



DeepL

Suscríbete a DeepL Pro para poder traducir archivos de mayor tamaño.

Más información disponible en www.DeepL.com/pro.



Análisis de los distintos métodos de instalación en el rendimiento de la bomba de calor

Pruebas realizadas por Brendon Uys

Heacol Ltd 23 Kingsway Ulverston Cumbria www.heacol.co.uk

CÓMO INSTALAR CORRECTAMENTE LAS BOMBAS DE CALOR

para que funcionen correctamente y tengan un buen COP invernal y estacional

Este título me lo dieron los organizadores de PowerEx live cuando me pidieron que hiciera una presentación para ellos en diciembre de 2022. Desde hace varios años defiendo una estrategia de diseño de calefacción directa para la instalación de bombas de calor, en contra de la mayoría de las recomendaciones de los expertos del sector y de los fabricantes.

El sector de las bombas de calor tiene una reputación relativamente mala en cuanto a rendimiento, fiabilidad, confort y costes de instalación. Así lo demuestran claramente varios informes realizados por:

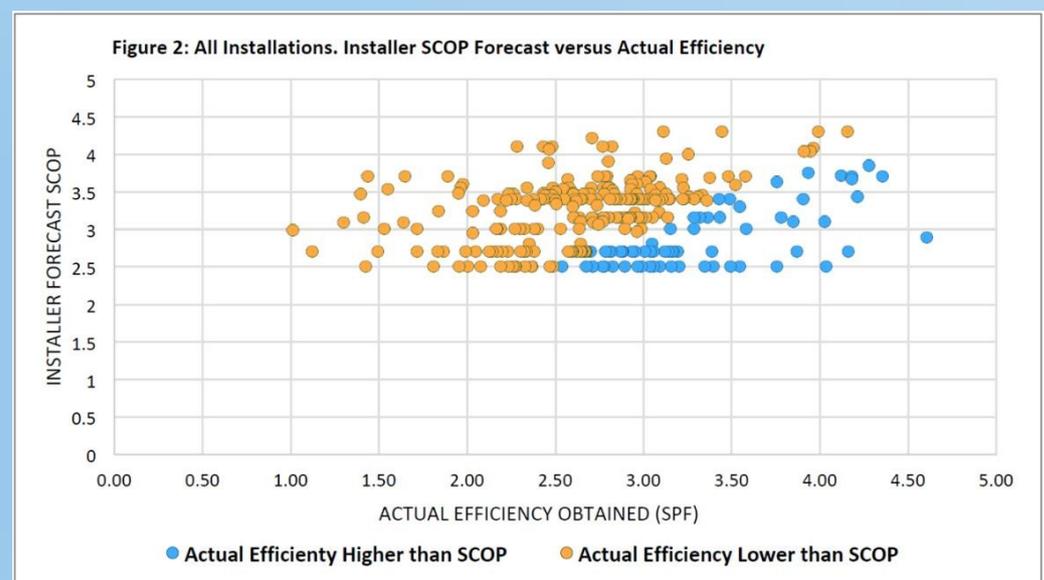
The Energy Saving Trust Getting warmer: a field trial of heat pumps in 2010 with a mid-range efficiency of around 2.2 (this report was withdrawn by government as the industry stated that it was woefully inaccurate)

The Energy Saving Trust, the heat is on: phase 2 heat pump field trials, (a replacement for the previous) which reported and SPFH4 of 2.45

El análisis del Instituto de la Energía de la UCL sobre la RHPP en 2017, que informó de un valor SPFH2 en torno a 2,65 €.

Y, por último, el informe del RECC (Renewable Energy Consumer Code) sobre el análisis de los datos de Ofgem "Metering for Payment" realizado en 2020, en el que se indicaba un SPF de 2,67.

A continuación se muestra un gráfico de dispersión del documento de RECC que muestra el rendimiento de las bombas de calor frente al rendimiento SPF previsto publicado por los distintos fabricantes y suministrado a MCS. Se incluyen tanto las instalaciones de aire como las de suelo. El rendimiento de las instalaciones geotérmicas es ligeramente superior (3,15).



Niveles de rendimiento SCOP predichos por los fabricantes en varias unidades de 12 kw con una temperatura de flujo de 35 °C

► Mitsubishi Ecodan	3.99
► Samsung	4.75
► Daikin Altherma	4.35
► Nibe	4.21
► Tapa Panasonic T	5.09
► Valiente	4.88

Media: 4.54

Según las cifras declaradas anteriormente y las cifras reales de las pruebas de campo, existe una diferencia significativa entre los niveles de rendimiento previstos y los reales. La diferencia es de casi un 200% más de calor captado de la atmósfera en las cifras previstas. Esto se debe en parte a la forma en que los fabricantes y comerciantes recomiendan la instalación de bombas de calor.

SPFH4 se refiere al factor de rendimiento estacional, o eficiencia media anual de todo el sistema. Por ejemplo, el SPF del último análisis de prueba fue de 2,67, lo que significa que, por cada 1 Kw hora de electricidad utilizada, se obtienen 1,67 Kw hora de calor gratuito del aire, el suelo o el agua. Esto da como resultado un factor de rendimiento estacional (SPF) o coeficiente de rendimiento estacional (SCOP) de 2,67, es decir, por cada 1 Kw hora de electricidad que se utiliza, se producen 2,67 Kw hora de calor. En comparación, un ventilador eléctrico o un calefactor de barra que produce 1 Kw hora de calor por cada 1 Kw hora de electricidad utilizada (un SCOP de 1). 1 Kw hora de electricidad equivale a 1 unidad de electricidad comprada al proveedor de electricidad, medida en el contador doméstico.

