

CAPÍTULO 1

SITUACIÓN TECNOLÓGICA DE LOS EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN

1.1 - INTRODUCCIÓN

1.2 - PROBLEMÁTICA ACTUAL

1.3 - PROGRAMAS DE INNOVACIÓN EN CLIMATIZACIÓN

1.4 - INTERÉS DE LA CLIMATIZACIÓN A GAS

1.5 - TECNOLOGÍA DE CLIMATIZACIÓN CON MOTOR A GAS

1.5.1 - PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

1.5.2 - MERCADO DE LOS CLIMATIZADORES CON MOTOR A GAS

1.5.3 - TENDENCIAS FUTURAS EN LA CLIMATIZACIÓN CON MOTOR A GAS

1.6 - TECNOLOGÍA DE LOS EQUIPOS DE ABSORCIÓN

1.6.1 - PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

1.6.2 - CICLO DE ABSORCIÓN DE ALTA EFICIENCIA. DOBLE EFECTO.

1.6.3 - MEZCLAS DE TRABAJO EN LOS EQUIPOS DE ABSORCIÓN

1.6.4 - MERCADO DE LOS EQUIPOS DE ABSORCIÓN

1.6.5 - TENDENCIAS FUTURAS EN LOS EQUIPOS DE ABSORCIÓN

1.7 - OBJETIVOS DE LA TESIS

1.1 - INTRODUCCIÓN

Los edificios antiguos, y en particular, los construidos durante los años cincuenta y sesenta suelen caracterizarse por un aislamiento térmico bastante deficiente. Este hecho implica que la demanda térmica en dichos edificios sea muy elevada, incluso superior a los 160 W/m^2 . Por esta razón, el método más utilizado para acondicionar dichas viviendas ha sido el uso de calderas de agua caliente, conjuntamente con radiadores de alta temperatura, con temperaturas de operación alrededor de 80°C .

No obstante, después de la crisis del petróleo del año 1973 y el posterior aumento de los precios de los combustibles, se produce un cambio de mentalidad a escala mundial, tanto de los políticos como de los ciudadanos, al darse cuenta de su dependencia de los países productores de petróleo. Como consecuencia de este hecho, crece el interés en la disminución, en todos los niveles, de la demanda energética y en la búsqueda de equipos cada vez más eficientes energéticamente.

Según el informe de la Agencia Internacional de la Energía (IEA International Energy Agency) titulado “A Group Strategy for Energy Research, Development and Demonstration” realizado en 1980, el sector residencial es el sector con más posibilidades a la hora de reducir el consumo energético, sin reducir el nivel de confort y de bienestar de las personas que lo habitan.

Como indica Halozan (1995), la demanda térmica específica de las nuevas edificaciones ha ido disminuyendo en los países desarrollados, situándose actualmente a niveles de $50 - 60 \text{ W/m}^2$. Esta reducción de la carga térmica, ha posibilitado la aparición de radiadores de baja temperatura (55°C), o el uso de suelos radiantes que requieren temperaturas aún más bajas, alrededor de los 45°C . Como resultado de esta reducción del nivel térmico requerido en los nuevos radiadores, ha tenido lugar la aparición en el sector residencial de bombas de calor. Dichos equipos son energéticamente más atractivos que una caldera convencional, cuando son instalados en lugares con una climatología no muy severa.

No obstante, es necesario resaltar que el interés reciente que ha generado el uso de bombas de calor en el sector residencial no se basa únicamente en su mayor eficiencia energética respecto a una caldera, sino también en la posibilidad de utilizar equipos reversibles que permiten acondicionar las edificaciones tanto en invierno como en verano, y prolongar el confort de sus habitantes a lo largo de todo el año, con unos rendimientos energéticos muy atractivos.

Nuestro país posee unas condiciones climatológicas muy favorables para la aplicación de bombas de calor y de ahí que nuestro mercado de climatización este experimentando el ritmo de crecimiento más importante de toda la Unión Europea. Según un informe del Institut Català d'Energia publicado en la revista Eficiència Energètica (nº152) entre el 1992 y el 1999, la demanda de equipos de aire acondicionado en Cataluña ha aumentado un 36%, y se espera que dicha tendencia se mantenga, ya que únicamente el 7% de las viviendas actuales tienen algún sistema de refrigeración .

1.2 - PROBLEMÁTICA ACTUAL

Aunque la introducción de los equipos de climatización eléctricos en el sector residencial tiene un gran interés desde el punto de vista energético, su uso masivo ha provocado la aparición de dos grandes problemas: uno medioambiental y el otro de infraestructura para la generación y distribución de dicha energía eléctrica.

1.2.1 - Problemática Medioambiental. Desde el punto de vista medioambiental, las emisiones de los fluidos comúnmente empleados hasta la última década en dichos equipos, los clorofluorocarbonos (CFC), han sido consideradas como los causantes del deterioro de la capa de ozono de nuestro planeta. Además, dichas emisiones también favorecen el efecto invernadero y en cierta medida, el incremento de la temperatura media global del planeta. A pesar de que hoy en día, ya no se comercializan equipos de climatización que contengan CFC, los fluidos alternativos más utilizados en la actualidad, los hidrofluorocarbonos (HFC), aún tienen un impacto medioambiental significativo, al menos desde el punto del efecto invernadero. En la tabla 1.1, se indica la capacidad de absorción de radiación infrarroja de algunos de los HFC propuestos como sustitutivos de los CFC, respecto al dióxido de carbono a lo largo de 100 años. Este índice se conoce en términos anglosajones como GWP (Global Warming Potential).

HFC	GWP (100 años)
R134a	1,200
R407C	1,600
R407A	1,770

Tabla 1. 1 Índice GWP, para algunos de los nuevos refrigerantes propuestos. Oellrich et al (1994)

Además, el creciente interés por los aspectos medioambientales derivados de los equipos de climatización y de refrigeración, ha hecho necesario incorporar otro índice para incluir no solo el efecto invernadero propio del fluido en cuestión, sino también las características del equipo. El índice propuesto es el TEWI (Total Equivalent Warming Potential) el cual evalúa la contribución al efecto invernadero como la suma de la cantidad de refrigerante que ha sido emitido debido a las fugas en el circuito, a la cantidad de refrigerante que no ha podido ser reciclado y la emisión indirecta de CO₂ debido a la energía consumida por el equipo a lo largo de su vida. De forma analítica, dicho índice se evalúa a partir de la ecuación propuesta por la British Refrigeration Association:

$$\text{TEWI} = \text{GWP} \cdot L \cdot n + \text{GWP} \cdot m \cdot (1 - m_R) + n \cdot E \cdot b \quad (1.1)$$

donde

GWP = índice GWP para el refrigerante en cuestión

L = masa de refrigerante emitida anualmente debido a fugas en el equipo

n = años de vida útil del equipo

m = masa total de refrigerante que alberga el equipo

m_R = fracción de la masa total de refrigerante del equipo que ha sido reciclada

E = cantidad de energía consumida anualmente por el equipo

b = cantidad de CO₂ emitido para la obtención de una unidad energética

1.2.2 - Demanda Energética.

La mayor parte de los equipos de climatización actualmente comercializados son accionados mediante la energía eléctrica, lo que provoca alteraciones de la curva de demanda especialmente en los veranos calurosos. En Cataluña, según el Institut Català d'Energia el consumo de dicha energía entre los años 1992-1999 debido a la demanda de confort veraniega fue de un 65% (Eficiència Energètica nº 152). Como este aumento de la demanda eléctrica se centra en la franja horaria más calurosa, las administraciones conjuntamente con las compañías eléctricas introdujeron un conjunto de medidas financieras con el fin de disuadir el uso de estos equipos durante las horas punta y al mismo tiempo potenciar el consumo eléctrico durante la noche y el fin de semana. El objetivo de dicha propuesta era la de homogeneizar la curva de la demanda eléctrica horaria. Dado que estas medidas no han obtenido el resultado esperado, en algunos países, la red eléctrica se encuentra prácticamente colapsada, a causa de que el crecimiento de la demanda es mayor en las horas punta que en la demanda base.

