

La bomba de calor para agua caliente sanitaria en edificios de viviendas

M.^a JESUS DIOS VIEITEZ, DRA. ARQUITECTO

Este artículo recoge, en síntesis, las posibilidades de aplicar la bomba de calor para calentar el agua sanitaria. A estos efectos, una primera parte, se dedica a repasar algunos aspectos básicos de la teoría de bomba de calor; después, en una segunda parte, el trabajo se centra en las instalaciones de agua caliente.

Que la bomba de calor se incluya en las técnicas de ahorro energético es, en la actualidad, un hecho indiscuti-

ble. Ante esta realidad, este trabajo trata de ofrecer una visión realista de los problemas que suscita su implantación en edificios de viviendas, y que, por otra parte, motivan que el uso de la bomba térmica no esté ampliamente difundido. Una aproximación a esa problemática, permite al proyectista conocer las circunstancias exigibles al edificio, y a su entorno, para que la bomba de calor pueda incluirse como generador térmico.

1. LA BOMBA DE CALOR DE COMPRESION: GENERALIDADES

El Reglamento de Instalaciones de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria define, en la Instrucción IT-IC-01.11; la bomba de calor como aquella "máquina térmica que permite transferir calor de una fuente fría a otra más caliente".

En efecto, una máquina como la representada en la figura 1. constituye un sistema termodinámico que, mediante la aportación de energía exterior a dicho sistema, asegura el calentamiento de un medio (medio B en la figura 1.), extrayendo energía térmica de otro (medio A en la figura) a temperatura inferior. Si bien la transferencia de calor se realiza físicamente desde los cuerpos con mayor nivel térmico hacia los de menor temperatura, la bomba de calor es capaz de realizar ese trasvase energético en sentido inverso, desde la zona fría a la más caliente, siendo imprescindible el consumo de una cierta cantidad de energía, añadida al sistema desde el exterior.

Una bomba de calor es, en esencia, un circuito frigorífico, usualmente del tipo de compresión y consta de los siguientes elementos:

- compresor
- condensador
- válvula de expansión
- evaporador
- tuberías de conexión entre los componentes anteriores conteniendo un fluido refrigerante.

Se han mencionado únicamente los componentes principales, ya que existen elementos suplementarios —filtros, temporizadores,...— cuyo estudio puede acometerse a través de la bibliografía recogida al final del artículo.

Los refrigerantes son sustancias con la propiedad de cambiar fácilmente de estado, estando encargados de transfe-

rir la energía calorífica de un medio al otro, porque absorben gran cantidad de calor en su vaporización.

El compresor (n.º 1 en la figura 1) bombea el fluido a través del circuito, aspirando el gas a baja presión y baja temperatura. La energía mecánica que aporta, eleva la presión y temperatura del refrigerante, accediendo en esas condiciones al condensador (n.º 2 en la figura).

Este, es un intercambiador de calor: el gas refrigerante circula por un lado, y, por otro, lo hace el medio a calentar (medio B, figura 1.), encontrándose éste a menor temperatura; en consecuencia, se provoca una transferencia de energía térmica, enfriándose el refrigerante y calentándose el medio; en este proceso, todo el gas se licúa a causa del enfriamiento sufrido, permaneciendo constante la temperatura durante el cambio de estado, y transmitiéndose energía calorífica bajo la forma de calor latente de condensación. No obstante, para garantizar que todo el fluido refrigerante abandona el condensador en fase líquida, aquél se encuentra moderadamente sobredimensionado, de tal forma que

habiéndose condensado la totalidad del mismo, sigue cediendo energía térmica al medio receptor, provocándose un cierto subenfriamiento del refrigerante. Así, la mayor parte de la energía transferida en el condensador proviene del calor latente de condensación, si bien una pequeña fracción es calor sensible, con una ligera disminución de temperatura del refrigerante. La alta presión de éste a la entrada del condensador es necesaria para licuar el gas con facilidad. El medio encargado de recibir la energía cedida en el condensador es el aire o el agua; este receptor del calor transmitido, es la denominada "fuente caliente" de la bomba de calor —o "foco caliente"—.

Una vez que el líquido refrigerante abandona el condensador, atraviesa la válvula de expansión (n.º 3, en figura 1.), experimentando una reducción de presión y temperatura; una parte del líquido se transforma, además, en vapor. El proceso de expansión se realiza sin intercambio de calor o de trabajo mecánico con el exterior.

El fluido accede a baja presión y temperatura al evaporador (n.º 4), que es un

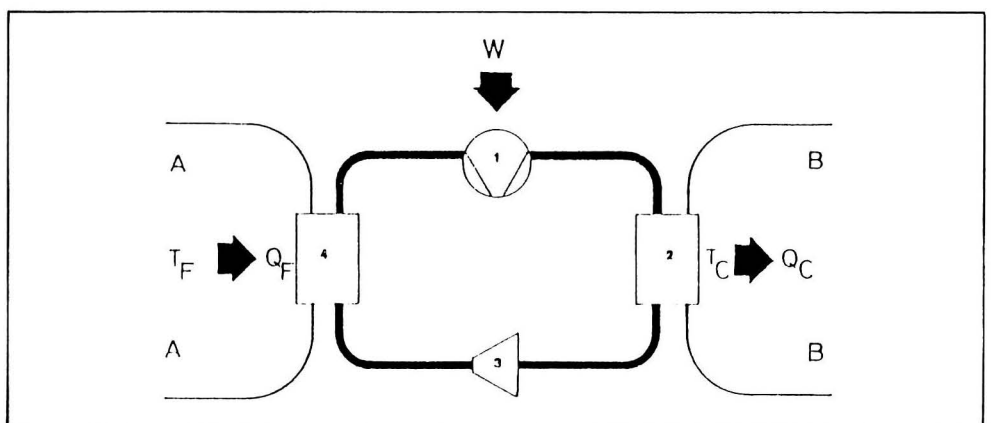


FIGURA 1. BOMBA DE CALOR DE COMPRESION

1. Compresor. 2. Condensador. 3. Válvula de expansión. 4. Evaporador. Q_F = energía térmica absorbida de la fuente fría (medio A). Q_C = energía térmica transferida a la fuente caliente (medio B). W = energía convencional gastada por la máquina

intercambiador de calor, donde el refrigerante está a menor temperatura que el medio circundante (medio A). Se origina una transferencia energética, y el calor absorbido por el refrigerante se emplea en su vaporización, permaneciendo constante la temperatura en el cambio de fase líquida a vapor. No obstante, un cierto sobredimensionamiento del evaporador asegura la completa gasificación del fluido; por ello, aún habiéndose evaporado la totalidad del mismo, sigue absorbiendo energía, incrementándose su temperatura ligeramente. Así, la mayor parte del calor absorbido origina su cambio de estado, y una pequeña fracción, en forma de calor sensible, modifica su temperatura.

