

Bombas de calor multifuncionales de alta temperatura

Francesco Amato.

Thermocold s.r.l.

Ricardo Valles.

RC Condizionatori España S.L.

Los últimos años se caracterizan por importantes cambios en el sector energético y, cada vez más frecuentemente, nos encontramos con titulares empleando términos como “conciencia térmica” o “la edad de diseño revolucionario”, lo que requiere estudios integrados de proyectos más eficientes enfocándolos en tecnologías innovadoras.

Las leyes actuales muestran que el objetivo principal consiste en la reducción del consumo de energía y de las emisiones atmosféricas.

Los edificios deben ser vistos como un sistema completo e íntegramente equilibrado, identificando los elementos no eficientes, reduciendo las pérdidas de calor, consumos innecesarios e incrementando la eficiencia de los equipos.

Estas consideraciones deben englobarse dentro de la tendencia actual de urbanización optimizada, con adecuación del tráfico, creación de zonas verdes con aprovechamiento de sombras, racionalización del gasto de agua, es decir, emplear aquellas prestaciones que permitan alcanzar una mejor calidad de vida.

El sector de la climatización se mueve hacia una tecnología basada en el consumo eléctrico dado que presenta las siguientes ventajas:

- ▶ Productos eco-sostenibles.
- ▶ Alta eficiencia energética.
- ▶ Perfecta integración con energías renovables .
- ▶ Muy baja emisión de CO₂.
- ▶ Eliminación del uso de energías no renovables.

La posible solución para trabajar en este sentido es la sustitución de calderas de calefacción y producción de ACS por bombas de calor cuyas ventajas son evidentes:

- Posibilidad de explotación de energías renovables (aire, agua, geotérmica).
- Alta eficiencia (COP cada vez más altos).
- Incrementando la clasificación de la eficiencia energética de edificios (A+).
- Reducción de emisiones de CO₂ (mejores prestaciones incluso comparándolos con las calderas de condensación).
- Menor uso de la energía primaria.
- Versatilidad de uso: empleo estacional invierno/verano.
- Beneficios económicos por fiscalidad.
- Uso donde no existen redes de gas natural.
- No necesitan chimeneas.
- No necesitan de zonas con las exigencias de contraincendios.
- No necesitan instalaciones de gas.
- No necesitan contratos de suministro de gas.
- Posibilidad de utilización de tarifas especial de suministro eléctrico.

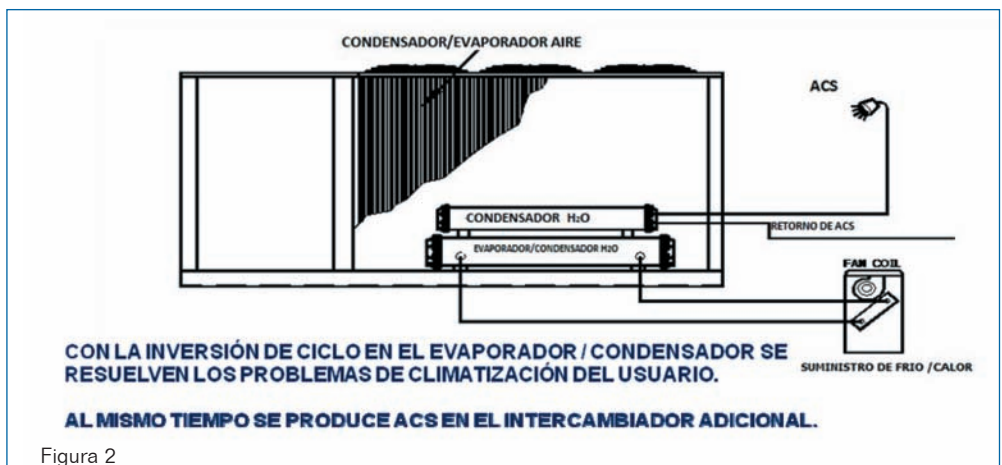
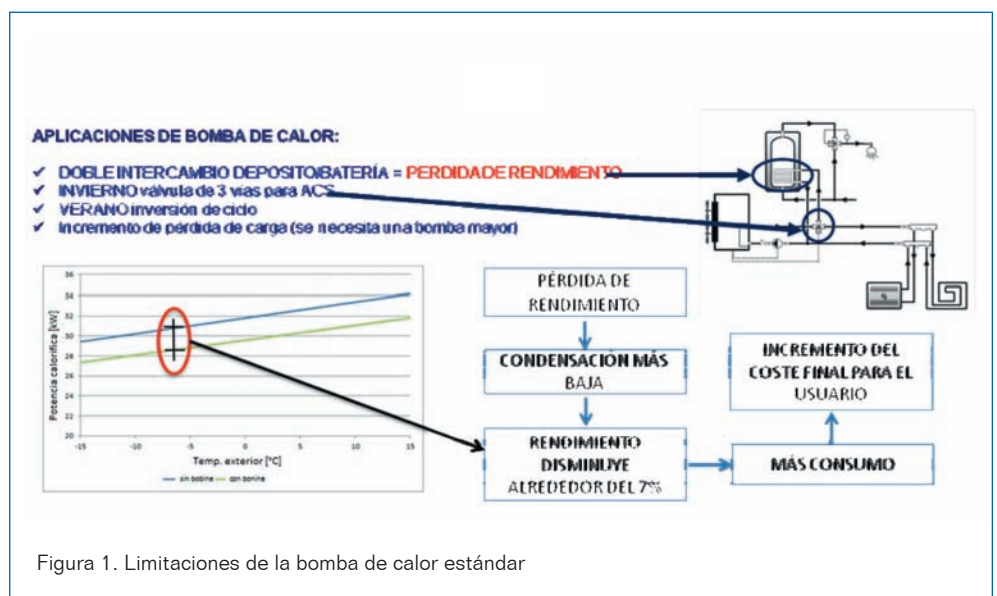
Sin embargo, utilizando bombas de calor tradicionales a veces nos enfrentamos a una serie de problemas. Si bien el funcionamiento durante la temporada estival resulta satisfactorio, durante la época invernal aparecen algunos problemas ciertamente conocidos:

- Disminución de la eficiencia térmica con la disminución de la temperatura exterior.
- La necesidad de sobredimensionamiento del proyecto.
- El alto stress mecánico en caso de requerimiento de alta temperatura de agua con bajas temperaturas exteriores (alta relación de compresión).
- Tiempo necesario para eliminar el riesgo de la legionela es tanto mayor cuanto más baja es la temperatura de agua.
- Casi siempre las instalaciones con bombas de calor tradicionales

se complementan con energías tradicionales (calderas, resistencias eléctricas) para alcanzar los límites de potencia y de temperatura.

- Para ACS es necesario disponer la válvula exterior de tres vías con el intercambiador en el depósito de inercia lo que supone disminución importante de rendimiento.
- Imposibilidad de obtener la temperatura de ACS de 60°C.
- La necesidad de disponer de depósito de inercia para ACS de grandes volúmenes para cubrir las necesidades matinales.

Con producción de agua caliente a 35°C y disminución de la temperatura exterior se produce el incremento de la relación de compresión con la drástica disminución de la eficiencia isoentrópica.



Modo de funcionamiento

INVIerno

Bomba de calor + ACS



Producción de calefacción y ACS (con prioridad para ACS)

Sólo calefacción



Producción de agua caliente para calefacción

ÉPOCA INTERMEDIA

Bomba de calor para producción de ACS



Producción de agua caliente para ACS

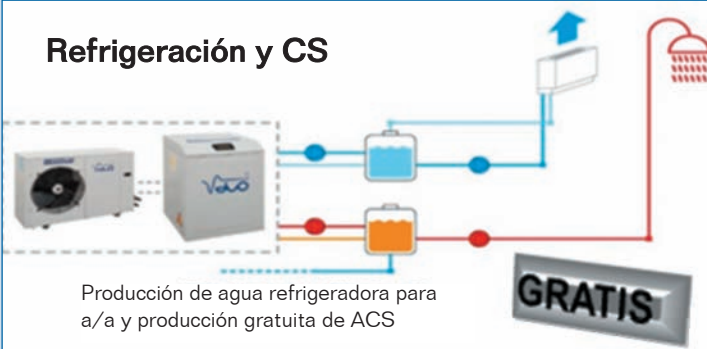
VERANO

Refrigeración



Producción de agua refrigeradora para a/a

Refrigeración y CS



Producción de agua refrigeradora para a/a y producción gratuita de ACS

Figura 3

APLICACIÓN DEL GENERADOR TÉRMICO DE MULTIFUNCIÓN

Veamos un ejemplo ilustrándolo con un gráfico. Las bombas de calor tradicionales funcionan con un punto de consigna, por ejemplo de 55°C y funcionan 8 horas al día para producción de calefacción y ACS con COP = 2.87. Los equipos multifuncionales para dar el mismo servicio funcionan

- ✓ El intercambiador para producción de ACS
- ✓ Alta eficiencia energética
- ✓ Eliminación de doble intercambio agua/agua
- ✓ Punto de consigna anti legionela
- ✓ Sin resistencias eléctricas
- ✓ ACS gratuita durante el ciclo de verano

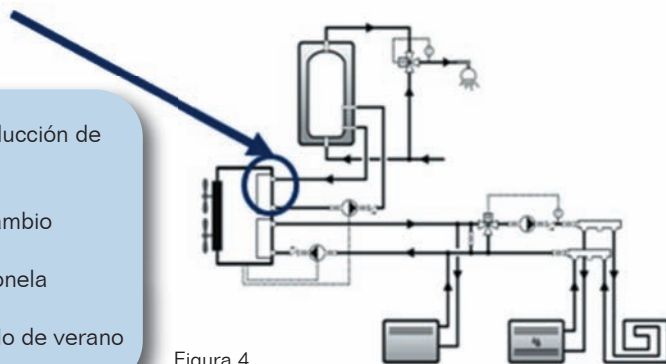
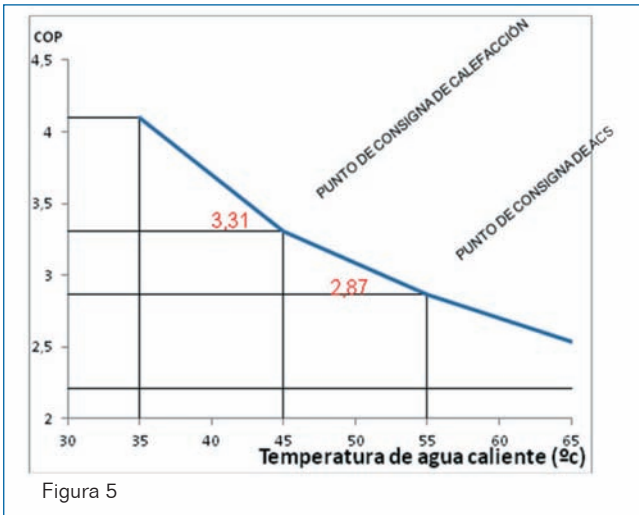


Figura 4

6 horas para calefacción con COP

= 3.31 y 2 horas para ACS con COP=2.87 siendo el COP medio de 3.2 lo que supone el incremento de eficiencia de 46%.