En nuestro país, desde la entrada en funcionamiento del mercado eléctrico (1 de enero de 1998) la utilización de los equipos generadores eléctricos se desarrolla en un entorno de libre competencia. Como se indica en el Informe sobre la Operación del Sistema Eléctrico Español (1999), la flexibilidad proporcionada por el equipamiento actual del sistema peninsular permite la cobertura de las demandas máximas de potencia. No obstante, se observa como la relación entre la potencia instalada en las centrales de régimen ordinario y la máxima demanda horaria ha disminuido en los últimos años. Así, en 1999 se alcanzó un margen del 39.7 %, lo que implica 8 puntos menos respecto al año anterior, y 19 puntos menos que en 1997. Por otra parte, si se observa en la Fig. 1.1, la evolución reciente en nuestro país de la producción de energía eléctrica en régimen ordinario y la demanda total de energía en bornes de central, se puede constatar que el crecimiento de dicha demanda ha sido muy superior al crecimiento de la producción neta en régimen ordinario.

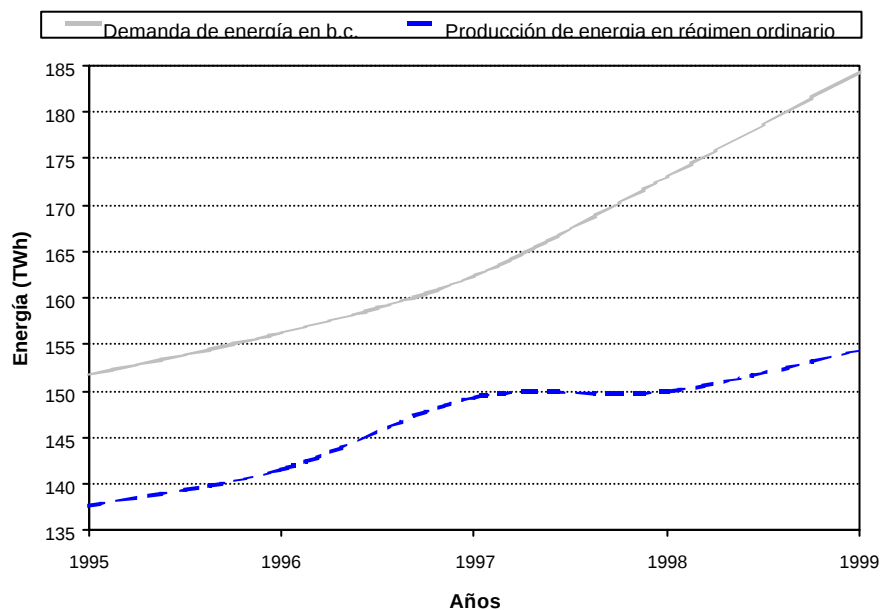


Fig. 1. 1 Evolución de la producción de energía del régimen ordinario y la demanda en bornes de la central en (TWh) en España. Informe de la Operación del Sistema Eléctrico (1999)

Este crecimiento de la demanda eléctrica interanual viene determinado principalmente por el crecimiento de la economía del país. No obstante, la variabilidad intermensual de dicha demanda, debido únicamente al efecto de la temperatura ambiente, puede alcanzar valores de hasta un 12% de la demanda de un mes, tanto en sentido positivo como en negativo. Así pues, las demandas máximas de energía se situarán en los meses más fríos y también en la época estival. Este hecho se constata en el informe de Operación del Sistema Eléctrico Español de 1999, en donde en el mes de julio se registró una demanda eléctrica de 16,260 GWh, situándose muy cerca del valor máximo del mes de diciembre que fue de 16,950 GWh. En cambio, el valor mínimo de la demanda se situó en el mes de abril con 14,034 GWh.

1.3 - PROGRAMAS DE INNOVACIÓN EN CLIMATIZACIÓN

A la vista de las perspectivas de crecimiento del mercado del aire acondicionado, y considerando el grado de saturación de la red eléctrica de algunos países, instituciones, fabricantes de climatizadores, empresarios y compañías energéticas están realizando un gran esfuerzo para introducir en el mercado nuevas tecnologías de climatización más eficientes energéticamente y que permitan un uso racional de las diversas fuentes energéticas.

Entre las diferentes propuestas realizadas en los últimos tiempos, la opción de equipos de climatización accionados por energía térmica y más concretamente a partir de la combustión de gas natural, aparece como la opción más viable. Como ejemplo de dicho interés, pueden citarse los diversos programas de ayuda a la investigación y desarrollo de la climatización a gas impulsados en países como Estados Unidos, Japón y en la Comunidad Europea. A continuación se detallan brevemente:

Programa Norte-Americano. Instituciones como el Department of Energy (DOE), American Gas Cooling Center (AGCC), Gas Research Institute (GRI), Oak Ridge National Laboratory (ORNL), junto con los principales fabricantes y suministradores de gas han unido esfuerzos para facilitar la comercialización de sistemas de climatización a gas de alta eficiencia, y de bajo impacto ambiental. Los objetivos y los resultados de dicho programa fueron descritos por Laue y Lehmann (1991), en donde destacan:

- a) Equipos de absorción del tipo GAX destinados al sector residencial
- b) Enfriadoras de absorción de triple efecto
- c) Bomba de calor accionada con motor a gas
- d) Materiales higroscópicos para mejorar la calidad del aire en el interior de los habitáculos.

Programa Japonés. Yoshida (1996) describe los resultados obtenidos en dicho programa entre 1992 y 1995, en el cual se invirtieron más de 3.3 billones de yenes en el desarrollo de equipos de climatización a gas. En dicho programa participaron cuatro compañías gasistas y once empresas constructoras de equipos de climatización y aire acondicionado, abarcando tecnologías como:

- a) Equipos de absorción de Bromuro de Litio – Agua.
- b) Sistemas de absorción de amoníaco-agua

- c) Bombas de calor accionadas con motor de combustión a gas
- d) Bombas de calor basadas en el ciclo Vuilleumier

Programa Europeo. (Reay, 1993) La Comisión de la Comunidad Europea ha estado incentivando el desarrollo de las tecnologías relacionadas con las bombas de calor durante los últimos 20 años. Aunque se han cubierto todo tipo de bombas de calor, en los últimos años se ha constado un cambio de tendencia desde los equipos de compresión de vapor a equipos de absorción o adsorción. Este cambio queda claramente reflejado en los programas de desarrollo promovidos por la comunidad europea como el JOULE y el THERMIE. A título de ejemplo, en la tabla 1.2, se indican algunos de los proyectos financiados en los programas JOULE I (1988-91) y el JOULE (1991-94).

Principal Entidad Financiadora	Título del proyecto
JOULE I	
Catalana de Gas (Gas Natural SDG S.A.)	Development of absorption heat pumps for heating and air-conditioning in Southern Europe
CNRS	Development of solid-gas adsorption heat pumps for low, medium and high temperature applications
CRIN/CNRS	The impact of new technology on the development of heat pumps and refrigeration equipment.
JOULE II	
TNO	Environmentally benign air cycle heat pump and refrigeration systems.
ENEA	R&D of an advanced absorption heat pump using water-ammonia.
Colibri BV	Plate-fin heat exchanger technology in absorption systems.
University of Nottingham	Rotatory vapour recompression heat pump
CNRS-Perpignan	A new generation of gas-solid sorption machines.
Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung eV	A cost effective absorption heat pump with water as refrigerant.
Consiglio Nazionale della Ricerche	Novel adsorption heat pump based on metal-supported zeolites for more efficient heating & refrigerating

Tabla 1. 2 Programas de I+D europeos.

1.4 - INTERÉS DE LA CLIMATIZACIÓN A GAS

Tal y como se ha descrito en el apartado anterior, hay un interés generalizado de los países desarrollados por la utilización del gas como medio propulsor de los equipos de climatización. Dicho interés se debe a:

- a) Obtención de una mayor estabilización de la demanda eléctrica y de gas a lo largo de todo el año, con la consiguiente reducción de la variabilidad asociada a las variaciones de la temperatura ambiente.