H5 se refiere a los límites de la instalación que se está midiendo y a qué equipos consumidores de energía se incluyen en la muestra para calcular la eficiencia global. Para mayor claridad, a continuación se muestran los límites correspondientes.

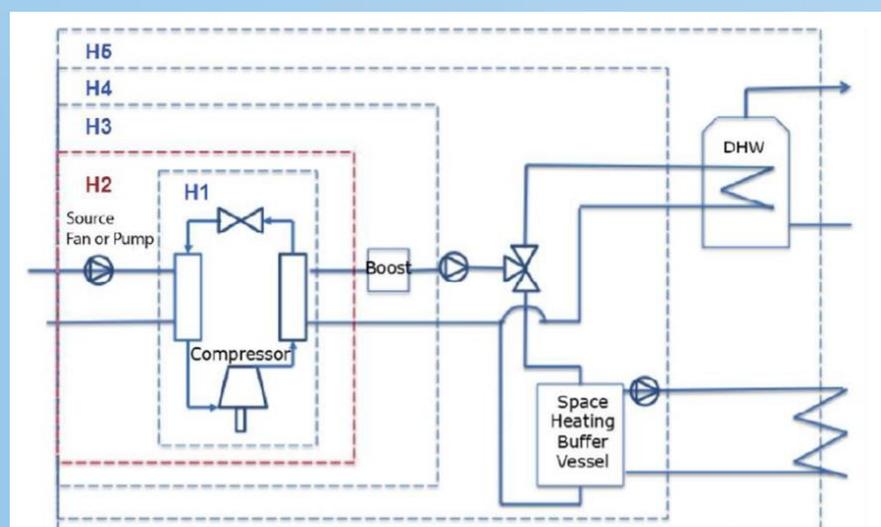


Figure A 1 SEPEMO system boundaries (derived from Riviere et al., 2011) with the addition of H5 boundary that accounts for heat losses from the hot water cylinder.

Lo que muestran todos estos informes es que ha habido pocas mejoras en el rendimiento real de las bombas de calor desde 2010, independientemente de lo que digan los fabricantes y el sector, y es sorprendente teniendo en cuenta la importante mejora de la tecnología en ese periodo.

Basándome en estas pruebas irrefutables de bajo rendimiento y en el historial de Heacol de instalaciones de alto rendimiento con niveles de rendimiento SPFH4 superiores a 4, decidí aceptar el reto y mostrar a la gente lo que está ocurriendo.

Para conseguirlo, decidí utilizar el banco de pruebas que desarrollé junto con la Universidad de Ulster para probar nuestra unidad Heat Box (un sustituto directo de la caldera combi que produce toda la calefacción y agua caliente instantánea con una bomba de calor), actualmente en desarrollo, para realizar pruebas similares en tres estrategias diferentes de instalación de bombas de calor. Se excluyó la producción de agua caliente sanitaria, ya que se trata generalmente de una producción, temperatura y carga fijas en todas las instalaciones y los niveles de rendimiento están bien documentados por los fabricantes; además, en realidad, en el Reino Unido representa una parte relativamente pequeña de la carga anual de calefacción.

Para obtener un conjunto de datos utilizables, decidí excluir el sistema de calefacción, de modo que se pudieran realizar pruebas similares para demostrar el efecto de los depósitos de inercia recomendados. El banco de pruebas se compone de un depósito térmico de 500 litros que simula la masa térmica de una vivienda, un intercambiador de calor de placas que simula el sistema de calefacción por radiadores o suelo radiante que calienta la vivienda [el depósito térmico] y la fuente de calor acoplada a esta placa. Para la fuente de calor, utilizamos la última bomba de calor Panasonic R32 conectada al intercambiador de calor de tres formas distintas, utilizando tres estrategias de control diferentes. Además, hay un vertedero de calor agua-aire y agua-agua que simulan la carga que el frío impone al sistema.

Todas las pruebas se realizaron en el límite H4.

La primera: es la estrategia de control de disposición de tuberías más común instalada en el Reino Unido durante los últimos 10 años, se trata de un depósito de inercia de cuatro puertos controlado por termostato de terceros.

La segunda: también es una estrategia común de disposición y control que utiliza el depósito de inercia de cuatro tubos controlado por compensación meteorológica, una temperatura de flujo constante que varía en función de la temperatura ambiente exterior.

La Tercera: un sistema directo al sistema de distribución desde la bomba de calor controlado por el controlador de la bomba de calor, manteniendo una temperatura constante en el almacén térmico (casa).

Todos los escenarios se operaron para mantener una temperatura constante de 20 grados C en la propiedad (almacén térmico). Estas tres pruebas nos permitieron evaluar y comparar el rendimiento y la eficiencia de cada estrategia

de instalación en un entorno similar sin ninguna otra interferencia.

