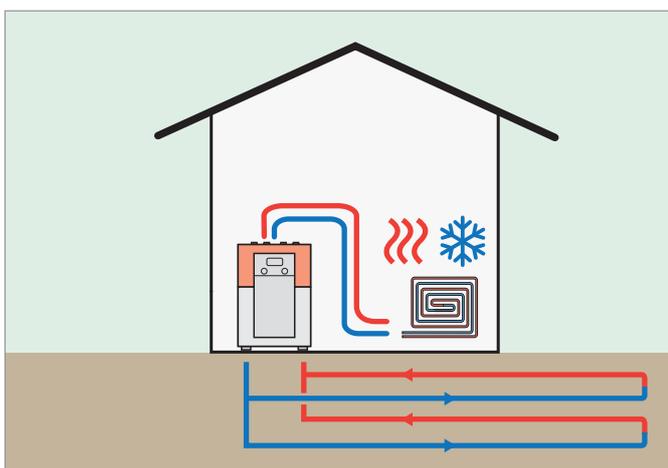
El lado frío capta energía del agua que en general procede de las capas freáticas en el subsuelo (en este caso se habla de bombas de calor geotérmicas con agua de capa freática) o bien de aguas superficiales como lagos, ríos o mar. El lado caliente se utiliza como generador de calor en las tradicionales instalaciones que funcionan con agua.

Las ventajas de estas máquinas son su estabilidad de funcionamiento y sus excelentes rendimientos. Además, pueden desarrollar grandes potencias en espacios relativamente reducidos.

Su limitación es la disponibilidad o no de agua aprovechable para fines térmicos y los permisos correspondientes.

También existen aplicaciones limitadas donde estas máquinas se aprovechan para recuperar calor como, por ejemplo, los circuitos de refrigeración de procesos industriales.

BOMBA DE CALOR SUELO-AGUA



Se trata de una bomba de calor agua-agua, también denominada bomba de calor geotérmica, donde el agua de la fuente fría se utiliza como fluido intermedio para intercambiar calor con el suelo.

Los intercambiadores están integrados por tuberías de plástico enterradas en el suelo y llamadas "sondas geotérmicas": se extienden en profundidad (sondas verticales) o bien aprovechan la superficie (sondas horizontales).

Las bombas de calor geotérmicas, como las agua-agua, funcionan en condiciones de intercambio térmico estable con la fuente fría y, por lo tanto, no requieren ciclos de descongelación (consulte "El ciclo de descongelación", pág. 35). Al contrario de las máquinas agua-agua, no necesitan disponibilidad de agua de intercambio.

Los costes para la realización de las sondas son muy elevados.

BOMBAS DE CALOR AIRE-AGUA

Las bombas de calor aire-agua son las más utilizadas para calefacción doméstica. Su mayor difusión respecto a los demás sistemas de ciclo frigorífico se debe principalmente a las razones siguientes:

- **Versatilidad.** Se pueden conectar a los sistemas de distribución hidrónicos tradicionales, tanto nuevos como ya existentes. Al aprovechar el aire como fuente fría, se pueden utilizar en cualquier contexto donde sea posible instalar una unidad exterior o realizar adecuadas canalizaciones del aire.
- **Costes reducidos.** Respecto a otros tipos de bombas de calor, su coste de montaje es menor ya que no requieren equipos auxiliares complejos como obras de captación y retorno de agua, pozos o sondas geotérmicas.
- **Continua evolución técnica.** En los últimos años se han desarrollado las mayores innovaciones técnicas: gestión de la potencia suministrada optimizada para una mayor rentabilidad, aumento de la temperatura máxima alcanzada y mejor fiabilidad.

Sin embargo, estas máquinas presentan algunas limitaciones:

- **Elevados consumos eléctricos de pico.** El dimensionamiento normalmente está relacionado con las condiciones más desfavorables (temperatura del aire exterior), lo que lleva a un sobredimensionamiento y sobre todo a consumos eléctricos de pico mayores respecto a otros tipos de bombas de calor. Por lo tanto, en general, se requiere mayor potencia eléctrica respecto a las bombas de calor equivalentes que cuentan con otras tecnologías (consulte “¿Instalación eléctrica monofásica o trifásica?”, pág. 48).
- **Ciclos de descongelación imprescindibles.** En determinadas condiciones la humedad presente en el aire exterior se congela en el intercambiador de la máquina, afectando el intercambio térmico y su correcto funcionamiento. Para restablecer el funcionamiento normal, se realizan inversiones de ciclo que calientan el intercambiador y deshacen la capa de hielo acumulada. Estos ciclos conllevan un dispendio de energía en detrimento del rendimiento y los costes (consulte “El ciclo de descongelación”, pág. 35).
- **Rendimiento afectado por temperatura de aire y agua.** El rendimiento y los gastos de gestión de las bombas de calor aire-agua dependen de la temperatura a la que se produce el agua caliente de ida a la instalación y la temperatura del aire exterior. Un diseño que no preste atención a los equipos asociados a estas máquinas o su regulación incorrecta pueden comportar consumos elevados (consulte “Eficiencia energética y conveniencia económica”, pág. 18).
- **Emisión de ruido.** Las unidades exteriores requieren un espacio adecuado para garantizar un correcto recambio del aire. Además, debe evaluarse adecuadamente la emisión de ruido de estas unidades, siendo necesario en algunos casos tomar oportunas medidas de apantallamiento acústico (para más detalles, consulte “El control de la emisión de ruido en las bombas de calor”, pág. 17).



Fig. 10: Ventajas y desventajas de la utilización de bombas de calor aire-agua respecto a los demás sistemas de ciclo frigorífico

BOMBA DE CALOR MONOBLOQUE DE EXTERIOR

La bomba de calor monobloque está integrada por una única unidad que contiene en su interior todos los elementos del circuito frigorífico: el intercambiador de placas agua/refrigerante, el compresor, la válvula de expansión y el ventilador que permite el intercambio térmico aire/refrigerante en el evaporador.

En la máquina se pueden integrar algunos elementos del circuito hidráulico como el circulador, el flujostato, el vaso de expansión, la válvula de purga de aire y la válvula de seguridad.

La unidad, colocada en el exterior, está conectada directamente a la instalación a través de las tuberías que llevan el agua técnica de la máquina al edificio.

La máquina monobloque es ventajosa cuando hace falta ahorrar espacio técnico en el interior de los edificios.

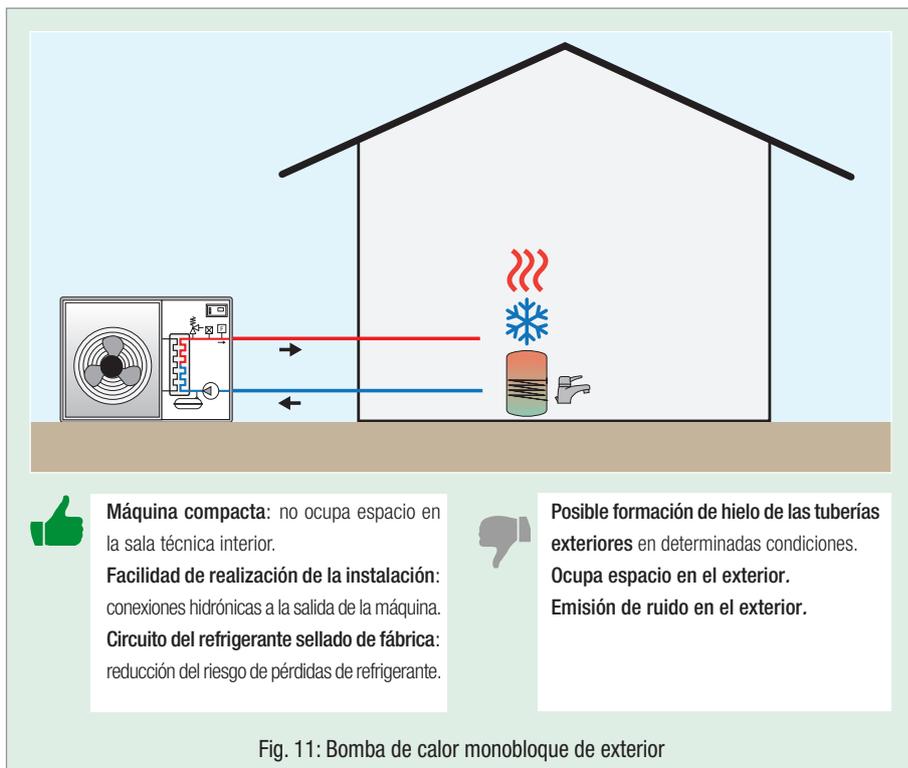


Fig. 11: Bomba de calor monobloque de exterior

BOMBA DE CALOR MONOBLOQUE DE INTERIOR

Es una bomba de calor monobloque que dispone de ventiladores (en el intercambiador del aire) con una altura manométrica que puede ser canalizada.

Algunos modelos se pueden canalizar tanto en la ida como en el retorno; en cambio, en otros se canaliza sólo la expulsión recuperando el aire del entorno en el que están instaladas. Estos entornos deben contar con aberturas adecuadas para garantizar la correcta aportación de aire de renovación utilizado por la máquina.

Se utilizan donde no es posible instalar las unidades exteriores principalmente por motivos estéticos.

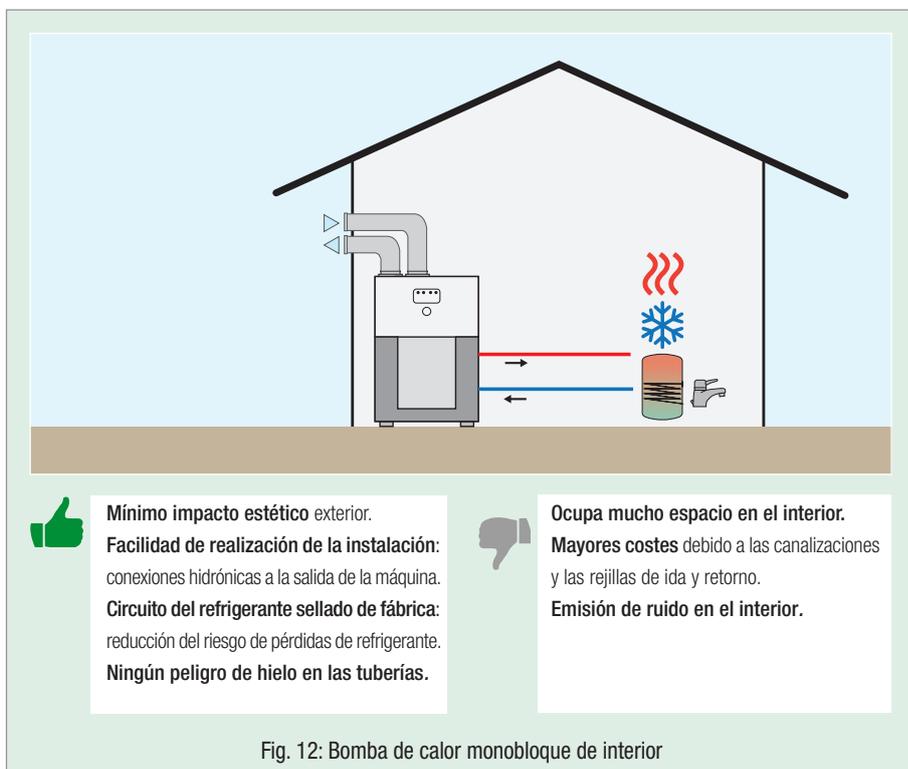
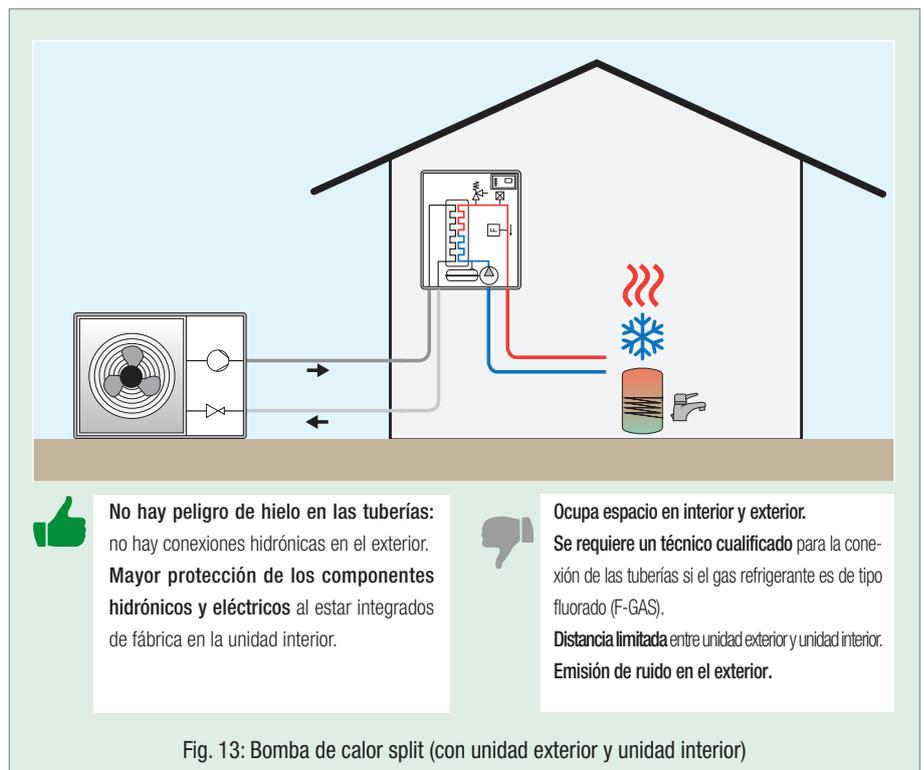


Fig. 12: Bomba de calor monobloque de interior

BOMBA DE CALOR SPLIT

La bomba de calor split (“partida” en inglés), a diferencia de la monobloque, está integrada por un módulo hidrónico colocado en el interior del edificio y una unidad exterior que intercambia calor con el aire. Los principales componentes que caracterizan la unidad interior son: el intercambiador de placas agua/refrigerante, el circulador para el circuito primario, el flujostato, el vaso de expansión, la válvula de purga de aire y la válvula de seguridad. En cambio, en la unidad exterior se encuentran el compresor, la válvula de expansión y el ventilador que intercambia calor con el fluido refrigerante, por medio del aire exterior.

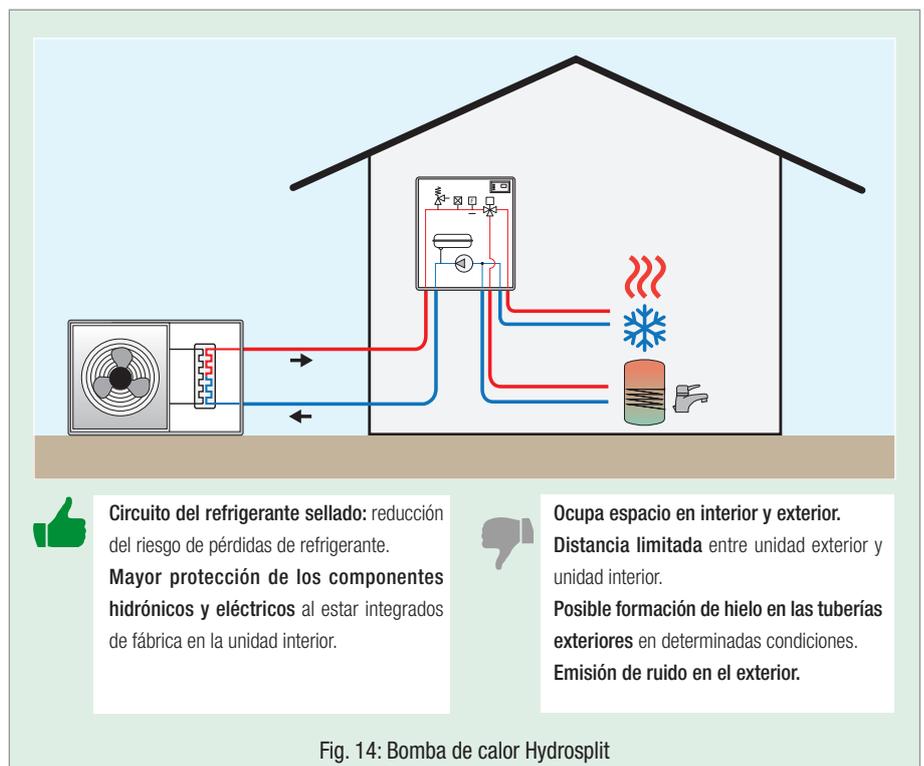
La conexión térmica entre las dos unidades se realiza mediante tuberías de refrigerante de alta presión.



BOMBA DE CALOR HYDROPLIT

Conceptualmente la bomba de calor Hydrosplit es asimilable a una BDC monobloque asociada a un módulo interior hidrónico en el que están integrados todos los componentes hidráulicos y electrónicos de la máquina en un único lugar para que sean fácilmente accesibles para su mantenimiento. Además, estos componentes están más protegidos respecto a una colocación en el exterior.

La conexión entre las dos unidades se realiza a través de las tuberías hidrónicas.



EL CONTROL DE LA EMISIÓN DE RUIDO EN LAS BOMBAS DE CALOR

Las unidades exteriores de las bombas de calor de aire pueden plantear problemas de emisión de ruido y vibraciones, afectando tanto a las viviendas conectadas a la instalación como las adyacentes. Por esta razón es necesario prestar atención a su montaje y posicionamiento.

El ruido se puede transmitir:

- por vía sólida: es el ruido generado por las vibraciones de las máquinas, que se propaga a través de las estructuras;
- por vía aérea: es el ruido que se transmite de la fuente sonora a través de el aire.

Para limitar el ruido transmitido por vía sólida es necesario:

- colocar patas antivibración como soporte de las máquinas, sobre todo las que están en balcones o cubiertas encima de viviendas;
- instalar las máquinas sobre bases estructuralmente separadas de las viviendas, por ejemplo en jardines.

Para limitar el ruido transmitido por vía aérea es necesario:

- instalar las máquinas en lugares que no estén a la vista de “receptores” como puertas y ventanas y en todo caso lo más lejos posible de las mismas;
- prestar atención al ruido reflejo;
- instalar una barrera acústica o envoltura. La barrera acústica debe ser también fonoabsorbente si se produjeran fenómenos de reflexiones de la onda sonora. La envoltura debe garantizar un adecuado paso del aire para el correcto funcionamiento de la máquina.

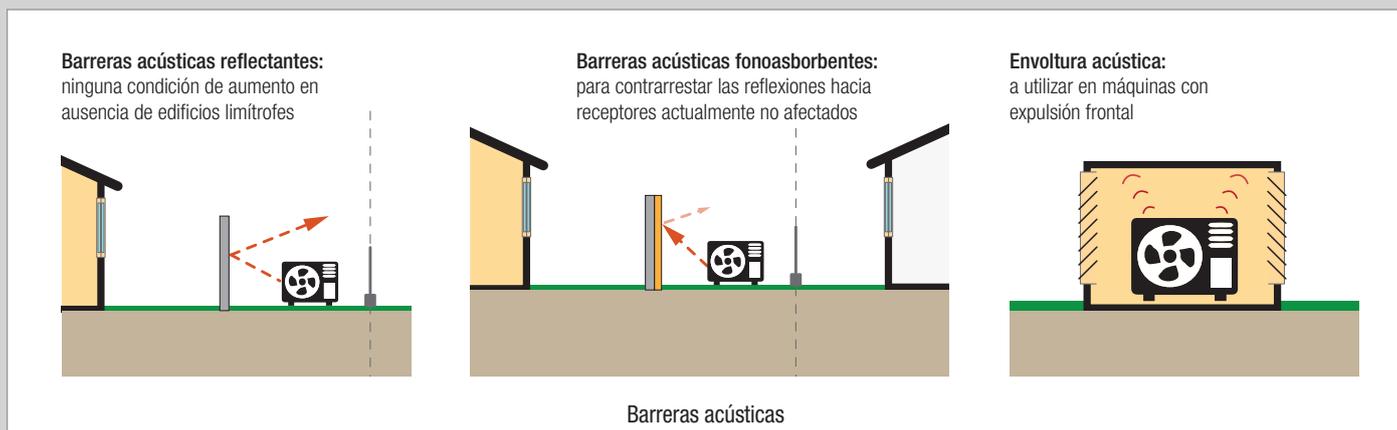
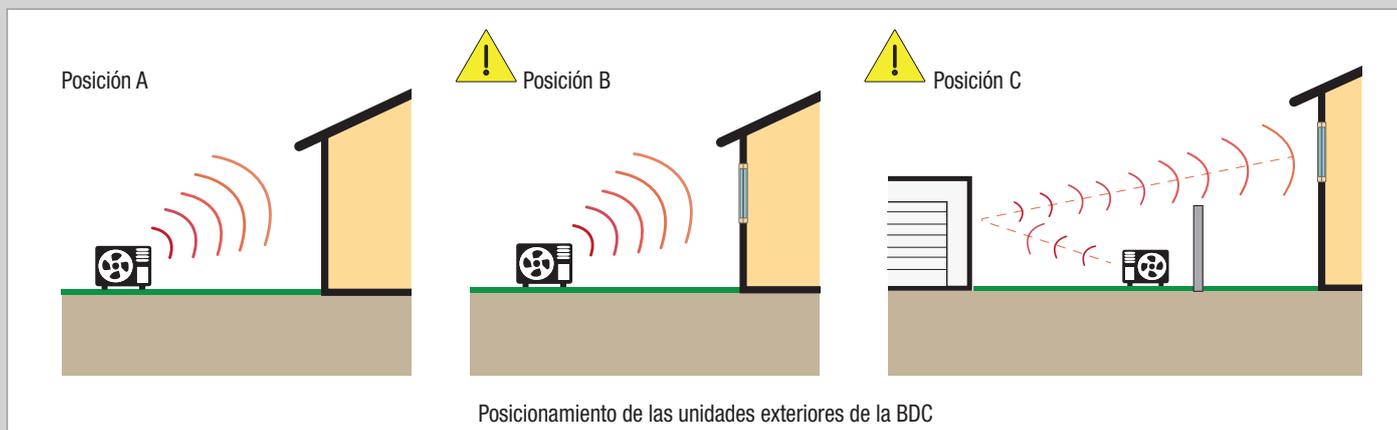
el valor de inmisión (medido en proximidad del punto a verificar). Estos valores límite difieren por tipo de área (áreas residenciales e industriales) y período -diurno o nocturno. En caso de áreas residenciales en el período nocturno el límite de emisión está fijado en 40 dB y el de inmisión en 45 dB.

- 2. Verificación diferencial:** limita la diferencia entre la inmisión de ruido (medido en proximidad del punto a verificar) cuando la fuente de ruido está activa y cuando está apagada. Esta diferencia durante el período nocturno no debe sobrepasar 3 dB.

LOS LÍMITES QUE ESTABLECE LA LEY

Las emisiones sonoras están limitadas por ley y los criterios de verificación prevén:

- 1. Verificación absoluta:** establece un límite tanto para el valor de emisión (medido en proximidad de la fuente de ruido) como para



EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONVENIENCIA ECONÓMICA

Ings. Mattia Tomasoni y Alessia Soldarini

Las bombas de calor han registrado una notable difusión en los últimos años. Esto se debe a varios factores como, por ejemplo, la construcción de viviendas con prestaciones cada vez más altas (que requieren potencias térmicas reducidas y, por lo tanto, se pueden combinar con las medidas comerciales más extendidas de estas máquinas) y la adopción de sistemas de emisión que permiten aprovechar bajas temperaturas de distribución compatibles con las que pueden alcanzar las bombas de calor.

El factor más importante es el ahorro energético que estas máquinas garantizan respecto a sistemas más tradicionales como las calderas de gas. Por todo ello, junto con la evolución de las leyes cada vez más estrictas en términos de impacto ambiental, la adopción de estos sistemas se ha convertido en la norma para los sistemas instalados en nuevas construcciones y para reformas importante.

En general, el ahorro energético se convierte en ahorro económico ya que, a igualdad de energía suministrada, las máquinas más eficientes consumen menos. Sin embargo, si se compara un sistema tradicional, como una caldera de gas, con una bomba de calor, el alcance del ahorro de energía no es igual al del ahorro económico.

RENDIMIENTO DE UN GENERADOR

Para comparar el consumo energético de generadores alimentados por fuentes distintas, se toma como referencia el consumo de energía primaria. En otras palabras, se compara la cantidad de energía presente en la naturaleza que consume el generador para producir energía térmica.

La relación entre energía primaria consumida y energía térmica producida se denomina también rendimiento del generador (o de generación) como muestra la fórmula 1.

$$\eta_{\text{GEN}} = \frac{E_{\text{TÉRMICA}}}{E_{\text{PRIMARIA}}}$$

Fórmula 1

RENDIMIENTO DE UNA CALDERA TRADICIONAL Y DE CONDENSACIÓN

Una caldera transforma la energía que contiene el combustible en su interior en energía térmica. Por ser los generadores más extendidos, vamos a centrar la atención en las calderas alimentadas con gas natural, aunque estas consideraciones sean fácilmente aplicables a cualquier caldera de combustible sólido o líquido.

La energía térmica que contiene el combustible es indicada por el poder calorífico. Como es sabido, se expresa con dos valores: uno superior (PCS - Poder Calorífico Superior) y uno inferior (PCI - Poder Calorífico Inferior) dependiendo de que el calor necesario para hacer evaporar la parte de agua producida por la combustión se considere energía útil (aprovechable por la combustión) o no.

Los generadores que pueden aprovechar la energía que contiene el vapor de la combustión se denominan de condensación. Tradicionalmente, puesto que no existían tecnologías a gran escala para el aprovechamiento de la condensación, el contenido energético de los combustibles siempre se ha identificado con el poder calorífico inferior, y, por analogía, también los rendimientos de los generadores siempre están relacionados con el Poder Calorífico Inferior (PCI).