El medio que atraviesa el evaporador (medio A) y cede energía calorífica al refrigerante es la "fuente fría" de la bomba de calor, —o "foco frío"— y se utiliza con frecuencia el aire, y, en menor medida, el agua.

Cuando el refrigerante abandona el evaporador, a baja presión y baja temperatura, se dirige hacia el compresor donde se incrementará su presión y temperatura, iniciándose otra vez el ciclo de funcionamiento. En este sentido, el ciclo termodinámico de Carnot representa el proceso comparativo ideal de una bomba de calor como la descrita.

Interesa destacar en este momento que:

1.º La bomba de calor es una máquina, cuya finalidad es el calentamiento de un medio, cuantificándose su efecto útil en la energía calorífica que se cede en el condensador; no obstante, hay instalaciones que aprovechan no sólo el efecto calorífico del condensador, sino también el frigorífico originado en el evaporador; son bombas de calor "reversibles" —calentamiento en invierno, refrigeración en verano—, o "termofrigobombas" —aprovechan simultáneamente el calor y el frío—.

2.º La bomba de calor extrae energía térmica de un medio a baja temperatura —aire, agua,...— donde directamente no es aprovechable, y mediante un circuito frigorífico, la trasvasa a otro, incrementando su temperatura.

3.º Las propiedades de los fluidos refrigerantes (temperatura de evaporación y de condensación, etc.) condicionan el funcionamiento de la máquina, influyendo en las temperaturas de las fuentes energéticas entre las que opera, y determinando unos niveles térmicos más allá de los cuales, la bomba de calor no puede trabajar.

4.º La proporción entre la energía calorífica útil obtenida en el condensador, y la energía, de tipo convencional, absorbida en el compresor de la máquina es la que, en definitiva, determina el interés de su aplicación.

Efectivamente, incidiendo es este último aspecto, si la energía cedida en el condensador es Q_C (figura 1) y la absorbida en el compresor W , se define "el coeficiente de prestación" COP (del inglés, "coefficient of performance") de una bomba de calor como la relación:

$$\text{COP} = \frac{Q_C}{W}$$

donde Q_C y W se expresan en unidades convencionales de energía (kcal, o joules).

Es evidente que interesa reducir, en la medida de lo posible, el denominador de la expresión anterior, ya que el término W , que cuantifica la energía gastada por la máquina, también representa la que el usuario de la misma debe abonar en concepto de consumo energético convencional.

Pues bien, si una bomba de calor extrae energía térmica de un medio a temperatura T_F y la trasvasa a otro que alcanza la temperatura T_C (figura 1.), el coeficiente de prestación se define también:

$$\text{COP} = \frac{T_C}{T_C - T_F}; \text{ siendo } T_F < T_C$$

donde T_F y T_C son las temperaturas absolutas de la fuente fría y caliente, en grados Kelvin (°K).

Se observa en la expresión anterior, que el denominador $T_C - T_F$ es inferior al numerador T_C , por lo que el COP de una bomba de calor es superior a la unidad. Es decir, la energía útil obtenida en el condensador es superior a la energía convencional gastada por la máquina; este hecho se ha esgrimido como argumento —en especial a partir de la crisis de 1973— para ofrecer la bomba de calor dentro del paquete de tecnologías de ahorro energético.

No obstante, las consideraciones anteriores requieren alguna matización. El coeficiente de prestación definido mediante las temperaturas absolutas de las fuentes, fría y caliente, tiene un carácter puramente orientativo, dado que representa, tan sólo, el COP que se obtendría si el funcionamiento de la máquina tuviese lugar según un ciclo ideal termodinámico; una bomba de calor como ésta, no registraría, entre otras cosas, pérdidas de presión en la circulación del refrigerante, ni pérdidas térmicas en la compresión, además de contar con un evaporador y condensador de superficies infinitas, donde la diferencia de temperatura entre el fluido que absorbe y el que cede el calor sería infinitamente pequeña.

En la práctica, las condiciones reales de funcionamiento distan de aquéllas que determinan el coeficiente COP definido mediante las temperaturas absolutas; aquél se ve penalizado fuertemente, descendiendo por debajo de su valor teórico.

Estrictamente, para una adecuada cuantificación del coeficiente de prestación, debe considerarse la energía calorífica "real" obtenida en el condensador, y la energía "efectiva" absorbida en el compresor, datos que, para las diferentes condiciones de funcionamiento, según las temperaturas de las fuentes de donde se extrae o cede el calor, suelen estar cuantificados por los fabricantes de las bombas térmicas.

Sin embargo, incluso en la práctica, es posible alcanzar coeficientes de prestación altos; un valor de COP igual a dos (o tres) equivale a decir que "la energía gastada en el compresor se duplica, triplica", etc., según los casos, cediéndose en el condensador en forma de energía calorífica.

A pesar de tener un carácter teórico, la expresión que define el COP en función de las temperaturas absolutas de las fuentes ($\text{COP} = T_C / (T_C - T_F)$) ayuda a visualizar una de las características esenciales de la bomba de calor, y que puede enunciarse del siguiente modo: el coeficiente de prestación aumenta a medida que disminuye la diferencia de temperatura entre la fuente fría —de donde se extrae la energía calorífica a baja temperatura—, y la fuente caliente —que recibe el calor trasvasado—. Una fuente energética fría será tanto más interesante cuanto más elevada sea su temperatura, y la bomba de calor encuentra aplicaciones más rentables a medida que la fuente a calentar requiera menor temperatura. Una aproximación entre las temperaturas T_C y T_F se cifra en un decrecimiento de la energía absorbida en el compresor, por lo que la factura energética que debe abonar el usuario disminuye, abaratándose los costes de funcionamiento de la instalación. Por tanto, dentro de las edificaciones, aquellos servicios que precisen temperaturas más bajas para satisfacer las correspondientes necesidades caloríficas, son los más idóneos para aceptar la bomba de calor.

En cuanto a la energía de propulsión, las bombas de calor de compresión, descritas anteriormente, se accionan con un motor eléctrico o de explosión —sea diesel o de gas—. Los primeros tienen un rendimiento mecánico superior, pero los segundos ofrecen la ventaja de utilizar directamente la energía primaria en los puntos de consumo, mientras que en la producción y transporte de la energía eléctrica se registran pérdidas energéticas del orden del 70%.

Mención aparte merecen las bombas de calor accionadas por motor a gas. El gas natural está destinado a alcanzar un mayor protagonismo en el escenario energético, nacional y europeo, como lo avala la importante red de gasoductos prevista. El empleo de este combustible, además de ofrecer la ventaja de utilizar directamente la energía primaria en los



puntos de consumo, plantea el beneficio adicional de que su combustión provoca escasa contaminación atmosférica.