Es decir, se puede establecer distintos puntos de consigna para calefacción y ACS con el fin



de adaptarse mejor a las necesidades de cualquier instalación

Podemos hacer la comparación entre estos dos sistemas con el siguiente caso práctico para una vivienda de 150 m²

FUNCIONAMIENTO EN INVIERNO DEL EQUIPO MULTIFUNCIONAL:

- ▶ Servicio de calefacción = 720 Horas (6h/día durante 4 meses)
- ▶ Servicio de ACS = 240 Horas (2h/día durante 4 meses)
- ▶ Eficiencia = $(4,1 \times 720/960) + (2,87 \times 240/960) = 3,79$

FUNCIONAMIENTO EN INVIERNO DE LA BC TRADICIONAL CALEFACCIÓN+ ACS CON VÁLVULA 3 VÍAS= 960 HORAS (8 H/DÍA POR 4 MESES)

- ▶ Eficiencia = 2,87
 - Precio de electricidad = 0.11 €/kWh
 - Superficie de la vivienda = 150 m²
 - Gasto (Clase A) = 37,90 kWh/ m² año
 - Energía requerida= (150 m²) x (37,90 kWh/ m² año)= 5685 kWh/ año
- ▶ Coste anual BC tradicional/ Temporada = 217,89 €
- ▶ Coste anual BC Multifuncional/ Temporada = 165,00 €

FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO MULTIFUNCIONAL EN TEMPORADA MEDIA

- ▶ ACS = 300 horas (2 h por día durante 5 meses)
- ▶ Eficiencia = 2,91

FUNCIONAMIENTO EN TEMPORADA MEDIA DE LA BC TRADICIONAL ACS = 300 HORAS (2 H POR DÍA DURANTE 5 MESES)

- ▶ Eficiencia = 2,91
 - Precio de electricidad = 0.11 €/kWh
 - Superficie de la vivienda = 150 m²
 - Gasto (Clase A) ACS=9,60 kWh/m² año
 - Energía requerida= (150 m²) x (9,60 kWh/ m² año)= 1440 kWh/ año

	INVIERNO (Nov - Feb) T aire out = 7°C	ESTACIÓN MEDIA (Mar- Mayo e Sept-Oct) T aire out = 15°C	VERANO (Jun-Agosto) T aire out = 35°C
MULTIFUNCIÓN	COP = 4,1 régimen ACS COP = 2,87	COP = 2,91	EER = 3,8 EERC+R= 6,78
BC + V3V	BC MODO BC COP = 2,87	BC MODO ACS COP = 2,91	Refrigeración EER=3,8 Inversión ciclo BC ACS COP = 2,95
CALEFACCIÓN T water = 30/35° C - PRODUCCIÓN acs: T water = 50/55° C - REFRIGERACIÓN T water =23/18° C			

Tabla 1

- ▶ Coste anual BC Multifuncional/ Temporada = 54,43€

- ▶ Coste anual BC Multifuncional/ Temporada = 54,43 €

FUNCIONAMIENTO EN VERANO DEL EQUIPO MULTIFUNCIONAL

- ▶ Servicio de A/A = 360 HORAS (4h/día durante 3 meses)
- ▶ Servicio de A/A+ACS = 180 HORAS (2h/día durante 3 meses)
- ▶ Eficiencia = $(6,78 \times 180/540) + (3,8 \times 360/540) = 4,79$

FUNCIONAMIENTO EN VERANO DE BC TRADICIONAL ACS

- ▶ Eficiencia = $(2,95 \times 180/720) + (3,8 \times 540/720) = 3,59$, Suponiendo que a/a se para durante dos horas /día con la disminución de confort, pero no contabilizándolo como gasto. Tampoco se considera la disminución del rendimiento debido al doble intercambio de agua y válvula de tres vías.
- Precio de electricidad = 0.11 €/kWh
- Superficie de la vivienda = 150 m²
- Gasto (Clase A) Refrigeración+ACS = 19,60 kWh/ m² año
- Energía requerida = $(150 \text{ m}^2) \times (19,60 \text{ kWh/ m}^2 \text{ año}) = 2940 \text{ kWh/ año}$

COSTE ANUAL BC TRADICIONAL / TEMPORADA = 90,08 €

- ▶ Coste anual BC multifuncional/ Temporada = 67,52 €

- ▶ Gasto anual total de climatización y ACS con BC Tradicional = 362,4 €

- ▶ Gasto anual total de climatización y ACS con BC MULTIFUNCIONAL = 286,95 €

Ahorro anual 26%

BOMBA DE CALOR MULTIFUNCIONAL DE DOS ETAPAS

En algunas aplicaciones se necesita agua caliente a altas temperaturas. Sin embargo con el sistema del ciclo simple no es posible alcanzar las temperaturas por encima de 65°C., dado que para llegar a la temperatura de salida de agua a 80 °C se necesita la una relación de compresión del orden de 9 y con una temperatura de refrigerante (R134^a) de 140°C. Es prácticamente imposible el funcionamiento en estas condiciones debido a la afección de la temperatura a las características del aceite, esfuerzos mecánicos, bajo rendimiento del compresor, etc. La solución podría ser el empleo de equipos multifuncionales con dos etapas. El primer ciclo, el de baja presión, funciona con R410A y el ciclo de alta presión con R134a.