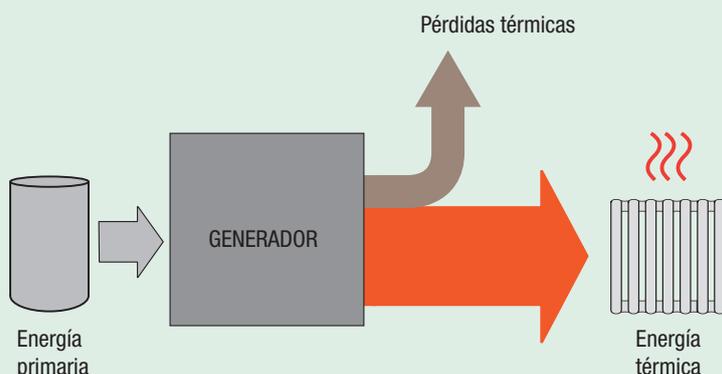
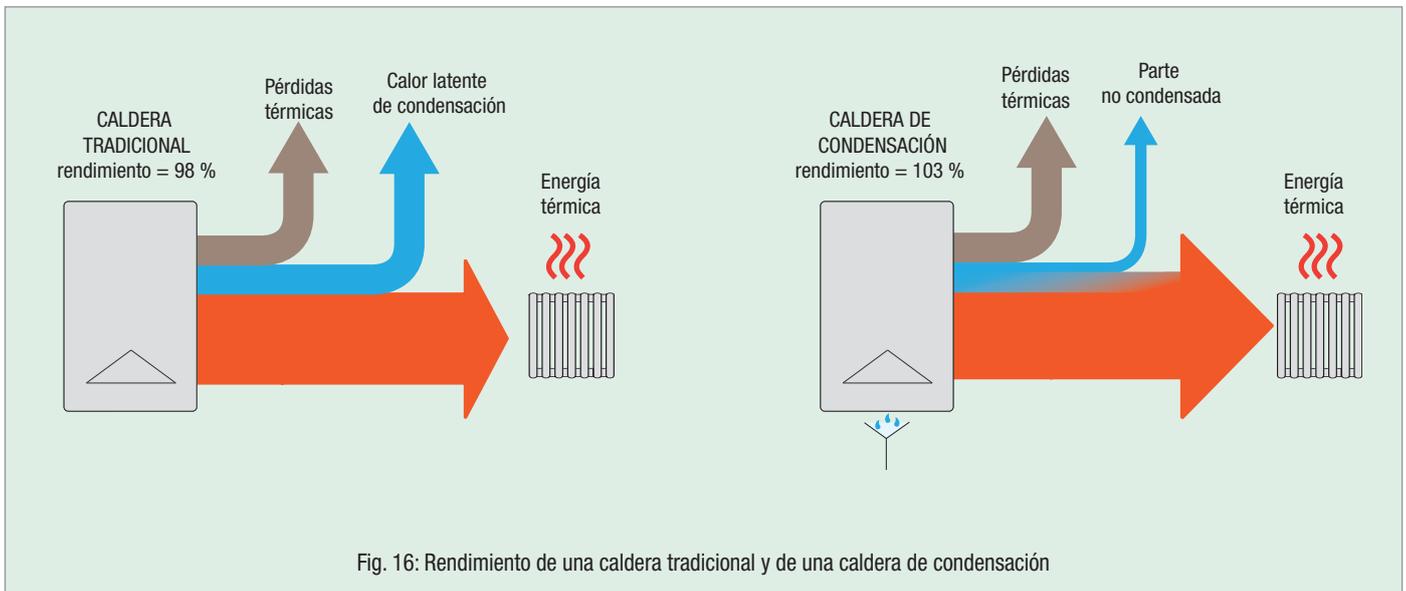


Fig. 15: Rendimiento del generador

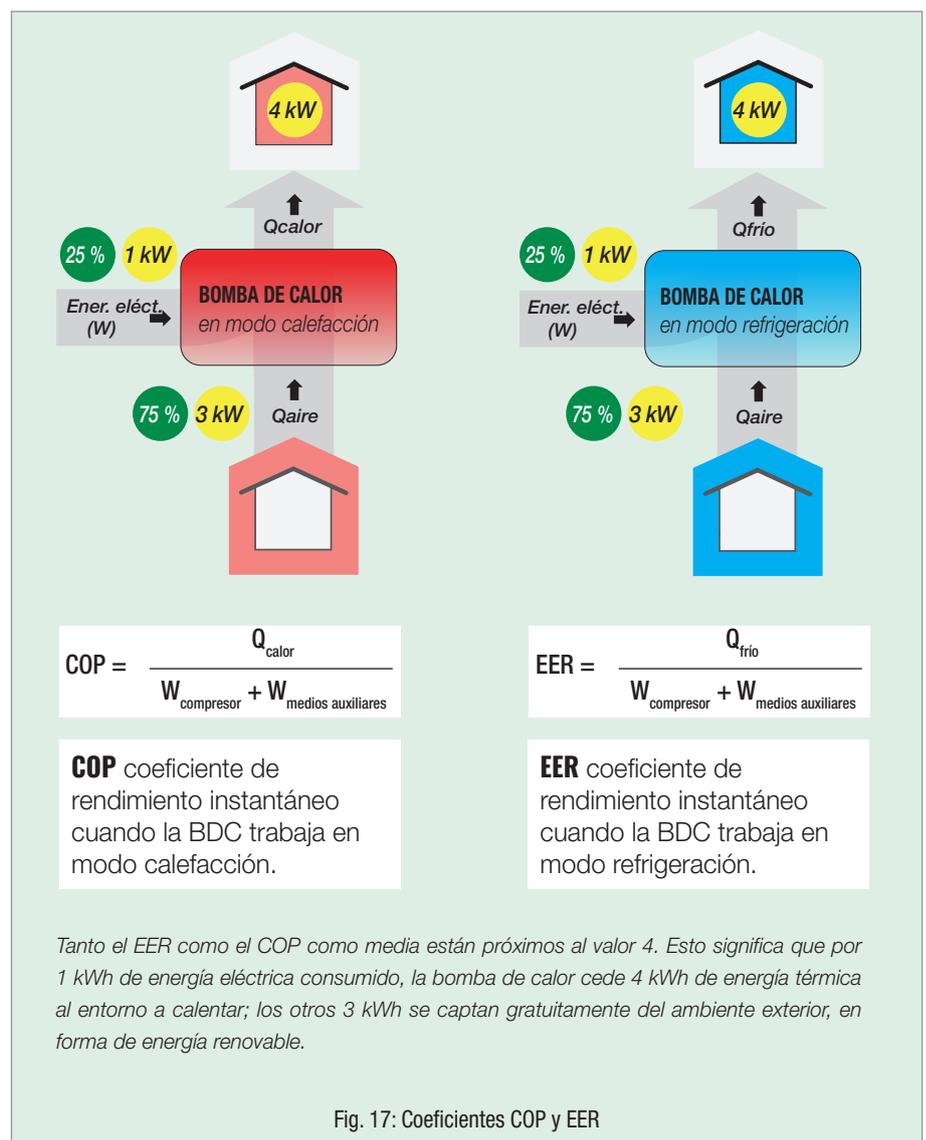


RENDIMIENTO DE UNA BOMBA DE CALOR

La bomba de calor es una máquina de ciclo frigorífico que transfiere calor de una fuente fría a una caliente utilizando energía eléctrica.

La eficiencia con la que las bombas de calor transfieren el calor se define mediante el COP. Su valor es dado por la relación entre el calor cedido al fluido caliente (energía térmica suministrada en el punto de consumo) y el total de la energía eléctrica absorbida (energía solicitada por el compresor y los medios auxiliares integrados en la bomba de calor: dispositivos antihielo, aparatos de regulación y control, circuladores, ventiladores) (fig. 17).

Durante el funcionamiento en modo refrigeración el parámetro que representa el rendimiento de la máquina se identifica con el acrónimo EER (*Energy Efficiency Ratio* - Factor de eficiencia energética). Se calcula como relación entre la potencia de refrigeración y el total de la energía eléctrica absorbida (como en el caso del COP, la energía eléctrica absorbida es la suma de la energía que demandan el compresor y todos los medios auxiliares integrados en la bomba de calor) (fig. 17).



La norma EN 14511 permite al fabricante determinar las prestaciones de la bomba de calor (COP) dependiendo de:

- funcionamiento a velocidad nominal;
- modo de calefacción;
- temperatura exterior fija;
- temperatura de ida fija.

El punto de funcionamiento a potencia nominal, con el que el fabricante identifica la máquina en el mercado, normalmente se calcula con una temperatura exterior del aire de 7 °C y temperatura de ida del agua de 35 °C (A7W35). Por ejemplo, una bomba de calor con potencia nominal declarada de 6 kW, produce unos 6 kW térmicos a A7W35. Sin embargo, este valor es poco representativo de las condiciones reales de funcionamiento de las bombas de calor durante toda la temporada de calefacción. El COP/EER no es un valor constante y, sobre todo en las bombas de calor aire-agua, puede variar considerablemente dependiendo de:

- **temperatura del aire exterior;**
- **temperatura de producción de agua caliente o fría;**
- **factor de carga de la máquina;**
- **incidencia de los ciclos de descongelación.**

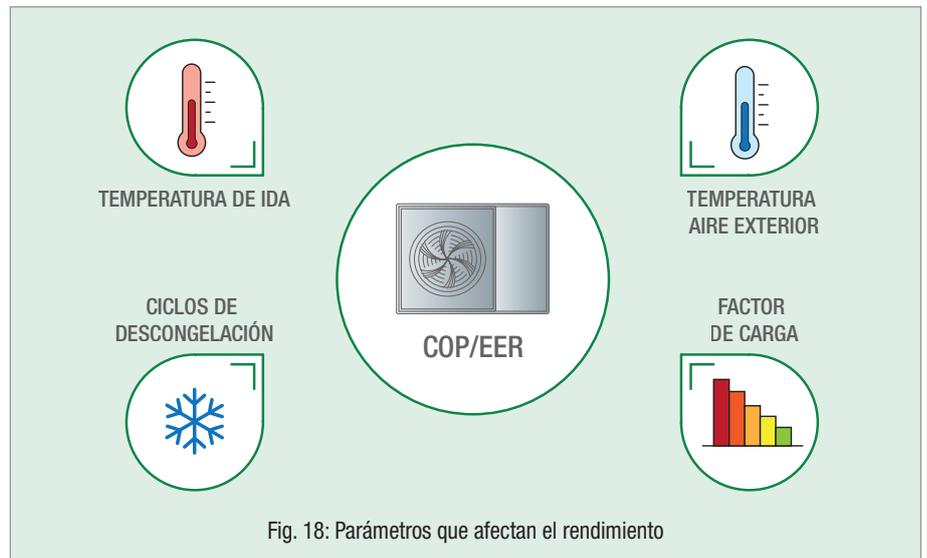


Fig. 18: Parámetros que afectan el rendimiento

En efecto, en las fichas técnicas se indican diferentes valores de COP (o EER) en función de las distintas temperaturas tanto del aire exterior como del agua de ida.

La figura 19 muestra el ejemplo de la evolución del coeficiente de rendimiento (COP) a plena carga de una bomba de calor aire-agua dependiendo de dichos parámetros.

Como se puede observar, las prestaciones:

- empeoran en función de la temperatura exterior; a menor temperatura exterior, menor es el COP;
- disminuyen dependiendo de la temperatura de ida; a mayor temperatura de ida, menor es el COP.

En este ejemplo, una disminución de la temperatura de ida de 55 a 35 °C (para temperaturas exteriores superiores a 7 °C) permite mejorar el COP en más de un punto.

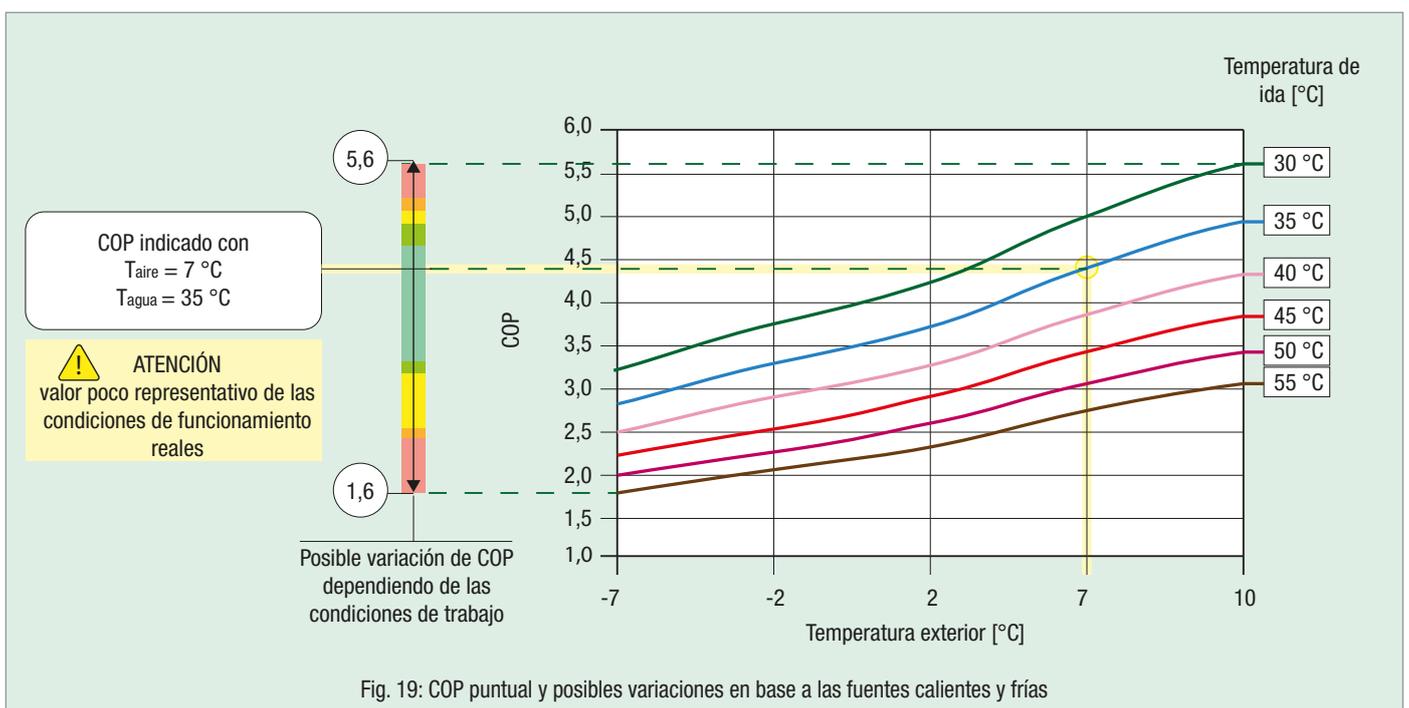


Fig. 19: COP puntual y posibles variaciones en base a las fuentes calientes y frías

COP EN RÉGIMEN DE CARGA PARCIAL

Las curvas de evolución del COP indicadas en las fichas técnicas (fig. 19) hacen referencia al funcionamiento a plena carga de la bomba de calor, es decir cuando la máquina suministra la máxima potencia útil (por ejemplo, en condiciones de temperaturas exteriores más rigurosas o durante las fases de arranque de los sistemas), es decir un funcionamiento poco representativo de las condiciones de trabajo reales. **Durante el funcionamiento normal la potencia disponible de la bomba de calor a menudo es mayor que la potencia a suministrar al edificio.** Por lo tanto, las máquinas trabajan a carga parcial.

El **COP_{PX} a carga parcial** representa mejor el rendimiento real de la máquina y se obtiene multiplicando el COP_{máx} a plena carga para un factor de corrección (f_{CORR}) que depende solo del factor de carga de la máquina (FC) y no de las condiciones de funcionamiento. El factor de carga de la máquina es la relación entre la potencia instantánea demandada y la potencia máxima que se puede suministrar en las mismas condiciones (Fórmula 2). Los gráficos (fig. 20) representan un ejemplo

COP a carga parcial:

$$COP_{PX} = COP_{máx} \times f_{CORR}$$

f_{CORR} depende del factor de carga FC

$$FC = \frac{\text{Potencia inst. demandada}}{\text{Potencia máx suministrable}}$$

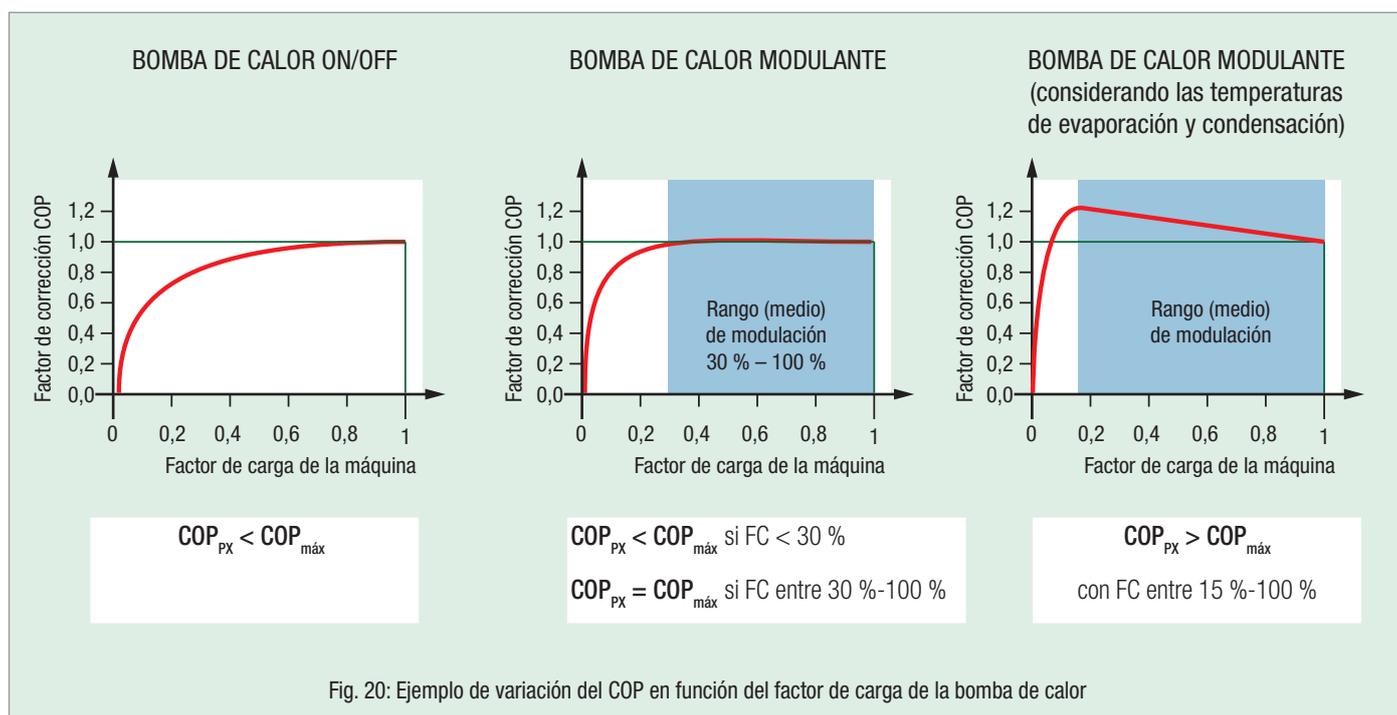
Fórmula 2

de evolución del factor de corrección (f_{CORR}) al variar el factor de carga de la máquina (FC), en caso de máquina ON-OFF o bien modulante.

Los **modelos más antiguos** de bomba de calor, llamadas ON-OFF, modulaban la potencia a través de ciclos de encendido y apagado. Estos ciclos afectan las prestaciones energéticas de la máquina: cada encendido conlleva pérdidas por corrientes de arranque de los motores eléctricos y por la puesta en régimen del ciclo frigorífico. Por esta razón el factor de corrección del COP en las máquinas ON-OFF siempre es inferior a 1 (fig. 20), para cualquier factor de carga de la máquina. El COP a carga parcial siempre es inferior al COP_{máx}.

En cambio, las **máquinas más modernas** varían las revoluciones del compresor y del ventilador del intercambiador exterior

para adaptarse a cargas reducidas. En general, esta modulación puede disminuir la carga de las máquinas hasta un valor del 25–30 % respecto al máximo. Por debajo de este valor, al no lograr modular, la bomba de calor regula la potencia de forma similar a las máquinas ON-OFF. En las bombas de calor modulantes se puede lograr un evolución del COP con un factor de corrección superior a 1, en un campo de modulación entre el 15 y el 100 %. En la bomba de calor sólo inciden las temperaturas de evaporación y condensación, que determinan variaciones de presión del fluido refrigerante que pasa por el compresor, sin depender de la temperatura exterior o la de retorno de la instalación. Cuando se reduce el diferencial térmico entre refrigerante y temperatura exterior (en todas las condiciones de funcionamiento a carga parcial), disminuye la diferencia de presión entre aguas arriba y aguas abajo del compresor, así como la absorción eléctrica. En esta circunstancia la máquina trabaja a carga parcial: se reduce la potencia térmica emitida y aún más la potencia eléctrica absorbida. Por esta razón aumenta el COP.



COEFICIENTE DE RENDIMIENTO ESTACIONAL EN INVIERNO (SCOP) Y VERANO (SEER)

Debido a la amplia variabilidad de los parámetros de eficiencia de las bombas de calor aire-agua y la cada vez mayor atención al ahorro energético, además del valor puntual de COP, los fabricantes han adoptado e indicado en la documentación técnica otro índice llamado SCOP (*Seasonal Coefficient of Performance* - Coeficiente de rendimiento estacional), definido por la EN 14825. Este indicador es una media ponderada de los valores de COP y es más representativo ya que hace referencia a las condiciones operativas a lo largo de una temporada de calefacción. Incluye las prestaciones de la bomba de calor que funciona a carga parcial, para distintas temperaturas exteriores en base a los datos climáticos referidos a tres zonas diferentes.

El valor SCOP describe la cantidad de energía térmica que una instalación genera en un año, en relación con la utilización de energía eléctrica. Por lo tanto representa un valor más significativo respecto al COP en términos de eficiencia de las bombas de calor aire-agua, ya que tiene en cuenta las condiciones climáticas exteriores. Sin embargo, el valor SCOP no se puede considerar fiable porque el rendimiento real también depende de la temperatura de ida, el tipo de instalación conectada y el tipo de regulación y conducción de la misma. Por ejemplo, con la misma bomba de calor, un sistema radiante diseñado para funcionar a baja temperatura de ida tiene una eficiencia mejor y un consumo energético menor respecto a una instalación de fan coils con temperaturas de ida más elevadas. Del mismo modo, una regulación de tipo climático permite conseguir una mejor eficiencia respecto al mismo sistema regulado a punto fijo. Por todas estas razones es necesario confiar en otro indicador más realista: el COP_{MEDIO EFECTIVO}.

Así como SCOP representa la relación entre la energía aportada y la energía eléctrica consumida en la temporada de calefacción, del mismo modo la

eficiencia estacional de una bomba de calor durante el funcionamiento en modo refrigeración se mide con el índice "SEER" (*Seasonal Energy Efficiency Ratio* - Factor de eficiencia energética estacional).

COP MEDIO EFECTIVO

El rendimiento real de una bomba de calor, integrada en una instalación dotada de regulación, se puede calcular mediante procedimientos laboriosos o bien con softwares de cálculo y se resume en un coeficiente medio de eficiencia denominado COP_{MEDIO EFECTIVO}. Este valor puede alejarse, incluso significativamente, de COP y SCOP característicos de la

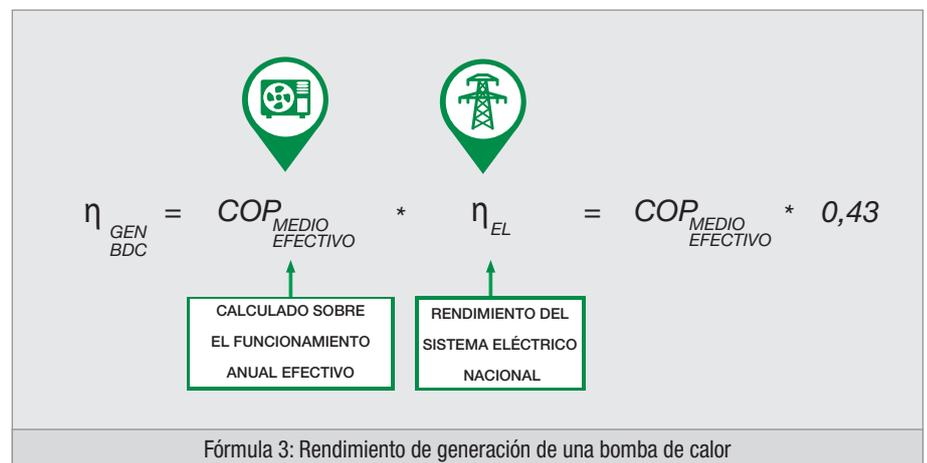
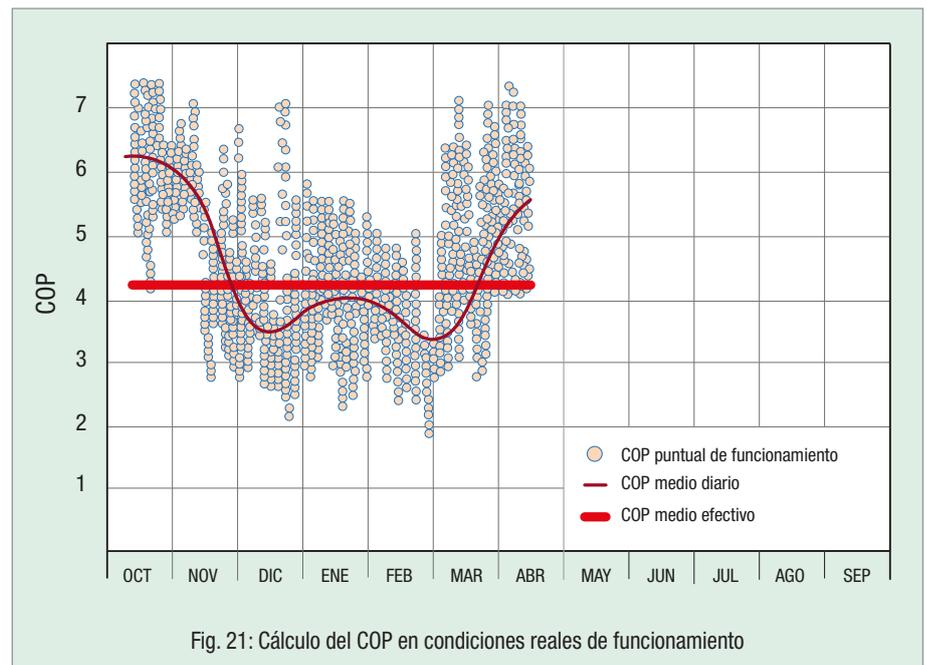
bomba de calor.

En la figura 21 se representa un ejemplo de evolución real del COP de una bomba de calor aire-agua. La línea roja horizontal representa la media ponderada de cada punto de funcionamiento de la máquina y, por lo tanto, el COP_{MEDIO EFECTIVO}.

RENDIMIENTO DE GENERACIÓN

El rendimiento de generación de una bomba de calor ($\eta_{GEN\ BDC}$) se puede calcular como el producto entre el factor de conversión de la energía eléctrica (η_{EL}) y el COP_{MEDIO EFECTIVO} (Fórmula 3).

Equivale a relacionar el COP_{MEDIO EFECTIVO} con la cantidad de energía primaria



COP _{MEDIO EFECTIVO}	Rendimiento de generación
1,50	65 %
1,75	75 %
2,00	86 %
2,25	97 %
2,50	108 %
2,75	118 %
3,00	129 %
3,25	140 %
3,50	151 %
3,75	161 %
4,00	172 %
4,25	183 %
4,50	194 %
4,75	204 %
5,00	215 %

Tabla 1: Rendimiento de generación de una bomba de calor al variar el COP_{MEDIO EFECTIVO}

consumida a través del factor medio de conversión de la energía eléctrica. Actualmente en Italia este factor es 0,43 y tiene en cuenta todos los generadores de energía eléctrica conectados a la red (por ejemplo, las centrales termoeléctricas), así como la eficiencia de la red de distribución.

En la Tabla 1 se indican los rendimientos de generación de una bomba de calor genérica al variar el COP_{MEDIO EFECTIVO}.

AHORRO ENERGÉTICO

El ahorro energético, es decir el ahorro de energía de fuentes primarias presentes en la naturaleza, entre un sistema de calefacción tradicional alimentado por una caldera de gas y un sistema de bomba de calor aire-agua se puede calcular comparando los rendimientos de generación correspondientes. Si el rendimiento de generación de una caldera (tradicional o de condensación) se puede calcular fácilmente, el de una bomba de calor depende mucho de sus condiciones de trabajo. Considerando los valores de COP_{MEDIO EFECTIVO} de funcionamiento, se pueden resumir los rendimientos de generación de la bomba de calor en la Tabla 1.