En la figura 2 se presenta una instalación de bomba accionada por un motor a gas. Según se desprende del esquema, no sólo se aprovecha el efecto calorífico del condensador, como en una bomba de calor convencional sino que, además, las pérdidas térmicas del motor se recuperan, refrigerándolo con un circuito de agua, al igual que los gases de escape de la combustión que atraviesan un intercambiador de calor, reteniéndose una buena parte de la energía calorífica que, de otro modo, pasaría a la atmósfera.

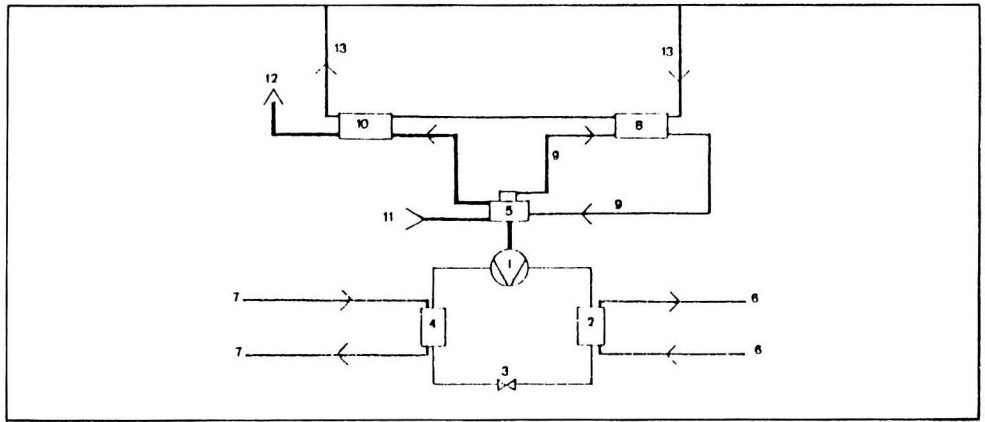
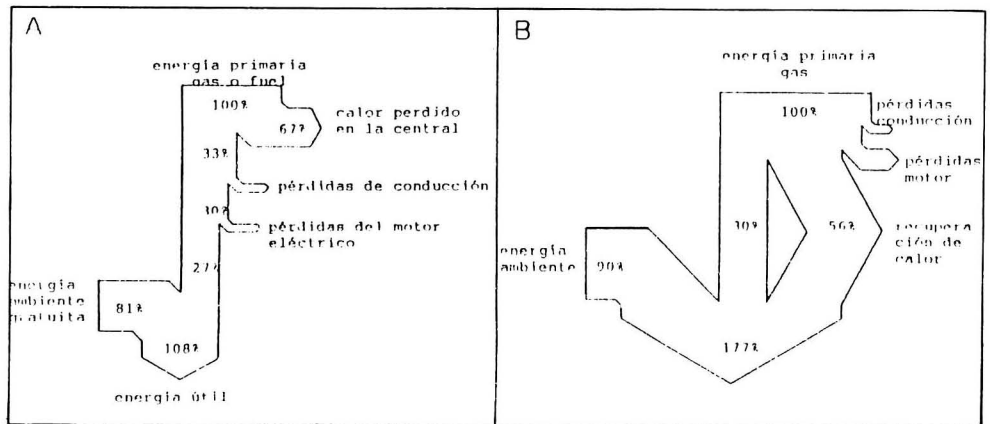


FIGURA 2. ESQUEMA DE INSTALACION CON BOMBA DE CALOR A GAS

1. Compresor. 2. Condensador. 3. Válvula de expansión. 4. Evaporador. 5. Motor a gas. 6. Instalación de calor a baja temperatura. 7. Fuente energética fría. 8. Intercambio de calor. 9. Circuito de refrigeración del motor. 10. Intercambiador de calor. 11. Entrada de aire. 12. Gases de escape de la combustión. 13. Instalación de calor a alta temperatura

Inciendo en este aspecto, y según indica NAVAL-GARCIA en "Aplicaciones de la cogeneración y bomba de calor a gas", conviene citar que "la recuperación de los calores residuales del motor a gas de una bomba de calor, se puede hacer normalmente a temperaturas de 80°C a 150°C, de manera que es posible acoplarse a cualquier sistema de calefacción existente —calefacción por radiadores, de agua sobrecalentada, central de inmueble, etc.—...", mientras que las bombas de calor eléctricas, comúnmente comercializadas, no alcanzan en el condensador una temperatura que, en el mejor de los casos, llega a los 60°C; este hecho, origina que las instalaciones de calefacción que emplean la bomba de calor eléctrica, se aparten de los sistemas convencionales en edificios —calefacción mediante agua caliente a 90°C—, siendo obligado recurrir a elementos menos usuales —calefacción por suelo, ventilo-convectores—. Por tanto, las bombas de calor a gas, además de las ventajas de éste como combustible, comportan una mayor flexibilidad de uso en las edificaciones.

Según el autor citado antes, los índices de aprovechamiento de energía primaria en una bomba de calor eléctrica y otra accionada por motor de explosión a gas son los recogidos en la figura 3.