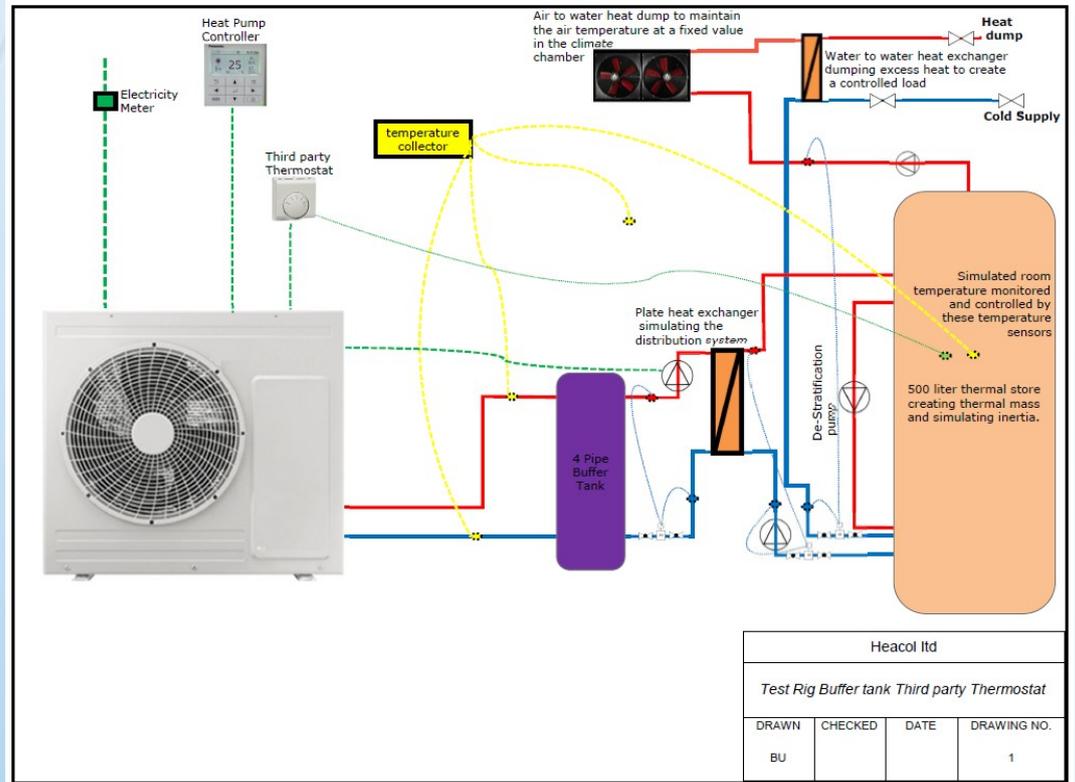
Se recopilamos datos en intervalos de hasta 5 segundos de 3 contadores de calor de clase 1 y un contador de electricidad de clase 1. También pudimos recopilar datos de la bomba de calor que mostraban la velocidad del compresor y otros ajustes y lecturas relevantes.

Heacol Ltd 23 Kingsway Ulverston Cumbria www.heacol.co.uk

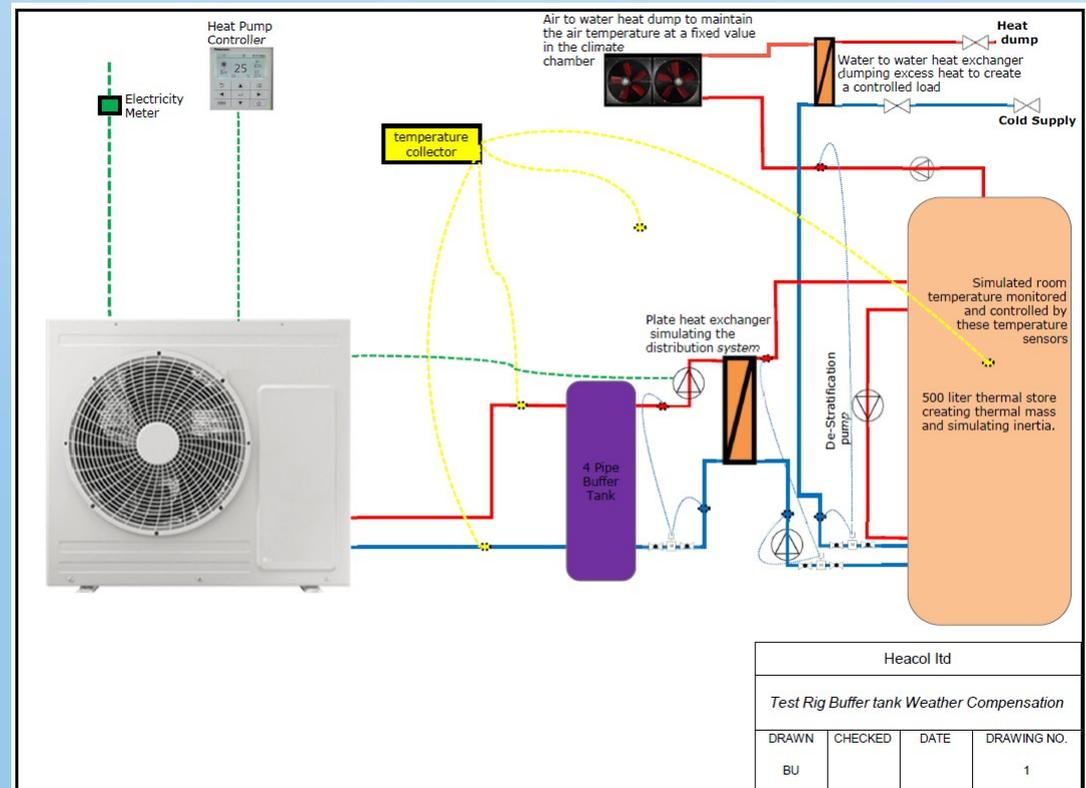
Los datos recogidos incluyen toda la energía utilizada asociada a la producción de calor. Estos datos se recogieron y analizaron para obtener los resultados.