El rendimiento de generación de una bomba de calor siempre es elevado si

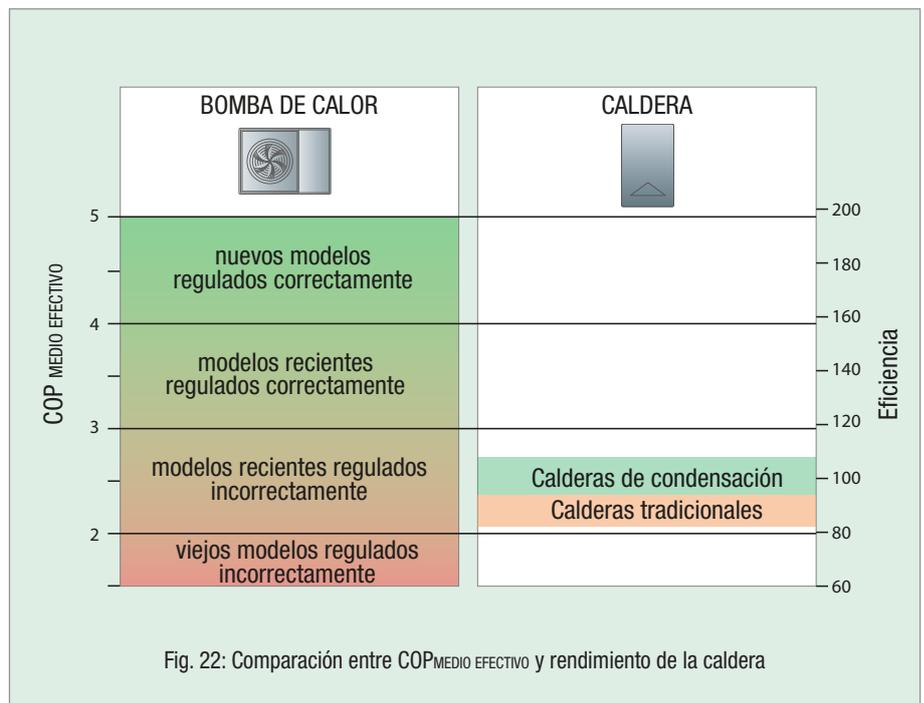


Fig. 22: Comparación entre COP_{MEDIO EFECTIVO} y rendimiento de la caldera

se compara con el de una caldera de gas, que siempre por ejemplo alcanza el 106 %. Una bomba de calor presenta mayores rendimientos con valores de COP superiores a 2,5: unos valores ampliamente alcanzados y superados por la mayoría de las bombas de calor en el mercado, aunque no se utilicen en condiciones de trabajo óptimas. Si a un modelo reciente de máquina se suma una buena regulación de la instalación, se alcanzan valores de eficiencia entre el 130 % y el 170 %. Por último, si se instala un nuevo modelo de bomba de calor y se gestiona la instalación con una buena regulación, se puede conseguir una eficiencia entorno al 200 %.

AHORRO ECONÓMICO

La comparación en términos económicos entre una instalación tradicional alimentada por una caldera de gas y una con bomba de calor se puede valorar calculando el coste soportado para producir la energía térmica para ambos sistemas de producción.

El coste de un kWh_{TÉRMICO} producido con una caldera de gas se puede calcular con la fórmula 4. Considerando un valor medio del PCI del gas de 9,7 kWh/smc, es posible resumir el coste del kWh

TÉRMICO en la Tabla 2. Análogamente al cálculo para los sistemas de una caldera de gas, es posible calcular el coste del kWh_{TÉRMICO} producido por una bomba de calor mediante la fórmula 5. Con este tipo de generadores, el coste de producción de la energía térmica (Tabla 3) está condicionado por el coste de compra de la energía eléctrica y por el COP_{MEDIO EFECTIVO} que, como se ha visto, a su vez depende de muchos factores.

$$\text{Coste kWh}_{\text{CALDERA}} = \frac{\text{Coste SMC}_{\text{GAS}}}{\text{PCI}_{\text{GAS}} \cdot \eta_{\text{CALDERA}}}$$

donde:
 Coste SMC_{GAS} = coste por metro cúbico estándar del gas
 PCI_{GAS} = poder calorífico inferior del gas
 η_{CALDERA} = rendimiento de la caldera

Fórmula 4

$$\text{Coste kWh}_{\text{BDC}} = \frac{\text{Coste kWh}_{\text{ELÉCTRICO}}}{\text{COP}_{\text{MEDIO EFECTIVO}}}$$

Fórmula 5

En las tablas 2 y 3, se muestran como ejemplo los valores típicos de rendimiento del generador y los costes de los vectores energéticos para un consumo doméstico.

Por ejemplo, en una instalación con caldera de gas, considerando los valores que se recogen en la tabla 2, el coste del kWh TÉRMICO es de 7,36 c€/kWh.

En una instalación con bomba de calor con los datos siguientes:

- COP MEDIO EFECTIVO = 3,5
 - coste de la energía eléctrica = 0,24 €/kWh_{el}
- se obtiene un coste del kWh TÉRMICO de 6,86 c€/kWh (Tabla 3).

Al comparar los costes del kWh TÉRMICO se pone en evidencia un ahorro económico del 7 % si se utiliza la bomba de calor en lugar de una caldera de gas.

Análogamente, si se considera una bomba de calor con COP MEDIO EFECTIVO de 3,0 se obtiene un coste del kWh TÉRMICO de 8,00 c€/kWh: superior respecto a 7,36 c€/kWh de la caldera de gas. En este caso la utilización de la bomba de calor no es conveniente.

Dadas las numerosas variables que inciden en estos cálculos -el coste de la energía en primer lugar- se pueden construir gráficos (fig. 23) o tablas que, depen-

diendo de los costes respectivamente del metro cúbico estándar de gas y del kWh ELÉCTRICO, permitan obtener el **COP MÍNIMO DE CONVENIENCIA**. Este valor indica el COP mínimo para que una instalación con bomba de calor produzca energía térmica a un coste inferior respecto a una caldera de gas.

En función del coste del gas (0,70 €/smc) y del kWh ELÉCTRICO (0,24 €/kWh_{el}) actuales para el mercado italiano, una bomba de calor es **económicamente más eficiente** respecto a una caldera de gas (es decir, produce calor a un coste inferior) si su COP MEDIO EFECTIVO es mayor de 3,5.

COMPARACIÓN ENTRE AHORRO ENERGÉTICO Y ECONÓMICO

Al comparar los valores obtenidos, se puede fácilmente observar que, a igualdad de COP MEDIO EFECTIVO, el ahorro energético es claramente superior al económico. Por ejemplo, el rendimiento de generación de una bomba de calor con COP MEDIO EFECTIVO de 3,50 es del 151 %, contra el 98 % de una caldera tradicional de gas. El **ahorro energético** de dicha instalación es, por lo tanto, del **54 %**.

En la misma instalación con bomba de

calor, el coste del kWh TÉRMICO es de 6,86 c€/kWh respecto a 7,36 c€/kWh de la caldera tradicional de gas, como se ha explicado previamente.

Por lo tanto, esta instalación es **económicamente más eficiente** sólo en un **7 %**.

Análogamente, si se considera un COP MEDIO EFECTIVO entre 2,5 y 3,5 se obtiene un ahorro energético pero no económico, porque el coste del kWh TÉRMICO producido con una caldera es más conveniente que el producido con una bomba de calor.

En otras palabras, **es bastante sencillo hacer funcionar los sistemas de bomba de calor con una eficiencia energética mayor que la de las calderas de gas**, consumiendo menos combustibles fósiles y reduciendo las emisiones de CO₂. **Sin embargo, no es igual de sencillo hacer funcionar estos sistemas logrando un ahorro económico** en el gasto anual para la calefacción.

Para conseguir un ahorro económico en el gasto de gestión de los sistemas de bomba de calor es necesario un diseño cuidadoso, que prevea temperaturas de ejercicio de los terminales lo más bajas posibles, así como una regulación adecuada, para maximizar el COP de funcionamiento.

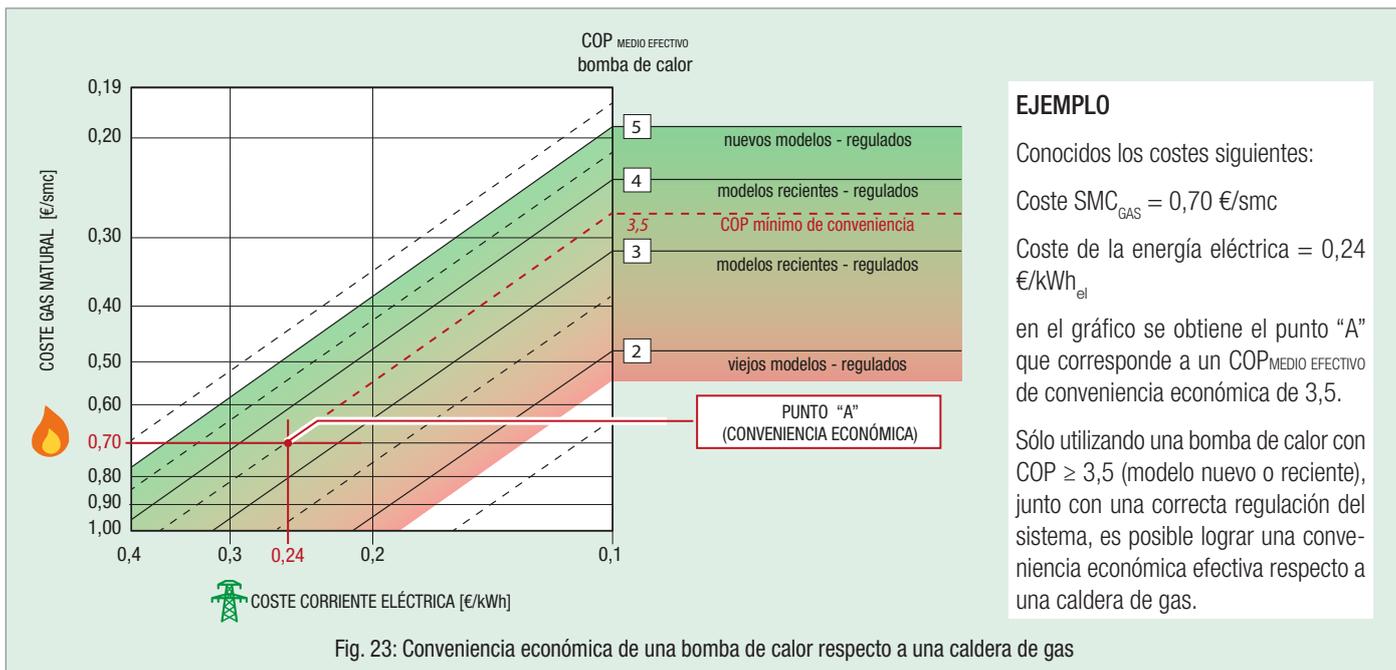


Fig. 23: Conveniencia económica de una bomba de calor respecto a una caldera de gas



COSTE DEL GAS [€/smc]	RENDIMIENTO DE LA CALDERA										
	0,86	0,88	0,9	0,92	0,94	0,96	0,98	1	1,02	1,04	1,06
0,20	2,40	2,34	2,29	2,24	2,19	2,15	2,10	2,06	2,02	1,98	1,95
0,25	3,00	2,93	2,86	2,74	2,74	2,68	2,63	2,58	2,53	2,48	2,43
0,30	3,60	3,51	3,44	3,29	3,29	3,22	3,16	3,09	3,03	2,97	2,92
0,35	4,20	4,10	4,01	3,84	3,84	3,76	3,68	3,61	3,54	3,47	3,40
0,40	4,80	4,69	4,58	4,39	4,39	4,30	4,21	4,12	4,04	3,97	3,89
0,45	5,39	5,27	5,15	4,94	4,94	4,83	4,73	4,64	4,55	4,46	4,38
0,50	5,99	5,86	5,73	5,48	5,48	5,37	5,26	5,15	5,05	4,96	4,86
0,55	6,59	6,44	6,30	6,03	6,03	5,91	5,79	5,67	5,56	5,45	5,35
0,60	7,19	7,03	6,87	6,58	6,58	6,44	6,31	6,19	6,06	5,95	5,84
0,65	7,79	7,61	7,45	7,13	7,13	6,98	6,84	6,70	6,57	6,44	6,32
0,70	8,39	8,20	8,02	7,68	7,68	7,52	7,36	7,22	7,07	6,94	6,81
0,75	8,99	8,79	8,59	8,23	8,23	8,05	7,89	7,73	7,58	7,43	7,29
0,80	9,59	9,37	9,16	8,77	8,77	8,59	8,42	8,25	8,09	7,93	7,78
0,85	10,19	9,96	9,74	9,32	9,32	9,13	8,94	8,76	8,59	8,43	8,27
0,90	10,79	10,54	10,31	9,87	9,87	9,66	9,47	9,28	9,10	8,92	8,75

Tabla 2: Coste kWh térmico (kWht) producido por caldera de gas en céntimos de euros



COSTE kWh ELÉCTRICO [€/kWh _{el}]	COP MEDIO EFECTIVO BDC										
	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
0,16	8,00	6,40	5,33	4,57	4,00	3,56	3,20	2,91	2,67	2,46	2,29
0,18	9,00	7,20	6,00	5,14	4,50	4,00	3,60	3,27	3,00	2,77	2,57
0,20	10,00	8,00	6,67	5,71	5,00	4,44	4,00	3,64	3,33	3,08	2,86
0,22	11,00	8,80	7,33	6,29	5,50	4,89	4,40	4,00	3,67	3,38	3,14
0,24	12,00	9,60	8,00	6,86	6,00	5,33	4,80	4,36	4,00	3,69	3,43
0,26	13,00	10,40	8,67	7,43	6,50	5,78	5,20	4,73	4,33	4,00	3,71
0,28	14,00	11,20	9,33	8,00	7,00	6,22	5,60	5,09	4,67	4,31	4,00
0,30	15,00	12,00	10,00	8,57	7,50	6,67	6,00	5,45	5,00	4,62	4,29
0,32	16,00	12,80	10,67	9,14	8,00	7,11	6,40	5,82	5,33	4,92	4,57
0,34	17,00	13,60	11,33	9,71	8,50	7,56	6,80	6,18	5,67	5,23	4,86
0,36	18,00	14,40	12,00	10,29	9,00	8,00	7,20	6,55	6,00	5,54	5,14
0,38	19,00	15,20	12,67	10,86	9,50	8,44	7,60	6,91	6,33	5,85	5,43
0,40	20,00	16,00	13,33	11,43	10,00	8,89	8,00	7,27	6,67	6,15	5,71
0,42	21,00	16,80	14,00	12,00	10,50	9,33	8,40	7,64	7,00	6,46	6,00
0,44	22,00	17,60	14,67	12,57	11,00	9,78	8,80	8,00	7,33	6,77	6,29

Tabla 3: Coste kWh térmico (kWht) producido por bomba de calor en céntimos de euros (c€/kWh)

INFLUENCIA DE LA REGULACIÓN EN EL COP MEDIO EFECTIVO

El COP de funcionamiento de una bomba de calor está muy influenciado por la temperatura de la fuente interior, es decir la temperatura de ida al sistema de calefacción. Es fundamental diseñar instalaciones que puedan funcionar con bajas temperaturas de ida, asociadas a sistemas de regulación que puedan mantenerlas lo más bajas posible dependiendo de las condiciones de carga efectiva de la instalación. Por lo tanto, es oportuno configurar la temperatura de ida de las bombas de calor según curvas climáticas.

El ahorro que se puede obtener, respecto a una regulación tradicional, es considerable. En la figura 24 se indican los valores de COP MEDIO EFECTIVO obtenidos con una simulación numérica, para una instalación con bomba de calor aire-agua, al variar la temperatura de ida de diseño y el tipo de regulación. Los datos se refieren a una situación climática típica del norte de Italia y se trata de un ejemplo.

Como muestra el gráfico, las ventajas de una regulación climática respecto a una a punto fijo son mucho más consistentes cuanto más elevada es la temperatura de ida a los terminales, en condiciones de diseño.

Por ejemplo, en las aplicaciones de bombas de calor con radiadores de media temperatura (unos 50 °C) se pueden lograr ahorros hasta el 30 %, casi siempre sin ninguna inversión, ya que la mayoría de las bombas de calor en el mercado se pueden regular a través de curvas climáticas sin comprar componentes adicionales.

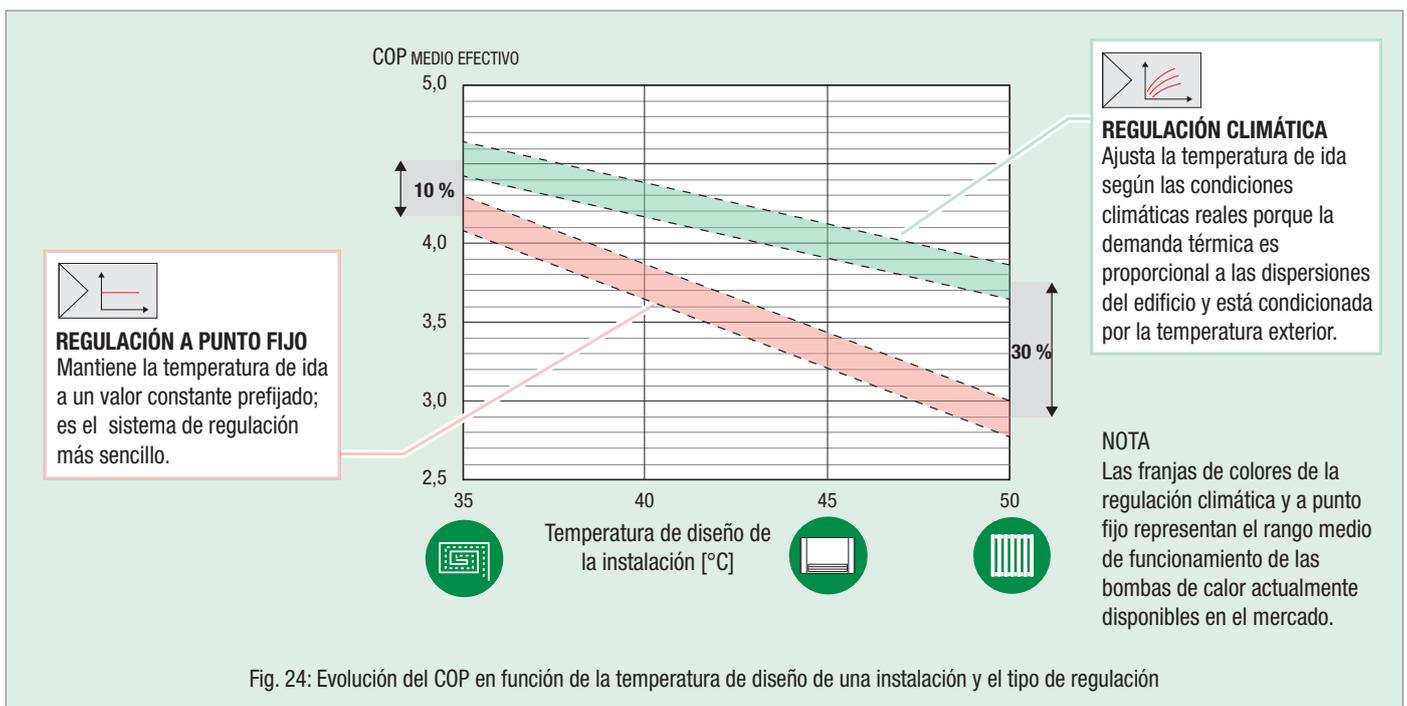


Fig. 24: Evolución del COP en función de la temperatura de diseño de una instalación y el tipo de regulación

BOMBAS DE CALOR Y CLIMA ITALIANO

Las bombas de calor aire-agua son máquinas con prestaciones variables: el lugar en el que se instalan determina una diferente demanda térmica y frigorífica, afectando positiva o negativamente su eficiencia.

El clima incide, también, en la cantidad de energía consumida: en climas más rigurosos con inviernos prolongados se producen mayores consumos para la calefacción. Por el contrario, en las zonas más cálidas se produce un aumento de los consumos correspondientes al aire acondicionado.

Italia se extiende de forma diferente de norte a sur y es posible distinguir seis zonas climáticas diferentes:

- A: clima tórrido
- B: clima cálido
- C: clima cálido templado
- D: clima frío templado
- E: clima frío
- F: clima riguroso

Unas condiciones climáticas diferentes inciden en una serie de factores determinantes a la hora de diseñar sistemas de bomba de calor.



COP medio efectivo (calefacción)

En las zonas de clima más frío el rendimiento medio de la calefacción es escaso debido a las temperaturas exteriores de diseño muy bajas, que alcanzan incluso los $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la zona climática F. En cambio, las mismas máquinas presentan rendimientos decididamente mejores en localidades del sur de Italia con $3\text{--}5\text{ }^{\circ}\text{C}$ de diseño.



EER medio efectivo (refrigeración)

Contrariamente al COP, la eficiencia de las máquinas en refrigeración se ve afectada negativamente en localidades más cálidas como en el sur de Italia.



Ahorro de energía en calefacción

Los climas fríos requieren una mayor potencia eléctrica absorbida que se convierte en un elevado consumo energético por el elevado número de horas de calefacción al año. Utilizando sistemas de bomba de calor aire-agua, respecto a los más tradicionales como las calderas, el ahorro energético es aún más relevante si las instalaciones se encienden durante más tiempo.



Ahorro de energía en refrigeración

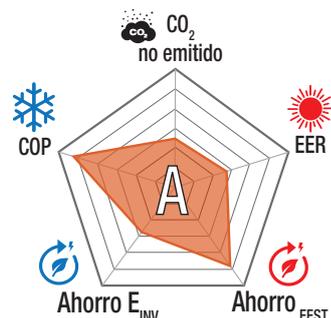
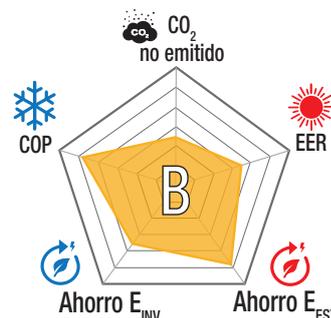
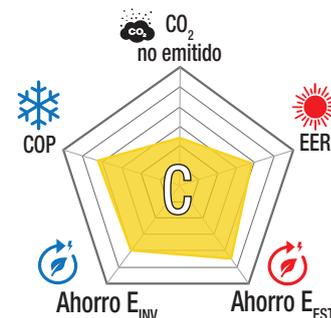
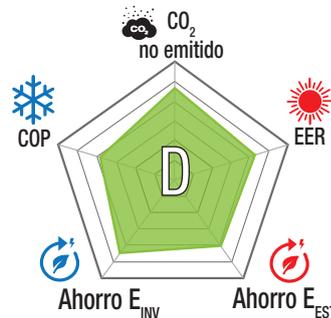
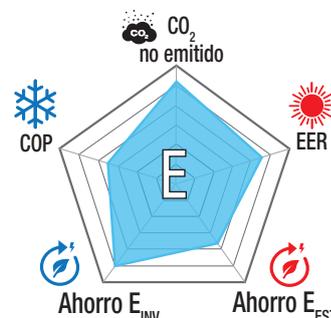
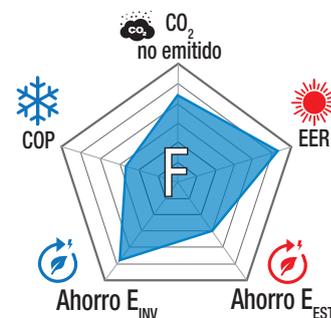
Del mismo modo, la utilización de un sistema de bomba de calor aire-agua respecto a uno de aire-aire antiguo (el típico acondicionador residencial utilizado hace unos años) garantiza notables ahorros energéticos sobre todo en las zonas más cálidas donde se utilizan de forma continua durante la temporada estival.



CO₂ no emitido al medio ambiente

La cantidad de anhídrido carbónico que se emite al medio ambiente está directamente relacionada con el uso de la instalación (tiempo de actividad) y la eficiencia de la misma. La mayor concentración de contaminantes, como el CO₂, se registra en invierno cuando los sistemas están a pleno rendimiento: por lo tanto un sistema de bomba de calor aire-agua, con mayores rendimientos respecto a sistemas de caldera, permite reducir sensiblemente las emisiones.

Gráficos (al lado): rendimientos medios de las bombas de calor aire-agua en diferentes zonas climáticas



GASES REFRIGERANTES

La evolución del sector de la climatización ha sufrido una fuerte aceleración en los últimos años como consecuencia de la introducción de requisitos mínimos que atañen a la eficiencia y el impacto medioambiental de las bombas de calor. En efecto, se establecieron reglamentos específicos que impulsaron a los fabricantes a estudiar refrigerantes más sostenibles y con prestaciones superiores respecto a los utilizados. En el ámbito residencial los refrigerantes tradicionalmente utilizados, como el R410A y el R134a, deberán ser reemplazados por otros nuevos de bajo impacto ambiental como el gas R32 (familia de los gases fluorados) o bien el gas de origen natural R290 (propano).

Actualmente no hay prohibiciones explícitas para bombas de calor que utilizan R134a o R410A. **Sin embargo, en los climatizadores mono split residenciales con carga de gas inferior a 3 kg se prohibirá la utilización de refrigerantes HFC con valores de potencial de calentamiento global (*Global Warming Potential - GWP*) > 750, a partir del 1 de enero de 2025.**

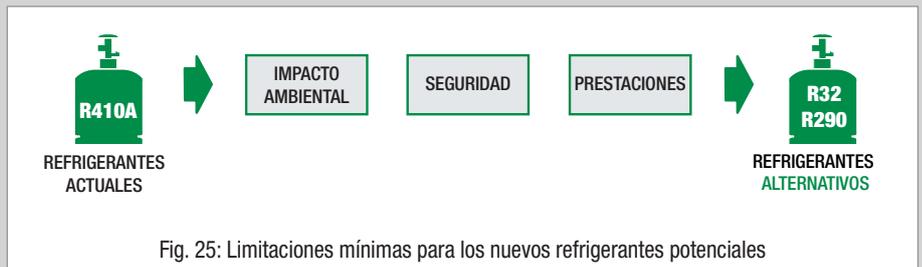
IMPACTO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

Para valorar los impactos de los distintos gases de efecto invernadero en el calentamiento global se utilizan los valores del potencial de calentamiento global (GWP) (*1) y los del potencial de agotamiento de la capa de ozono (*Ozone Depletion Potential - ODP*) (*2).

Las primeras máquinas frigoríficas se fabricaron utilizando R717 (amoníaco) como fluido intermedio, posteriormente se desechó por su toxicidad y corrosividad, a pesar de presentar rendimientos elevados, GWP nulo y costes muy reducidos al ser fácilmente disponible. Durante muchos años se utilizó también un HCFC (hidrocloro-fluorocarbono) denominado R22, ahora prohibido por considerarlo capaz de dañar la capa de ozono atmosférica (ODP > 0). Actualmente se recurre sobre todo a la utilización de los HFCs (hidrofluorocarbonos). Sin embargo, sigue abierta la investigación para buscar nuevos fluidos: el objetivo es minimizar su impacto ambiental y aumentar sus prestaciones termodinámicas.

REGLAMENTO EU F-GAS 517/2014

Su objetivo es garantizar la protección del medio ambiente introduciendo disposiciones específicas y reforzando las existentes para reducir las emisiones de gases fluorados de efecto invernadero (F-gas). Este reglamento impone limitaciones al uso de refrigerantes fluorados: **prohíbe algunos HFC** para determinados productos/aplicaciones, **introduce un sistema de cuotas**



REFRIGERANTE	DENSIDAD (kg/m ³ a 25 °C)	TIPO	POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL (*1)	POTENCIAL DE AGOTAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO (*2)
R22	1191	HCFC	1810	0,05
R717	603	Natural	0	0
R134a	1202	HFC	1430	0
R410A	1061	HFC	2088	0
R32	961	HFC	675	0
R290	493	Natural	3	0

(*1) El índice denominado *Potencial de calentamiento global (Global Warming Potential - GWP)* es un número adimensional que mide la aportación al efecto invernadero del refrigerante respecto al de una sustancia de referencia (CO₂).

(*2) El potencial de agotamiento de la capa de ozono (*Ozone Depletion Potential - ODP*) es un indicador que define la medida del efecto destructivo sobre la capa de ozono de una sustancia en comparación con una sustancia de referencia (Gas R11).

Tabla 4: Características de gases refrigerantes para bombas de calor residenciales

nacionales e impone un control periódico de las pérdidas de gas.