- b) Incremento del factor de uso de las infraestructuras de distribución de energía tanto eléctrica como gasista, a causa de un uso más uniforme de éstas a lo largo del año.
- c) Reducción de costes en infraestructura para el accionamiento de los equipos de climatización. Para una misma potencia, los costes de inversión en una infraestructura de gas son del orden diez veces inferiores al de una eléctrica.
- d) Menor impacto ambiental de los equipos accionados a gas respecto a los equipos eléctricos, especialmente cuando se hace referencia a los equipos de absorción. A diferencia de los equipos de compresión convencionales que requieren el uso de fluidos HFC, los equipos de absorción utilizan fluidos naturales como el agua y el amoníaco, sin carga ambiental alguna.
- e) Mayor fiabilidad de los equipos accionados a gas, especialmente los equipos de absorción, ya que presentan muy pocos componentes móviles sometidos a desgaste.
- f) Posibles reducciones de costes de operación por parte del usuario final. Aunque desde la liberación del sector energético, la relación entre el coste de adquisición de una unidad energética eléctrica y de gas ha ido variando de forma significativa, en general se puede decir, que en Europa, la relación suele situarse entre 4 y 6 (Valle, 1997a). A pesar de que para una carga térmica determinada, los equipos de climatización a gas consumen alrededor de tres veces más de energía que una unidad eléctrica, el usuario final podría ahorrarse entre un 30% y un 50% de los costes de operación respecto a una unidad eléctrica.

En España, a la vista de la relación actual de precios entre la energía eléctrica y gas, la incorporación de equipos de climatización a gas no resulta muy favorable. Al consultar, por ejemplo, la tarifa de precios energéticos actuales, para el sector residencial, la relación era de tan solo de 2.14. A continuación se indican las tarifas de precios considerados para dicho cálculo.

Electricidad: Según el BOE 30/12/2000, el precio de la tarifa eléctrica 2.0 estipulado para el 2001 es de 13.18 pta/kWh, y añadiendo los impuestos pertinentes, el valor final es de 15.30 pta/kWh.

Gas Natural: Según el BOE 19/02/2001 (Tarifa D.2), el precio es de 75.695 pta/m³, teniendo en cuenta el poder calorífico de dicho gas, el precio para el usuario resulta ser de 7.13 pta/kWh, impuestos incluidos.

1.5 - TECNOLOGÍA DE CLIMATIZACIÓN CON MOTOR A GAS

Uno de los primeros pasos hacia el uso del gas para el accionamiento de equipos de climatización fue la sustitución del motor eléctrico acoplado a los ciclos de compresión mecánica de vapor por un motor de combustión interna a gas. El interés que presentaba esta sustitución, era que ya se partía de toda la tecnología desarrollada para los equipos eléctricos y además, el uso de motores a gas presentaba las siguientes ventajas:

· *Modulación de la carga.* Los motores a gas tienen la capacidad de poder variar su régimen de giro desde unas 800 rpm hasta 3000 rpm. Desde el punto de vista energético, la adaptación de la velocidad de giro del motor a la carga térmica, permite mejorar ostensiblemente el rendimiento a carga parcial. Dicha adaptación era exclusiva de los equipos accionados con motor a gas hasta la aparición en el mercado de los equipos INVERTER eléctricos. No obstante, estos equipos electrónicos que regulan la frecuencia de alimentación de los motores eléctricos tienen un límite práctico, puesto que el coste de estos sistemas aumenta con la potencia controlada. Sin embargo tal y como indica Julià (2001), el sistema que actúa sobre la posición de la mariposa del carburador en los motores a gas es casi independiente del tamaño del motor que controla.

· *Recuperación de calor.* Aproximadamente sólo un 30% de la energía desprendida durante el proceso de combustión del gas es convertida en trabajo por el motor. El resto de dicha energía es energía térmica a diferentes temperaturas que puede ser utilizada para otros fines. Generalmente, la mayor parte de dicha energía es transferida al circuito de refrigeración de los cilindros del motor, la cual puede ser aprovechada como agua caliente sanitaria en verano, o bien, como aporte energético extra cuando el equipo opera en modo de bomba de calor. Además, en modo calefacción, parte de esta energía también suele utilizarse como medio para ampliar el período de los ciclos de descarche.

No obstante, la baja fiabilidad y los cortos períodos de mantenimiento eran la gran desventaja competitiva de los motores de combustión interna al compararlos con los motores eléctricos. Como indica Yoshida (1996), los fabricantes de motores japoneses desarrollaron unos motores más pequeños y ligeros, en los cuales se incrementó la velocidad de rotación del motor y se disminuyó el desplazamiento del pistón, con el fin de prolongar la vida útil del motor hasta las 40.000 horas de funcionamiento. Además, para alcanzar un solo período de mantenimiento anual, también fue necesario desarrollar aceites lubricantes de larga duración y con un amplio rango de temperaturas de operación. A título de ejemplo, los aceites recomendados para los motores Yamaha y Yanmar son del tipo 10W-30,

Otro aspecto importante a tener en cuenta con los motores a gas y que no presentaban los motores eléctricos, eran las emisiones de los gases de escape. Estas emisiones, al igual que el rendimiento del propio motor, vienen determinadas principalmente por la relación aire-combustible. Con el fin de reducir al máximo las emisiones, dichos motores incorporan además de un catalizador, un control electrónico de la relación aire-combustible, para asegurar en todo momento un nivel bajo de emisiones, y al mismo tiempo obtener el máximo rendimiento del motor.

1.5.1 - Principio de funcionamiento

Los equipos de climatización con motor a gas se basan en el accionamiento del ciclo de compresión mecánica de vapor. En la Fig. 1.2 se muestran los principales componentes de dichos equipos:

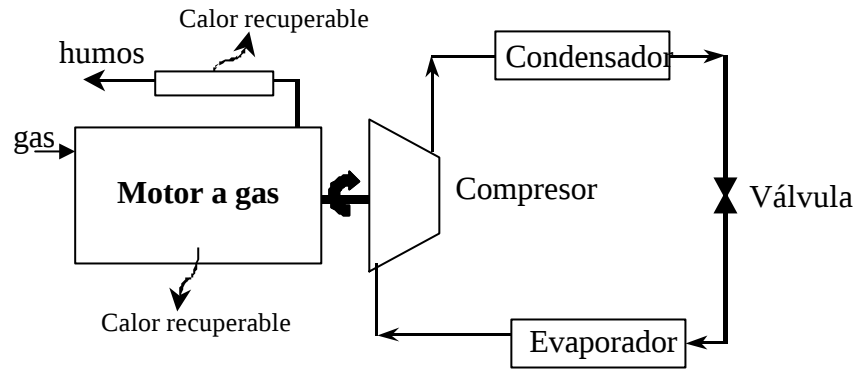


Fig. 1. 2 Ciclo de compresión de vapor accionado por un motor a gas.

Como se observa en esta figura, un ciclo de compresión mecánica de vapor está formado básicamente por los siguientes cuatro componentes:

- *Compresor.* El compresor es accionado por un motor con el fin de aumentar la presión del refrigerante desde la presión de operación del evaporador hasta la presión del condensador. El tipo de compresor instalado en el ciclo depende de la relación de compresión requerida y del caudal volumétrico a trasvasar. En la práctica, los compresores más utilizados para el sector residencial son los del tipo pistón o scroll, mientras que para aplicaciones industriales se utilizan comúnmente los de tipo tornillo o los centrífugos.
- *Condensador.* La fase vapor del refrigerante altamente recalentada debido a la etapa de compresión, entra en el condensador. Dicho componente puede ser enfriado directamente por una corriente de aire o bien por un flujo de agua, hasta obtener a su salida refrigerante líquido saturado.
- *Válvula de expansión.* El objetivo de la válvula de expansión es crear una obstrucción al paso de flujo de refrigerante, con el fin de mantener la diferencia de presión requeridas entre el condensador y el evaporador, además de reducir la presión del líquido refrigerante procedente del condensador. En la práctica se encuentran diversos sistemas de expansión, desde un simple capilar pasando por válvulas termostáticas, hasta sistemas más complejos, como las válvulas electrónicas.
- *Evaporador.* El refrigerante expandido parcialmente tras fluir por la válvula de expansión, es totalmente vaporizado e incluso ligeramente recalentado tras su paso por el evaporador. La energía requerida para la vaporización de dicho refrigerante, se extrae del aire o agua que envuelve los haces de tubos que forman el evaporador.