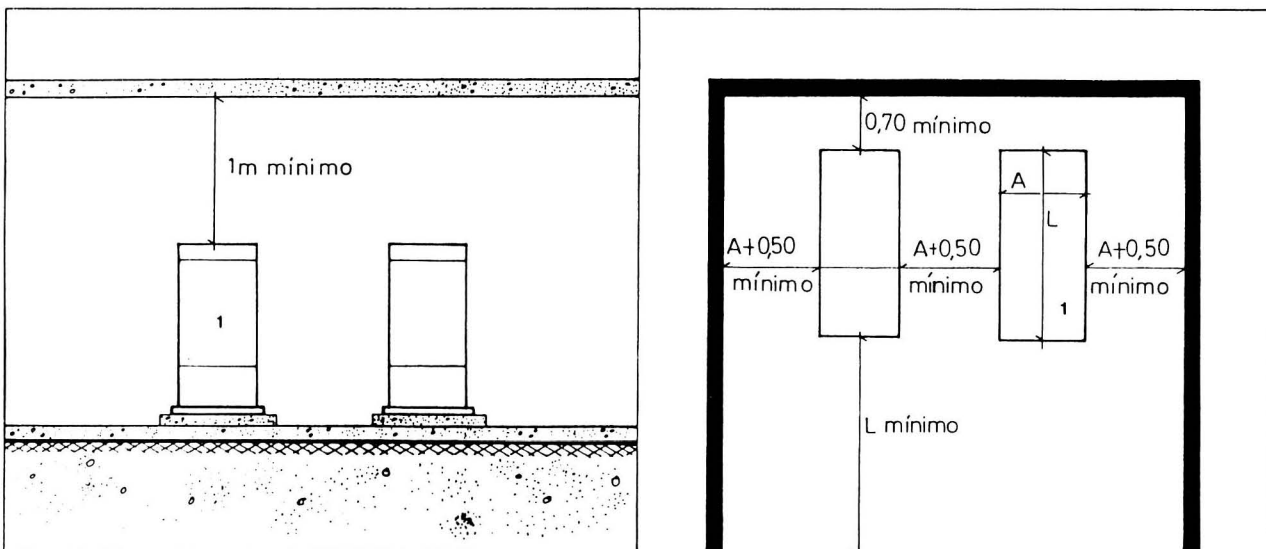
3. APROVECHAMIENTO DE ENERGIA PRIMARIA EN BOMBAS DE CALOR

A. Bomba de calor eléctrica. B. Bomba de calor con motor a gas

No obstante, en Europa salvo algunas realizaciones en Francia y Alemania, principalmente, las aplicaciones de la bomba de calor a gas son escasas, dado que la introducción de esta tecnología tuvo lugar a través de sus variantes eléctricas.

Para concluir esta primera parte, se

muestra en la figura 4 los espacios mínimos necesarios en una sala de máquinas, para el montaje de una bomba de calor eléctrica. Las dimensiones de la máquina dependen, lógicamente, de su potencia y de los distintos modelos comerciales.



4. SALA DE MAQUINAS. ESPACIOS
1. Bomba de calor

2. LA BOMBA DE CALOR EN LAS INSTALACIONES DE AGUA CALIENTE SANITARIA PARA EDIFICIOS DE VIVIENDAS

Siendo la bomba de calor una máquina cuya finalidad es el calentamiento de un medio, es posible su empleo como generador térmico en las instalaciones destinadas al caldeoamiento del agua sanitaria. En ese caso, el condensador de la máquina térmica está recorrido por el fluido refrigerante, y por un circuito de agua encargado de recibir la energía calorífica desprendida al licuarse el gas refrigerante. En consecuencia, la "fuente caliente", o medio receptor del calor, es, en este tipo de instalaciones, el agua.

En edificios residenciales, los resultados obtenidos cuando se proyecta una bomba térmica para el agua sanitaria son con frecuencia positivos; sin embargo, en la actualidad, su eficacia en sistemas de calefacción es ampliamente discutida.

Efectivamente, a pesar de que las temperaturas alcanzables en el condensador de una bomba de calor eléctrica no superan los 55°C-60°C, esto no supone ninguna limitación en el planteamiento y diseño de las instalaciones destinadas a la preparación del agua sanitaria, en contraposición con las de calefacción que han tenido que adaptarse a esta tecnología reduciendo sus temperaturas, buscando las denominadas "técnicas de calentamiento suave", a baja temperatura; las temperaturas de trabajo de una bomba de calor eléctrica y de una instalación de agua caliente sanitaria son coincidentes, teniendo en cuenta que el Reglamento de Instalaciones, limita tanto la temperatura de acumulación del agua, como la de distribución a los usuarios, a 58°C y 50°C, respectivamente.

Además, las bombas de calor para la preparación del agua caliente sanitaria —ACS— tienen otras ventajas frente a las proyectadas en instalaciones de calefacción; las necesidades caloríficas sufren menos variaciones anualmente; el servicio de agua caliente es necesario todo el año, trabajando la bomba térmica un elevado número de horas, lo que repercute en una más rápida amortización de la instalación; al existir tanques de acumulación de agua sanitaria, no es necesario dimensionar la máquina para la demanda punta, reduciéndose los costes; y, por otro lado, el funcionamiento de la bomba de calor es más constante y al máximo de su capacidad la mayor parte del año.

A continuación, se presenta una clasificación de las instalaciones con bomba de calor, centrada en los sistemas encargados del caldeoamiento del agua sanitaria, quedando relegados aquéllos

cuyo objetivo es la calefacción o refrigeración de los locales.

El estudio de las bombas de calor de compresión eléctrica, que son las de mayor difusión, puede acometerse atendiendo a:

- la fuente fría que atraviesa el evaporador
 - * bombas aire-agua
 - * bombas agua-agua
- el sistema de producción
 - * instalaciones individuales
 - * instalaciones centralizadas
- el uso de la instalación
 - * instalaciones exclusivas para ACS
 - * instalaciones mixtas para ACS y acondicionamiento
- el modo de explotación de la instalación
 - * monovalente
 - * bivalente

En la figura 5 se muestra una instalación de ACS con bomba de calor aire-agua. En ella, el evaporador de la máquina es atravesado por una corriente de aire, —sea aire exterior a temperatura ambiente, sea aire de extracción de locales— donde, al ceder una parte de su energía térmica, se enfría; el condensador transfiere energía calorífica a un circuito de agua, que posteriormente, al circular por un intercambiador de calor, eleva la temperatura del agua destinada a los usuarios. Según se desprende de la figura, a partir del condensador, la instalación no difiere de las que emplean una caldera como generador térmico para el calentamiento del agua sanitaria.

Tradicionalmente se ha venido empleando el aire exterior como foco frío de la bomba de calor, porque su disponibilidad es universal. Sin embargo, el funcionamiento de la instalación está supeditado a las condiciones climatológicas, disminuyendo el coeficiente de prestación de la máquina a medida que lo hace

la temperatura exterior. Cuando la superficie del evaporador tiene una temperatura inferior a 0°C., e inferior a la de rocío del aire, la formación de escarcha es inevitable. Este fenómeno de escarchamiento del evaporador depende de la temperatura del aire y de su grado de humedad, y puede iniciarse a partir de los 7°C; en las áreas geográficas que registren temperaturas exteriores que provoquen el escarchamiento del evaporador —como en el caso de Navarra— es imprescindible dotar a la bomba de calor de un sistema de deshielo, salvo que deje de funcionar en esos rangos de temperaturas. Así, por ejemplo, un procedimiento frecuente de desescarchamiento, consiste en dotar al evaporador de resistencias eléctricas que fundan el hielo.

En cualquier caso, a partir de +7°C una bomba de calor de aire puede tener coeficiente de prestación elevados; entre +7°C y -5°C el COP disminuye notablemente, tanto por el descenso de la temperatura exterior, como por el consumo energético adicional durante los periodos de desescarche del evaporador, y por debajo de -5°C la máquina tiene problemas para suministrar el calor necesario, siendo los coeficientes de prestación tan bajos que el uso de la máquina deja de ser interesante.