Los siguientes diagramas muestran los tres métodos de canalización que utilicé durante las pruebas.

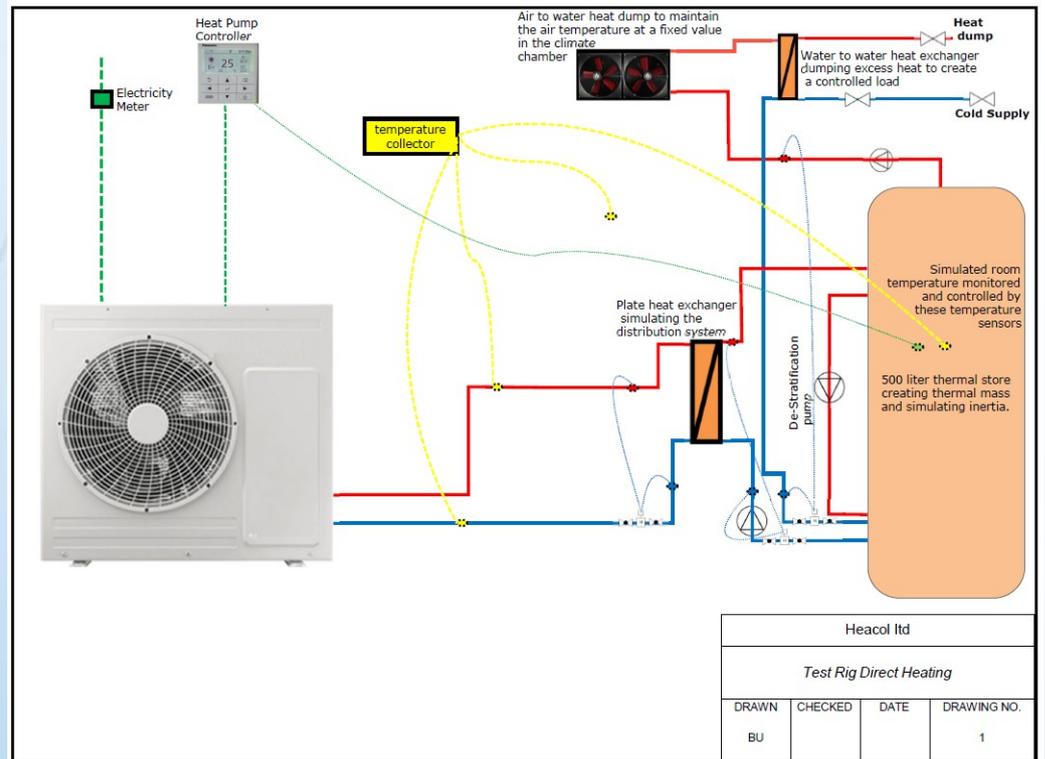
Depósito de inercia y termostato de terceros



Depósito de inercia con control de compensación meteorológica



Calefacción directa con la bomba de calor controlando la temperatura interior



Método

El objetivo principal de esta prueba era obtener un resultado preciso, verificable y repetible al mejor nivel de rendimiento posible para ese escenario de tuberías concreto, manteniendo el mayor número posible de variables fijas. Las variables permitidas fueron:

- Trazado de tuberías hasta el sistema de distribución en 3 escenarios diferentes
- Temperatura de flujo para alcanzar la temperatura de estado fijo dentro del acumulador térmico.

Para conseguirlo, instalamos el sistema en el interior de mi moderna y bien aislada nave industrial y creamos unas condiciones climáticas fijas a 7 °C. El motivo es que todas las pruebas estándar de las bombas de calor se realizan a esta temperatura utilizando la norma de prueba BS14511 (que figura en los datos publicados por todos los fabricantes). Esta temperatura se mantuvo electrónicamente mediante un soplador de aire que extraía el calor del almacén térmico y calentaba la unidad que estaba siendo enfriada por la bomba de calor.

Cada prueba se configuró para mantener un estado estable de 20 °C en el acumulador térmico ajustando la curva de compensación meteorológica en el controlador de la bomba de calor hasta alcanzar el estado estable, empezando en un punto bajo y subiendo lentamente hasta alcanzar y mantener la temperatura deseada en el acumulador térmico. Esto se hizo para evitar un suministro excesivo de calor, que reduciría el rendimiento y aumentaría los ciclos del equipo y una mayor reducción del rendimiento.

La carga se determinó utilizando los cálculos de pérdida de calor de uno de nuestros proyectos que se completó hace unos años. Se trataba de una casa de unos 40 años, de dos plantas, con doble acristalamiento y 300 mm de aislamiento en el desván. La carga térmica prevista a -3 °C era de 10,63 Kw y, al cambiar la temperatura exterior de -3 °C a 7 °C, la pérdida de calor prevista se redujo a 6,5 Kw.