Las cotas nacionales representan la cantidad de CO₂ equivalente (calculada como producto entre GWP y carga de refrigerante) y tienen en cuenta el efecto invernadero global que realmente pueden causar. Según el Reglamento Europeo F-gas, estas cuotas deben ir reduciéndose progresivamente.

Por lo tanto, resultan muy importantes:

- el índice GWP: a menor GWP, mayor es la cantidad de refrigerante que puede utilizar el país (cuotas nacionales) (fig. 26).
- la densidad del gas: a menor densidad, menor es la carga de refrigerante necesaria en la máquina (Tabla 4).

SEGURIDAD

ISO 817:2014

Clasifica los gases refrigerantes según su nivel de seguridad, mediante una sigla con dos o tres caracteres alfanuméricos (fig. 27). El primero carácter indica la clase de toxicidad:

- A: indica los refrigerantes que tienen un límite de exposición profesional de 400 ppm o superior;
- B: indica los refrigerantes que tienen un límite de exposición profesional inferior a 400 ppm.

En cambio, el segundo carácter indica la inflamabilidad basada en el límite inferior de inflamabilidad (LFL), el calor liberado durante la combustión y la velocidad máxima a la que puede producirse la misma.

Los refrigerantes empleados en la climatización residencial se caracterizan por su reducida toxicidad. Sin embargo, muchos de los refrigerantes alternativos son inflamables o ligeramente inflamables, sobre todo el R290. Por ello se requieren mayores inversiones en términos de seguridad en el diseño de la instalación.

Otro factor a tener en cuenta es el peligro de saturación del aire presente en un espacio. En el mercado existen gases no tóxicos, pero altamente inertizantes como el propio R410A. Se recomienda valorar con atención la relación entre el peso de la carga de fluido refrigerante de la máquina y el volumen de aire presente en el espacio donde esté colocada.

PRESTACIONES

Al analizar un nuevo refrigerante, además de los factores de impacto ambiental y seguridad, hay que hacer referencia también a los parámetros de rendimiento para conocer también su influencia sobre los rendimientos de la máquina.

Los parámetros utilizados para comparar dos tipos de gas son el COP y el EER, que se detallan en la pág. 19.

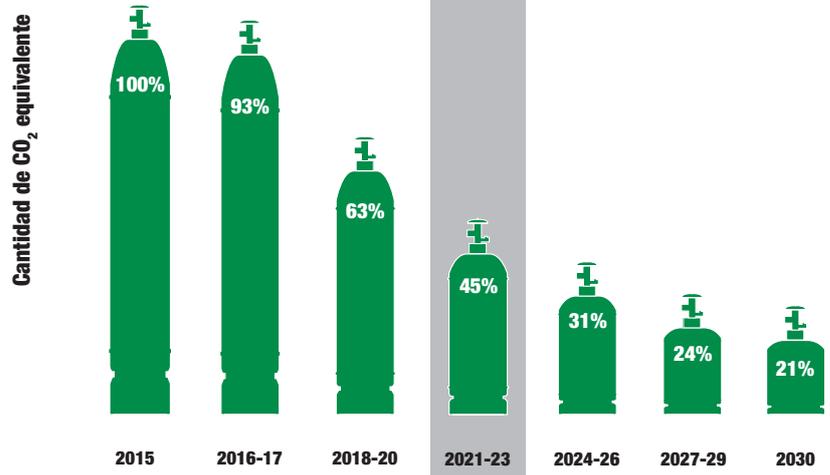


Fig. 26: Cuotas nacionales del Reglamento F-gas

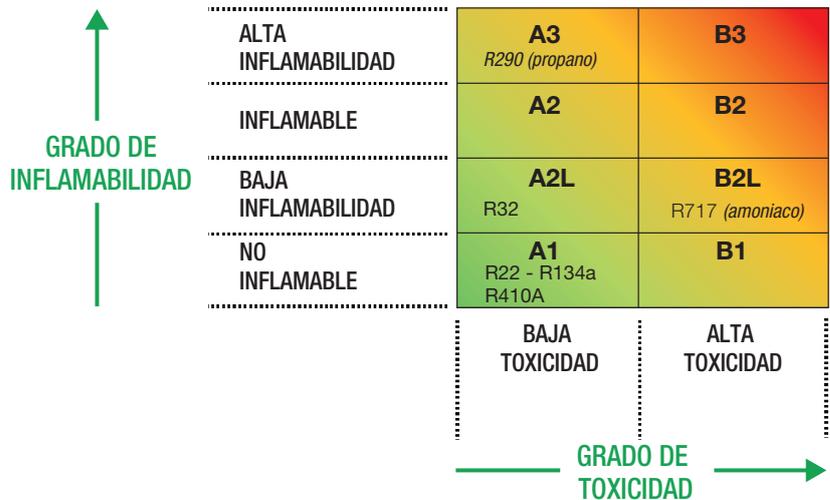


Fig. 27: Clasificación de seguridad de los gases refrigerantes

R32 VS R410A

En caso de condiciones exteriores desfavorables, una bomba de calor convencional que utiliza R410A garantiza prestaciones similares a la nueva alternativa, si la temperatura del agua que requiere la instalación está por debajo de 40 °C (suelo radiante). Por el contrario, una bomba de calor cargada con R32 presenta un COP mayor cuando los terminales de emisión necesitan temperaturas de trabajo más elevadas. Por lo tanto, R32 es una excelente alternativa para las reformas de instalaciones donde se desea mantener los radiadores existentes como elementos de emisión.

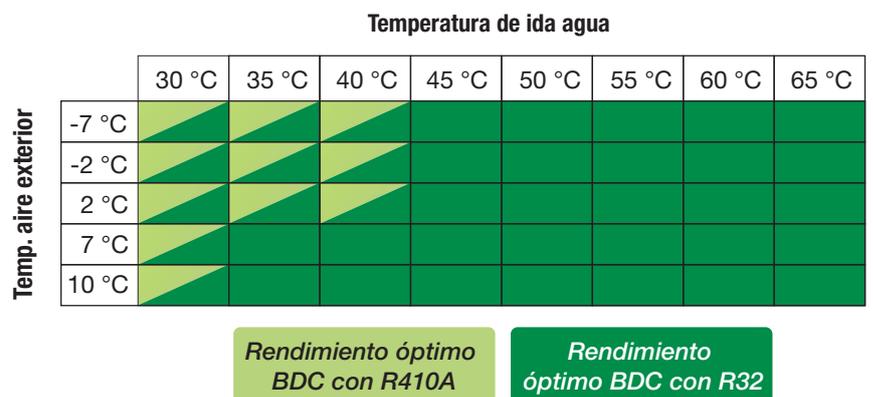


Tabla 5: COP óptimo para gas R410A y gas R32

SISTEMAS DE BOMBA DE CALOR AIRE-AGUA

Ings. Mattia Tomasoni y Alessia Soldarini

DIMENSIONAMIENTO

El dato fundamental para el correcto dimensionamiento de una bomba de calor es la potencia térmica suministrada. Dicha potencia no es constante, ya que depende de los mismos factores que inciden en el COP:

- temperatura de la fuente caliente (temperatura de ida);
- temperatura de la fuente fría (temperatura del aire exterior);
- número de descongelaciones;
- factor de carga.

La influencia de los últimos dos parámetros, para el dimensionamiento de las bombas de calor, se puede pasar por alto haciendo las siguientes hipótesis:

1. se considera siempre la potencia generada en caso de descongelación, al ser un fenómeno que no se

puede controlar porque depende únicamente de las condiciones de temperatura y humedad del aire exterior;

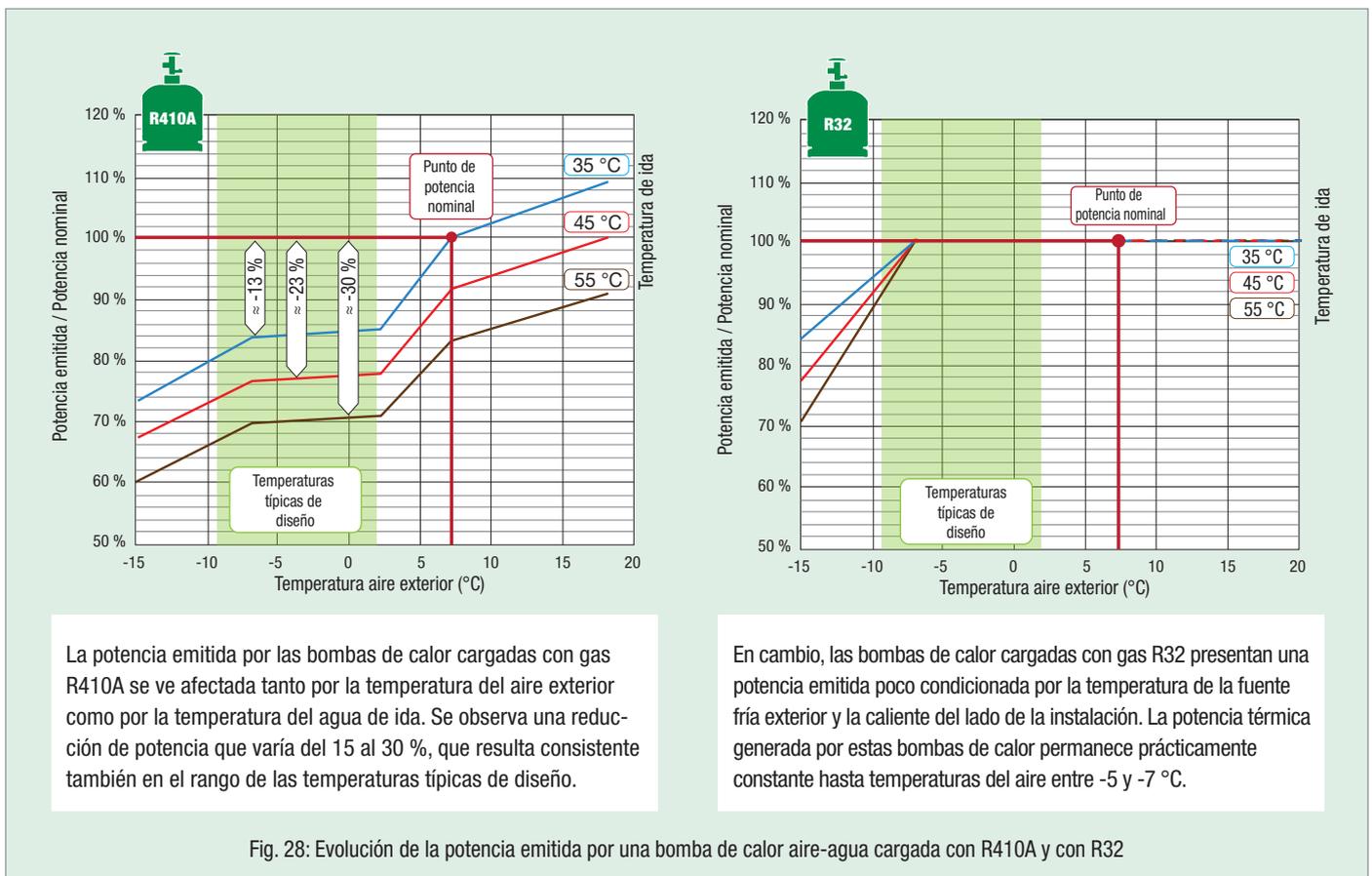
2. se supone un factor de carga del 100 %, porque las condiciones de diseño corresponden a las condiciones de máxima demanda de potencia por parte de la bomba de calor.

Con cierta aproximación se pueden seleccionar las bombas de calor de aire en función de la potencia suministrada al variar la temperatura de la fuente caliente (ida a la instalación) y la temperatura de la fuente fría (aire exterior). Normalmente los datos para el dimensionamiento están disponibles en las fichas técnicas facilitadas por los fabricantes, en forma de tablas o gráficos, y son específicos para cada máquina. Sin embargo, para un enfoque general, la evolución de la

potencia emitida por las bombas de calor aire-agua se puede resumir en los gráficos de la fig. 28.

El primer gráfico se refiere a bombas de calor con gas R410A, mientras que el segundo a máquinas cargadas con gas R32.

Observando los gráficos se desprende que **la potencia nominal indicada en los datos técnicos**, que en general se refiere a condiciones de temperatura del aire exterior de 7 °C y temperatura de ida del agua de 35 °C (punto de potencia nominal: A7W35), **puede ser muy distinta a la potencia suministrada por la máquina en las condiciones de diseño**. Además, como se observa en los gráficos, las bombas de calor con gas R410A presentan un suministro de potencia térmica mucho más afectado por la temperatura exterior y la de ida respecto a las cargadas con R32, en las



que la potencia suministrada es estable hasta una temperatura de $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Además, al seleccionar una bomba de calor aire-agua, es fundamental evitar sobredimensionamientos que conllevarían aspectos negativos como:

- costes de instalación sensiblemente mayores;
- reducción de la eficiencia;
- elevada potencia eléctrica absorbida.

Por esta razón vamos a analizar tres posibles **métodos de dimensionamiento** de las bombas de calor presentando sus ventajas, sus posibles riesgos y las estrategias para minimizarlos.

DIMENSIONAMIENTO EN BASE A LOS DATOS DE DISEÑO

Este método prevé la selección de la bomba de calor en función de la potencia térmica necesaria en las condiciones de diseño del edificio. Este procedimiento requiere analizar las curvas de potencia de la máquina (en tablas o gráficos facilitados por el fabricante) y elegir la que desarrolla una potencia igual o superior a la que se requiere en el diseño.

Este procedimiento de dimensionamiento es el más conservador y lleva a seleccionar generadores ligeramente sobredimensionados, un hecho amplificado por las diferentes medidas de los equipos en el mercado.

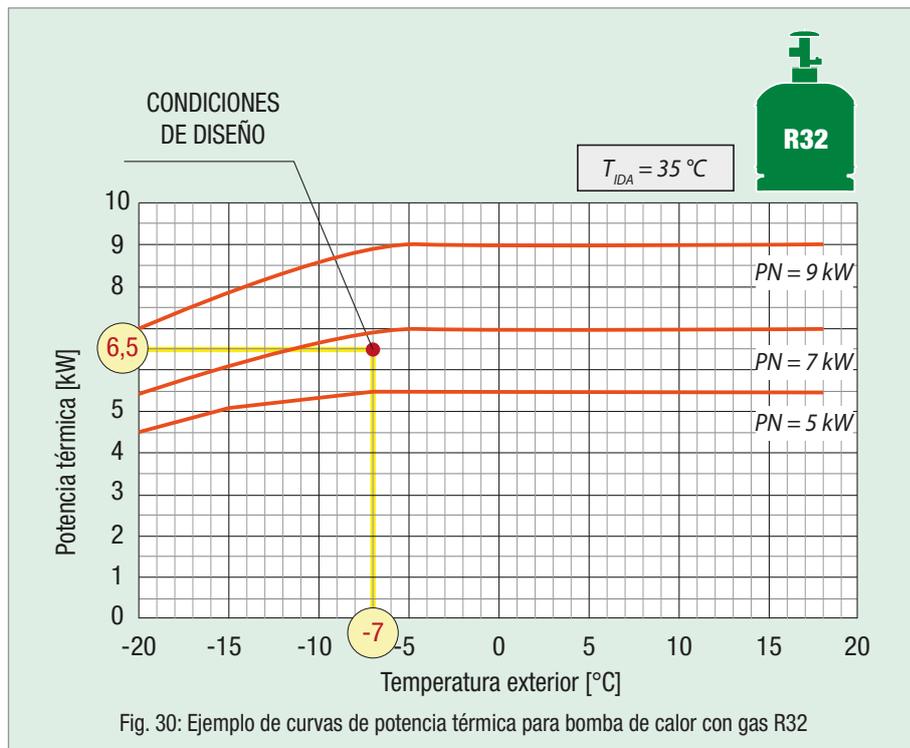
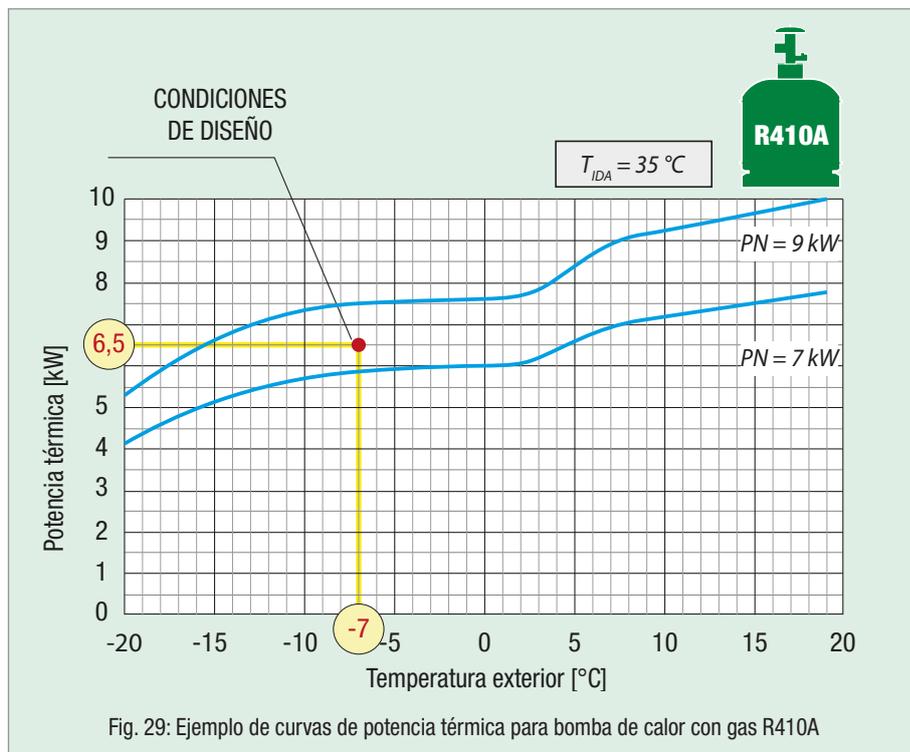
Por ejemplo, teniendo en cuenta las curvas de potencia de una **bomba de calor que emplea R410A** (fig. 29) y los siguientes datos de diseño del edificio:

- potencia térmica necesaria = $6,5\text{ kW}$
- temperatura exterior = $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$

se puede seleccionar una bomba de calor con **potencia nominal de 9 kW** . En efecto, el generador con potencia nominal de 7 kW sería ligeramente subdimensionado.

Los mismos datos de diseño, combinados con una **bomba de calor que utiliza R32** (fig. 30) permiten seleccionar una máquina con **potencia nominal de 7 kW** , de medida inferior respecto a la seleccionada con R410A.

El paso de una potencia a otra, en las bombas de calor para uso doméstico,



puede afectar significativamente los consumos eléctricos de las máquinas y el coste de la instalación eléctrica (consulte “¿Instalación eléctrica monofásica o trifásica?”, pág. 48). Si las condiciones de diseño son una vía intermedia entre

dos potencia distintas (como en la fig. 29), conviene utilizar otro método de dimensionamiento que tenga en cuenta la curva real de potencia del edificio o la capacidad térmica del mismo.

DIMENSIONAMIENTO EN BASE A LA CURVA REAL DE POTENCIA DEMANDADA

En los consumos reales de las viviendas existe una cuota de energía que no es suministrada por el sistema de calefacción y que es liberada por el uso normal de electrodomésticos e iluminación, las personas que viven en los espacios y la radiación solar. La aportación gratuita de estas cargas térmicas marca la diferencia entre la curva de potencia real y la teórica demandada por el edificio según una evolución típica que se indica en la figura 31.

En las condiciones de diseño la aportación de las fuentes gratuitas de calor es bastante limitada (sobre todo porque disminuye drásticamente el componente

correspondiente a la radiación solar), pero se puede estimar en un rango entre 0,5 y 1,5 kW. Por lo tanto, teniendo en cuenta las cargas gratuitas es posible dimensionar la bomba de calor considerando la potencia térmica real (P_{REAL}), es decir la de diseño ($P_{DISEÑO}$) restando las aportaciones gratuitas presentes en esas condiciones ($P_{GRATUITA}$).

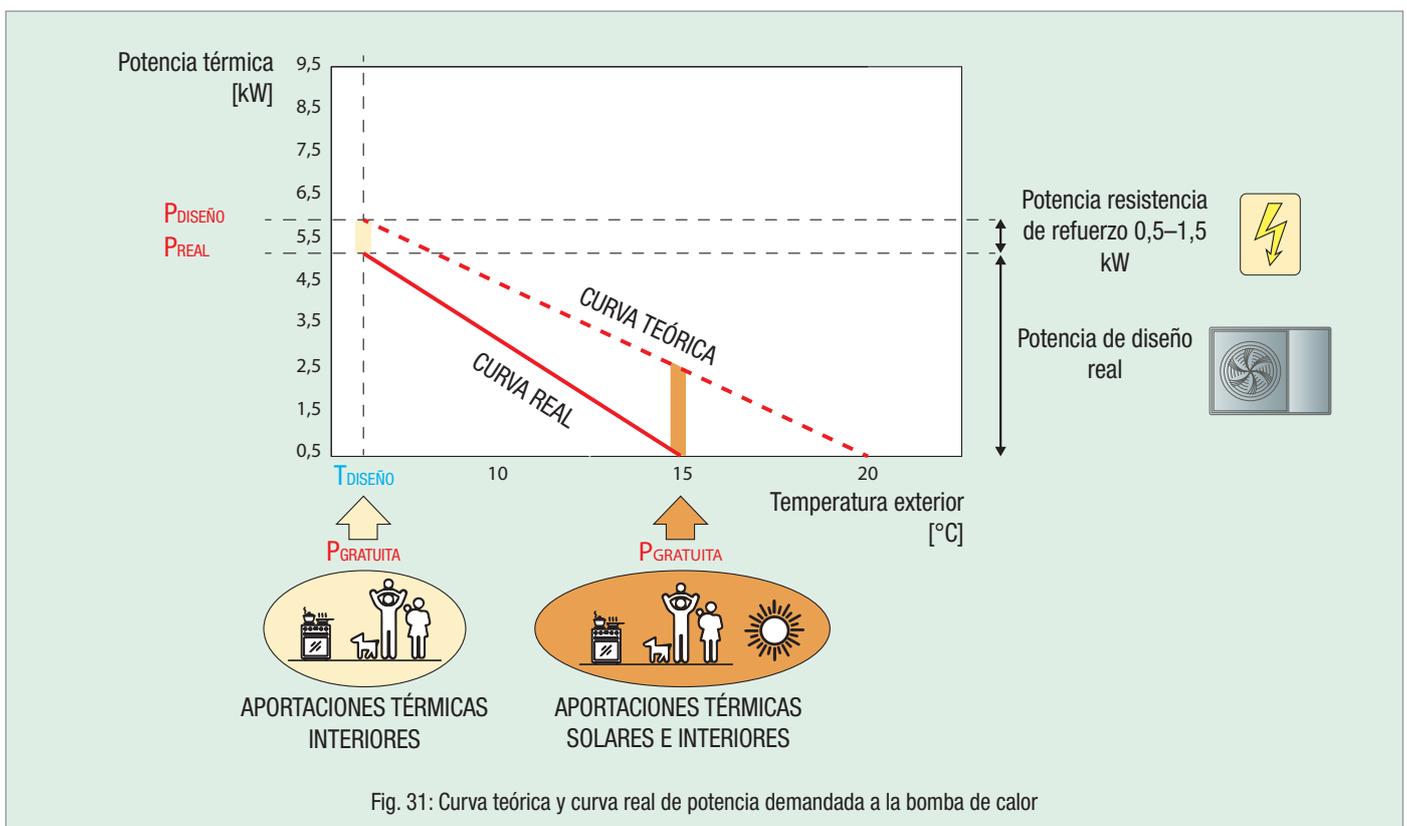
Potencia de diseño real

$$P_{REAL} = P_{DISEÑO} - P_{GRATUITA}$$

Fórmula 6

Al optar por este tipo de dimensionamiento, se recomienda prever una resistencia eléctrica de refuerzo: en casos excepcionales de anulación de

la carga gratuita (aportaciones térmicas interiores), es posible integrar la potencia de la bomba de calor encendiendo la resistencia. Esta medida no va a incidir en la instalación eléctrica si interviene raramente. Por consiguiente, es fundamental no sobrestimar la aportación de las fuentes gratuitas para limitar lo más posible la activación de la resistencia de refuerzo, que requiere un coste energético elevado (COP=1) y, por lo tanto, afecta negativamente el rendimiento global de la instalación térmica.



DIMENSIONAMIENTO CONSIDERANDO LA CAPACIDAD TÉRMICA

Este método, más avanzado que los anteriores, se basa en el concepto de que las viviendas modernas, o recientemente reformadas, se caracterizan por una elevada inercia térmica, favorecida por todas las actuaciones que permiten mantener el calor por mucho tiempo en el interior de los muros (por ejemplo, el aislamiento *envolvente).

La inercia térmica de la estructura es similar al efecto de una batería: durante las horas más cálidas las estructuras acumulan el calor proporcionado por la instalación y luego lo liberan durante las horas más frías. Se obtiene así un efecto de atenuación de los picos de potencia, gracias a la reducción de la potencia máxima demandada al generador de calor.

Un efecto típico de la inercia se indica en la figura 32, donde se simula la evolución de la potencia demandada durante una semana con temperaturas comparables a la temperatura de diseño (-7 °C). Las curvas indican la evolución de la potencia demandada para mantener en el interior de la vivienda una temperatura de 20 °C ± 0,5 °C, respectivamente para una vivienda de baja inercia y una de alta inercia térmica. Como se puede observar, la vivienda de baja inercia (que requiere sólo 6,5 kW de potencia) presenta unos picos de potencia demandada por el generador comparables a la de diseño; por el contrario, en una vivienda con elevada inercia térmica la potencia demandada se reduce en un 15 %.

El dimensionamiento que tiene en cuenta la capacidad térmica de la estructura

es de tipo dinámico y debe realizarse con oportunos softwares de cálculo que tomen en consideración el comportamiento del cerramiento al variar la temperatura exterior y de la instalación correspondiente.

Este método de dimensionamiento se utiliza sobre todo para optimizar el cálculo de la instalación en viviendas de altas prestaciones energéticas. Es un método válido para lugares donde el sistema de calefacción se utiliza de modo continuado. En efecto, en caso de apagado de la instalación en las horas nocturnas (como se hace por ejemplo en edificios destinados a oficinas), disminuye sensiblemente el efecto de atenuación de los picos de potencia debido a la inercia del propio edificio.