En localidades con inviernos crudos, que presentan temperaturas negativas o que rondan los 0°C., el dimensionado de una instalación con bomba de calor de aire exterior, se realiza para una temperatura del aire superior a la mínima anual; los días en que la temperatura descende por debajo del valor de cálculo, es preciso contar con un generador de calor adicional —caldera, resistencias eléctricas— que suministre la energía calorífica que la bomba de calor es incapaz de aportar.

Los edificios construidos dotados de instalaciones de generación térmica por

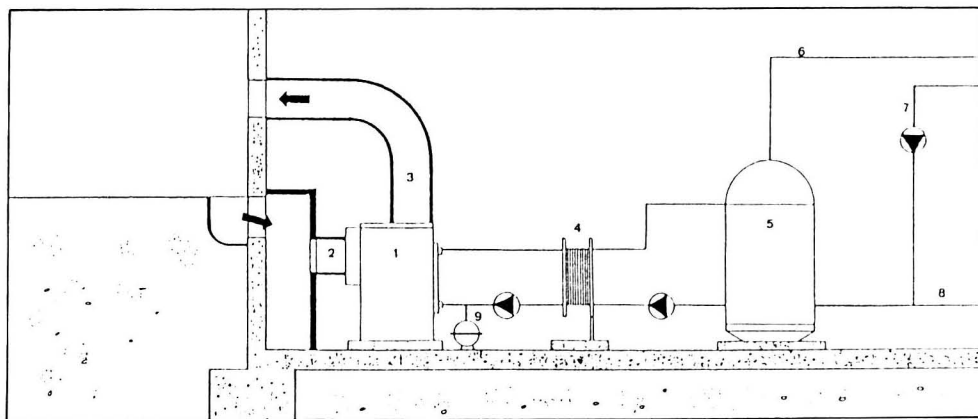


FIGURA 5. BOMBA DE CALOR AIRE-AGUA PARA LA PREPARACION DE ACS

1. Bomba de calor. 2. Entrada de aire. 3. Expulsión de aire. 4. Intercambiador. 5. Acumulador de ACS. 6. Distribución de ACS. 7. Retorno de ACS. 8. Entrada de agua fría. 9. Vaso de expansión



combustión, son susceptibles de acoger una bomba térmica de aire exterior con relativa facilidad por la existencia previa del sistema de calentamiento adicional, resultando las instalaciones denominadas de "bomba de calor en relevo de caldera existente" (la expresión responde al programa francés de "Pompe a chaleur en relé de chaudière dans l'habitat existant"-PERCHE-); en condiciones climatológicas adversas entra en funcionamiento la caldera (o calderas) que el edificio tenía antes de contar con la bomba térmica.

Las dificultades planteadas por el aire exterior como fuente energética quedan solventadas si la corriente de aire circulante por el evaporador, proviene de un sistema de ventilación mecánica. Efectivamente, el aire de extracción de locales tiene una temperatura oscilante, a lo largo del año, entre 15° C. y 22° C. Para esos rangos de temperaturas, los coeficientes de prestación de la máquina térmica son elevados; una bomba que utilice el aire de extracción como fuente fría no sufrirá escarchamiento del evaporador, salvo en funcionamientos anormales —descenso inesperado de la temperatura del aire, por ejemplo—; por estas causas, los sistemas de desescarche previstos se incluyen como factor de seguridad, y no como elemento de funcionamiento usual, consistiendo el más frecuente en, parar la máquina, y, simultáneamente, hacer circular sobre el evaporador un caudal de aire extraído.

Sin embargo, la previsión de una bomba de calor aire de extracción-agua sólo es factible si el edificio cuenta con una instalación de ventilación mecánica controlada, inusuales en España en edificios de viviendas; en la situación actual, en nuestro país, la recuperación de energía térmica del aire de extracción mediante bomba térmica sólo es posible, por esa razón, en edificios singulares que incluyan aquel sistema, o, en todo caso, si se plantea como fuente energética de la bomba de calor, el aire de renovación de los garajes de edificios residenciales. En la figura 6 se presenta el principio de funcionamiento de una instalación de bomba de calor sobre aire de extracción, en un edificio de viviendas.

La figura 7 recoge una instalación de ACS con bomba de calor agua-agua. En ella, una corriente de agua atraviesa el evaporador, y, al ceder una parte de su energía calorífica, se enfría. El condensador calienta el agua de un circuito primario, que, a su vez, transfiere calor al agua de consumo.

Frente al aire, el agua como fuente energética presenta indudables ventajas, destacando las siguientes: temperatura más uniforme a lo largo del año, obteniéndose coeficientes de prestación más constantes; debido al aceptable calor específico del agua, resultan equipos más pequeños a igualdad de potencia

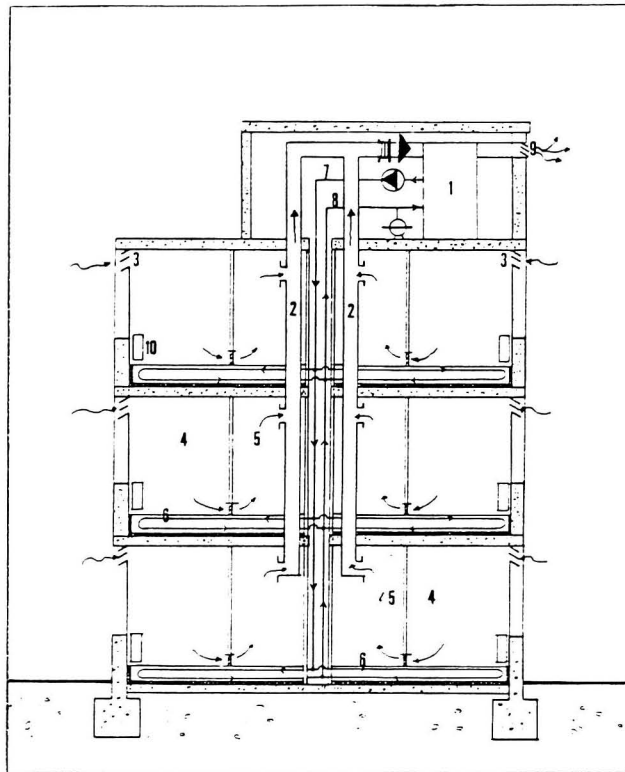


FIGURA 6. BOMBA AIRE DE EXTRACCION - AGUA.