1.5.2 - Mercado de los climatizadores con motor a gas

Los equipos de climatización con motor a gas poseen mayor rendimiento que cualquier otro sistema de climatización a gas, y además permiten cubrir simultáneamente las demandas de frío y agua caliente sanitaria. Por este motivo, en los últimos años han ido ganando cuota de mercado en segmentos tan diversos, como centros comerciales y educativos, hospitales, e incluso en complejos industriales. En estos sectores, en donde se requiere alta potencia, los costes de los equipos a gas pueden ser competitivos con respecto a los equipos eléctricos, y además, al tener unos costes de funcionamiento sensiblemente inferiores, se pueden recuperar las inversiones en un corto intervalo de tiempo.

Sin embargo, en lo que se refiere al sector residencial, estos equipos a gas no presentan costes competitivos con respecto a los sistemas eléctricos y además tienen el inconveniente de un mantenimiento rutinario como cambios de aceites, bujías, filtros, etc. Solamente en Japón y Estados Unidos, este tipo de equipos han sido comercializados con éxito, y el número de ventas ha ido creciendo año tras año (Steadman, 1997). Como ejemplo de ello, en la Fig. 1.3, se presenta la evolución del número de ventas de este tipo de equipos en el mercado japonés.

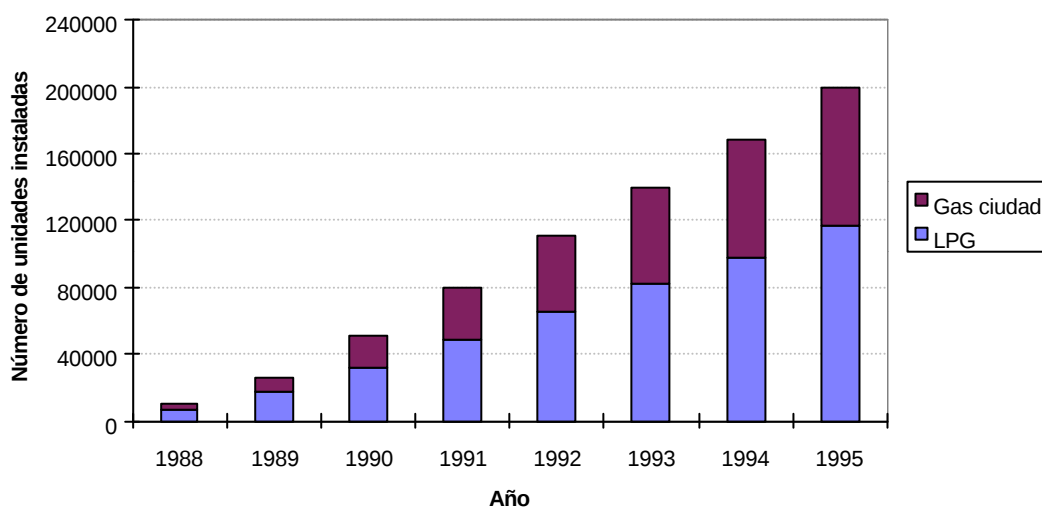


Fig. 1.3 Número total de bombas de calor con motor a gas instaladas en Japón al final de cada mes de septiembre (Yoshii, 1998).

En Japón y concretamente en el año 1995, se comercializaban 12 modelos de unidades exteriores de bombas de calor, las cuales podían ser acopladas a unidades interiores con capacidades entre 2.8 kW y 14 kW, de diferentes tipos, como murales, de cassette, de suelo, ... En las tablas 1.3 y 1.4 se detallan los 12 modelos comercializados en 1995 en Japón. (Yoshii, 1998)

Potencia motor (CV)	3	3.3	4	5		
Potencia en refrigeración (kW)	8.0	8.0	11.2	14.0	14.0	14.0
Potencia en calefacción (kW)	10.0	9.5	14.0	17.0	20.0	18.0
Constructor	Yamaha	Yamaha	Yanmar	Alshin	Yanmar	Yamaha

Tabla 1.3. Bombas de calor con motor a gas para potencias de refrigeración entre 8 kW y 14 kW.

Potencia motor (CV)	7.5		8	10		18
Potencia en refrigeración (kW)	18.0	18.0	20.3	28.0	26.5	47.5
Potencia en calefacción (kW).	20.0	21.2	28.0	33.5	37.5	56.0
Constructor	Alshin	Yamaha	Yammar	Alshin	Yammar	Yammar

Tabla 1. 4 Bombas de calor con motor a gas para potencias de refrigeración entre 18 kW y 47.5 kW.

Como indica Steadman (1997), el mercado norteamericano no ha sido tan fructífero como el japonés. En 1992, se contabilizaban solamente alrededor de 50 unidades instaladas en centros comerciales y unas 200 en el sector residencial. No obstante, esta situación cambió significativamente a partir de julio de 1994 con el inicio de la comercialización del equipo York Triathlon. A pesar que las prestaciones térmicas del equipo son muy competitivas, tal y como puede apreciarse en la Fig. 1.4 y que se vendieron más de dos mil unidades en los dos primeros años, no se ha observado últimamente una ampliación de la gama de estos equipos. En la actualidad sólo se comercializan dos unidades de 3 y 3.5 TR.

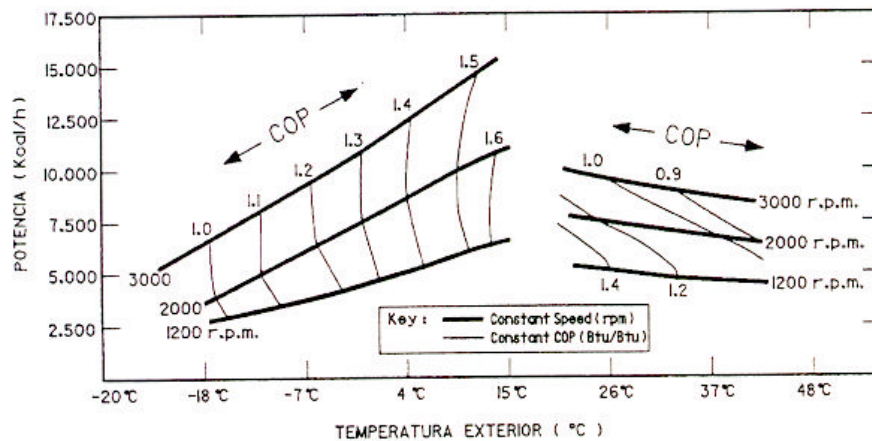
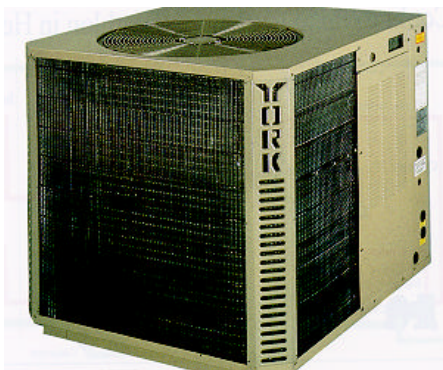


Fig. 1. 4 Resultados de la bomba de calor con motor a gas York Triathlon en una cámara calorimétrica. (Ferrando, 1997)

En la tabla 1.5 se presentan a título de ejemplo, las principales características técnicas del equipo York Triathlon de 3 TR, junto con su aspecto exterior en la Fig 1.5.



Modelo	3TR
Potencia frigorífica (kW)	11.3
Potencia calefacción (kW)	18.75-27.5
COP en refrigeración (estacional)	1.3
COP en calefacción (estacional)	1.26
Consumo eléctrico (kW)	<0.6
Refrigerante	R-22
Compresor	pistones
Dimensiones externas (mm)	965x1092x927
Peso en operación (kg)	290

Fig. 1. 5. Aspecto de la unidad exterior **Tabla 1.5** Características técnicas del equipo York Triathlon del equipo York Triathlon

1.5.3 - Tendencias futuras en la climatización con motor a gas

El futuro de las bombas de calor accionadas con motor a gas estará directamente relacionada a la evolución de los refrigerantes de los ciclos de compresión a vapor por una parte, y por la otra, al desarrollo de motores térmicos más eficaces.