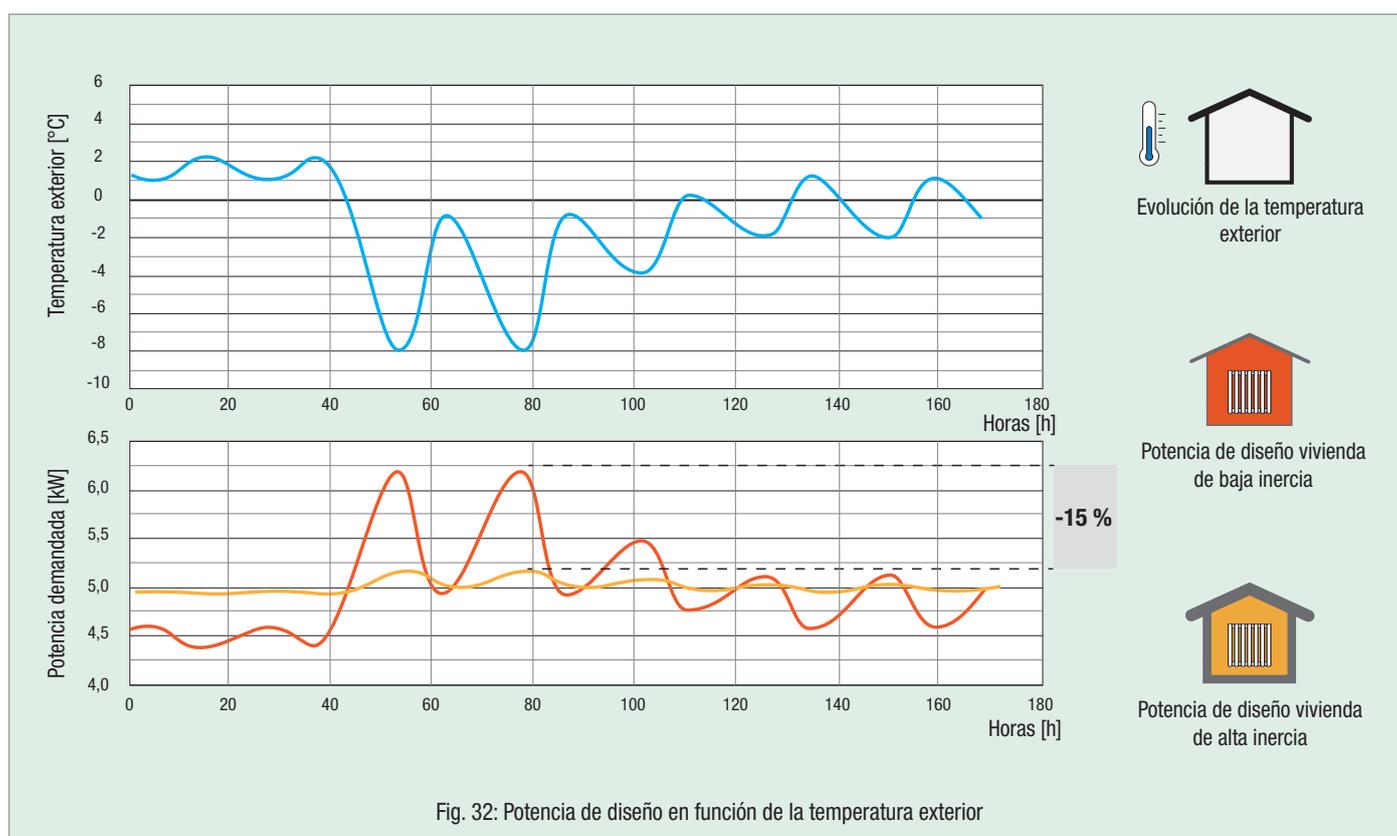


Fig. 32: Potencia de diseño en función de la temperatura exterior

PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

Además del generador, en los sistemas de bomba de calor es necesario dimensionar correctamente también todos los componentes de la instalación. Por esta razón es importante analizar los principales parámetros operativos como el caudal de agua y las temperaturas de funcionamiento.

CAUDAL DE AGUA

El **caudal nominal** normalmente se refiere a un diferencial térmico medio (aproximadamente 5 °C) entre entrada y salida del evaporador.

El **caudal máximo** permitido es el que presenta un diferencial térmico mínimo (en torno a 3 °C), mientras que el **caudal mínimo** es el correspondiente a un diferencial térmico máximo (unos 8 °C).

Si el caudal de agua es insuficiente (por debajo del caudal mínimo), la temperatura de evaporación es demasiado baja; esta condición provoca la intervención de los dispositivos de seguridad y la parada del generador, con la posible formación de hielo en el evaporador y graves fallos en el circuito frigorífico.

La presencia del caudal de agua mínima en circulación por la instalación se detecta mediante un flujostato: cuando desciende por debajo del límite indicado por el fabricante, el dispositivo envía una señal de alarma a la máquina, para detener su funcionamiento y evitar posibles daños.

TEMPERATURAS DE FUNCIONAMIENTO

En el **modo calefacción**, normalmente las bombas de calor trabajan con una **temperatura de funcionamiento óptima para agua técnica de 35 °C** (lado instalación) y llegan a producir **agua caliente sanitaria a temperaturas entre 50 y 60 °C**. Otro punto a tener en cuenta es el rendimiento de la bomba de calor: a mayor temperatura demandada, menor es su COP. Así pues hay que encontrar un compromiso

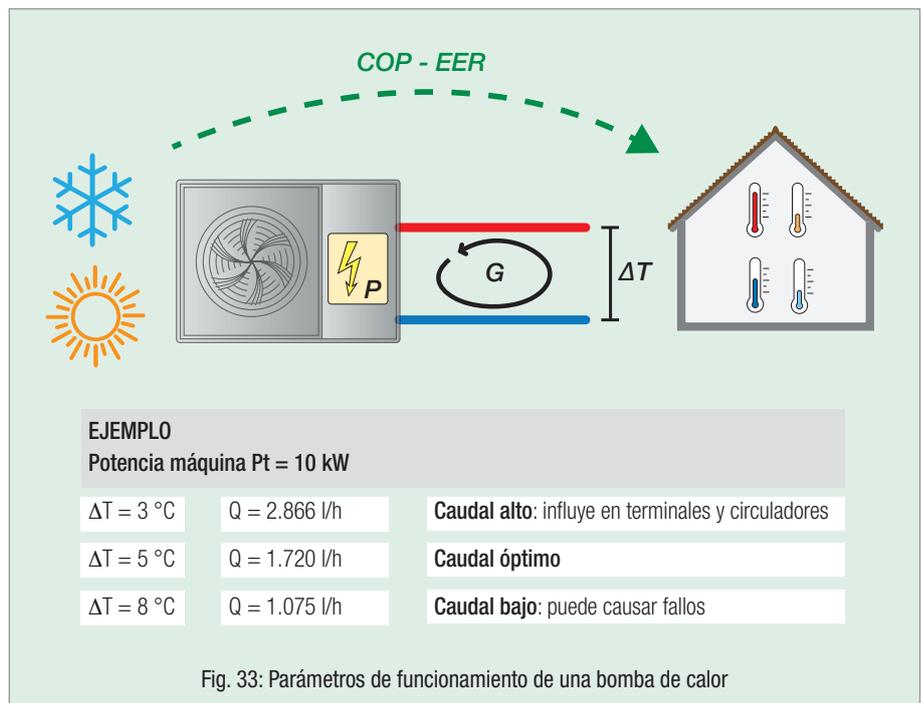


Fig. 33: Parámetros de funcionamiento de una bomba de calor

entre la temperatura de producción del agua caliente, que debería ser la más baja posible, y la temperatura de ida que requieren los terminales, que por el contrario debería ser la más alta posible. A veces es necesario sobredimensionar los sistemas de emisión para que trabajen a una temperatura más baja respecto a la nominal. Para ello hay que considerar el compromiso entre el coste adicional, el rendimiento de generación y los límites físicos relacionados con las temperaturas máximas de funcionamiento.

Además, aunque sea posible disminuir la temperatura de producción de agua técnica, para aumentar las prestaciones de las máquinas, al mismo tiempo, es necesario tener en cuenta la posible pérdida de bienestar con la utilización de terminales a temperaturas más bajas que las estándar. Por ejemplo, en el caso de los fan coils es oportuno que trabajen con temperaturas de ida superiores a 40 °C, para no dar lugar a situaciones de escaso bienestar: de lo contrario, las personas percibirían una sensación térmica de aire frío (la temperatura corporal es aproximadamente de 36 °C).

En el **modo refrigeración**, normalmente la **temperatura mínima** a la que se produce agua refrigerada es de **7 °C**. Sin embargo, en sistemas distintos al estándar, es posible producir agua técnica también a 5 °C.

En la temporada estival el rendimiento de la máquina (EER) es menor cuanto más bajas son las temperaturas de producción de agua refrigerada, análogamente a lo que ocurre en la temporada invernal. Además, las máquinas presentan un límite físico de temperatura alcanzable, impuesto por el fabricante, que permite evitar la congelación de los intercambiadores de los propios grupos frigoríficos. Este obstáculo se sortea solo mezclando etilenglicol al agua y modificando así las propiedades térmicas del fluido. Es posible aumentar la **temperatura máxima** de ida a valores superiores hasta **15–18 °C** integrando el sistema de refrigeración con deshumidificadores como ocurre con los sistemas radiantes.

CICLO DE DESCONGELACIÓN

En las bombas de calor aire-agua, en determinadas condiciones de funcionamiento, el gas refrigerante presente en el evaporador es 10–15 °C más frío que el aire exterior. Durante el funcionamiento de la máquina en el modo calefacción el evaporador extrae calor del aire y, cuando la temperatura desciende por debajo del punto de rocío, se produce la condensación del aire húmedo en contacto con la batería.

La condensación, a una temperatura comprendida entre -5 °C y +7 °C se convierte en hielo: este fenómeno reduce significativamente el caudal de aire que pasa por la batería de la máquina con las consiguientes limitaciones en el funcionamiento. Las prestaciones de la bomba de calor se reducen notablemente, pero no así su consumo eléctrico ya que la máquina sigue funcionando.

Además, a mayor humedad en el aire, mayor es la cantidad de condensación que puede helarse.

Para que la bomba de calor pueda seguir funcionando de forma eficiente, es necesario realizar con regularidad la descongelación (también llamada “defrost” o “defrosting”). Durante la descongelación se invierte temporalmente el ciclo del refrigerante a través de una válvula de inversión de ciclo de cuatro vías para forzar el paso de la bomba de calor del modo calefacción a refrigeración. Esto permite captar calor del agua de la instalación para llevarlo al evaporador (batería de intercambio con aire exterior). Por esta razón, durante la descongelación es necesario garantizar a la bomba de calor un caudal mínimo asociado a un determinado nivel de agua en la instalación. Estos parámetros siempre son indicados por el fabricante.

Para la puesta en marcha la descongelación, la bomba de calor detecta automáticamente el estado de congelación de la batería de la unidad exterior mediante:

1. un temporizador que invierte el ciclo a intervalos fijos dependiendo de la temperatura exterior medida por un sensor;

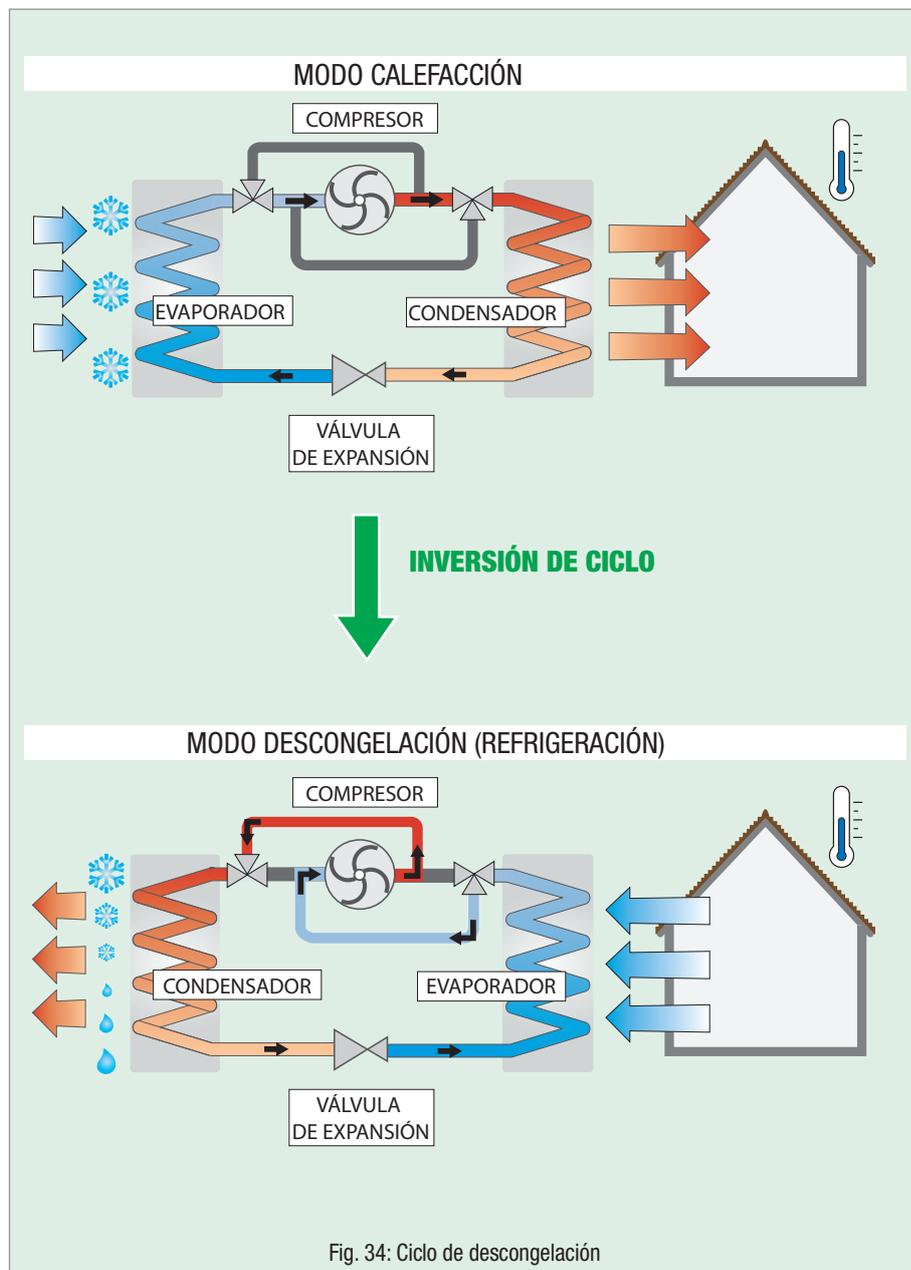


Fig. 34: Ciclo de descongelación

2. un sistema de control más refinado que monitoriza el flujo y la temperatura del aire exterior y las condiciones puntuales del evaporador (estado de congelación).

El segundo método es el más eficiente, ya que permite evitar descongelaciones inútiles. Sin embargo, algunos fabricantes prefieren el primero, porque es más sencillo y menos dificultoso desde el punto de vista de la realización.

Durante la descongelación, el agua generada al deshacerse el hielo fluye por el desagüe situado en el fondo

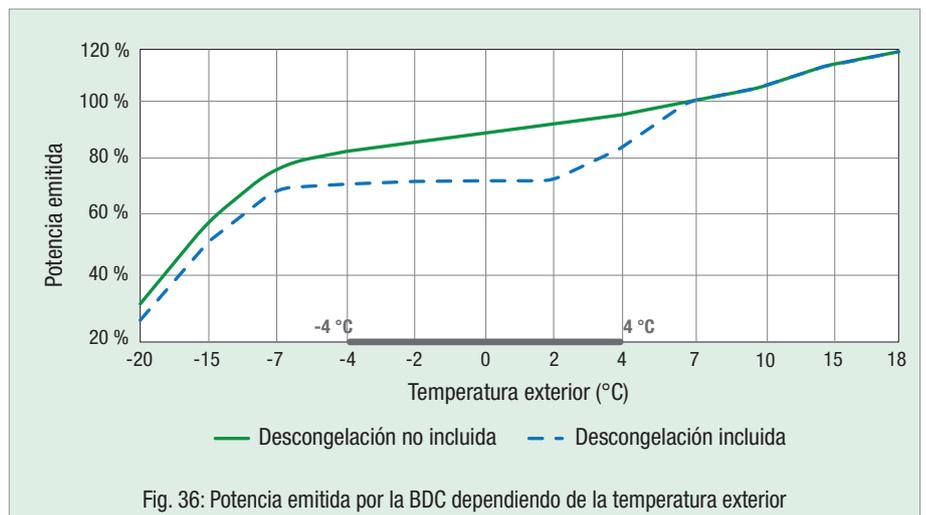
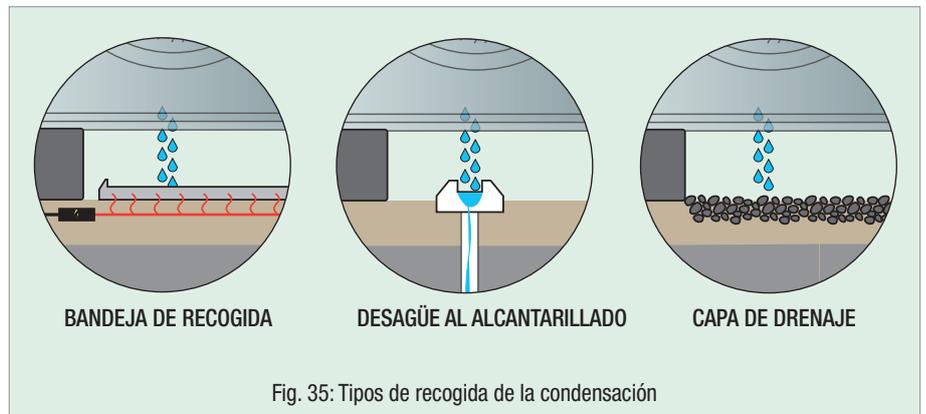
de la unidad exterior; por lo tanto, se recomienda evitar que se vuelva a congelar utilizando un sistema de desagüe y recogida de las aguas. Es posible colocar una bandeja de recogida con cable eléctrico de calentamiento, o bien canalizar directamente el desagüe al alcantarillado. Por último, también se puede utilizar una capa de grava para el drenaje del agua, manteniendo una distancia mínima entre el suelo y la máquina (fig. 35).

La descongelación afecta las prestaciones de las bombas de calor, ya que parte de la potencia desarrollada por el ciclo frigorífico se utiliza para descongelar la batería exterior en lugar de transmitirse al fluido. En efecto, respecto a las prestaciones nominales, durante la descongelación se producen:

1. una reducción del COP;
2. una bajada de la potencia térmica emitida.

Estos dos fenómenos son mucho más evidentes cuanto más frecuentes son las condiciones que provocan la formación de hielo en la batería exterior (temperaturas exteriores bajas y alta humedad absoluta). La peor combinación de estos dos factores se manifiesta en un rango de temperaturas entre $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El fenómeno de la congelación de la condensación no se puede contrarrestar porque depende exclusivamente de las condiciones termohigrométricas del aire exterior. Sin embargo, hay que tenerlo en cuenta al elegir y dimensionar las bombas de calor, sobre todo cuando la temperatura del aire exterior de diseño se encuentra en el rango más afectado por este fenómeno. Para ello, los fabricantes incluyen en la documentación técnica unos gráficos específicos con las prestaciones de las bombas de calor teniendo en cuenta los ciclos de descongelación.



¿DE DÓNDE PROCEDE LA ENERGÍA TÉRMICA PARA EL CICLO DE DESCONGELACIÓN?

El ciclo de descongelación requiere una cantidad de energía térmica que, dependiendo de la configuración adoptada, se puede extraer del circuito de calefacción hacia el punto de consumo o bien a un depósito tampón.

Sistema de alta inercia

En un sistema con suficiente inercia térmica es posible enfriar temporalmente el agua que contienen las tuberías, manteniendo un buen funcionamiento de la máquina sin pérdidas de bienestar para el usuario (fig. 37).

Hay que diseñar una parte de los circuitos del sistema de calefacción siempre en funcionamiento. Por ejemplo, en un pequeño apartamento de un dormitorio es preferible regular la instalación directamente mediante el encendido y el apagado de la bomba de calor, sin ningún dispositivo de detección o regulación entre la máquina y los terminales de emisión (tipo mandos electro térmicos en los circuitos del suelo radiante).

Sistema de baja inercia

En un sistema de baja inercia térmica (por ejemplo, un sistema de fan coils) o bien cuando el caudal disponible es inferior al caudal mínimo que requiere el fabricante, es necesario separar el circuito primario (el de la bomba de calor) del circuito secundario (hacia los puntos de consumo) por medio de una válvula de bypass o un separador hidráulico (fig. 37).

Si se utiliza la válvula de bypass, es fundamental colocar un acumulador tampón en el retorno del circuito primario. Como alternativa, es posible conectar el volante térmico como separador hidráulico. Esta última solución permite la calefacción continua de los espacios en modo descongelación gracias al calor acumulado.

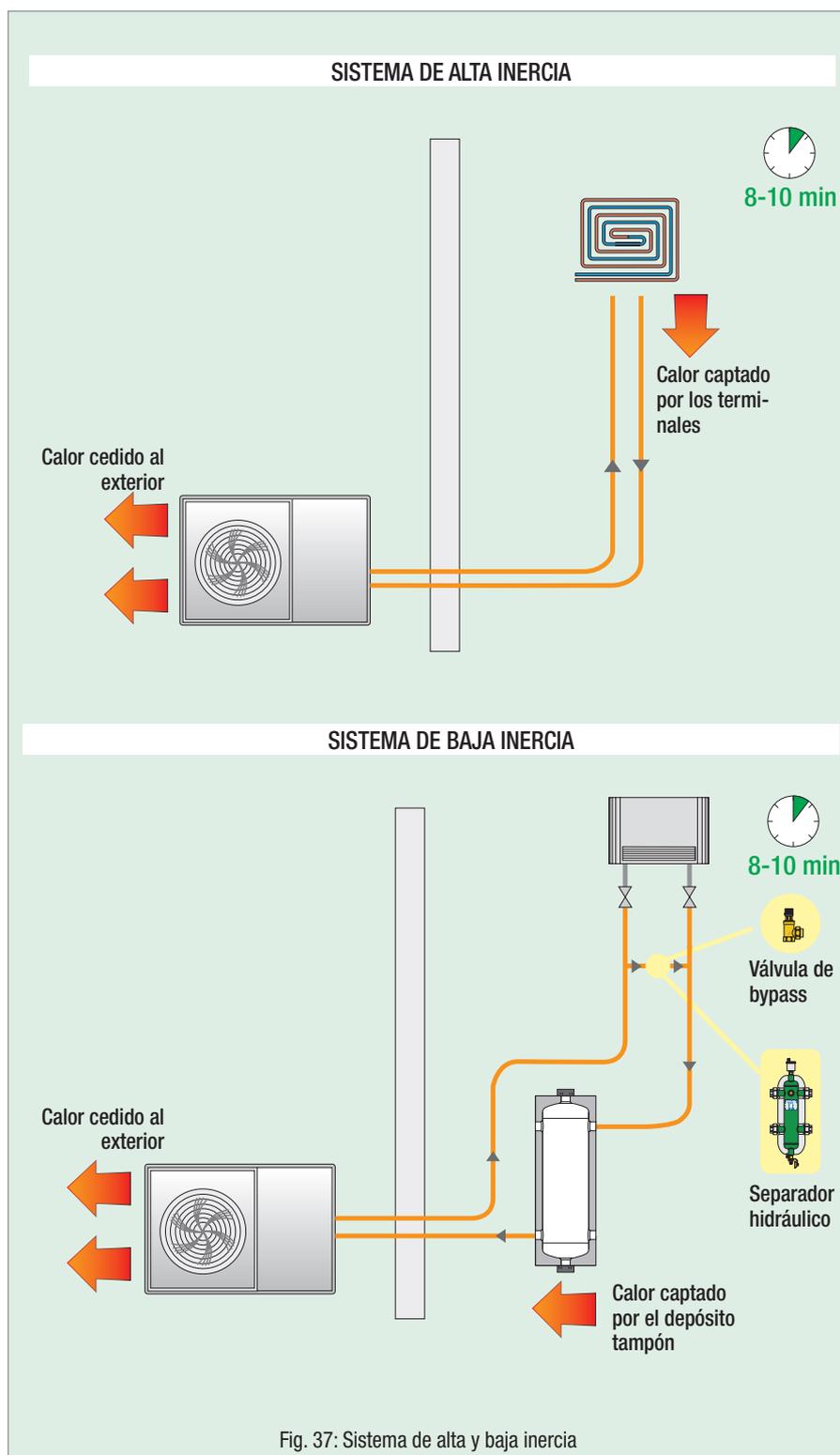


Fig. 37: Sistema de alta y baja inercia

PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA

En general las bombas de calor no tienen potencias suficientes para la producción instantánea de agua caliente sanitaria. Por esta razón, la producción debe realizarse mediante sistemas de acumulación. Puesto que la temperatura de ida durante la producción de agua caliente sanitaria no puede ser demasiado alta, tanto por límites físicos como para evitar rendimientos demasiado bajos, hay que prestar especial atención al diseño. Un acumulador de agua caliente sanitaria (ACS) dimensionado para una bomba de calor requiere volúmenes más grandes y superficies de intercambio mayores respecto a la caldera. Además, debe poder satisfacer toda la demanda de agua caliente sanitaria en horas punta, porque la recarga del acumulador requiere tiempos relativamente largos debido a la potencia disponible limitada.

El **volumen de agua almacenada** debe ser **abundante** para permitir acumular agua a una temperatura comprendida entre 45 °C y 50 °C. Sin embargo, por cada grado de más de temperatura solicitado a la bomba de calor su eficiencia se reduce entorno al 3 %.

El **intercambiador debe estar sobredimensionado** respecto a uno acoplado a caldera, para limitar la diferencia entre la temperatura del ACS y la del agua técnica. Además, intercambiadores de pequeñas dimensiones alargan los tiempos para que el acumulador alcance su régimen de funcionamiento, manteniendo la máquina ocupada durante más tiempo para otra función distinta a la calefacción.

El acumulador debe estar provisto de un **buen aislamiento** para reducir lo más posible las pérdidas térmicas y asegurar ahorros elevados en los costes de gestión.

En general, el acumulador presenta un serpentín sumergido y una mayor superficie de intercambio. Este sistema puede calentar el depósito de agua caliente sanitaria hasta temperaturas de bienestar solo con el funcionamiento de la máquina, o bien mediante el auxilio de un calentador eléctrico de reserva, para alcanzar temperaturas más elevadas. El acumulador puede ser exterior o bien integrado en los módulos de las bombas de calor.

También existen modelos de bomba de calor que, para optimizar más aún el intercambio térmico, utilizan un acumulador técnico y un intercambiador externo de placas para la producción instantánea de agua caliente sanitaria. El calor no se almacena en el agua potable, sino en un depósito de agua técnica donde la estratificación de las temperaturas garantiza la producción de ACS. Con esta solución el agua potable se calienta instantáneamente a través de un intercambiador de calor de acero inoxidable permaneciendo higiénicamente incontaminada.

La producción de ACS se realiza desviando el agua de la instalación mediante una válvula de tres vías. La bomba de calor se encarga del control de la válvula ya que la máquina, además de realizar el intercambio, debe subir su temperatura de ida e invertir el ciclo si estuviera produciendo agua refrigerada. Cuando la producción de ACS se realiza con un acumulador externo, la desviación puede realizarla una válvula de 3 vías, dentro de la máquina o bien fuera (fig. 38). En todo caso, la válvula es controlada por la electrónica de la bomba de calor que detecta la temperatura del acumulador mediante una sonda.