1. Bomba de calor. 2. Conducto extracción. 3. Entrada de aire. 4. Estancia. 5. Servicio. 6. Suelo calefactor. 7. Ida de calefacción. 8. Retorno de calefacción. 9. Expulsión aire. 10. Calefacción de apoyo (convectores eléctricos).

calorífica a suministrar, que los que utilizan el aire como foco frío, siendo los coeficientes de prestación superiores; bajo nivel de ruido, porque las bombas necesarias para la impulsión del agua son más silenciosas que los ventiladores necesarios en los equipos de aire; incluso en épocas frías, la favorable temperatura del agua permite, que la máquina suministre todas las necesidades caloríficas, manteniendo coeficientes de prestación altos, y no siendo preciso, en la mayor parte de las ocasiones, un apoyo energético auxiliar —calderas, resistencias eléctricas—.

Tradicionalmente se ha recurrido a las aguas superficiales —ríos, lagos—, aguas subterráneas poco profundas —que mantienen una temperatura, a lo largo del año, entre 10° C. y 15° C., aproximadamente—, aguas geotérmicas profundas —de temperatura muy variable, desde 35° C.-40° C. hasta 300° C. (obviamente, las bombas de calor se

aplican en aguas geotérmicas de baja temperatura, porque los rangos térmicos elevados son aprovechables directamente mediante intercambiadores de calor)—, e incluso al agua del mar, para que actúen como fuentes energéticas; la previsión de una bomba de agua queda restringida a edificaciones con ubicación próxima a esas masas de agua, siempre que existan en cantidades suficientes para que se garantice el funcionamiento de la instalación a lo largo del año. Esta razón ha impedido una mayor difusión de ese tipo de instalaciones, cuyo número es notoriamente inferior al de las que usan el aire exterior, presente en todo lugar y en cantidades ilimitadas. En la figura 8 se recoge una instalación de bomba de calor agua-agua, siendo el foco frío agua geotérmica.

Atendiendo a la fuente fría de donde se extrae la energía térmica, quedan por mencionar las bombas tierra-agua y energía solar-agua. El uso de las prime-

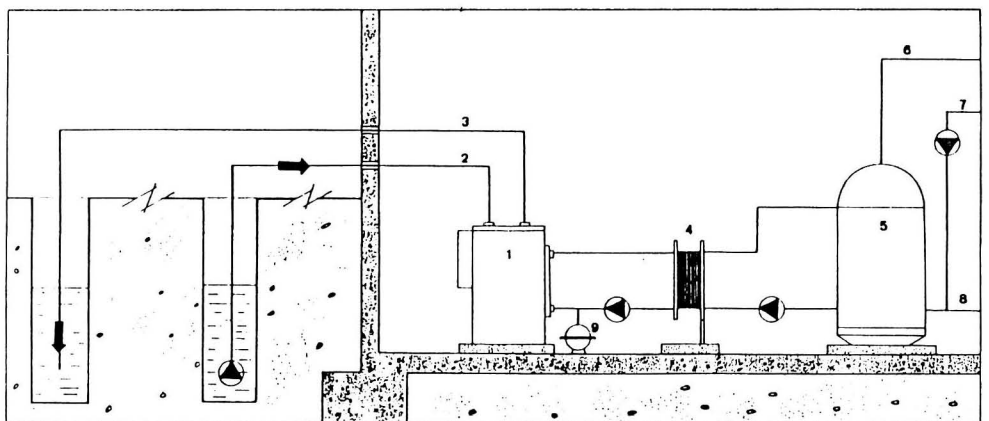


FIGURA 7. BOMBA DE CALOR AGUA-AGUA PARA LA PREPARACION DE ACS

1. Bomba de calor. 2. Entrada de agua al evaporador. 3. Salida de agua del evaporador. 4. Intercambiador de calor. 5. Acumulador de ACS. 6. Distribución de ACS. 7. Retorno de ACS. 8. Entrada de agua fría. 9. Vaso de expansión

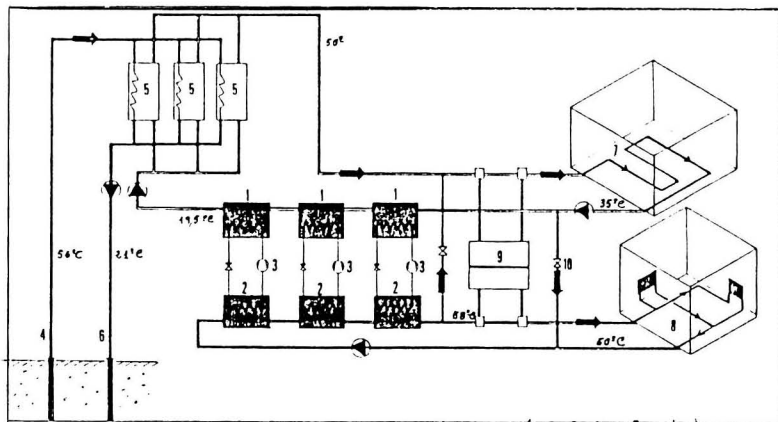


FIGURA 8. BOMBA DE CALOR Y GEOTERMIA (Instalación de Creil-Francia)

1. Evaporadores.
2. Condensadores.
3. Compresor bomba de calor.
4. Toma de agua geotérmica.
5. Intercambiadores de calor.
6. Reinyección agua geotérmica.
7. Viviendas con suelo calefactor (2.000 viv.).
8. Calefacción por agua y ACS para 1.200 viviendas.
9. Calderas de apoyo energético.
10. By-pass

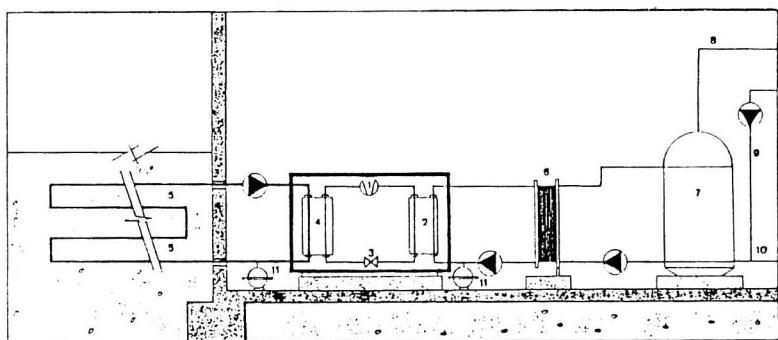


FIGURA 9. BOMBA DE CALOR SUELO-AGUA PARA LA PREPARACION DEL ACS

1. Compresor.
2. Condensador.
3. Válvula de expansión.
4. Evaporador.
5. Serpentin de agua-glicolada.
6. Intercambiador de calor.
7. Acumulador de ACS.
8. Distribución de ACS.
9. Retorno de ACS.
10. Entrada de agua fría.
11. Vaso de expansión