- *Refrigerantes.* No existe todavía una solución definitiva para sustituir los CFC y los HCFC en los equipos de climatización. A los nuevos refrigerantes se les exige básicamente que no contengan cloro para que no sean perjudiciales a la capa de ozono, unas prestaciones térmicas similares o mejores que sus predecesores, y que no sean sustancias nocivas para la salud pública. Ante ello existen dos tendencias claramente diferenciadas: la norteamericana y la europea.

La tendencia norteamericana tiene un carácter más conservador y apuesta por fluidos similares a los CFC pero sin cloro, del tipo HFCs. Estos fluidos presentan un comportamiento energético y de compatibilidad de materiales similar a los antiguos refrigerantes, por lo que son aptos para remplazar a dichos fluidos con un mínimo de cambios. En las instalaciones ya existentes, estas modificaciones se centran, por lo general, en el cambio de lubricante del tipo mineral a los poliol-ésteres (POE), y a los elastómeros de neopreno por gomas del tipo EPDM. Otra ventaja del uso de los HFC es que estos poseen un grado de flexibilidad para adaptarse a las condiciones de trabajo de los antiguos CFC, debido a que se pueden utilizar en forma de fluido puro como el R134a, o bien en forma de mezclas como el R407C, que se compone de R32/R125/R134a en proporciones de 23/25/52 en peso.

La tendencia de los países del norte de Europa se centra en los refrigerantes naturales, como el agua, amoníaco, hidrocarburos, CO₂, ... los cuales se hallan en el ambiente y en consecuencia no presentan ninguna carga medioambiental adicional. A pesar que el precio de adquisición de estos fluidos es muy económico y que desde el punto de vista de eficiencia energética suelen dar mejores resultados que los HFC, su incorporación en el mercado viene limitada por aspectos de toxicidad o de inflamabilidad de estos fluidos en caso de alguna fuga.

- *Motores térmicos.* A lo largo de los últimos años se ha observado un incremento sustancial de la fiabilidad y una reducción progresiva de las emisiones de estos equipos. En cuanto al rendimiento térmico de estos motores, al estar limitado por el propio rendimiento de los ciclos Otto, su mejora ha sido casi inapreciable. Por este motivo, se están considerando otras alternativas para el accionamiento de los ciclos de compresión de vapor, que sean más eficientes energéticamente. Entre las diversas propuestas, Miura (1995), destaca los motores Stirling. Con estos motores se podría mejorar el rendimiento térmico entre un 20% a un 40% respecto a los equipos eléctricos o a los motores convencionales a gas. Bajo este concepto, Mitsubishi Electric Corp y Toshiba Corp han desarrollado un equipo piloto de 6 kW, mientras Aisin Seiko Co. ha construido un motor que proporciona una potencia neta de 25 kW.

1.6 - TECNOLOGÍA DE LOS EQUIPOS DE ABSORCIÓN

Como indica Burgett et al. (1999), los primeros desarrollos en sistemas de refrigeración por absorción se remontan al año 1845, cuando Edmund Carre diseñó y vendió una máquina que operaba con agua y ácido sulfúrico para el enfriamiento de agua potable. Seis años más tarde, en 1851, su hermano Ferdinand Carre diseñó con éxito el primer equipo comercial de refrigeración por absorción de amoníaco-agua.

Aunque en los años subsiguientes, se introdujeron numerosas mejoras halladas de forma empírica, no fue hasta en 1913 cuando se obtuvo una primera base teórica. En ese año, el trabajo de Edmund Altenkirch sentó los principios de la termodinámica de las mezclas binarias para absorción. A partir de este momento se inicia el desarrollo de los equipos de absorción, y es cuando empiezan aparecer los primeros listados de posibles mezclas de trabajo para estos ciclos.

Después de la segunda guerra mundial, con el uso del par agua-bromuro litio, se inicia la época dorada de los equipos de absorción. Se introducen en el mercado equipos destinados tanto para aplicaciones domésticas como unidades de gran capacidad. Como ejemplo de ello, Carrier vende la primera unidad de gran potencia (530 kW) en 1945, mientras que Trane desarrolla el primer equipo hermético en 1959. Aunque los COP de estos ciclos eran relativamente bajos en aquel entonces, alrededor del 0.65, estos equipos gozaban de una gran aceptación debido principalmente al bajo precio del gas y a la falta de regularidad en el suministro eléctrico. Tanto era así, que en el segmento de las grandes potencias, estos equipos acaparaban el 25% del mercado norteamericano durante los años 60.

Tras la crisis del petróleo en los años 70, y con el apogeo de la energía nuclear en esas fechas, se produce en los Estados Unidos un declive por el interés de los equipos de absorción, y los desarrollos se centraron en equipos de compresión de vapor accionados eléctricamente. En contrapartida, Japón al ser un país con escasos recursos naturales, y ante la disponibilidad del gas licuado procedente del sudeste asiático, sigue apostando por la climatización a gas. Tanto es así, que en Japón en el 1975, y por primera vez, los equipos de absorción superan en número a los equipos eléctricos instalados, y una década más tarde, los equipos de absorción dominan el 80% del mercado de las grandes potencias en este país.

En los últimos años, debido a la problemática medioambiental generada por los CFC, unido al aumento de la temperatura global del planeta y al incremento de las tarifas eléctricas, surge de nuevo el interés de los equipos de absorción. Como Japón ha sido uno de los pocos países que prosiguió en la década de los 70 y 80 con el desarrollo y mejora de este tipo de máquinas, la mayor parte de los equipos comercializados actualmente de agua-bromuro de litio son fabricados en ese país o bajo licencia japonesa. Prueba de ello es que en la tabla 1.6, se muestran los acuerdos comerciales entre fabricantes y suministradores de equipos de absorción de Agua-BrLi.

Fabricantes	Carrier	Trane	McQuay	York	Dumham Bush
Suministradores	Ebara	Kawasaki	Sanyo	Hitachi	Thermax

Tabla 1. 6. Acuerdos comerciales entre fabricantes y suministradores de equipos.

1.6.1 - Principio de funcionamiento

Los equipos de absorción, al igual que los de compresión de vapor, se basan en el principio de condensación y evaporación de un refrigerante para la obtención de frío o calor. La principal diferencia entre estos ciclos reside en el proceso en el cual dicho fluido se trasvasa desde la zona de baja presión a la zona de alta presión.

Tal y como se ha comentado anteriormente, en el caso de los ciclos de compresión de vapor dicho trasvase se debe a la acción mecánica de un compresor. En el caso de un sistema de absorción, el refrigerante vaporizado en la zona de baja presión es absorbido por una solución que tiene afinidad fisicoquímica a dicho fluido y conocido como absorbente. La mezcla líquida resultante es bombeada a la zona de alta presión, donde el refrigerante es extraído de nuevo de la solución mediante la aportación de calor. En la Fig. 1.6 se muestran los principales componentes de un ciclo de absorción de simple efecto situados sobre un diagrama genérico de Presión-Temperatura-Composición (PTX).

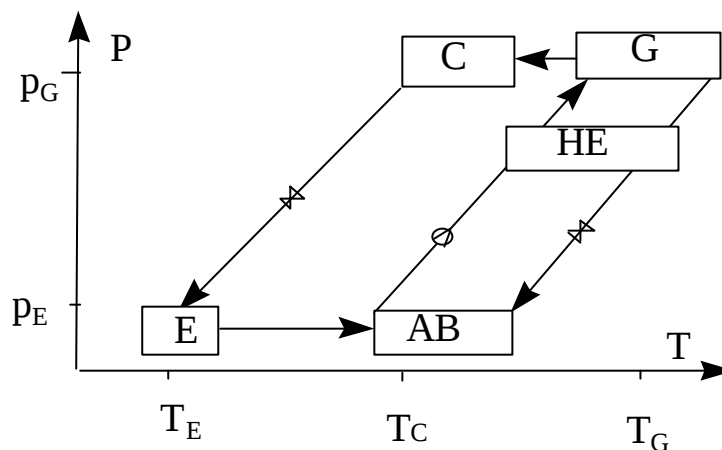


Fig. 1. 6 Principales componentes de un ciclo de absorción de simple efecto en un diagrama PTX

Como se observa en Fig 1.6, un ciclo básico de absorción de simple efecto esta formado por los siguientes componentes:

- Condensador. El refrigerante vaporizado procedente del generador es condensado, cediendo su calor de cambio de fase a otro fluido externo, ya sea aire o agua.
- Válvula de expansión. La válvula de expansión evita el paso de vapor del condensador al evaporador. En los equipos de agua-bromuro de litio, como la diferencia de presiones entre el condensador y el evaporador es pequeña, alrededor de 5 kPa, se suele emplear simplemente trampas de líquido. En el caso de equipos que operan con amoniaco, la gran diferencia de presiones entre dichos componentes hace necesario el uso de dispositivos similares a los utilizados en los equipos de compresión de vapor.