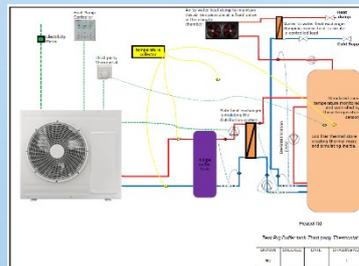
Durante las 3 pruebas extrajimos 6,5 Kw constantemente del acumulador térmico simulando esta pérdida de calor. Esto se consiguió calentando el aire y completándolo con un vertido de agua fría a través de un intercambiador de calor de placas. El caudal entre el intercambiador de calor de placas y el acumulador térmico también se mantuvo igual durante las 3 pruebas, aunque modificamos este caudal para ver el efecto en el sistema. La alteración del caudal se ajustó con bastante precisión a los patrones de comportamiento que hemos observado en varios diseños de sistemas de calefacción. Nos decidimos por un caudal que simulaba un sistema de radiadores que mantenía la temperatura de retorno de la temperatura ambiente a 20 °C, y la temperatura del caudal variaba en función de la temperatura de suministro de calor, al igual que un sistema de radiadores reaccionaría a la temperatura ambiente.

La diferencia de temperatura entre las temperaturas de ida y de retorno (Delta T o ΔT) de la bomba de calor se mantuvo en un valor fijo de 5 Deg C por parte de la bomba de calor (la configuración predeterminada en la unidad Panasonic)

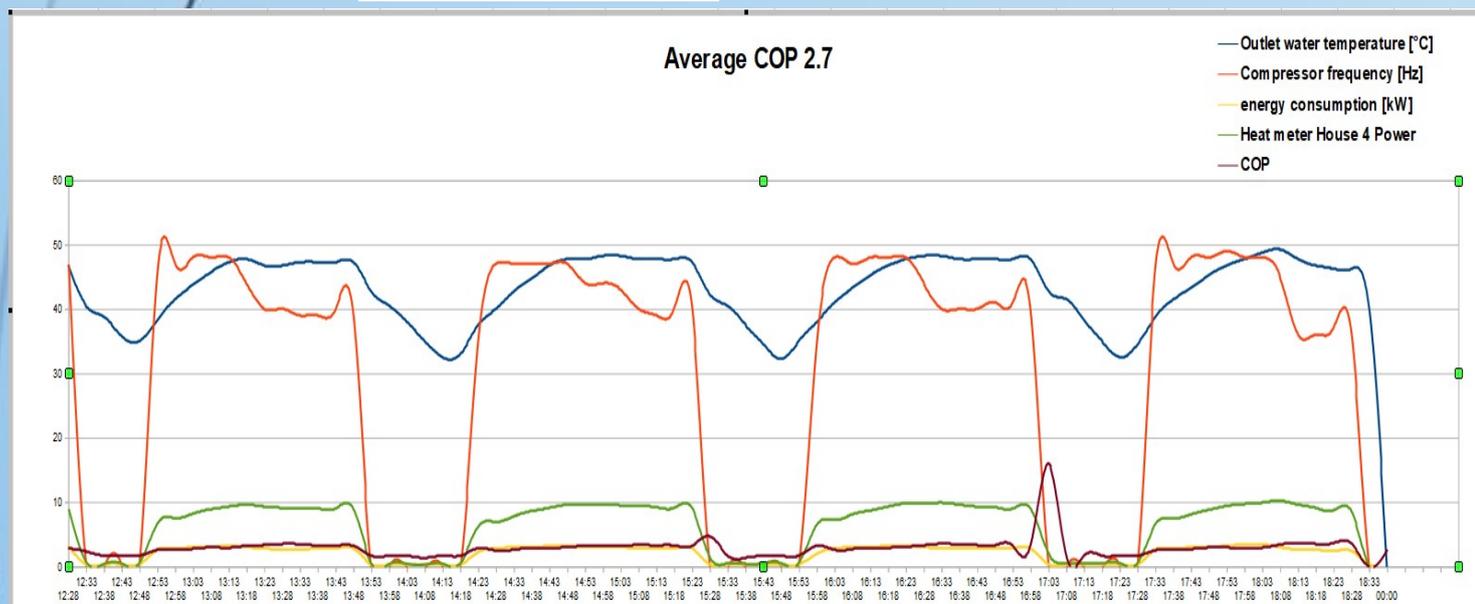
El caudal que sale del depósito de inercia se fijó en 30 litros por minuto, que es el caudal necesario para mover 10,63 Kw de calor (la carga máxima de las casas a una temperatura ambiente de -3 °C) a un ΔT de 5.