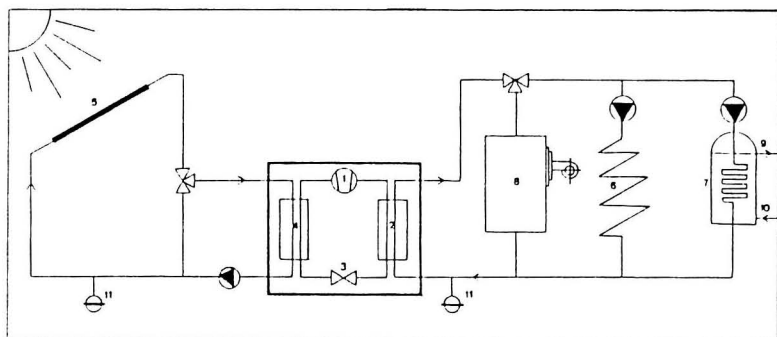


FIGURA 10. INSTALACION DE ENERGIA SOLAR/BOMBA DE CALOR PARA ACS Y CALEFACCION

1. Compresor.
2. Condensador.
3. Válvula de expansión.
4. Evaporador.
5. Colector solar.
6. Calefacción.
7. ACS.
8. Caldera de apoyo energético.
9. Distribución de ACS.
10. Entrada de agua fría.
11. Vaso de expansión

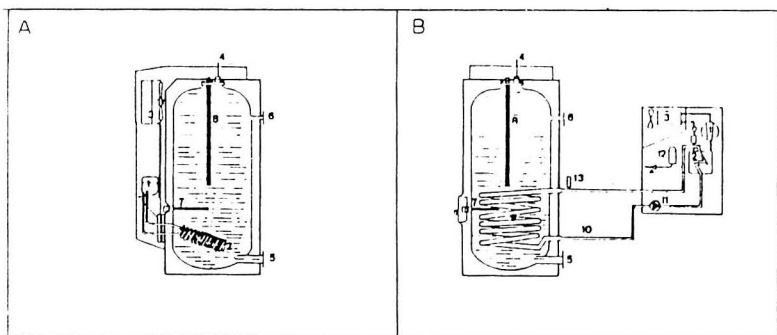


FIGURA 11. TERMOMBOMBAS PARA ACS (AIRE-AGUA)

A. Versión compacta. B. Versión "split"

1. Compresor.
2. Condensador.
3. Evaporador y ventilador de aire.
4. Distribución de ACS.
5. Entrada de agua fría.
6. Recirculación de ACS.
7. Resistencia eléctrica auxiliar.
8. Anodo de sacrificio.
9. Serpentin intercambiador.
10. Circuito primario.
11. Bomba de circulación.
12. Vaso de expansión.
13. Purgador

ras —figura 9— está relegado a viviendas unifamiliares aisladas, porque precisan una enorme superficie de terreno para enterrar el serpentín —recorrido por un caudal de agua o agua glicolada si existe riesgo de congelación— que sirve de captador de energía térmica acumulada en el subsuelo. En cuanto a las segundas, el evaporador de la máquina está conectado a una instalación de colectores solares de agua —o agua glicolada, en su caso—, como se muestra en la figura 10; la inversión requerida es muy alta, porque al costo de la bomba de calor se añade el de la instalación de colectores, además de presentar la problemática de una difícil integración arquitectónica; por otra parte, la densificación de los núcleos urbanos, donde el "derecho al sol" no está regulado, no es propensa al aprovechamiento de energías naturales, como la solar. No hay duda que la aplicación de esas máquinas es muy limitada. Por otra parte, en realidad, las bombas tierra-agua y energía solar-agua, son una variante de las ya estudiadas, agua-agua, excepto cuando el evaporador se entierra en el terreno sin serpentín intermedio, o cuando los colectores solares están recorridos directamente por el fluido refrigerante.

Considerando ahora el sistema de producción, las bombas de calor pueden ser individuales o servir a una instalación centralizada. En la alternativa de producción individual merecen destacarse los equipos integrados aire-agua, como los recogidos en la figura 11 (A y B).

En 11-A se presenta una bomba de calor que reúne, en un único cuerpo, todos los elementos necesarios para su funcionamiento: compresor, evaporador, ventilador de aire, condensador, e incluso el acumulador de agua sanitaria convenientemente aislado.

El esquema 11-B ofrece una máquina similar, pero en la que el tanque de almacenamiento de agua caliente se ha separado de lo que es propiamente la bomba de calor, existiendo un circuito de agua primaria, encargado de transferir la energía calorífica desde el condensador al agua de consumo. No cabe duda que esta solución —11-B— tiene mayores garantías sanitarias, al no estar en contacto el condensador con el agua de consumo.

Tanto la primera versión —monobloc— como la segunda —split— incluyen resistencias eléctricas para calentamiento de agua cuando la temperatura del aire en el evaporador desciende por debajo de +5° C., desconectándose automáticamente la bomba de calor.

Este tipo de máquina de producción individual trabaja con aire ambiente de un local, no siendo precisa su conexión a conductos de aire. Dado que el aire del local sufre un enfriamiento al atravesar el evaporador, la temperatura interior de

aquel va descendiendo paulatinamente, con el funcionamiento de la máquina. Es obvio que debe situarse en dependencias no calefactadas de la vivienda (gasas, bodegas...), porque, en caso contrario, las necesidades de calefacción se incrementan, y el ahorro energético producido por la bomba de calor se convierte en despilfarro en la instalación de calefacción. Esta circunstancia hace inviable su previsión en viviendas situadas en edificios plurifamiliares, por la dificultad de que cuenten con un local que reúna las características adecuadas para acoger la máquina, —es decir, una estancia susceptible de ser refrigerada en plena época invernal—.

Existen modelos similares a los de la figura 11 que trabajan sobre aire extraído, procedente de un sistema de ventilación mecánica controlada, obteniéndose coeficientes de prestación superiores. No obstante, la dificultad de incluirlas en viviendas de edificios plurifamiliares sigue persistiendo, porque la ventilación mecánica no deja de ser, cuando está prevista, una instalación centralizada a todos los usuarios del inmueble.

Por tanto, los aparatos descritos en la figura 11 se instalan casi exclusivamente en viviendas unifamiliares, o en locales de negocio o comerciales.

En general, para edificios de viviendas múltiples, cuando se incluye una bomba de calor para ACS, la producción es centralizada, común a todos los usuarios, salvo que se conciben unidades aire exterior-agua en cada vivienda, siendo imprescindible el apoyo energético auxiliar, y la previsión de conductos de aire —de entrada al evaporador y de expulsión—, complicando este tipo de instalaciones. La solución de emplear bombas de calor en dos cuerpos, con evaporador separado a la intemperie, tiene el inconveniente del nivel de ruido que podría alcanzarse en el exterior.