Los equipos DUO de doble etapa son equipos con tecnología Inverter Total para alcanzar la

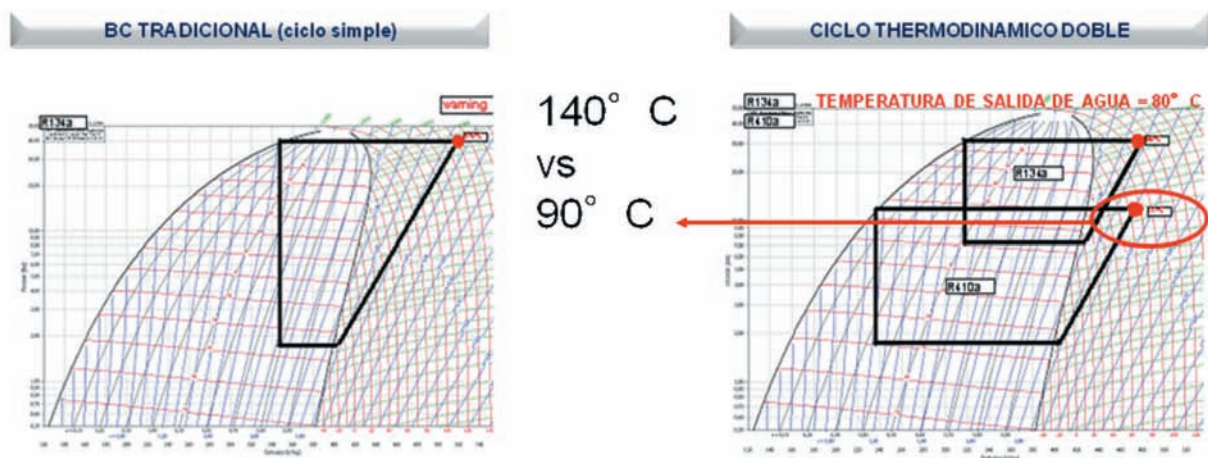


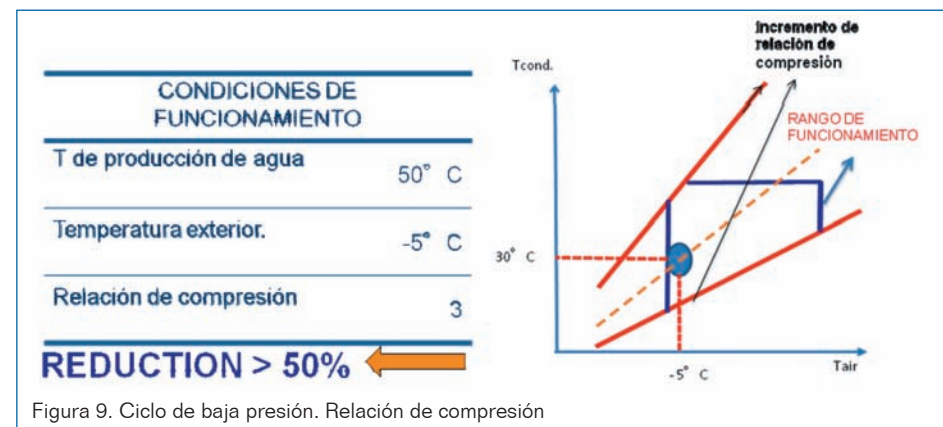
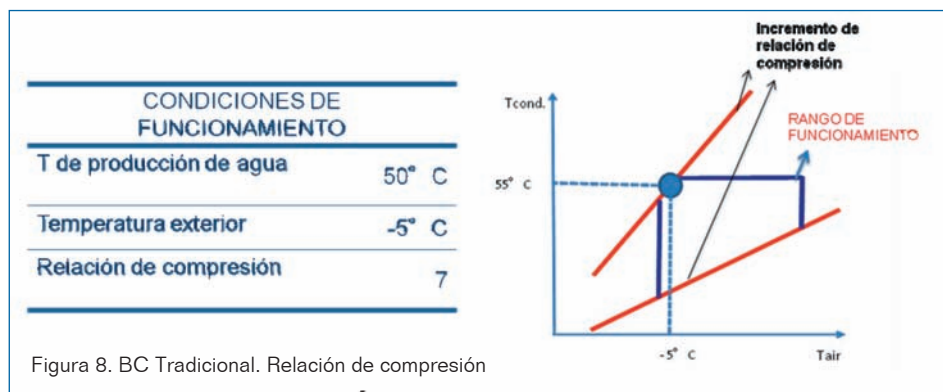
Figura 6-Doble ciclo vs BC tradicional