- **Evaporador.** En este componente, el refrigerante procedente de la válvula de expansión se evapora tomando calor del medio que le rodea, ya sea aire o bien otro fluido como agua, salmuera,... En este punto hay que distinguir claramente cuando el refrigerante se halla en el interior del evaporador en estado puro o no. Si el refrigerante es puro, la presión de operación en dicho componente será la que corresponda a su temperatura de saturación, mientras que si aparecen restos de absorbente, la presión de operación irá disminuyendo a medida que la acumulación de absorbente en su interior sea cada vez más significativa. Para evitar este descenso de la presión de trabajo en el evaporador, y la consiguiente disminución del rendimiento del propio ciclo, se suele realizar una purga de la fase líquida desde el evaporador hacia el absorbedor.
- **Absorbedor.** Aquí se pone en contacto la fase vapor del evaporador con la solución procedente del generador, con el fin agregar el refrigerante a dicha solución. A su salida se obtiene una solución concentrada en refrigerante, la cual es de nuevo impulsada hacia el generador por medio de una pequeña bomba. Como el proceso de absorción es exotérmico, la energía liberada debe ser transferida a una corriente externa para no detener dicho proceso de absorción.
- **Generador.** En este componente se trata de extraer el refrigerante de la solución por medio de un aporte exterior de energía térmica, provocando la ebullición de la solución y la consiguiente separación de refrigerante.
- **Intercambiador de calor solución-solución.** Este intercambiador de calor, conocido también con el nombre de economizador, permite mejorar el rendimiento del ciclo debido a la disminución de la carga térmica en el generador y en el absorbedor. Su ausencia implicaría, que en el generador habría que calentar la solución desde la temperatura de operación del absorbedor hasta la ebullición, mientras que en absorbedor se debería enfriar la solución desde la temperatura del generador hasta la temperatura del absorbedor, para poder iniciar el proceso de absorción.

A partir de la configuración básica indicada en Fig. 1.6, se han superpuesto otros componentes con el fin de mejorar el rendimiento térmico y reducir las reversibilidades internas del ciclo. La localización de estos componentes depende del fluido de trabajo utilizado. Así, los equipos que operan con agua-bromuro de litio, debido a que operan en niveles de presión muy bajos, junto a la limitación por cristalización de la sal, obliga la superposición de nuevos componentes en el eje de las presiones. Como consecuencia, los ciclos de doble efecto que operan con dicho fluido requieren tres niveles de presión diferentes.

En cambio, para sistemas de amoníaco-agua, al operar ya con presiones considerables en la configuración de simple efecto, el incremento de eficiencia se dirige a la inclusión de componentes en la dirección de la solubilidad, debido a que dicho par de trabajo tiene miscibilidad total.

1.6.2 - Ciclo de absorción de alta eficiencia. Doble efecto.

A diferencia de los ciclos de simple efecto que requieren temperaturas de activación alrededor de 90°C , los ciclos de doble efecto suelen operar en el intervalo de temperaturas entre 140 y 170°C . Este incremento de la temperatura de activación, se traduce en una mejora sustancial del rendimiento del equipo, alcanzando valores cercanos a 1.2 para sistemas de accionamiento indirecto. Este incremento de las prestaciones del ciclo se debe a la incorporación de un generador, un condensador y un intercambiador de calor solución-solución al ciclo básico de simple efecto. La disposición de los diferentes componentes de un ciclo de doble efecto se muestra en la Fig. 1.7, sobre la base de un diagrama PTX.

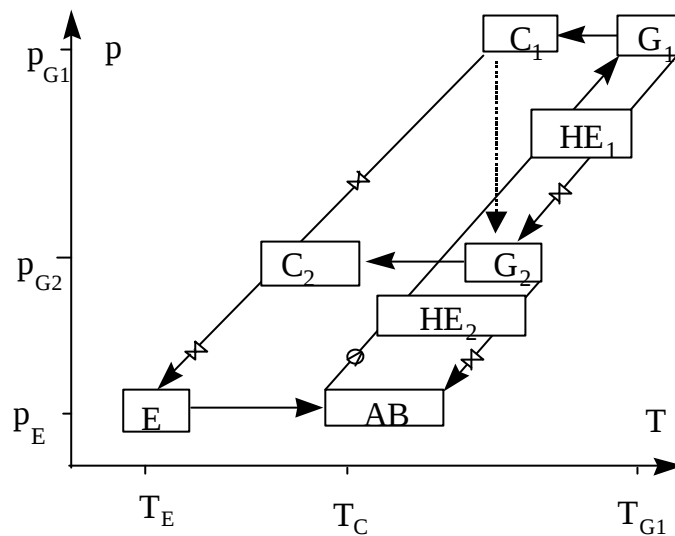


Fig. 1. 7 Componentes de un ciclo de absorción de doble efecto en configuración serie en un diagrama PTX

Como puede verse en la Fig 1.7, la fuente térmica de calor se utiliza en el generador G_1 , el cual opera a temperatura y presión elevada. El refrigerante que se separa de la solución que alimenta a este equipo, se dirige hacia el condensador C_1 , donde el calor de cambio de fase de dicho fluido sirve para empobrecer aun más la solución que entra en el generador G_2 . De este modo, para una misma unidad energética de entrada al ciclo, se obtiene un mayor caudal másico de refrigerante hacia el evaporador, consiguiéndose de esta forma un aumento del 40% de capacidad frigorífica respecto a un ciclo convencional de simple efecto.

En los ciclos de doble efecto, existen tres tipos de configuraciones diferentes para el circuito de la solución: serie, paralelo e invertido. En la configuración serie, la solución procedente del absorbedor fluye hacia el generador de alta temperatura G_1 , y a la salida de éste, se dirige hacia el generador de baja temperatura G_2 . Como bien indica su nombre, en la configuración en paralelo, se produce una división de flujo a la salida del absorbedor, para alimentar de forma independiente cada uno de los dos generadores. Finalmente, en la configuración invertida, la solución rica procedente del absorbedor fluye primeramente hacia el generador de baja, G_2 para luego ser bombeada al generador de alta G_1 .

1.6.3 - Mezclas de trabajo en los equipos de absorción

Las propiedades químicas y termofísicas de una mezcla de trabajo, determinan las condiciones de operación a las que puede operar un equipo de absorción. Así, por ejemplo, el par Agua-BrLi, que es la mezcla más ampliamente utilizada por la mayor parte de equipos de absorción en climatización, tiene limitada la temperatura de operación del evaporador, a un valor próximo a los 5°C debido al punto de congelación del agua. Además, la temperatura de operación de trabajo del absorbedor no puede ser excesivamente elevada a causa de la cristalización de la solución. Dichas limitaciones en la temperatura provocan que el salto térmico entre el evaporador y el absorbedor, ronde como máximo los 30°C. Esto implica el uso de torres de refrigeración para la evacuación de calor en el absorbedor, e imposibilita la operación en modo de bomba de calor durante el invierno. Si bien es cierto, que se comercializan equipos de Agua-BrLi que pueden cubrir demandas térmicas tanto de frío como de calor, la operación en modo calefacción se limita al trasvase de energía térmica del generador directamente al circuito de calefacción, sin aportar ninguna mejora respecto al uso de una simple caldera.