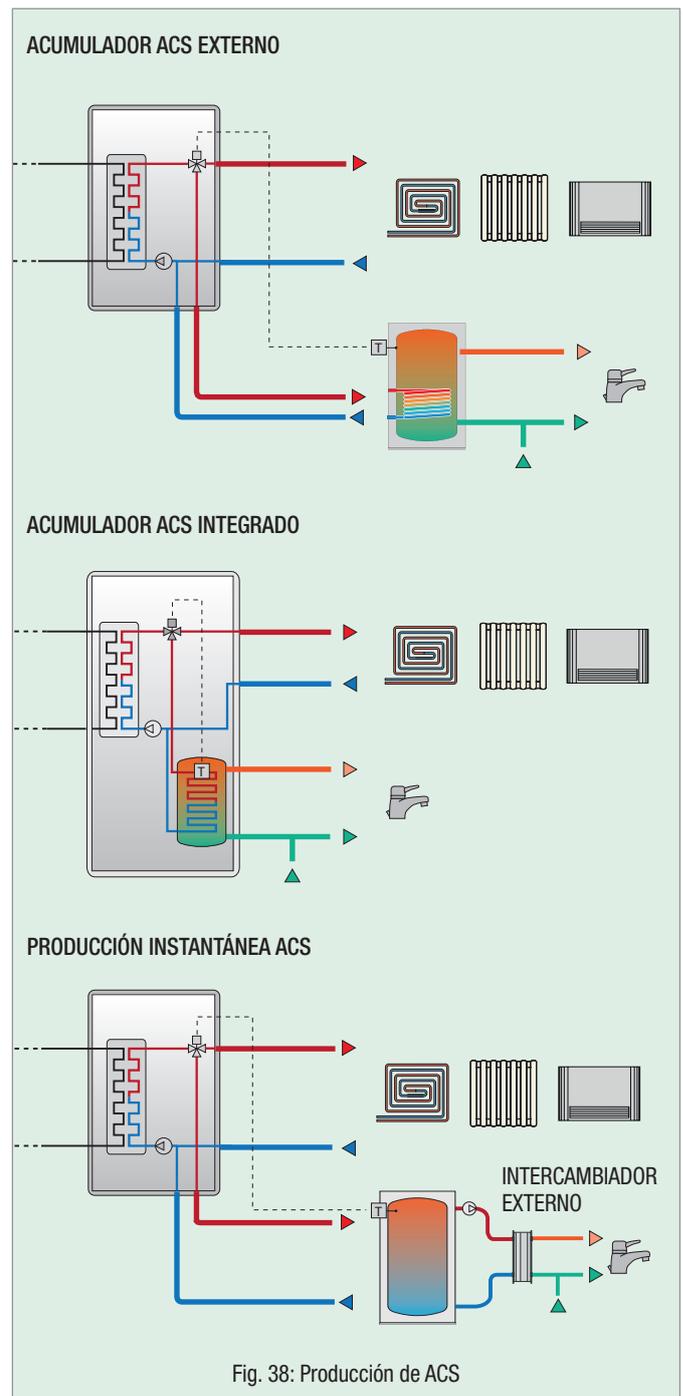
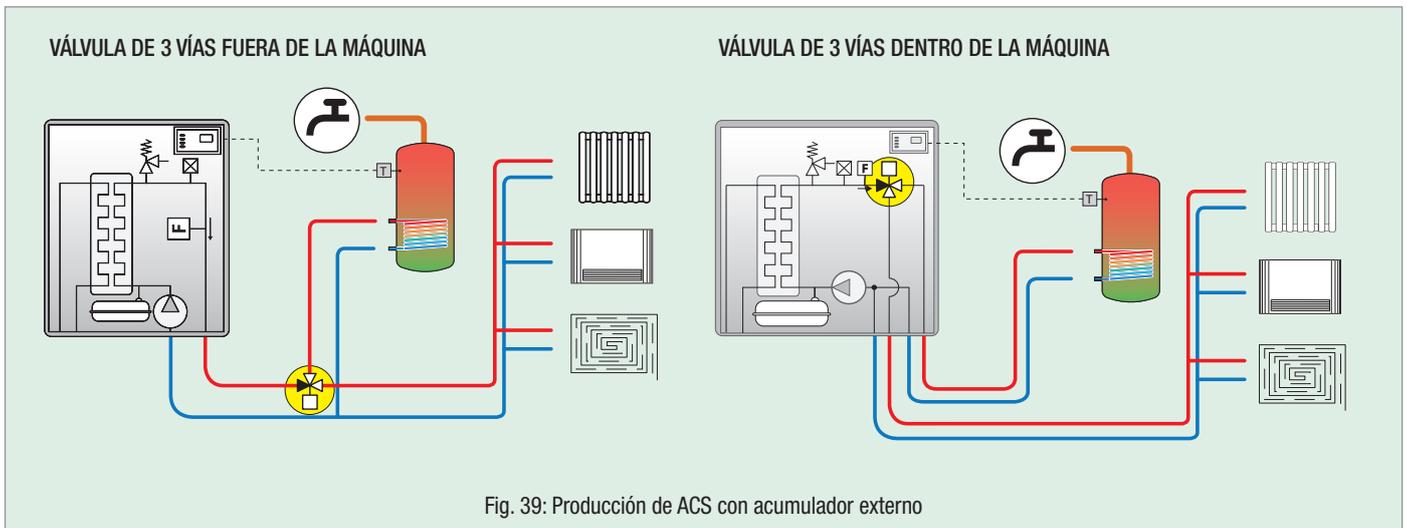


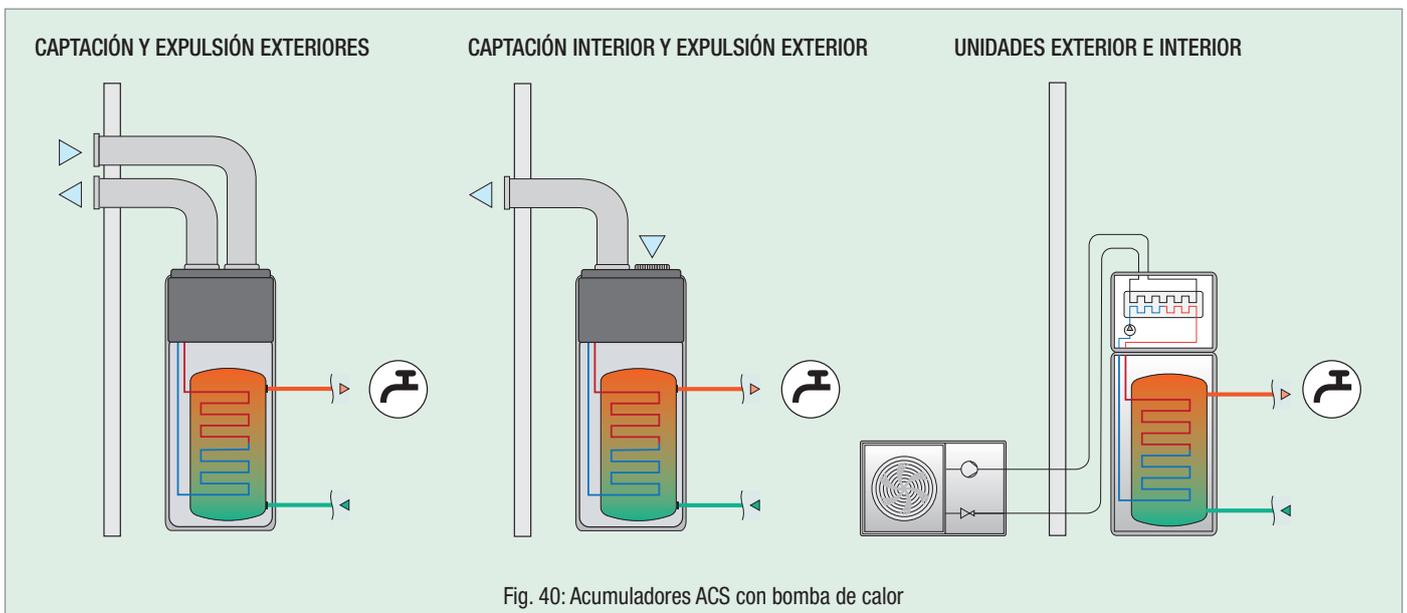
Fig. 38: Producción de ACS

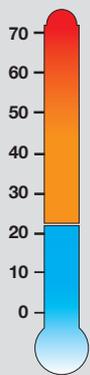


Por último, en algunas aplicaciones es conveniente mantener la producción de ACS separada de la calefacción. Esto se puede hacer en caso de reformas (donde existe la limitación de la distribución de ACS ya existente), en los sistemas centralizados con producción autónoma de agua sanitaria o bien en sistemas de bomba de calor (por ejemplo aire-aire) sin producción de ACS. En estos casos existen **acumuladores con bomba de calor aire-agua**.

Los mismos pueden funcionar por medio de dos conductos hacia el exterior (para captar y expulsar el aire) o bien aprovechando el aire ambiente captado para luego descargarlo al exterior a través de un conducto. También existen modelos provistos de unidad exterior e interior (de dos secciones).

El acumulador con bomba de calor aire-agua, aunque sea más caro, permite evitar la conmutación de frío a caliente, durante la función de refrigeración, aumentando así el rendimiento de la máquina.





PROTECCIÓN ANTILEGIONELLA EN LOS SISTEMAS DE BOMBA DE CALOR

La bacteria de la Legionella sobrevive y prolifera en el agua entre 20 y 45 °C aproximadamente. Por debajo de 20 °C sobrevive en forma no activa. Por encima de 50 °C no hay ningún peligro de que se desarrolle la Legionella, que se elimina en un par de horas. Por encima de 60 °C la muerte de la bacteria se produce en dos minutos, siendo instantánea al superar 70 °C.

La bomba de calor, en funcionamiento estándar, puede suministrar agua caliente hasta unos 55 °C. En estos casos, la protección antilegionella se puede realizar mediante una resistencia de refuerzo de potencia adecuada (**fig. A**). La bomba de calor calienta el agua acumulada hasta la temperatura de consigna y, posteriormente, se pone en marcha la resistencia eléctrica de refuerzo para alcanzar la temperatura de desinfección. Debe prestarse especial atención a la elección de la temperatura de desinfección y al tiempo mínimo de mantenimiento de la consigna antilegionella, con el fin de volver inactivas posibles bacterias presentes en el agua.

Sólo unas máquinas especiales trabajan con temperaturas más elevadas hasta alcanzar 70 °C. Con dichas temperaturas es posible realizar ciclos periódicos de desinfección térmica del acumulador (**fig. B**). En todo caso, el rendimiento en estas condiciones de trabajo es notablemente reducido.

Para la desinfección térmica, no solo del acumulador sino también de la red de distribución (si es especialmente amplia), es imprescindible un sistema de recirculación sanitario tanto en el sistema de la fig. A como en el de la fig. B.

Como alternativa a los tratamientos térmicos, es posible realizar el tratamiento antilegionella con sistemas de desinfección de tipo no térmico (**fig. C**), como el tratamiento con rayos UV, la utilización de microfiltros y el tratamiento con bióxido de cloro o peróxido de hidrógeno.

La producción de ACS a través de un acumulador de agua técnica y un intercambiador externo (**fig. D**), junto con una red de distribución no muy amplia, es el único sistema que no requiere protección antilegionella.

Fig. A: RESISTENCIA ELÉCTRICA DE REFUERZO

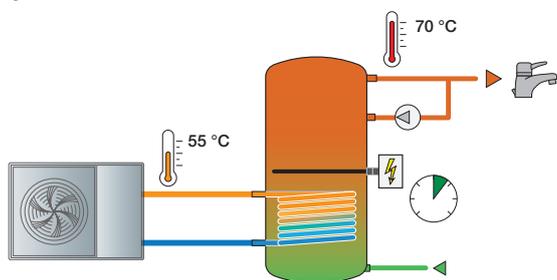


Fig. C: DESINFECCIÓN NO TÉRMICA

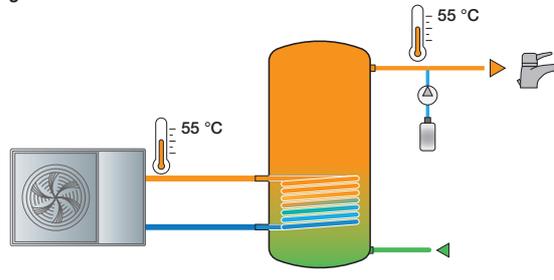


Fig. B: BDC DE ALTA TEMPERATURA

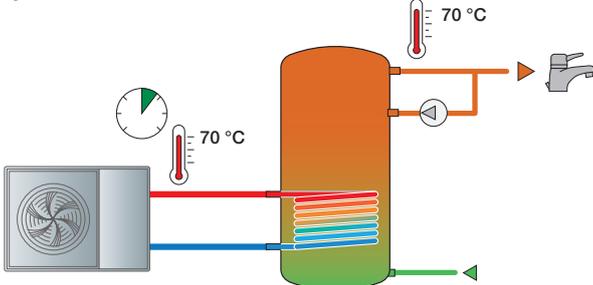
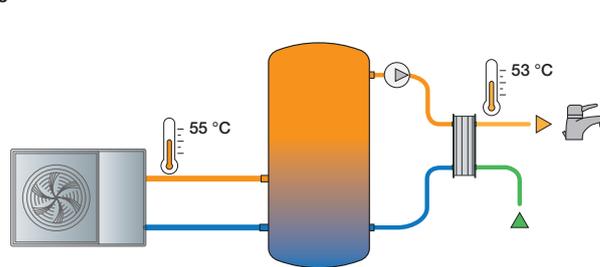


Fig. D: INTERCAMBIADOR EXTERNO



Componentes de un sistema de bomba de calor

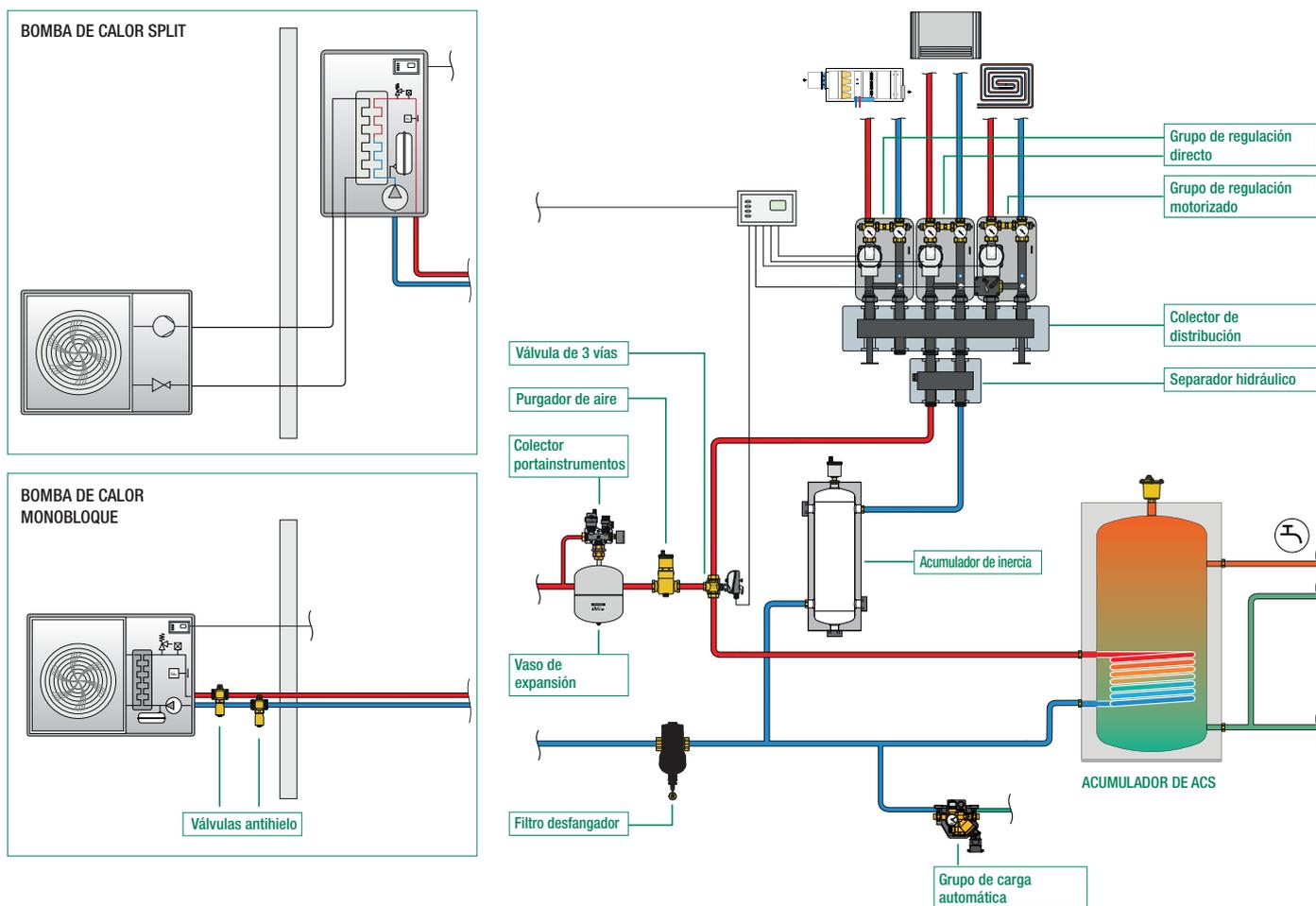


Fig. 41: Esquema típico de un sistema de bomba de calor

TERMINALES DE EMISIÓN

En un sistema de bomba de calor utilizado para calefacción hay que dimensionar los terminales de emisión (elementos calefactores) con la mínima temperatura de ida posible. La elección más sencilla es la utilización de paneles radiantes, en el suelo o el techo. Los fan coils no se ajustan muy bien a las bombas de calor, puesto que no es posible bajar la temperatura de ida en el entretiempo debido a la sensación térmica de frío.

Los nuevos estándares de mercado de las bombas de calor garantizan una temperatura del agua de calefacción hasta 60–65 °C, sin necesidad de resistencias eléctricas, incluso con una temperatura exterior muy baja de -20 °C. Esto permite reducir los costes energéticos e incluir también los radiadores (a menudo ya presentes en las

viviendas) entre los posibles terminales de emisión.

Además, las bombas de calor aire-agua pueden producir agua refrigerada a las temperaturas normalmente utilizadas en los sistemas de refrigeración. No hay limitaciones especiales en el diseño de los sistemas de aire acondicionado por agua asociados a estas máquinas.

RADIADORES DE BAJA TEMPERATURA

Se pueden utilizar **solo para calefacción y sólo si se dimensionan correctamente**. En un sistema totalmente reformado (sustitución de los radiadores), en el diseño se tiene en cuenta la temperatura de ida para calcular la superficie necesaria del nuevo radiador. En cambio, cuando la actuación se concentra solo en el generador (reemplazando una caldera por una bomba de calor), hay que comprobar la potencia

que los radiadores existentes pueden emitir a la nueva temperatura de ida.

Veamos un ejemplo con los datos siguientes:

- carga térmica de la habitación = 700 W
- temperatura de ida = 70 °C
- potencia de cada elemento radiador de aluminio = 150 W (según EN 442).

Se calcula el número de elementos del radiador como relación entre la carga térmica de la habitación y la potencia de cada elemento:
 $700 / 150 = 5$ elementos.

Alimentando el radiador a 40 °C, en lugar de 70 °C, se logra un rendimiento inferior (unos 85 W por cada elemento). El rendimiento total del radiador es de 428 W (85 W x 5 elementos) en lugar de los 700 W requeridos.

Para alcanzar la potencia demandada, existen dos opciones:

1. aumentar el número de elementos hasta alcanzarla (si no estuvieran ya sobredimensionados);
2. actuar en la dispersión para reducir la demanda.

En efecto, a menudo al reemplazar un generador, también se actúa en el aislamiento de la dispersión con la realización de la envolvente térmica, el aislamiento de cubiertas y planta baja y posiblemente la sustitución de la carpintería. Sólo con estas actuaciones es posible mantener los radiadores existentes con la instalación de una bomba de calor.

SUELO RADIANTE

El sistema radiante, de suelo o techo, representa la mejor combinación con la bomba de calor y puede volver más eficaz y económica la instalación. La extensa superficie del sistema radiante garantiza el mejor confort con una temperatura superficial (y por lo tanto de ida de la bomba de calor) más baja respecto a un radiador.

En modo calefacción las temperaturas

típicas de funcionamiento son entre 35 y 40 °C, pero a veces son posibles temperaturas incluso más bajas aumentando el número de tuberías o bien reduciendo el espesor de la capa de mortero. Es posible mantener estas temperaturas de funcionamiento sólo si el edificio está aislado correctamente, ya que la potencia de emisión de un suelo radiante está relacionada con la superficie en la que está instalado.

En modo refrigeración permite producir agua refrigerada a temperaturas más próximas a las que demanda el entorno. La refrigeración radiante, combinada con el correspondiente sistema de deshumidificación, permite mantener una mayor temperatura de ida a los terminales (13/15 °C en comparación con los 7/9 °C de un sistema tradicional). Esto permite un mayor rendimiento del ciclo frigorífico. Sin embargo, para la refrigeración los sistemas radiantes presentan algunas limitaciones como una baja potencia específica, una inercia elevada y el alto coste del sistema de deshumidificación, por lo que a menudo no son económicamente rentables.

FAN COILS

El fan coil puede desempeñar la doble función de calefacción y refrigeración y por ello aparentemente podría ser la integración ideal para la bomba de calor. Sin embargo, **en calefacción**, los modelos más antiguos, alimentados a 65 °C, no se pueden acoplar a las bombas de calor y los actuales, con temperatura de ida entre 45 y 55 °C, rebajan en unos puntos el rendimiento de la máquina sobre todo en entretiempo.

En modo refrigeración aprovechan el agua refrigerada para refrigerar y deshumidificar en una única solución. En efecto, están provistos de una bandeja que permite recoger el vapor condensado durante la deshumidificación. En general trabajan con una temperatura de ida de 7 °C; es posible subir las temperaturas del agua hasta cierto límite (hasta el punto de rocío) para garantizar una correcta deshumidificación de las estancias.

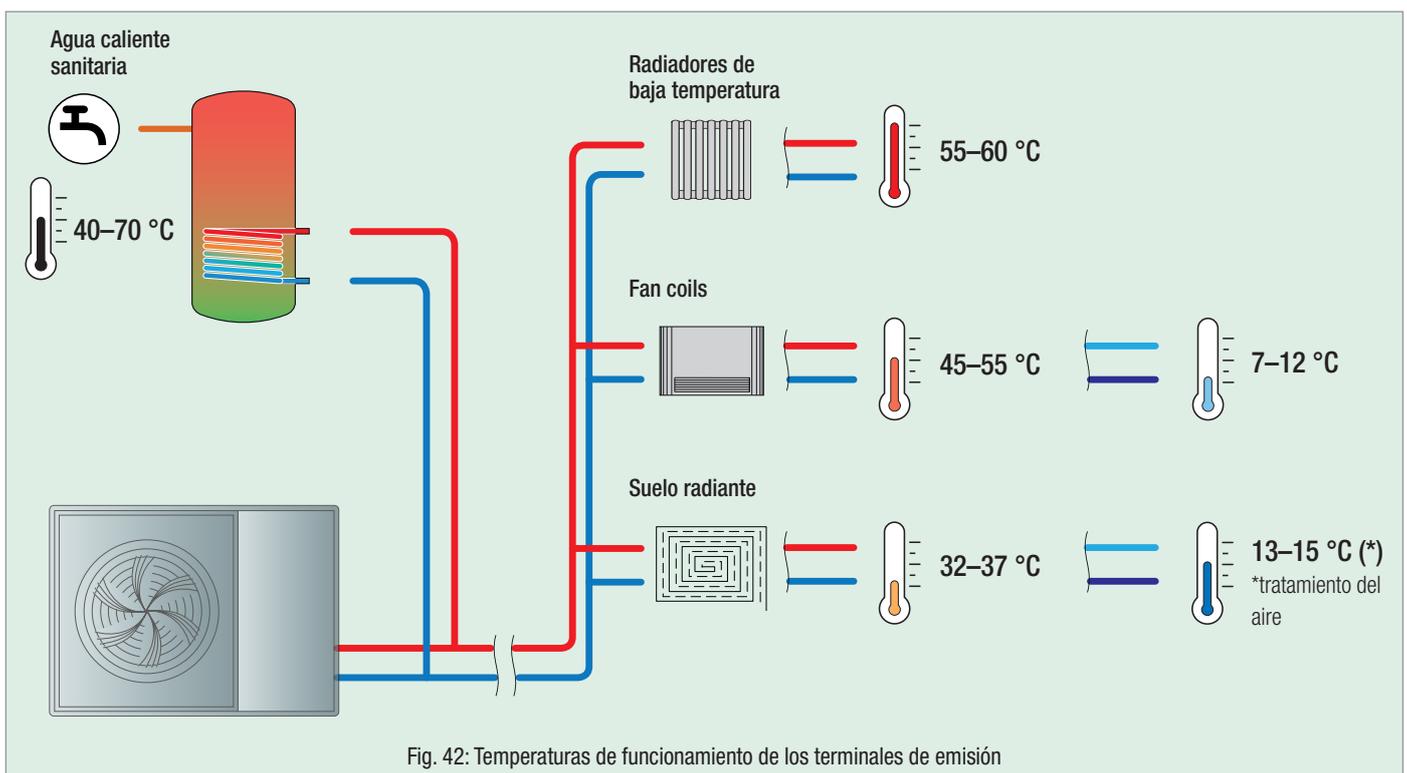


Fig. 42: Temperaturas de funcionamiento de los terminales de emisión

SEPARADOR HIDRÁULICO

En las instalaciones que incluyen una bomba extra, se recomienda separar el circuito primario del secundario a través de un separador hidráulico. El mismo puede estar integrado por un disyuntor hidráulico (de pequeñas dimensiones) o bien por un depósito de inercia instalado como separador. Ambos pueden dividir los dos circuitos (primario y secundario) al estar integrados por una zona de pérdida de carga reducida. Su función es evitar que, debido a las variaciones de los caudales y de las alturas manométricas de las bombas de circulación, se produzcan interferencias entre los circuitos.

La elección del tipo de separador depende principalmente de los caudales máximos en la instalación.

En cambio, en los siguientes casos es necesario instalar un acumulador técnico en lugar de un sencillo compensador hidráulico:

- para garantizar el contenido mínimo de agua (en sistemas integrados preferentemente por fan coils y radiadores);
- para aumentar la inercia térmica de

la instalación con el fin de lograr un mejor control en modulación;

- cuando esté prevista la instalación en paralelo de fuentes de calor alternativas a la bomba de calor (por ejemplo, estufa de pellets);
- para optimizar el funcionamiento durante el proceso de descongelación evitando la introducción de agua fría en el sistema.

Si hay un separador hidráulico o depósito de inercia, es imprescindible equilibrar correctamente los caudales de ambos circuitos, primario y secundario.



DIMENSIONAMIENTO DEL SEPARADOR HIDRÁULICO

Si $G_{PRIM} = G_{SEC}$, con cierta aproximación, se puede considerar que las temperaturas del primario y del secundario sean iguales.

Si $G_{PRIM} < G_{SEC}$, la temperatura de ida del secundario es inferior a la de ida del primario. En un sistema de bomba de calor puede no ser capaz de garantizar la temperatura correcta en los terminales.

Si $G_{PRIM} > G_{SEC}$, la temperatura de retorno del primario (es decir la de retorno al generador) es superior a la de retorno del secundario. En cambio, la temperatura de ida al secundario (ida a los terminales) permanece sin cambios. Este es el caso típico de funcionamiento de los sistemas de bomba de calor que necesitan un caudal constante y suficiente durante todo el funcionamiento, con un diferencial térmico bien definido.

El separador hidráulico *se dimensiona con referencia al*

caudal máximo en entrada. El valor elegido debe ser el mayor entre la suma de los caudales del circuito primario (G_{PRIM}) y la suma de los caudales del circuito secundario (G_{SEC}).

La separación hidráulica induce la recirculación del agua caliente y un aumento de la temperatura de retorno del primario. En un sistema de bomba de calor, esto puede causar ciclos breves de funcionamiento de la máquina perjudicando sus prestaciones. *El aumento del caudal al primario debe controlarse de forma que sea como máximo un 30 % más del secundario.*

Medida	Caudal [m³/h]
1"	2,5
1¼"	4,0
1½"	6,0
2"	8,5

Tabla 4: Caudal máximo en la entrada del separador hidráulico

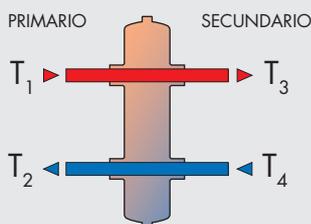
Medida	Caudal [m³/h]
DN 50	9
DN 65	18
DN 80	28
DN 100	56
DN 125	75
DN 150	110
DN 200	180
DN 250	300
DN 300	420

$$G_{PRIM} = G_{SEC}$$



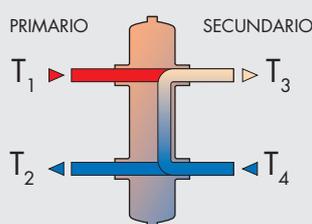
$$G_{PRIM} < G_{SEC}$$

$$G_{PRIM} > G_{SEC}$$



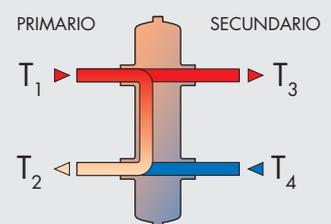
$$T1 = T3$$

$$T2 = T4$$



$$T1 > T3$$

$$T2 = T4$$



$$T1 = T3$$

$$T2 > T4$$

ACUMULADOR DE INERCIA

El volumen de agua mínimo que se requiere para el correcto funcionamiento es fundamental para todas las operaciones de la bomba de calor (calefacción, refrigeración y descongelación) y se debe garantizar incluso en las condiciones más desfavorables, es decir con algunas zonas total o parcialmente cerradas.