Resultados

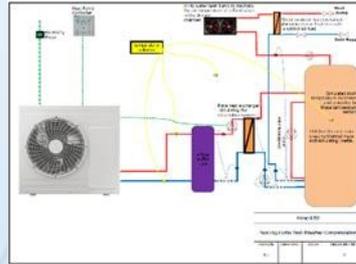
Depósito de inercia y termostato de terceros



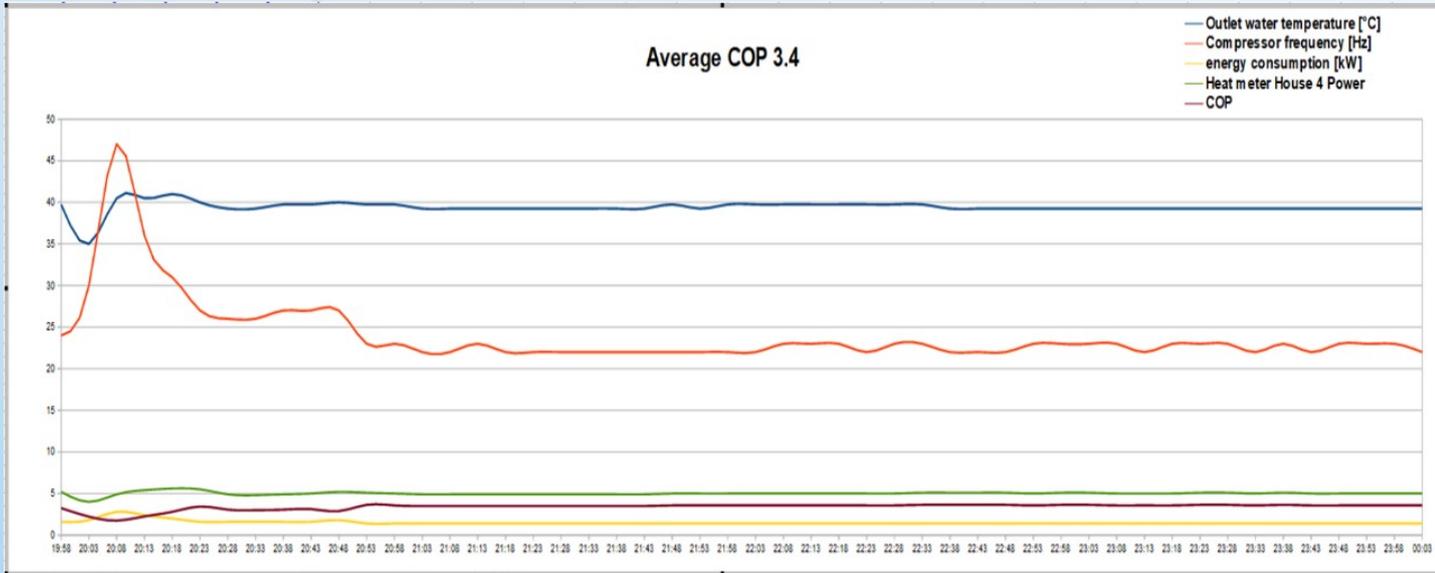
Se alcanzó un COP en estado



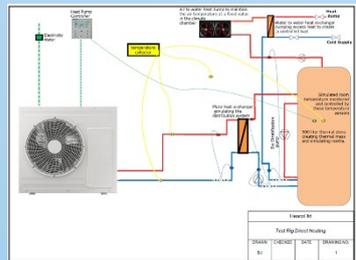
Depósito de inercia con control de compensación meteorológica



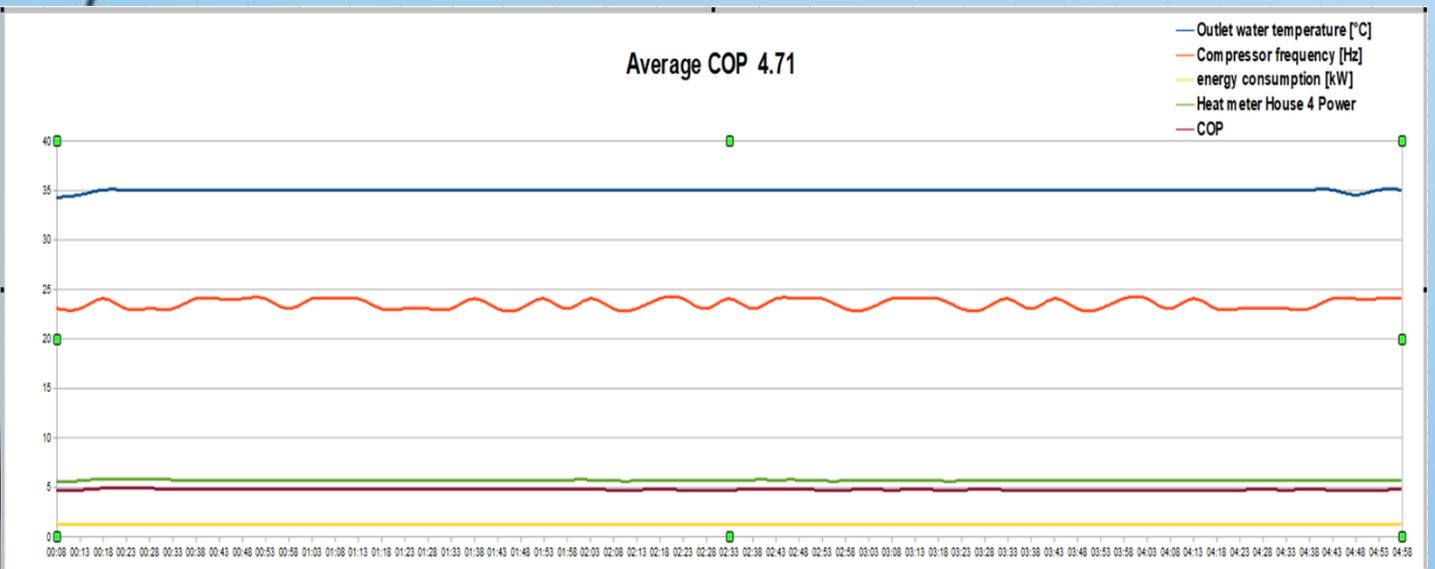
Se alcanzó un COP en estado



Calefacción directa con la bomba de calor controlando la temperatura interior



Se alcanzó un COP en estado estacionario de 4,7.