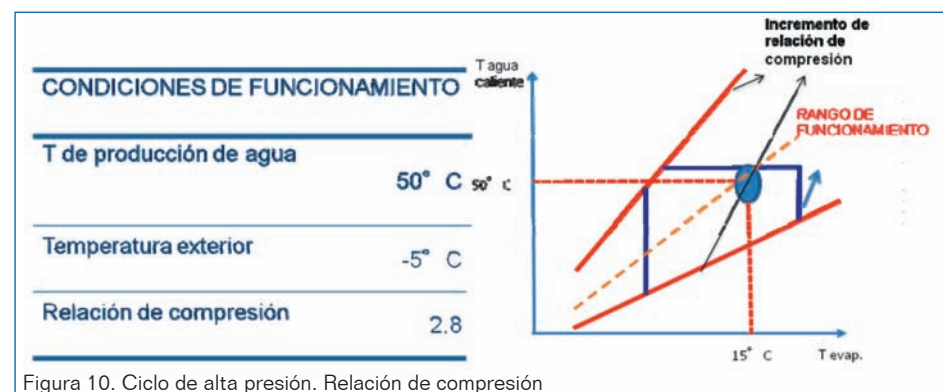
máxima eficiencia, muy superior al de las bombas de calor tradicionales. Tanto los compresores de baja y de alta presión, como ventiladores y bombas de circulación emplean Inverter en combinación con válvulas de expansión electrónicas e intercambiadores de alto rendimiento.

- ✓ Relación de compresión: 2,5 – 3,2
- ✓ Máxima eficiencia isoentrópica
- ✓ Funcionamiento con frecuencias entre 90 Hz – 45Hz

Según datos proporcionados por los fabricantes de compresores más relevantes, la vida útil media de los compresores, funcionando en las condiciones “normales”, es de, aproximadamente, 40.000 horas. La vida útil media en los equipos de doble ciclo es de 60.000 horas, lo que significa que el incremento de la vida útil es del 50%, gracias a que funcionan en mejores condiciones y se evita el stress mecánico.



Los esfuerzos mecánicos son directamente proporcionales a la relación de compresión. Repartiendo la compresión entre dos etapas se reduce a la mitad la relación de compresión de cada uno de los compresores.



Los equipos de doble etapas de nueva generación se completan con el nuevo sistema tecnológico de desescarche por medio de un control electrónico capaz de minimizar el efecto negativo de inversión de ciclo, enfriando el agua durante el funcionamiento en el régimen de calefacción.