Para garantizar un volumen de agua mínimo a la bomba de calor, es posible instalar un acumulador de inercia pres-tando especial atención a su ubicación y su dimensionamiento.

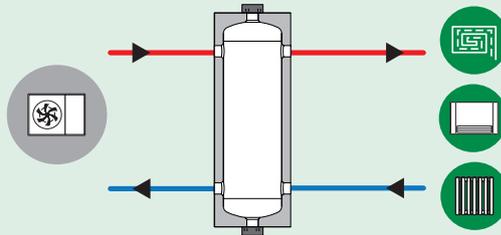
El acumulador de inercia se puede **conectar como separador hidráulico** entre el primario y el secundario, volviendo hidráulicamente independientes ambos circuitos. Este tipo de configuración garantiza una reserva energética para los puntos de consumo y por consiguiente una mayor inercia en los terminales de emisión en caso de apagado de la máquina.

Como alternativa, se puede **instalar en línea en el retorno** del sistema, por ejemplo, donde no hay circuito secundario. En las máquinas ON/OFF y en las máquinas con inversores obsoletos, esta configuración permite disminuir el número de ciclos del compresor, garantizando menos esfuerzos para la máquina. Se garantiza la temperatura mínima de retorno del agua al generador para las operaciones de descongelación del evaporador.

El acumulador técnico **colocado en la ida** desempeña la misma función de volante térmico en el retorno pero, al servir de reserva energética para el sistema de emisión, requiere más tiempo hasta que la instalación alcance su régimen de funcionamiento.

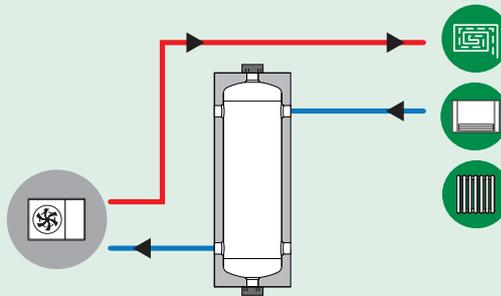
Por último, es posible, instalar el acumulador técnico en la **versión de tres tubos**. Similar a la versión como separador hidráulico, permite compensar hidráulicamente los circuitos y al mismo tiempo proporciona un depósito energético al servicio de los puntos de consumo. La diferencia sustancial es la presencia de una conexión directa de la máquina a los puntos de consumo que permite alcanzar rápidamente el régimen de funcionamiento.

ACUMULADOR DE INERCIA COMO DISYUNTOR TÉRMICO



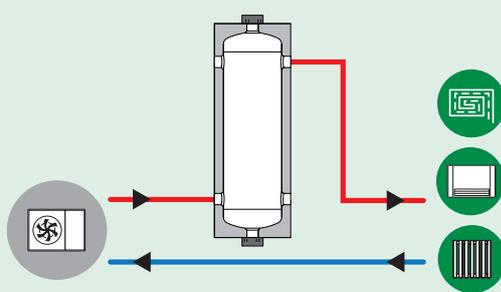
- Separación de los circuitos y volante de inercia (2 en 1).
- Acumulador más eficiente.
- Temperatura de la instalación más homogénea durante la descongelación.
- Posibilidad de utilizar un diferencial térmico en el circuito secundario distinto al de la bomba de calor.

ACUMULADOR DE INERCIA INSTALADO EN EL RETORNO



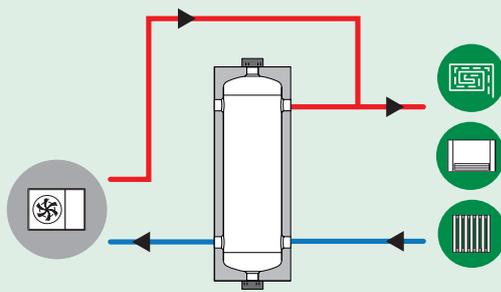
- Rapidez en alcanzar el régimen de funcionamiento.
- Necesidad de separador hidráulico o bypass aguas abajo del acumulador.
- En las máquinas ON/OFF y en las máquinas con inversores obsoletos, esta configuración permite disminuir el número de ciclos del compresor.
- Temperatura mínima de retorno del agua al generador garantizada para las operaciones de descongelación del evaporador.

ACUMULADOR DE INERCIA INSTALADO EN LA IDA



- En las máquinas ON/OFF y en las máquinas con inversores obsoletos, esta configuración permite disminuir el número de ciclos del compresor.
- Se garantiza la continuidad de temperatura a los emisores.
- Contenido mínimo garantizado durante los ciclos de descongelación.
- Necesidad de separador hidráulico o bypass aguas abajo del acumulador.

ACUMULADOR DE INERCIA VERSIÓN DE 3 TUBOS



- Separación de los circuitos y volante de inercia (2 en 1).
- Se garantiza la continuidad de temperatura a los emisores.
- Temperatura de la instalación más homogénea durante la descongelación.
- Conexión directa máquina-puntos de consumo.
- Posibilidad de utilizar un diferencial térmico en el circuito secundario distinto al de la bomba de calor.
- Rapidez en alcanzar el régimen de funcionamiento.

Fig. 43: Conexiones posibles en el acumulador de inercia



DIMENSIONAMIENTO DEL ACUMULADOR DE INERCIA

El volumen del acumulador de inercia depende del volumen mínimo de agua que requiere el fabricante para garantizar el correcto funcionamiento de la máquina también en las fases de descongelación. Este valor se ve afectado por las características de la instalación, su extensión y el modo de gestión (presencia de la válvula de bypass) y debe estar garantizado independientemente del contenido de agua de la bomba de calor y el sistema de emisión: en efecto, con una regulación de zona de 2 vías el contenido de agua del sistema de emisión se excluye del volumen total de la instalación al alcanzar la temperatura ambiente.

El volumen mínimo de agua se puede calcular en función de la potencia de la máquina: **en general se puede asumir un valor de 5–7 litros por kW térmico**. En todo caso es imprescindible seguir las indicaciones del fabricante.

TRATAMIENTO DEL AGUA

En lo que respecta al tratamiento del agua, un sistema de bomba de calor actúa como una instalación tradicional con caldera y está sujeto a las mismas obligaciones de ley (en Italia se recogen en el Decreto de Requisitos Mínimos de 2015). Además, en su documentación técnica muchos fabricantes recuerdan la obligación de cumplir dichos requisitos para la validez de la garantía. Por último, mantener una calidad del agua adecuada para la circulación en la instalación puede permitir un ahorro de energía superior al 8–10 %.

ELIMINACIÓN DEL AIRE

La presencia de un dispositivo de purga del aire es obligatoria en todo circuito cerrado. Por lo tanto, hay que instalar un purgador de aire automático aguas abajo de la bomba de calor y no es suficiente una válvula de purga de aire, excepto en sistemas con un contenido de agua inferior a 300 litros.

ELIMINACIÓN DE LAS IMPUREZAS

Muchas bombas de calor presentes en el mercado están equipadas con un filtro, justo aguas arriba de la conexión de entrada del agua al intercambiador de placas. De lo contrario, los residuos y las impurezas presentes en la instalación podrían atascar el intercambiador y causar la corrosión de otros componentes. Sin embargo, para evitar que excesiva suciedad del filtro en el interior de la máquina provoque una reducción del caudal del circuito y pérdidas de carga adicionales, es oportuno instalar un filtro desfangador en la línea de retorno hacia el generador. Así el filtro desfangador externo, de mantenimiento más fácil, puede retener las impurezas.



DIMENSIONAMIENTO DE PURGADORES DE AIRE - DESFANGADORES

Purgadores de aire y desfangadores se dimensionan en función de la velocidad máxima recomendada del fluido en las conexiones del dispositivo.

Velocidad máxima = 1,2 m/s

Por comodidad se elige la medida del dispositivo dependiendo del caudal máximo recomendado para garantizar un funcionamiento eficiente del dispositivo.

PURGADORES DE AIRE Y DESFANGADORES

DN	20	25	32	40
Conexiones	3/4"	1"	1¼"	1½"
l/min	22	35	58	90
m³/h	1,36	2,11	3,47	5,42

Tabla 5: Caudales máximos recomendados para purgadores automáticos de aire y desfangadores



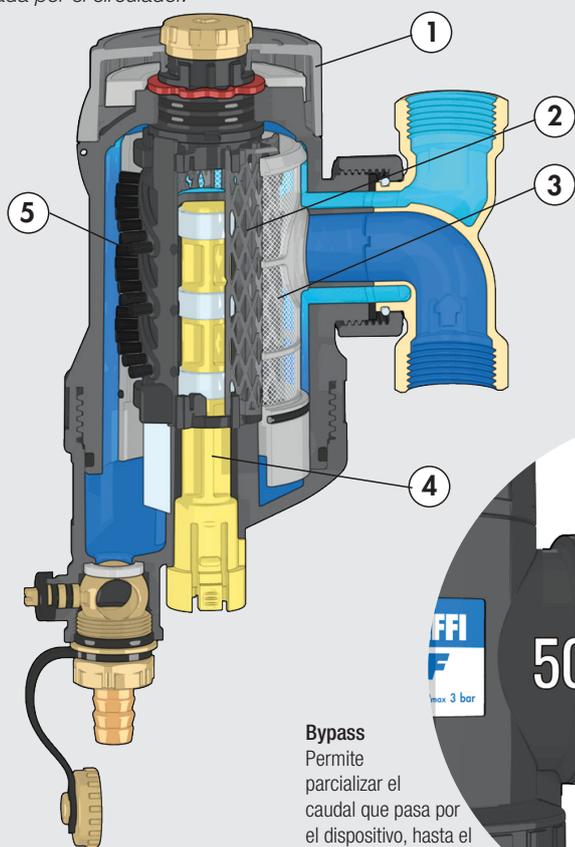
- Elevada capacidad filtrante
- Atracción magnética de las impurezas ferrosas
- Cuerpo de tecnopolímero
- Orientable para montaje en tuberías horizontales o verticales
- Escobillas internas para limpieza de la malla filtrante
- Bypass regulable (sólo en la versión DN 40 y DN 50)

El filtro desfangador magnético CALEFFI XF separa las impurezas presentes en la instalación minimizando el problema de la obstrucción de la malla filtrante. Su funcionamiento se basa en la acción de tres elementos diferentes para garantizar una protección continua del generador y los dispositivos contra las impurezas que se forman en el circuito hidráulico, tanto en la puesta en marcha de la instalación como en condiciones de funcionamiento normales. El agua de la instalación pasa primero a través del **elemento interno reticular** (2) que separa las impurezas más gruesas por colisión, haciéndolas precipitar en la amplia cámara de recogida inferior. Posteriormente, el **imán central** (4) retiene todas las impurezas ferrosas, hasta las más pequeñas. Por último, el agua pasa por el **filtro de salida** (3) que, gracias a su elevada superficie filtrante y a la malla muy fina (0,16 mm), garantiza la captura de todas las impurezas residuales que hubieran quedado tras el paso por los dos elementos anteriores.

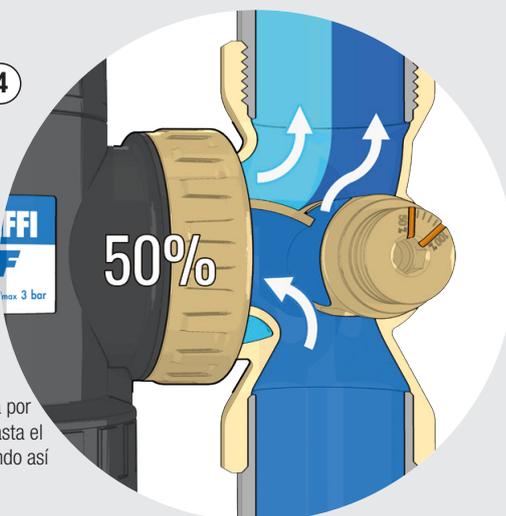
No hacen falta válvulas de corte para realizar el mantenimiento, porque el dispositivo está provisto de un mecanismo de **limpieza de la malla filtrante a través de escobillas internas** (5). Girando el mando superior (1) las escobillas limpian el filtro internamente, haciendo precipitar las impurezas en la parte inferior del componente.

La instalación es sencilla y versátil gracias a la opciones de montaje en tuberías horizontales o verticales.

Las medidas más grandes (DN 40 y DN 50) están provistas de un **bypass** que permite parcializar el caudal que pasa por el dispositivo, hasta el 50 %, aumentando así el valor de Kv y reduciendo la energía utilizada por el circulador.

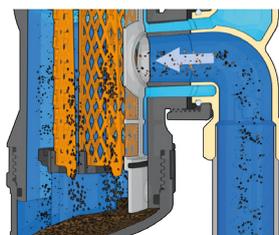


Bypass
Permite parcializar el caudal que pasa por el dispositivo, hasta el 50 %, aumentando así el valor de Kv.



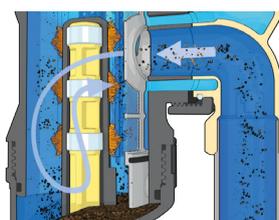
Elemento interno reticular

Favorece la precipitación de las impurezas en la parte inferior del cuerpo.



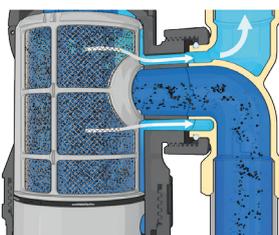
Imán central

Captura la magnetita y las impurezas ferrosas hasta el tamaño más pequeño.



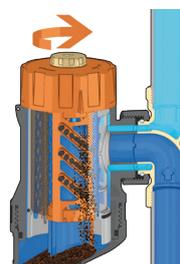
Malla filtrante

Retiene las impurezas residuales mediante selección mecánica de las partículas en base a su tamaño.



Escobillas internas

Girando el mando en la parte superior del componente, es posible limpiar el filtro interno.



ACONDICIONAMIENTO QUÍMICO

El acondicionamiento químico de un sistema de calefacción o refrigeración siempre es obligatorio, con cualquier potencia o dureza del agua. El llenado de una instalación debe realizarse con agua que cumpla los criterios y parámetros de potabilidad. Finalizado el llenado, es obligatorio realizar el lavado de la instalación y, posteriormente, introducir un anticorrosivo y antiincrustante para mantener alta la eficiencia de la instalación.

Especial atención merecen los sistemas de calefacción recientes con bomba de calor, que aprovechan las bajas temperaturas del fluido caloportador, pero que precisamente por ello pueden favorecer la formación de residuos biológicos en las instalaciones. En este caso es imprescindible utilizar un biocida junto con el producto anticorrosivo y antiincrustante. El biocida es útil para prevenir y controlar la proliferación microbiana en un amplio espectro de bacterias y otros microorganismos presentes en las aguas de climatización.

VÁLVULA DE ZONA DE 3 VÍAS

Las válvulas desviadoras motorizadas permiten el control del flujo entre el sistema de climatización y el sanitario. En general el control está a cargo de la electrónica de la bomba de calor, mediante una sonda instalada en el acumulador sanitario.

La desviación del flujo es plenamente eficaz cuando no hay fugas y cuando el tiempo de maniobra es reducido. Precisamente por esta razón las válvulas desviadoras de bola de 3 vías, gracias a su conformación, son preferibles respecto a las de pistón.

La válvula motorizada debe tener un **tiempo de maniobra** idealmente de unos 10 segundos y en todo caso no superior a 50 segundos, para optimizar las operaciones de producción de ACS.



DOSIFICACIÓN DE LOS ACONDICIONADORES QUÍMICOS

En Italia el Decreto Ministerial 26/06/2015 establece siempre el uso de acondicionadores químicos en el interior de los sistemas de calefacción, independientemente de la potencia del generador instalado.

Se dosifican según el volumen de agua presente en el sistema.



DIMENSIONAMIENTO DE LA VÁLVULA DE 3 VÍAS

Al ser una válvula desviadora, se *dimensiona en base al Kv*, el único valor que interesa para que la pérdida de carga sea adecuada a la disponible en la instalación.

Se consideran los siguientes valores medios de pérdida de carga:

- 200–300 mm aprox. (sistema con baja pérdida de carga)
- 500–600 mm aprox. (sistema con alta pérdida de carga)

DN	20	25	32	40
Conexiones	3/4"	1"	1¼"	1½"
Kv	9	12	25	47

Tabla 6: Valores medios Kv

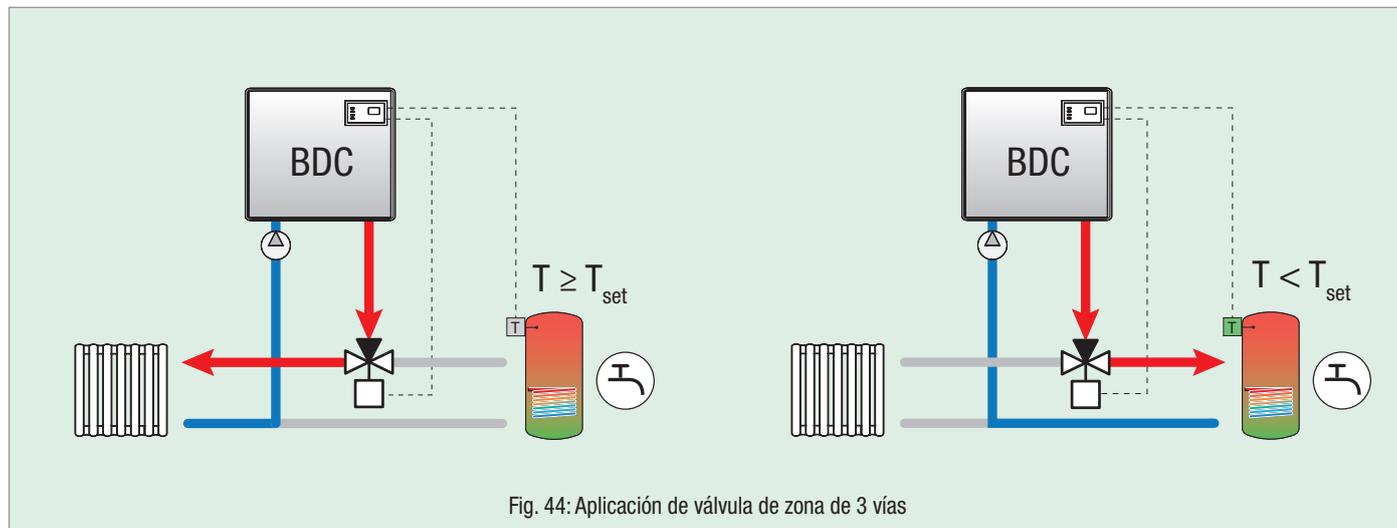


Fig. 44: Aplicación de válvula de zona de 3 vías

¿INSTALACIÓN ELÉCTRICA MONOFÁSICA O TRIFÁSICA?

Las bombas de calor en general, pero más aún las bombas de calor aire-agua, presentan consumos eléctricos considerables. Por esta razón es necesario prestar atención a la elección de la medida de la máquina (consulte “Dimensionamiento de las bombas de calor”, pág. 30), los componentes accesorios de alta potencia eléctrica absorbida, como las resistencias de refuerzo, así como a la gestión y regulación de la calefacción.

Además del consumo de pico es necesario prestar atención al tipo de alimentación eléctrica: las bombas de calor pueden trabajar con alimentación monofásica (en general hasta potencias térmicas nominales de 12 kW) o bien trifásica (en general para potencias absorbidas superiores a 9 kW).

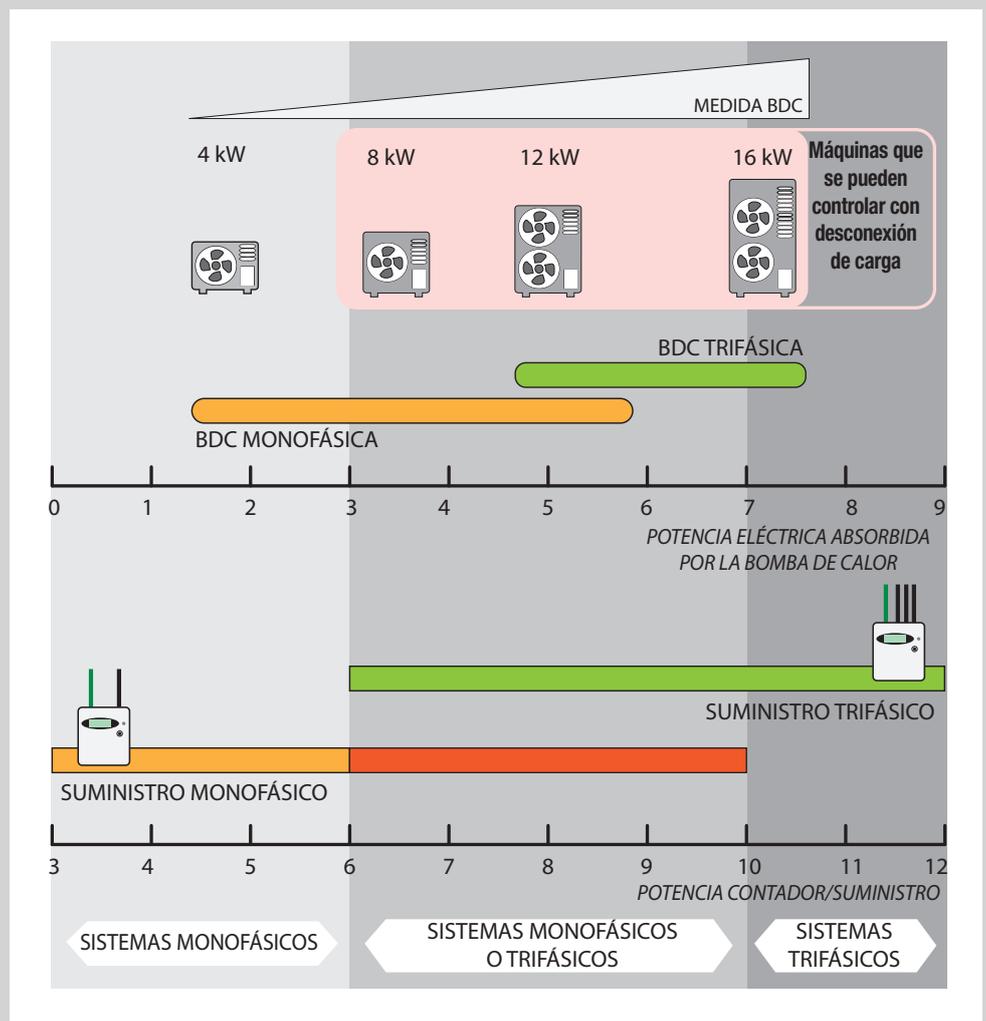
En Italia los suministros eléctricos domésticos pueden ser tanto monofásicos como trifásicos. Los suministros monofásicos están garantizados hasta 6 kW, pero en algunos casos pueden llegar hasta 10 kW previa evaluación y autorización del proveedor. Para potencias absorbidas superiores a 6 kW, es posible obtener el suministro trifásico, obligatorio a más de 10 kW.

A la hora de analizar la instalación doméstica siempre es preferible privilegiar soluciones monofásicas por ser más fáciles de realizar y menos costosas de instalar. Además, los electrodomésticos son monofásicos y por consiguiente, en un suministro trifásico hay que repartirlos en las tres fases para que las cargas estén equilibradas: por ejemplo, en un suministro de 9 kW no es posible derivar una instalación con una única fase de 9 kW. En cambio, será necesario repartir las cargas en tres instalaciones monofásicas de 3 kW, para conectar cada una a una fase del suministro. Esto vuelve aún más costosa la transformación de un sistema trifásico en monofásico.

Dado el límite de potencia de los suministros monofásicos y puesto que los consumos normales de una vivienda son de al menos 3 kW, es fácil alcanzar el límite de suministro para este tipo de alimentación durante el uso de los aparatos eléctricos.

Además, hay que tener en cuenta la creciente difusión de las placas de cocción de inducción, sobre todo coincidiendo con la instalación de las bombas de calor, ya que permiten evitar el suministro de gas natural; estos sistemas incrementan aún más la demanda de potencia eléctrica.

De un primer análisis se podría pensar que las bombas de calor con potencias eléctricas absorbidas mayores de 3-4 kW requieren suministros trifásicos (o monofásicos mayores). Sin embargo, es posible mantener una potencia contratada menor incluso para bombas de calor con mayores potencias eléctricas absorbidas recurriendo a sistemas de control de carga. En efecto, existen sistemas electrónicos que pueden desconectar momentáneamente unas cargas cuando el consumo de la vivienda alcanza el límite de suministro. Los sistemas de control de carga se pueden acoplar perfectamente a las bombas de calor aire-agua ya que una desconexión momentánea del generador no conlleva ninguna disminución del bienestar térmico. Este sistema es esencial cuando se desea renovar el sistema de calefacción y no es posible modificar al mismo tiempo la instalación eléctrica.



DISPOSITIVOS PARA EL MANTENIMIENTO DE LA CIRCULACIÓN

En las bombas de calor es necesario mantener la circulación activa en el intercambiador refrigerante/agua para garantizar la correcta eliminación del calor liberado por los propios intercambiadores y para aprovechar la masa de agua que contiene la instalación durante los ciclos de descongelación.

El bloqueo de la circulación o un caudal de agua insuficiente puede provocar graves fallos y a veces incluso la rotura de algunos componentes de la máquina. Para evitar estos problemas, los fabricantes de bombas de calor prevén la utilización de flujostatos que, a través de una señal, permiten la parada de las máquinas si el caudal desciende por debajo de un valor establecido como límite de seguridad.

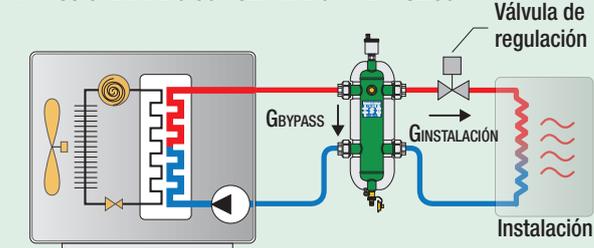
Para garantizar la correcta circulación en las bombas de calor es posible utilizar:

- 1. Separador hidráulico.** Es sencillo y seguro, pero hay que equilibrar correctamente los caudales entre primario y secundario (consulte "Separador hidráulico", pág. 43). Además, requiere sistemas de circulación secundarios. Es el más utilizado para las distribuciones medianas y grandes.
- 2. Bypass calibrado con válvula de equilibrado.** Es adecuado para pequeñas distribuciones sin circuitos secundarios. Sin embargo, requiere calibración y reduce el caudal de la bomba hacia la instalación en una cantidad equivalente a la canalizada en el bypass. Es preferible utilizar este sistema cuando los circuladores están configurados con altura manométrica constante, para poder regular el caudal aliviado a través de la válvula de calibración.
- 3. Bypass con AUTOFLOW®.** Es una solución análoga a la anterior, pero no requiere calibración ni altura manométrica constante.
- 4. Válvula de bypass diferencial.** Es una solución que permite abrir la válvula de bypass diferencial, haciendo circular agua en el bypass, solo cuando disminuye el caudal hacia la instalación. El sistema es apto tanto para circuladores de velocidad fija como de velocidad variable configurados con altura manométrica constante. En este último caso es importante posicionar y calibrar correctamente la válvula de bypass diferencial, para evitar que se quede siempre abierta o siempre cerrada.