Los resultados muestran claramente una diferencia significativa de rendimiento entre las 3 estrategias de tuberías y de control.

Los resultados se basan en un COP en estado estacionario para todas las pruebas y un tiempo mínimo de desconexión del compresor de 15 minutos, que coincide con el número máximo de arranques por hora indicado por el fabricante.

Prueba 1: muestra una instalación con la temperatura de impulsión más alta, con un ciclo de aproximadamente 1 hora de funcionamiento y 20 minutos de desconexión. Esto se debe a que el termostato de encendido-apagado alcanza el punto de consigna, apaga la unidad y espera a que la temperatura medida descienda 2 grados antes de volver a encender el sistema. La inclusión de la potencia del circulador secundario en los datos de rendimiento.

El COP se situó en una media de 2,7 durante el periodo de la muestra de ensayo.

Prueba 2: muestra un nivel de rendimiento constante con una temperatura de flujo inferior a la de la prueba.

1. Un nivel constante de potencia y rendimiento de la bomba de calor. La inclusión de la potencia del circulador secundario dentro de los datos de rendimiento.

El COP se situó en una media de 3,4 durante el periodo de la muestra de ensayo.

Prueba 2: muestra un nivel de rendimiento constante con una temperatura de impulsión inferior a la de las pruebas 1 y 2. Un nivel de potencia y rendimiento constante de la bomba de calor.

El COP se situó en una media de 4,71 durante el periodo de la muestra de ensayo.

¿Por qué hay diferencias de rendimiento?

Esta pregunta es relativamente fácil de responder.

En primer lugar: cuando un compresor arranca, tarda algún tiempo en alcanzar una posición de estado estacionario en la que mantiene el mejor rendimiento. Esto puede verse claramente en el primer gráfico con la relación entre la velocidad del compresor y la potencia calorífica. El compresor se acelera muy rápidamente, pero la potencia calorífica aumenta gradualmente, lo que se traduce en una reducción significativa del rendimiento cada vez que arranca el compresor. Cuanto más arranca el compresor, peor es el rendimiento medio general; en condiciones de carga parcial, el tiempo de funcionamiento del compresor se reduce, lo que se traduce en un mayor número de arranques por hora/día y el consiguiente descenso del rendimiento.

La segunda razón: Está asociada al depósito de inercia de 4 tubos [separador del sistema o intercambiador chapado] y al circulador secundario instalado para hacer circular el calor por la vivienda. El circulador secundario debe estar diseñado para suministrar calor suficiente al sistema de distribución del sistema de radiadores para satisfacer la demanda máxima para la que está diseñado el sistema. En la

mayoría de los casos, el circulador secundario es una bomba de velocidad fija y, en este ejemplo, estaría bombeando 30 litros por minuto siempre que el sistema esté encendido. Esta bomba consume electricidad y, con los precios actuales de la energía, podría costar unos 150 euros al año. Sin embargo, éste no es el único problema en condiciones de carga parcial, ya que la mayoría de las bombas de calor modernas controlan el delta T de las temperaturas de impulsión y retorno para obtener un rendimiento óptimo de la bomba de calor.

Heacol Ltd 23 Kingsway Ulverston Cumbria www.heacol.co.uk

Para controlar este delta T óptimo, la bomba de calor varía el caudal en función de la demanda. En este ensayo, nuestra prueba se basó en una temperatura exterior de 7 grados Celsius, por lo que se trataba de condiciones de carga parcial y la bomba de calor sólo tenía que suministrar 6,5 kilovatios de energía térmica para satisfacer la demanda a 7 grados Celsius, frente a los 10,6 kW de energía térmica necesarios a una temperatura ambiente de - 3 grados Celsius. Como la bomba de calor mantiene un delta T de 5 grados a 6,5 kilovatios, el caudal de la bomba sería de 18,5 litros por minuto. Para mantener esta temperatura, que es la temperatura exigida por el sistema de distribución de calor para mantener la temperatura interior de la vivienda, la bomba de calor debe elevar la temperatura del caudal para superar la mezcla, lo que se traduce en un descenso del rendimiento.

La primera prueba mostró un claro descenso del rendimiento y unos costes de funcionamiento significativamente más elevados debido a la influencia del termostato de terceros del depósito de inercia y de la bomba de circulación secundaria.

La segunda prueba también mostró un descenso del rendimiento y unos costes de funcionamiento elevados debido a la influencia del depósito de inercia y del circulador secundario, que actuaban en contra del controlador de la bomba de calor, que mantenía la potencia y el rendimiento estables.