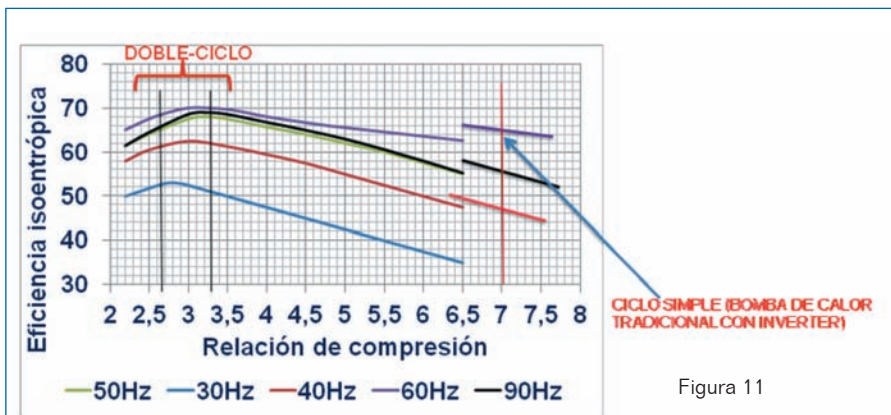


Figura 11

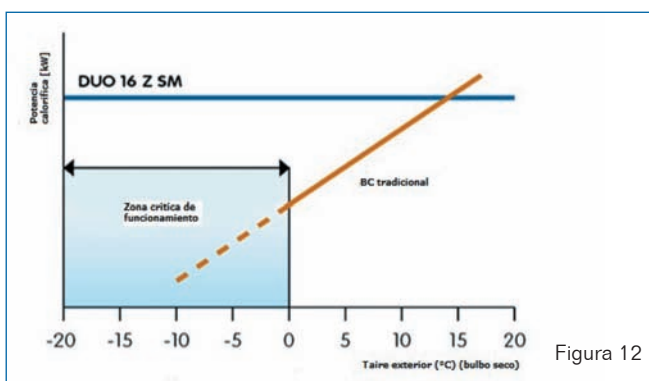


Figura 12

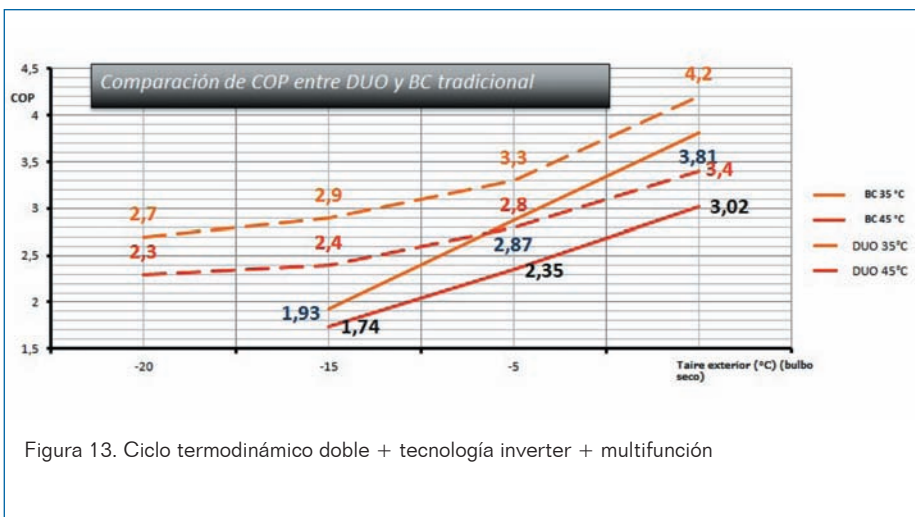


Figura 13. Ciclo termodinámico doble + tecnología inverter + multifunción

El Sistema Digital de Desescarche, empleado en estos equipos es autoadaptativo, permite prevenir la aparición de la escarcha y únicamente permite el ciclo de desescarche en caso de presencia real de la escarcha en las aletas de la batería. Modulando la frecuencia del compresor con Inverter, en función de la temperatura de exterior, hace posible mantener la temperatura de evaporación por encima de las condiciones límites de la formación de la escarcha, reduciendo de esta forma el número de ciclos de desescarche, tan negativos como necesarios, en las bombas de calor.

Para alcanzar las máximas condiciones de confort y, sobre todo, para el máximo ahorro energético se emplea un sistema de punto de consigna dinámico DSP (Dynamic Set Point) que permite el cambio temporal del punto de consigna según los cambios de la temperatura exterior. Con este sistema se puede mantener una diferencia entre la temperatura del interior

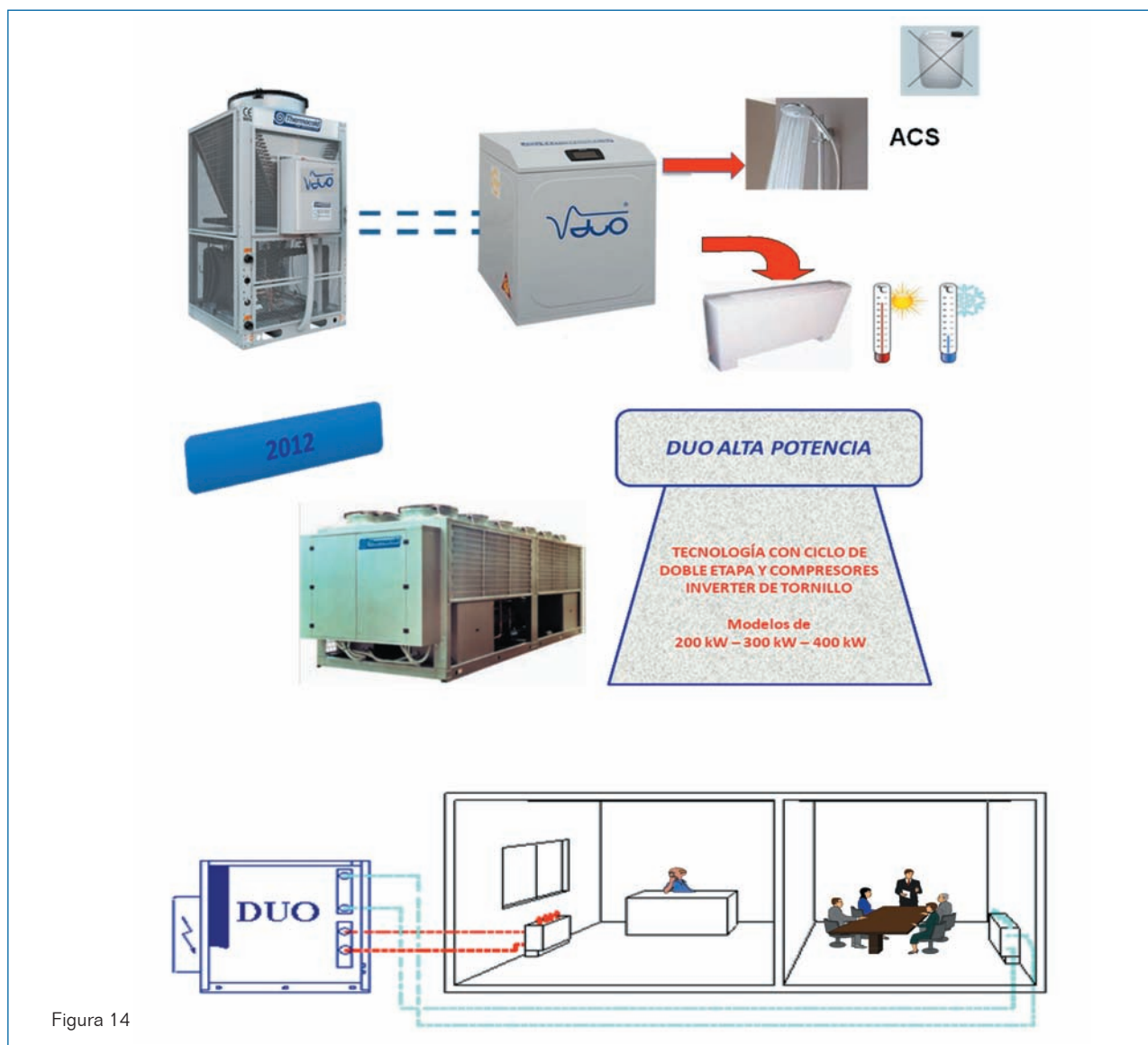
y del exterior variando el punto de consigna reduciendo, de esta forma, el consumo y evitando así el shock térmico. Por otra parte, permite disminuir el punto de consigna en caso de aumento puntual de la carga térmica.