A pesar del escaso margen de operación de dichos equipos, éstos gozan de una buena aceptación en el mercado de la climatización a causa de sus buenos rendimientos térmicos en modo refrigeración, así como la nula toxicidad y carga medioambiental de la mezcla. Por este motivo, se han realizado numerosos estudios con el fin de ampliar el margen de temperaturas de operación. Como la mayor limitación se encuentra en la temperatura de operación del absorbedor, los esfuerzos se han centrado para desplazar la curva de cristalización de la disolución hacia puntos de mayor temperatura, con la adición de otras sales que contienen el ion Li, a la propia disolución de Agua-BrLi. Como muestra de ello son los diversos estudios con sales cuaternarias realizados por Tongu et al (1993), Okano et al (1993) y más recientemente Ko et al. (2000) y Medrano et al. (2000).

Herold et al (1991) y Ziegler et al. (1999) proponen una mezcla ternaria de hidróxidos sódico, potásico y de cesio como alternativa al par Agua-BrLi. La curva de cristalización de esta mezcla se encuentra desplazada de tal forma, que es factible operar con una temperatura en el absorbedor cercana a los 50°C, poder operar a alta temperatura en el generador (200°C) y proporcionar unos rendimientos térmicos similares a la anterior mezcla. No obstante, su aplicación práctica por el momento se ha visto limitada a causa de los problemas de materiales debidos a la corrosión que origina dicha disolución a las temperaturas de operación del generador.

Los equipos de absorción con la mezcla de Amoniaco-Agua suelen utilizarse para cubrir las demandas térmicas en el rango de temperaturas en donde las unidades de Agua-BrLi no son operativas. Este hecho se debe a que para unas mismas condiciones de operación, la solución salina presenta unos mejores rendimientos térmicos que la mezcla amoniaco-agua; ya que ésta última precisa de un sistema de rectificación, para reducir el contenido del absorbente en el evaporador. Por otra parte, desde el punto de seguridad, al ser el amoníaco un producto tóxico, y que en el interior del equipo siempre se halla a presión superior a la atmosférica, su uso en los equipos de climatización se halla restringido en algunos países como Japón. En otros países como Estados Unidos, Italia,... dicha mezcla goza de una buena aceptación, comercializándose con éxito equipos de absorción destinados al sector residencial con este sistema. A nivel de

mediana potencias, los equipos de amoniaco-agua se utilizan como bombas de calor, aunque sólo para calefacción (Bassols et al., 1995).

1.6.4 - Mercado de los equipos de absorción

Una de la principales virtudes de los equipos de absorción se encuentra en su capacidad de operación sin generar ningún tipo de vibración ni de ruido, y de ahí su amplia aceptación como medio enfriador de bebidas en las habitaciones de los hoteles. No obstante, su cuota de mercado en el sector de la climatización varía enormemente de un país a otro. Mientras que en Estados Unidos y los países europeos la demanda de dichos equipos es más bien escasa, en Japón los equipos de absorción están ampliamente consolidados, alcanzando en 1985, el 80% del mercado de las enfriadoras de agua de gran potencia (Burgett, 1999).

En otros países, como China, Corea o India, la demanda de tales equipos esta creciendo actualmente de forma extraordinaria tanto para aplicaciones domésticas como industriales. Como prueba de ello, en la Fig 1.8 se muestra la evolución de la producción anual de enfriadoras de agua por absorción en China.

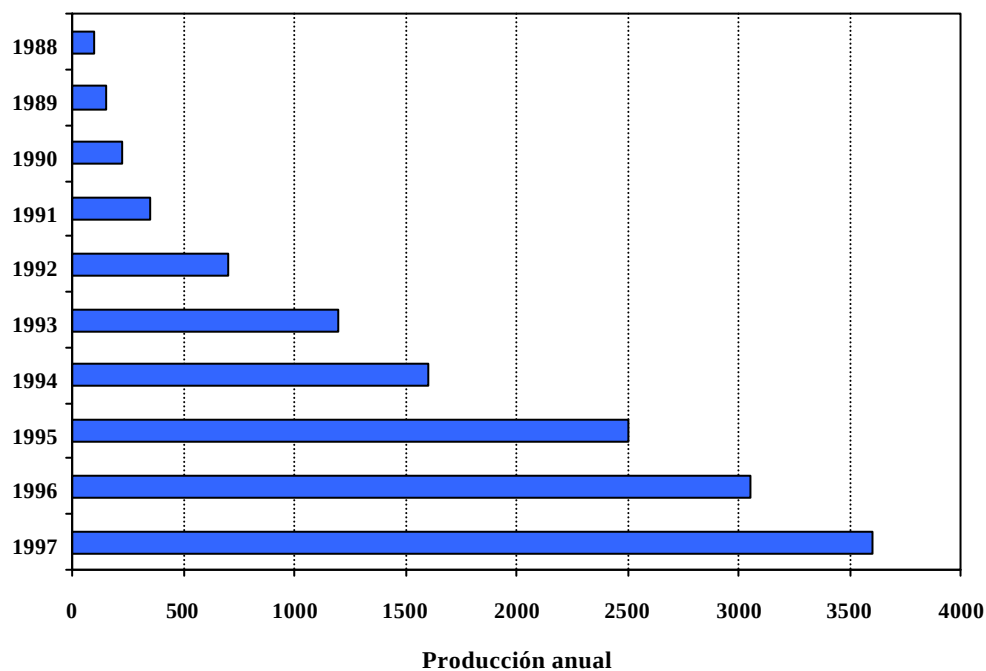


Fig. 1.8 Evolución anual del número de enfriadoras de agua por absorción instaladas en China.

(Lu, 1999)

La diferencia en el crecimiento de la demanda en dichos países comparada con los países europeos se explica básicamente por su deficiente infraestructura eléctrica y por la disponibilidad de gas a precios muy asequibles. Por otra parte, en Europa, la demanda de equipos de absorción se centra mayoritariamente en el sector industrial como sistema de aprovechamiento de residuos térmicos generados en los diferentes procesos, y muy particularmente en las plantas de cogeneración.

A diferencia del sector de las grandes potencias, en donde empresas como Carrier, Trane o York comercializan un número considerable de modelos tanto de simple efecto como doble efecto de bromuro de litio, para cubrir las demandas térmicas de hasta 5 MW, en el sector comercial y residencial, al tener una demanda considerablemente menor, el número de modelos existentes en el mercado es muy reducido. En Europa, Robur comercializa la mayor parte de las unidades de absorción de amoníaco-agua de simple efecto destinadas al sector residencial. Se trata de enfriadoras de aire de llama directa cuya principal ventaja reside en la utilización del aire exterior para la condensación y disipación de calor en el absorbedor (disipación seca) . En 1997, Robur vendió más de 3000 unidades de llama directa, de los cuales 1200 corresponden al mercado italiano. En la figura 1.9 puede verse el aspecto del equipo Robur AYC-60 y sus características técnicas se detallan en la tabla 1.7.



Model no.	AYC 60-140/165
Potencia frigorífica, a 35°C (kW)	17.5
Potencia calefacción (kW)	32.8/ 38.7
COP en refrigeración a plena carga	0.48
Eficiencia en calefacción (%)	82/ 80.5
Consumo eléctrico (kW)	
Refrigeración	1.275
Calefacción	0.415
Dimensiones (mm)	1232x851x1073
Peso en operación (kg)	351

Fig. 1. 9 Aspecto exterior del equipo Robur AYC-60 **Tabla 1. 7** Características técnicas del equipo Robur AYC-60

Por otra parte, también para potencias pequeñas, Yazaki comercializa enfriadoras de agua-LiBr de simple y doble efecto. Para aplicaciones de baja potencia, existen tres modelos de simple efecto activados con agua a 90°C y potencias frigoríficas de 17.5, 26.4 y 35 kW. No obstante, en Europa únicamente se comercializa el modelo de 35 kW WFC-10. El principal inconveniente de estos equipos viene por la limitación de la baja temperatura de operación del absorbedor/condensador debido a los problemas de cristalización de la solución salina. Por este motivo, resulta imprescindible el uso de torres de refrigeración para la eliminación de dicho calor, y en consecuencia, se requieren tratamientos químicos específicos para la eliminación de las bacterias como la legionela de las aguas de los circuitos de refrigeración. En la figura 1.10 puede verse el aspecto del equipo Yazaki WFC-10 y sus características técnicas en la tabla 1.8.