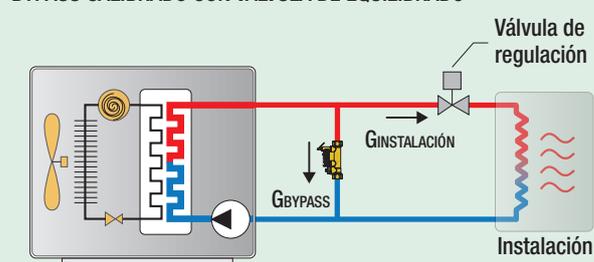
DIMENSIONAMIENTO

Se dimensionan en base al caudal mínimo demandado por la bomba de calor.

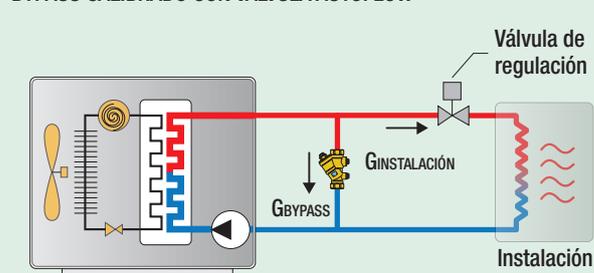
BYPASS CALIBRADO CON SEPARADOR HIDRÁULICO



BYPASS CALIBRADO CON VÁLVULA DE EQUILIBRADO



BYPASS CALIBRADO CON VÁLVULA AUTOFLOW®



BYPASS CALIBRADO CON VÁLVULA DE BYPASS

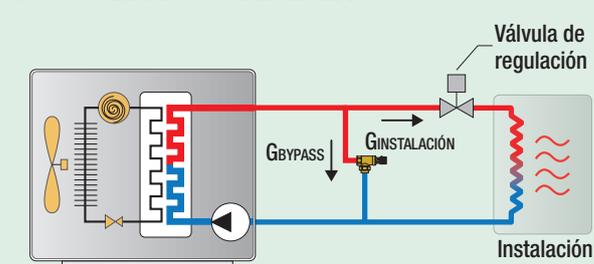


Fig. 45: Dispositivos para el mantenimiento de la circulación

VASO DE EXPANSIÓN

El vaso de expansión es un “recipiente” que se conecta a la instalación térmica y sirve para limitar los aumentos de presión debidos a la variación de volumen producida por el calentamiento/refrigeración del agua en el interior de la instalación. Está integrado por un recipiente dividido en dos partes por una membrana: una para el agua de la instalación y la otra para un gas que se encarga de absorber las variaciones de volumen del agua. La presión de precarga del gas debe ser igual a la presión hidrostática del agua en el punto de instalación más 0,3 bar.

Normalmente las bombas de calor contienen un vaso de expansión: cuando el volumen de dicho vaso no es suficiente para el sistema, hay que instalar uno adicional.

DIMENSIONAMIENTO DEL VASO DE EXPANSIÓN

La capacidad de un vaso de expansión de membrana (diafragma) cerrado para sistemas de calefacción se calcula aplicando la fórmula siguiente:

$$V_n = \frac{e \cdot (V_a + V_v)}{1 - \frac{P_a}{P_e}}$$

Donde

V_n = volumen del vaso de expansión [litros], que se debe calcular

V_a = contenido de agua del sistema [litros]

V_v = mínimo volumen de agua contenido en el vaso en frío, se recomienda el 0,5 % de V_a (mínimo 3 litros) [litros]

V_e = volumen de expansión debido al calentamiento del agua [litros]

e = coeficiente de expansión del agua, calculado en función de la máxima diferencia entre la temperatura del agua con el sistema frío (T₁) y la temperatura máxima de funcionamiento (T₂). Se calcula con la fórmula:

$$e = n/100$$

donde el coeficiente n se obtiene con la fórmula:

$$n = 0,31 + 3,9 \cdot 10^{-4} \cdot tm^2$$

tm² = temperatura máxima admisible en grados Celsius referida a la activación de los dispositivos de seguridad

P_a = presión absoluta inicial del lado del gas [bar] equivalente a la presión P₀ más la presión atmosférica (equivalente a 1 bar) más un posible Δp bomba* correspondiente al circulador

$$P_a = P_0 + 1 + [\Delta p \text{ bomba}]^*$$

Donde

P₀ = presión de precarga del vaso del lado del gas [bar] igual a la presión hidrostática en el punto de instalación (**P_{st}**) más un valor de presión de precaución para asegurar que no haya depresiones en el sistema

$$P_0 = P_{st} + 0,3 \text{ bar}$$

Δp bomba* = el montaje del vaso aguas abajo del circulador prevé que el cálculo de P_a tenga en cuenta la altura manométrica de la propia bomba [bar]

P_e = presión absoluta final del lado del gas [bar], obtenida de la P_{er} más la presión atmosférica (equivalente a 1 bar)

$$P_e = P_{er} + 1 = P_{vs} - 0,5 \text{ bar [o bien } -10 \% P_{vs}] + 1$$

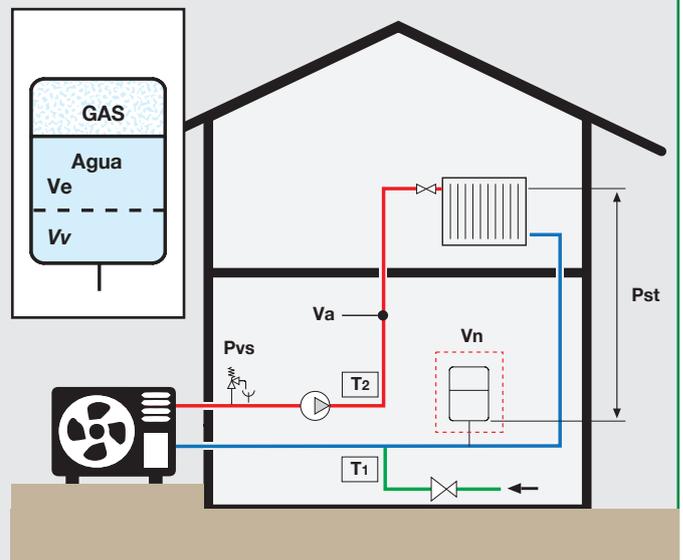
Donde

P_{er} = presión máxima de funcionamiento del sistema del lado del gas [bar], es decir P_{vs} menos un valor de presión que previene la apertura de la válvula de seguridad

$$P_{er} = P_{vs} - 0,5 \text{ bar (si } P_{vs} \leq 5 \text{ bar)}$$

$$P_{er} = P_{vs} - 10 \% P_{vs} \text{ (si } P_{vs} > 5 \text{ bar)}$$

P_{vs} = presión de calibración de la válvula de seguridad [bar]



Ejemplo:

Descripción		Unidad de medida	Valor	
Volumen instalación	V _a	[litros]	200	DATOS INPUT
Presión hidrostática	P _{st}	[bar]	0,6	
Presión calibración v. seg.	P _{vs}	[bar]	2,5	
Presión de llenado	P _f	[bar]	1,5	
Contenido glicol	Gl	%	0	
Temperatura final	T _f	[°C]	65	DATOS CÁLCULO
Coefficiente de expansión	e		0,017	
Volumen mínimo vaso	V _v	[litros]	3	
Presión inicial lado gas	P _a	[bar]	1,9	
Presión final lado gas	P _e	[bar]	3	
Presión máx. funcionamiento lado gas	P _{er}	[bar]	2	
Presión de precarga lado gas	P ₀	[bar]	0,9	
Temperatura inicial	T _i	[°C]	10	
Diferencial térmico	DT	[°C]	60	
Coefficiente	n		1,7	
Volumen vaso expansión	V_N	[litros]	10	



DIMENSIONAMIENTO DEL VASO DE EXPANSIÓN

En los sistemas de bomba de calor es posible dimensionar de forma aproximada el **volumen necesario para la expansión considerando el mismo como aproximadamente el 5 % del volumen máximo de la instalación.**

El valor equivalente al 5 % se ha calculado aplicando las siguientes hipótesis:

- calibración de las válvulas de seguridad = 2,5 bar
- presión de precarga del vaso = 0,9 bar
- temperatura máxima = 65 °C (límite físico de la máquina) con agua sin glicol
- estimación del contenido de agua por tipo de instalación.

Para simplificar el cálculo es posible hacer referencia a la tabla 7 en la que se indica el volumen mínimo del vaso de expansión necesario. **En una máquina normalmente hay un vaso de 6–8 litros. Si esta capacidad no fuera suficiente, para cubrir la diferencia debe instalarse un vaso suplementario en el sistema.**

$$V_{\text{mínimo}} = V_{\text{vaso máquina}} + V_{\text{vaso adicional}}$$

Atención: si hay resistencias adicionales, el volumen necesario para la expansión es aproximadamente el 10 % del volumen máximo de la instalación. La temperatura máxima de cálculo debe considerarse equivalente a 100 °C.

TIPOS DE TERMINALES	 23 l/kW	 fundición 14 l/kW	 acero 11 l/kW	 8 l/kW
Pot. nom. BDC [kW]	V_{MIN} v. exp. [litros]	V_{MIN} v. exp. [litros]	V_{MIN} v. exp. [litros]	V_{MIN} v. exp. [litros]
3	4	2	2	2
4	5	3	3	2
5	6	4	3	2
6	7	4	4	3
7	8	5	4	3
8	9	6	5	3
9	10	6	5	4
10	11	7	6	4
11	12	8	6	5
12	13	8	7	5
14	16	10	8	6
16	18	11	9	6
18	20	12	10	7
22	24	15	12	9
25	27	17	13	10

 Volumen de expansión normalmente incluido en la máquina.

Tabla 7: Volumen mínimo del vaso de expansión en un sistema de bomba de calor aire-agua.

PROTECCIÓN ANTIHIELO

DURANTE EL FUNCIONAMIENTO NORMAL

Las bombas de calor cuentan con una función intrínseca antihielo para proteger el intercambiador de calor gas/agua y las tuberías del circuito hidráulico. Cuando la bomba de calor está apagada y la temperatura exterior desciende por debajo de un valor crítico, se enciende el circulador de la máquina para mantener en movimiento el agua técnica con el fin de evitar su congelación. Si en estas condiciones la temperatura del agua en circulación desciende por debajo de un límite configurado por seguridad, se activa también el compresor para subir la temperatura del fluido hasta un valor óptimo.

Otro sistema de protección antihielo consiste en colocar una resistencia eléctrica en el lado del intercambiador que trabaja con el aire exterior. Así, en determinadas condiciones de temperatura exterior, es posible calentar directamente la superficie del intercambiador para deshacer el hielo que se forma en el mismo.

Haya o no resistencia, a veces los fabricantes solicitan que se instale un cable calefactor alimentado eléctricamente para proteger las tuberías hidráulicas expuestas a los agentes atmosféricos.

SIN SUMINISTRO ELÉCTRICO

En caso de falta de suministro eléctrico, se pueden utilizar los siguientes sistemas de seguridad:

- **glicol.** En todos los tipos de bombas de calor es posible añadir glicol al agua. La concentración del líquido antihielo debe revisarse cíclicamente con control periódico de la estanqueidad de la instalación para evitar posibles pérdidas en el medio ambiente (compuesto tóxico); en caso de necesidad se debe reponer. Al añadir glicol se genera un aumento de las pérdidas de carga debido a la elevada viscosidad del producto. Además, si el glicol alcanza altas temperaturas puede descomponerse volviéndose corrosivo para la instalación.
- **válvulas de protección antihielo,** sólo en presencia de bomba de calor monobloque (o hydrosplit) cuando no se utiliza glicol.

VÁLVULAS ANTIHIELO

La válvula antihielo es un sistema de protección pasivo que permite descargar el agua que contiene el circuito. Cuando la temperatura del agua en la tubería desciende por debajo de 3 °C, el obturador de la válvula antihielo se abre y descarga el agua (es imprescindible un conjunto de llenado activo). El cierre del obturador se produce cuando la temperatura del fluido vuelve a 4 °C.

El dispositivo debe instalarse sólo en posición vertical en la parte baja de las tuberías, evitando las conexiones de sifón y manteniendo una distancia de al menos 15 cm del suelo, para evitar que la formación de una posible columna de hielo en la zona inferior impida la salida de agua de la válvula.

En caso de utilización de válvulas de protección antihielo, hay que configurar la consigna mínima para refrigeración al menos de 2 °C más de la temperatura nominal de descarga de la válvula. De lo contrario, la válvula antihielo podría descargar durante el funcionamiento de la bomba de calor en el modo refrigeración.

Para obviar este problema, en el mercado existen válvulas antihielo completas de sensor de aire para el control del funcionamiento en la temporada estival. En condiciones de temperatura exterior superior a 5 °C, la activación de la válvula antihielo se inhibe gracias a la presencia de un sensor de temperatura del aire. Se evita la activación de la válvula durante el funcionamiento en modo refrigeración en la temporada estival.

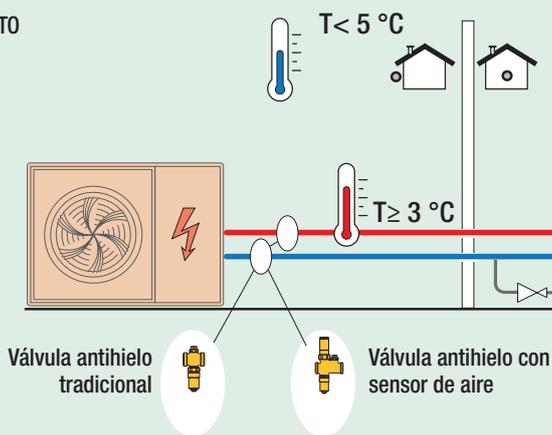
DIMENSIONAMIENTO VÁLVULA ANTIHIELO

El caudal de desagüe no depende del tamaño de la válvula, sino del tamaño de la tubería.

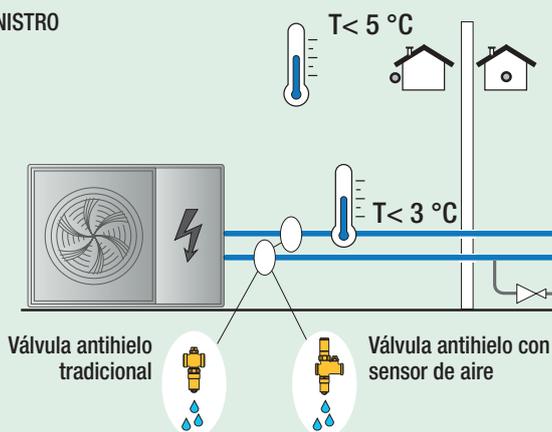
El tamaño de la válvula se elige en función de la tubería.

FUNCIONAMIENTO INVERNAL

FUNCIONAMIENTO EN MODO CALEFACCIÓN

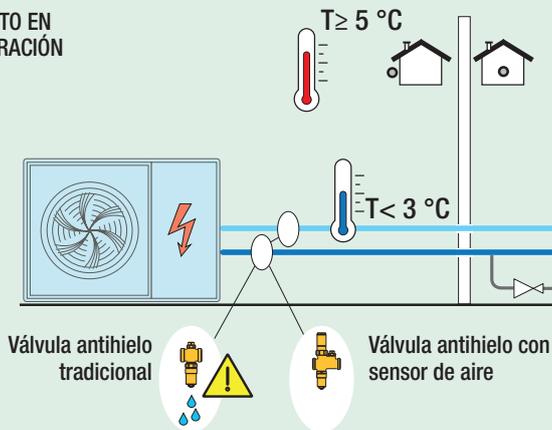


FALTA DE SUMINISTRO ELÉCTRICO



FUNCIONAMIENTO ESTIVAL

FUNCIONAMIENTO EN MODO REFRIGERACIÓN



FUNCIONAMIENTO EN MODO REFRIGERACIÓN

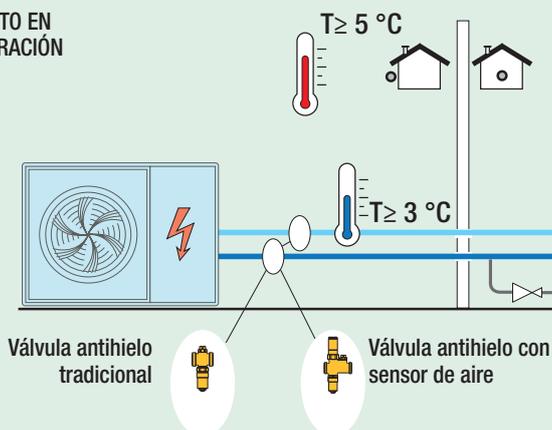


Fig. 46: Funcionamiento de la válvula antihielo tradicional y de la válvula antihielo con sensor de aire

VÁLVULA ANTIHIELO TRADICIONAL Y CON SENSOR DE AIRE

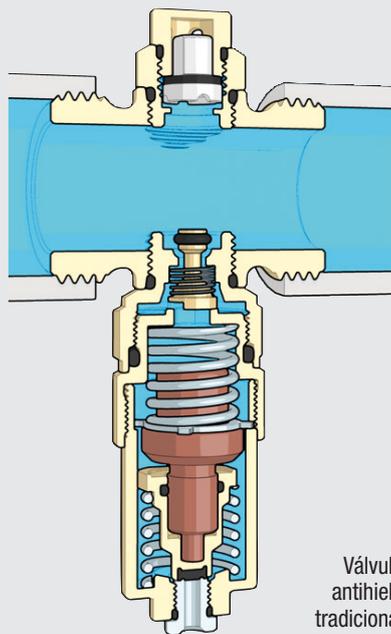


- Protección de la instalación contra el hielo
- Funcionamiento mecánico
- Facilidad de instalación
- Sensor de aire para funcionamiento estival
- Se evita la utilización de glicol

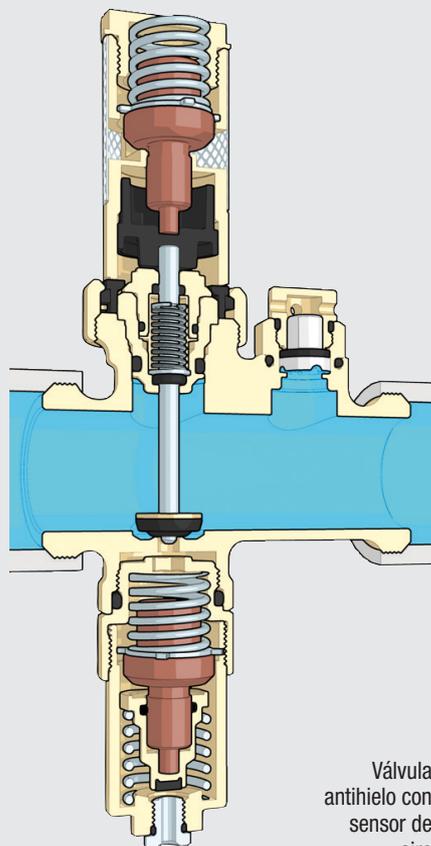
La válvula antihielo permite **descargar el agua** del circuito cuando la temperatura de la misma alcanza **3 °C**. Este valor es típico de la temporada invernal, en caso de **falta de suministro eléctrico a la máquina**.

Durante el funcionamiento estival, cuando la temperatura de ida en modo de refrigeración está por debajo de 3 °C, la **válvula antihielo tradicional** descarga el agua a pesar de que el funcionamiento de la máquina sea correcto.

Para obviar este inconveniente es preferible utilizar la **válvula antihielo con sensor de aire** exterior. En condiciones de temperatura exterior superior a 5 °C, pero con agua en el interior de las tuberías a una temperatura < 3 °C, el sensor de temperatura del aire impide la activación de la válvula antihielo. Se evita así la activación de la válvula durante el funcionamiento en modo refrigeración en la temporada estival.

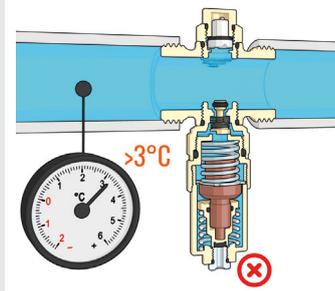


Válvula antihielo tradicional

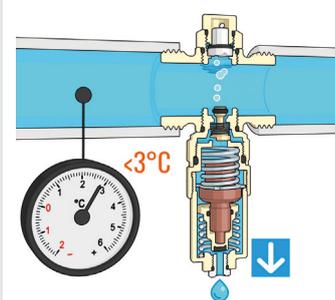


Válvula antihielo con sensor de aire

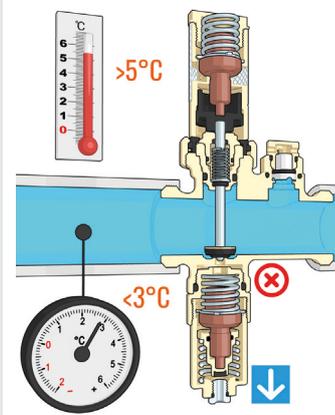
Válvula antihielo tradicional
Funcionamiento invernal con TAGUA ≥ 3 °C



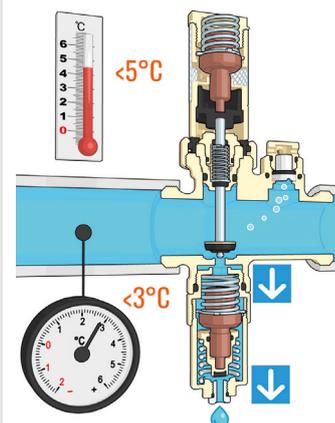
Válvula antihielo tradicional
Funcionamiento invernal con TAGUA < 3 °C



Válvula antihielo con sensor de aire
Funcionamiento invernal con TAGUA < 3 °C y TAIRE > 5 °C



Válvula antihielo con sensor de aire
Funcionamiento invernal con TAGUA < 3 °C y TAIRE < 5 °C

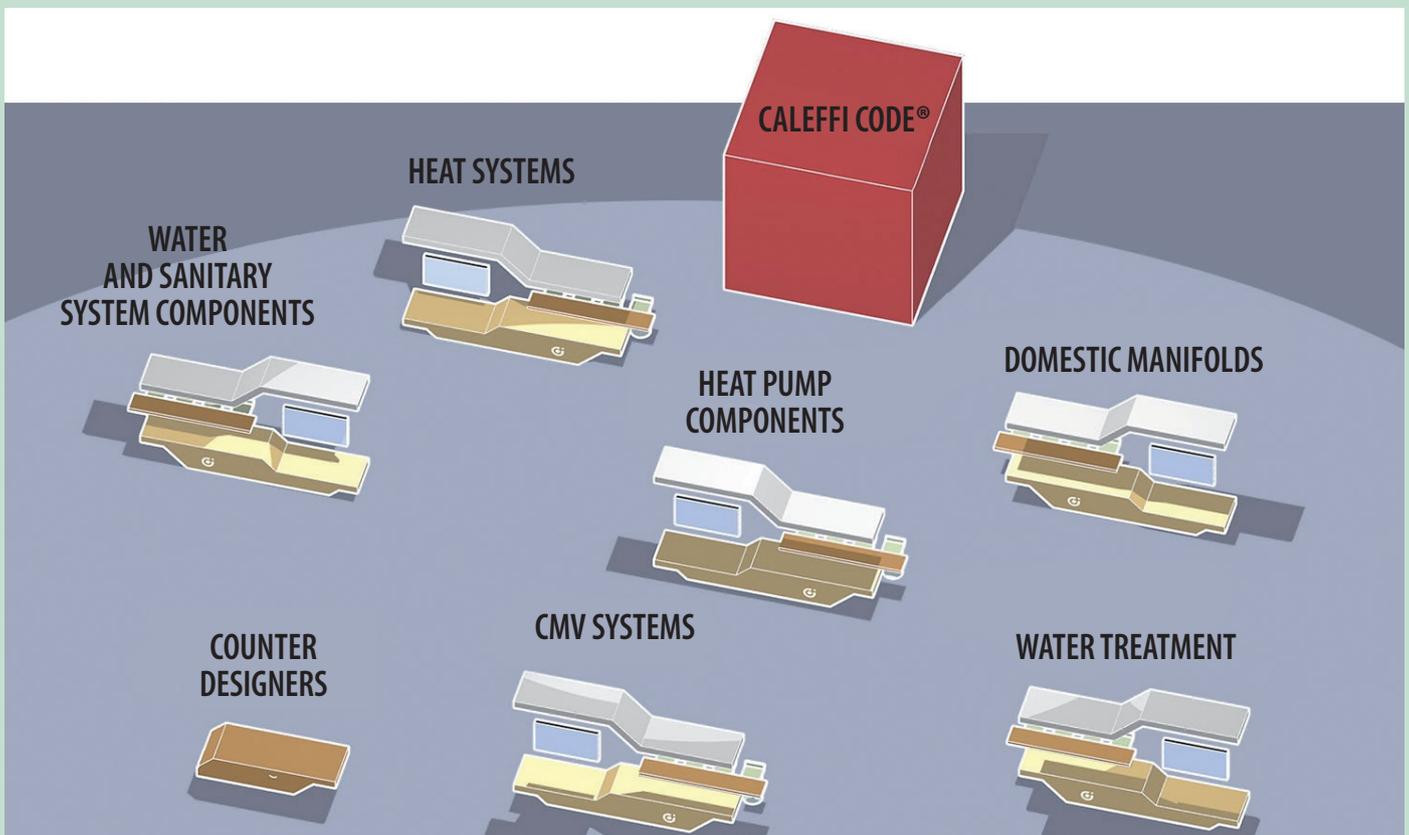


MCE 2022 – LO BONITO DE VOLVER A ENCONTRARSE

Después de unos meses de la **conclusión de la 42ª edición de MCE Convegno Expocomfort**, nos hemos recuperado de las emociones vividas y de la belleza de volver a encontrarnos todos juntos en persona y custodiamos todo ello con júbilo.

Queremos transmitir lo importante que ha sido revivir el contacto directo con quien ha venido a visitar nuestro stand e intercambiar un saludo. **Creemos desde siempre que son las relaciones las que marcan la diferencia, ahora más que nunca.**

Habíamos preparado un recorrido que contara nuestro **Flowing Expertise** a través de varias islas destinadas a presentar no solo los productos, sino más bien lo que somos en su totalidad. Gracias a ingeniería interna, plena gestión y control de los procesos productivos, logística automatizada, atención y respeto por **sostenibilidad** y Made in Italy, hemos intentado hacer que os sumergierais en nuestro mundo para que pudiera convertirse también en el vuestro.



Síguenos en las redes sociales

En nuestra cuenta de Instagram podéis encontrar una serie de fotos sacadas durante el evento, así como en YouTube podéis ver los vídeos grabados sobre el stand.



Para saber más sobre nuestro stand de impacto cero, sigue leyendo

Realizado enteramente con materiales reutilizables o reciclables como vidrio, metales, placas de plexiglás, podemos definirlo con orgullo un stand zero waste.

También hemos solicitado al servicio de catering, como cada año, la máxima atención en este sentido, porque nada debe dejarse al azar, sobre todo si se trata de números de gran impacto.

Damos las gracias a todos aquellos que han estado con nosotros y renovamos la invitación a seguirnos en nuestras redes sociales.

Keep in touch!



CALEFFI XS[®] E XP

**EXTRA SEGURIDAD
EXTRA PROTECCIÓN**



Son nuestra pareja perfecta para las calderas murales. CALEFFI XP garantiza una instalación sanitaria protegida sin perjudicar la potabilidad del agua, CALEFFI XS[®] elimina la suciedad del agua del sistema de calefacción. Pequeños, bonitos y eficientes, trabajan juntos para ofrecer una protección total. **CON LA GARANTÍA DE CALEFFI.**

CALEFFI XS[®]



CALEFFI XP