La posibilidad de producir el agua caliente a 80°C con los equipos de doble ciclo ofrece otra ventaja importante, solucionar el problema de la Legionela. La bacteria legionela alcanza su máximo desarrollo a temperaturas de agua entre 25 y 40°C. Teniendo la oportunidad de disponer una temperatura de agua de 80°C se pueden realizar ciclos automáticos de saneamiento, eliminando la bacteria, incluso cuando se trabaja con temperaturas de agua más bajas.

Los equipos multifuncionales de doble ciclo frigorífico pueden ser compactos o partidos. Las instalaciones con equipos partidos permiten eliminar glicol con

independencia de la temperatura del exterior (hasta -40°C), al estar instalada la parte del equipo de alta presión en el interior del edificio y la interconexión con la parte de baja por medio de líneas frigoríficas con refrigerante.

La versalidad de los equipos multifuncionales con doble sistema termodinámico permite su uso con la producción simultánea de frío y calor, es decir, las instalaciones a cuatro tubos con las ventajas adicionales que supone este sistema de racionalización de energía cuando la carga térmica tiene fuertes oscilaciones.



GENERADOR DE CALOR CON REFRIGERANTE ECOLÓGICO CO₂ PARA PRODUCCIÓN DE ACS

Históricamente, el CO₂ (R744) ha sido un refrigerante extremadamente atractivo ya que dispone de una serie de ventajas muy importantes:

- ▶ Abundante
- ▶ Bajo precio
- ▶ No inflamable ni tóxico (safety clase A1)
- ▶ No es derivado de procesos de producción
- ▶ GWP es igual a 1
- ▶ Alta conductividad térmica
- ▶ Alto calor específico de líquido
- ▶ Baja viscosidad cinemática (menos resistencia al flujo)

- ▶ Empleo de tuberías de líneas frigoríficas más pequeñas.

Sin embargo, presenta un inconveniente que prácticamente lo descarta para su uso directo en los sistemas de aire acondicionado para climatización de edificios: su punto crítico es muy bajo (32°C) y por lo tanto, los medios habituales de condensación, tales como agua o aire, no son válidos para conformar el ciclo frigorífico. Antiguamente, se empleaba en la industria para producir “hielo artificial” (tal y como mantenían los helados los vendedores ambulantes). Con el desarrollo de los Freones, el CO_2 ha sido desplazado de la refrigeración salvo su empleo en algunos procesos industriales.

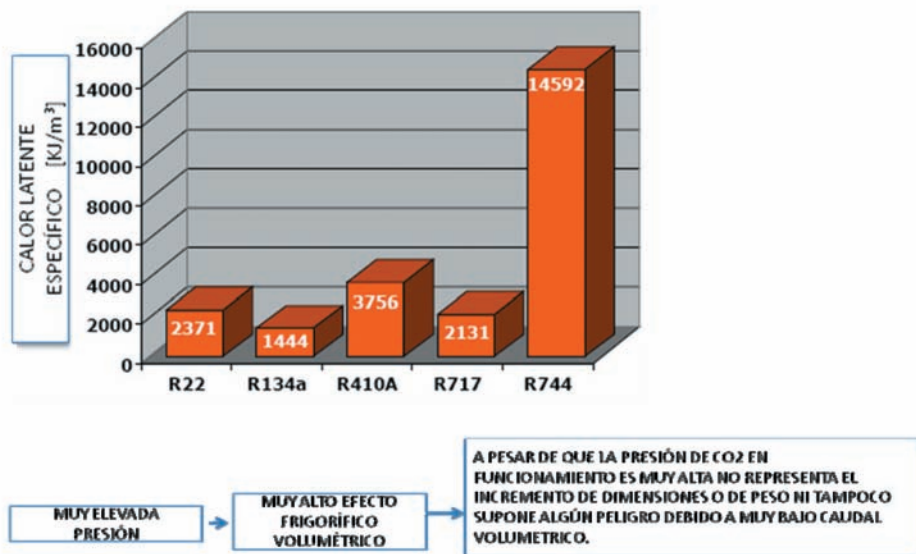


Figura 15

Las investigaciones realizadas para el aprovechamiento de este refrigerante tan atractivo permitieron desarrollar nuevos equipos generadores de calor con el refrigerante ecológico CO₂ para producción de ACS aprovechando el ciclo transcrito

En la figura 16 está representado el ciclo frigorífico transcrito. A diferencia del ciclo frigorífico habitual, observamos que la transfe-

ncia de calor no se produce en el proceso de condensación sino que en el intercambiador a presión constante en fase gaseosa de R744.

En la figura 17 está representado el proceso óptimo en el refrigerador de gas. Este valor depende de varios factores: temperatura de evaporación, recalentamiento, temperatura de CO₂ a la salida del refrigerador de gas.

La eficiencia de equipos de generadores de calor con el refrigerante ecológico CO₂ para producción de ACS es muy elevada y se acerca a los valores ideales gracias a que, comparando con los ciclos clásicos, la relación de compresión es menor, presentan alta eficiencia isoentrópica, alta conductividad térmica, alto calor específico de líquido y baja viscosidad cinemática.

Sus aplicaciones ideales se basan en la producción de ACS para edificios de grandes consumos, tales como hoteles, hospitales, centros deportivos, etc.