Por otro lado, es frecuente la producción mediante una misma bomba de calor, del ACS y de la calefacción (figura 12), porque contando con la inercia térmica de los sistemas de calefacción por agua, puede concederse prioridad a la preparación del agua sanitaria, desconectando la calefacción, sin que por ello la temperatura interior del edificio descienda sensiblemente (se precisa, para ello, un adecuado aislamiento del inmueble, y suficiente capacidad de almacenamiento de agua sanitaria). Diversos autores han señalado la conveniencia de separar, sin embargo, las dos instalaciones, independizando la producción de ACS del sistema de calefacción. Recuérdese, además, que el Reglamento de Instalaciones, especifica en la Instrucción Técnica IT-IC-04: "En todos los casos el proyectista deberá considerar especialmente la producción de agua caliente sanitaria, no permitiéndose en ningún caso, que la potencia de un ge-

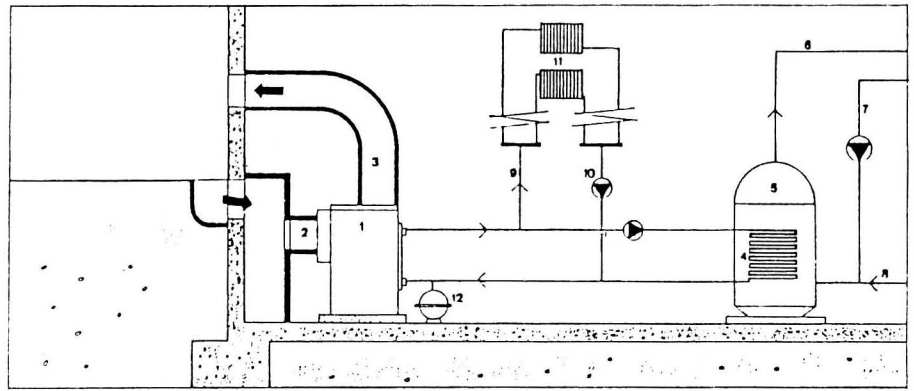


FIGURA 12. INSTALACION MIXTA ACS + CALEFACCION

1. Bomba de calor. 2. Entrada de aire. 3. Expulsión de aire. 4. Intercambiador. 5. Acumulador de ACS. 6. Distribución de ACS. 7. Retorno de ACS. 8. Entrada de agua fría. 9. Ida del sistema de calefacción. 10. Retorno del sistema de calefacción. 11. Calefacción a baja temperatura. 12. Vaso de expansión

nerador sea superior en más del 20% a la demanda máxima de dicho servicio".

Para finalizar esta somera visión de las instalaciones de ACS con bomba de calor, hay que mencionar aquellas que la incluyen como único generador térmico, y las que, además, cuentan con un sistema de calentamiento adicional, normalmente calderas de combustibles —gasóleo, gas, etc.—. Las primeras son las denominadas instalaciones monovalentes, y las segundas, bivalentes.

En nuestras latitudes, y contemplando exclusivamente las bombas de aplicación en edificios plurifamiliares (aire-agua, agua-agua), la realidad es que la monovalencia queda reservada, tan sólo, para bombas agua-agua y aire de extracción-agua; en las de aire exterior el apoyo energético convencional debe plantearse cuando se den temperaturas inferiores a 3° C., aproximadamente. Un esquema bivalente se ofrece en la figura 13.

Por las limitaciones aducidas anteriormente (presencia de masas de agua, caudal suficiente de agua o de aire extraído, escasa difusión en España de la ventilación mecánica controlada en viviendas) la monovalencia es infrecuente.

Al hilo de lo expuesto hasta ahora, se desprende que la utilización de la bomba térmica tiene condicionantes que, en buena medida, son externos a la edifica-

ción en la cual desea incluirse; así, por ejemplo, el clima, la disponibilidad de algunos medios naturales, sus características; en definitiva la ubicación del edificio. Todo ello, unido al elevado coste de los equipos, sin olvidar que la centralización casi obligada de estas instalaciones se opone a la clara tendencia actual de individualización de las mismas en los edificios plurifamiliares, ha frenado su difusión. La bomba térmica posibilita un ahorro energético, como lo demuestran diversas instalaciones en funcionamiento. Pero los condicionantes locales antes señalados, restringen su uso a circunstancias muy concretas.

Bibliografía

- Bernier, I., *La pompe de chaleur. Mode d'emploi*, I y II (Pyc Edition, París 1979, 1981).
- Collie, J.M., *Heat pump technology for saving energy* (Noyes Data Corporation, New Jersey 1979).
- Dumon, R., y Chrysostome, G., *Las bombas de calor* (Toray Masson, Barcelona 1981).
- Fontanel, Ch., *La bomba de calor. Fundamentos y aplicaciones* (Marzo 80, "Energías naturales", Barcelona 1982).
- Gutiérrez-Osuna, A., *La bomba de calor y sus aplicaciones* (Getesam "Energía Solar y Ahorro Energético", Madrid 1984).
- Kirn, H., *La bomba de calor, I: Fundamentos* ("El Instalador", Madrid 1983).
- Naval-García, J., *Bomba de calor a gas, en Aplicaciones de la cogeneración y bomba de calor a gas* (Index, Madrid 1985).

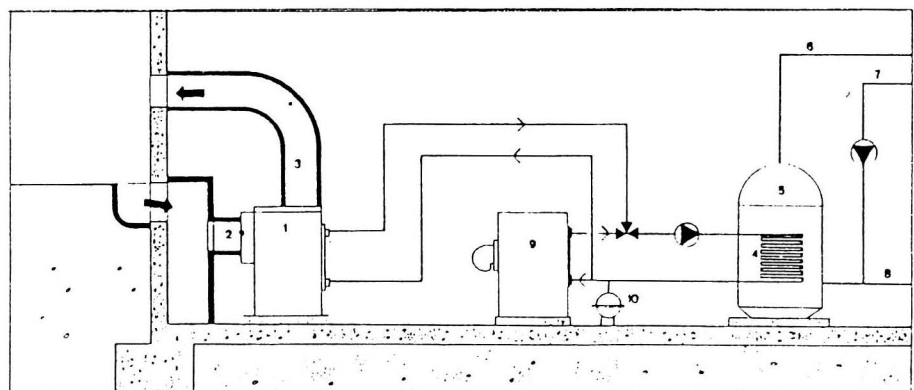


FIGURA 13. INSTALACION BIVALENTE PARA ACS

1. Bomba de calor. 2. Entrada de aire. 3. Expulsión de aire. 4. Intercambiador. 5. Acumulador de ACS. 6. Distribución de ACS. 7. Distribución de ACS. 8. Retorno de ACS. 9. Caldera. 10. Vaso de expansión