La prueba final permitió a la bomba de calor controlar totalmente el sistema, manteniendo unos niveles óptimos de rendimiento, con los menores costes de funcionamiento y los mayores niveles de confort en la vivienda.

El aumento de la temperatura del caudal a una temperatura de la fuente constante (ambiente con una fuente de aire) reduce significativamente el rendimiento de la bomba de calor. A continuación se muestra una tabla con el COP de la unidad Panasonic, utilizada en el ensayo, a distintas temperaturas de flujo con la temperatura ambiente constante de 7 grados.

Temperatura ambiente 7 grados C				
Temperatura de flujo Deg C	35	40	45	50
COP	4.8	4.18	3.7	3.3

Si se observan detenidamente los gráficos anteriores y se tiene en cuenta la energía adicional necesaria para hacer funcionar la bomba de circulación secundaria y la disminución del rendimiento debida al depósito de inercia, se puede comprobar que los resultados obtenidos coinciden en gran medida con las cifras publicadas por Panasonic. Las cifras producidas por los diversos ensayos de bombas de calor en los últimos 10 años (SCOP 2.67) también coinciden bastante con las cifras de rendimiento realizadas en el primer escenario de prueba. Como la mayoría de los sistemas instalados en el Reino Unido tienen un depósito de inercia y un termostato de terceros, esto no es sorprendente.

En realidad, la mayoría de las bombas de calor fabricadas hoy en día tienen niveles de rendimiento muy similares, ya que los equipos utilizados para fabricar las unidades son muy parecidos. Existen algunas pequeñas diferencias, pero la

instalación y el funcionamiento del diseño provocan una variación significativamente mayor en los niveles de rendimiento que el propio equipo producido por el fabricante.

Heacol Ltd 23 Kingsway Ulverston Cumbria www.heacol.co.uk

Conclusión

Al realizar estas pruebas he demostrado por qué las bombas de calor funcionan mal en el Reino Unido. Contrariamente a la creencia popular, la propiedad que se va a calentar tiene poco que ver con el rendimiento de la bomba de calor. En efecto, un inmueble es una caja que hay que calentar y, a medida que pierde calor a la atmósfera, hay que reponerlo para mantener una temperatura constante en su interior. Una bomba de calor es sólo una de las muchas fuentes de calor utilizadas para satisfacer esa demanda. Las chimeneas, los sistemas húmedos de combustibles fósiles y la calefacción eléctrica directa (paneles y acumuladores de calor) son otros ejemplos. Si no se satisface esa demanda, la temperatura interna de la caja se reducirá.

Por lo tanto, es fundamental diseñar el sistema de distribución de calor para que se adapte a la demanda de la caja, independientemente de la procedencia del calor.

Desgraciadamente, hoy en día la mayoría de los fabricantes, comerciantes y la mayoría de las organizaciones de formación recomiendan la instalación de termostatos de terceros y depósitos de inercia o separación de sistemas como estrategia de diseño para las bombas de calor. Esta estrategia da lugar a un rendimiento muy deficiente del sistema y a elevados costes de funcionamiento, como se ha demostrado anteriormente, pero fue desarrollada por la industria para, en sus propias palabras, "poner fin a las llamadas telefónicas relacionadas con problemas de bajo caudal que provocan errores en las bombas de calor, impidiendo que funcionen". Es más fácil especificar depósitos de inercia y separación de sistemas que formar a la base de instaladores para que entiendan los requisitos específicos de las bombas de calor y el mantenimiento de caudales elevados para sostener el funcionamiento.

Las bombas de calor y las calderas de combustibles fósiles funcionan de forma diferente: las bombas de calor necesitan un delta T bajo (5-8 °C) y un caudal alto, mientras que las calderas de condensación de combustibles fósiles necesitan un delta T alto (20 °C) y un caudal bajo para transportar la misma cantidad de energía a la vivienda (el agua sólo puede retener una cierta cantidad de energía térmica por litro y por grado de aumento). Comprender esta diferencia fundamental es fundamental para que un sistema de calefacción a baja temperatura tenga éxito. Sin embargo, requiere conocimientos adicionales, ya que hay que realizar un número importante de cálculos para ajustarse a los requisitos. El diseño basado en reglas empíricas, que en general ha servido razonablemente bien a la industria de los combustibles fósiles, no es adecuado para el diseño de bombas de calor. El instalador debe comprender exactamente cómo funciona y opera la bomba de calor antes de poder realizar con éxito el diseño y la instalación.

Desgraciadamente, esto no se enseña y, a menudo, las organizaciones de formación y los fabricantes se lo ocultan al instalador, lo que da lugar a que se cometan errores.

Para que el despliegue de las bombas de calor tenga éxito, es necesario que todo el sector se una, que los fabricantes produzcan mejores equipos que sean menos complicados para los instaladores y los usuarios finales. Con la tecnología moderna y el aprendizaje automático, esto no está fuera del alcance de ningún fabricante.

Las organizaciones de formación deben empezar a formar a los instaladores para que comprendan y diseñen correctamente los sistemas de baja temperatura.

Si la industria se uniera y diseñara sistemas fáciles de instalar, utilizar y operar, se cometerían menos errores y las bombas de calor podrían mostrar su verdadero potencial de descarbonización.

Heacol Ltd 23 Kingsway Ulverston Cumbria www.heacol.co.uk

Notas