En la Figura 19 se representan las zonas de funcionamiento de distintos equipos multifuncionales mencionados en este artículo para diversas

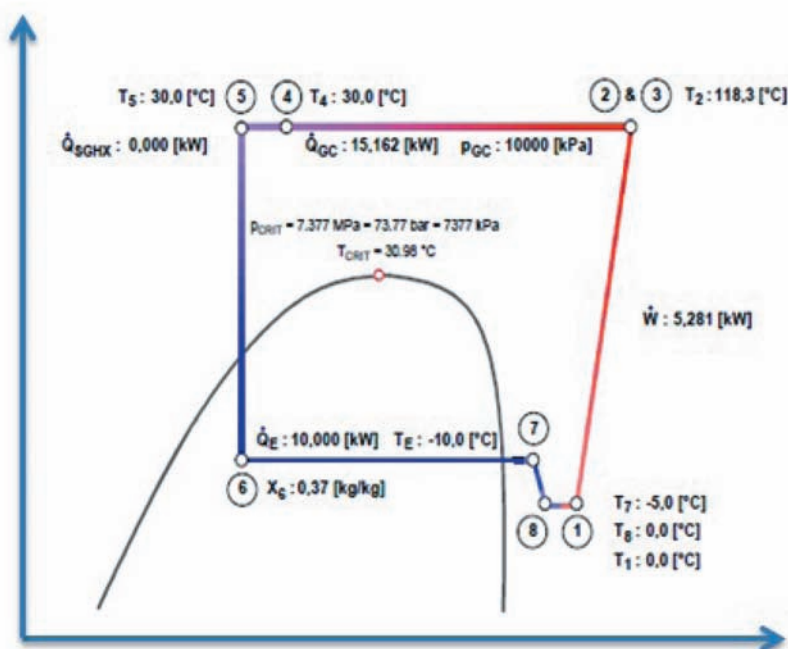
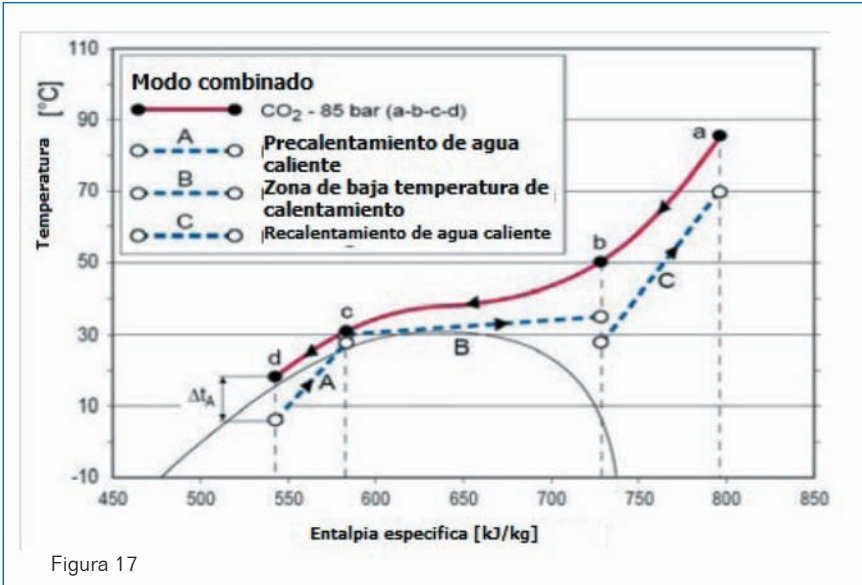


Figura 16



REFRIGERADOR DE GAS



temperaturas exteriores y de producción de agua caliente. Es evidente que para cada aplicación se debe seleccionar el

equipo más apropiado y no tiene sentido elegir un equipo preparado para funcionar con temperaturas exteriores -40°C cuando las temperaturas mínimas registradas en una zona concreta son de -5°C o preparar el agua caliente a 90°C cuando su uso se restringe exclusivamente a fancoils.

Por tanto, se desea hacer constar que la opinión de que las bombas de calor son buenas cuando las condiciones de funcionamiento son benignas y no valen para las zonas frías, es una consideración que pertenece al pasado, ya que es posible emplearlas en cualquier condición sin apoyo de otras energías no renovables (calderas o resistencias eléctricas).

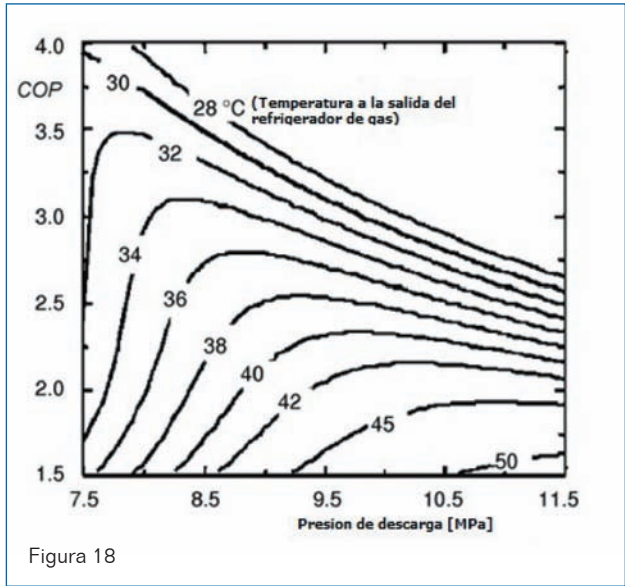


Figura 18