Model no.	WFC-10
Potencia frigorífica (kW)	35
Potencia calefacción (kW)	-
COP en refrigeración	0.70
Eficiencia en calefacción (%)	-
Consumo eléctrico	
Refrigeración	0.03
Calefacción	-
Dimensiones (mm)	1035x990x1991
Peso en operación (kg)	860

Fig. 1. 10 Equipo Yazaki WFC-10 **Tabla 1. 8** Características técnicas del equipo Yazaki WFC-10

1.6.5 - Tendencias futuras en los equipos de absorción

Los desarrollos que se están llevando actualmente se centran en el incremento del rendimiento y del rango de operación por una parte, y por la otra, en la reducción del peso y volumen de dichos aparatos. Entre los diferentes desarrollos que se han realizando, cabe destacar el ciclo GAX, el ROTEX y el proyecto CLIMABGAS con fluidos orgánicos.

• **Ciclo GAX.** En este ciclo se propone mejorar las prestaciones del de simple efecto de amoníaco-agua, con un ciclo intermedio entre uno de simple y doble etapa. En la Fig.1.11, se muestra el esquema de dicho ciclo.

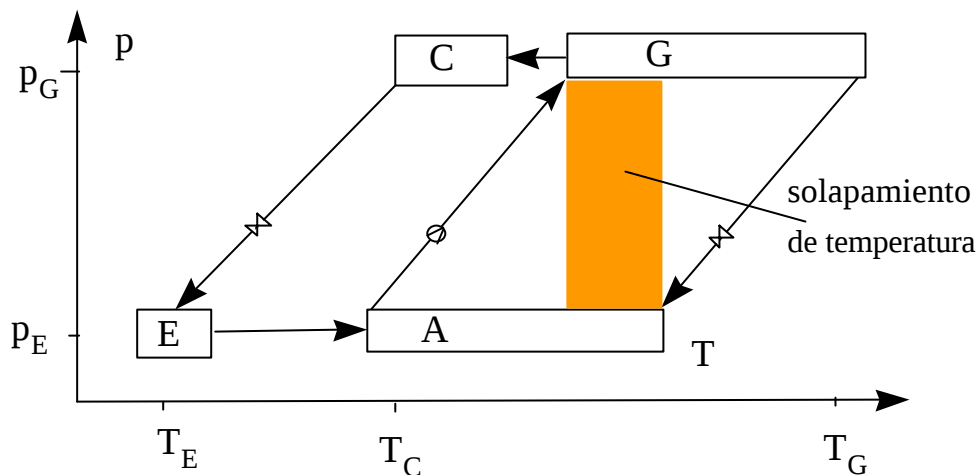


Fig. 1. 11 Diagrama esquemático de un ciclo GAX, en un diagrama PTX

Cuando la temperatura del generador G es suficientemente elevada, se puede producir un solapamiento de temperaturas entre el generador y el absorbedor. Este solapamiento puede ser utilizado internamente para transferir calor desde el absorbedor hacia el generador, reduciendo así la demanda energética externa de este último y en consecuencia aumentado el rendimiento del ciclo. Mas detalles del funcionamiento del ciclo, así como de sus limitaciones pueden encontrarse en el libro de Herold et al. (1996).



Fig. 1. 12 Equipo Carrier GAX

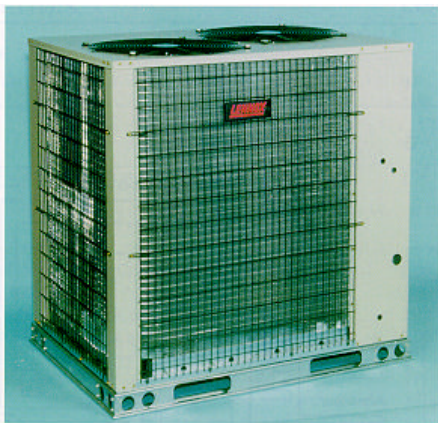
Modelo	3 TON
Potencia frigorífica (kW), a Tamb = 35 °C	10.5
Potencia calefacción (kW), a Tamb = 8 °C	21
COP refrigeración (objetivo en 1995)	0.9
COP calefacción (objetivo en 1995)	1.8
Consumo Eléctrico (kW)	-
Dimensiones externas (mm)	1092x864x1219

Tabla 1. 9 Características técnicas del prototipo Carrier GAX

Las compañías Carrier y Robur han estado desarrollando por separado pequeñas unidades bombas de calor con la tecnología GAX. En la figura 1.12 se muestra el aspecto del prototipo propuesto por Carrier en 1995 y sus características se detallan en la tabla 1.9. Otro de los desarrollos se deben a la empresa Energy Concepts de EE.UU. que tiene previsto iniciar las pruebas de demostración de su equipo VX GAX, para el próximo año 2002, con un COP en refrigeración de 0.78 y un COP en calefacción de 1.58 (Erikson, 2000).

• **Equipo ROTEX.** Dicho equipo se basa en el concepto de intensificación por campos centrífugos. Este concepto fue introducido por la compañía británica ICI en los años 70, tras la constatación del aumento de los coeficientes de transferencia de calor y de materia, debido a las fuerzas gravitatorias generadas por rotación. Como señala Branson et al (1995), bajo esta idea, en 1984, ICI y Caradon PLC, a través de un programa de desarrollo común, confirmaron empíricamente las prestaciones que se esperaban con un par equipos de absorción de simple efecto.

Años más tarde, 1993, las compañías British Gas, Caradon PLC, Lennox Industries, Gas Natural y Fagor Electrodomésticos formaron un grupo de interés económico europeo, conocido por INTEROTEX con el fin de llevar hasta la comercialización un equipo de absorción de doble efecto basado en el anterior proceso de intensificación desarrollado por ICI. Los principales objetivos de este grupo eran desarrollar un equipo de alta eficiencia, tanto para ser utilizado como medio de refrigeración en verano como en modo de bomba de calor en invierno. A parte de estos requisitos energéticos, durante la fase de diseño, también se consideró otros aspectos como equipo compacto, bajo coste de fabricación, libre de mantenimiento y posibilidad de disipación de calor mediante un sistema seco.



Modelo	3 TON
Potencia frigorífica (kW)	10.5
Potencia calefacción (kW)	>10.5
COP en refrigeración (esperado)	0.75
COP en calefacción (esperado)	1.6
Consumo eléctrico (kW)	
Refrigeración	-
Calefacción	-
Dimensiones externas (mm)	1220x833x856
Peso en operación (kg)	215

Fig. 1. 13 Aspecto exterior del equipo **Tabla 1. 10** Características técnicas del Interotex de 3 Ton Interotex de 3 TR

Para cumplir con los requisitos anteriores, se decidió utilizar el agua como refrigerante, mientras que el absorbente estaba formado por una mezcla de hidróxidos de Sodio, Potasio y Cesio. El principal interés de esta mezcla de trabajo era el incremento de la temperatura de cristalización respecto al par agua-bromuro de litio. Este hecho permitía la operación del absorbedor y el condensador del ciclo a las temperaturas adecuadas para ser utilizado como medio de calefacción en invierno o bien disipar el calor en verano mediante aero-refrigeradores, sin problemas de cristalización. La limitación de

esta mezcla se debe a la temperatura de congelación del agua, lo que limita su aplicación como bomba de calor. Así, para temperaturas por debajo de 0°C, el equipo debe operar como una simple caldera.

En la Fig.1.13 se muestra el aspecto de la unidad y en la tabla 1.10 las principales características técnicas del prototipo de Interotex de 3 TR. Como indicaba Winnington (1998), con este equipo se pretendía realizar un conjunto de pruebas de funcionamiento en diversos países del sur de Europa, entre ellos España. Dichos ensayos fueron subvencionados a través del programa de demostración europeo Thermie.

• **Bomba de calor CLIMABGAS** La mayor parte de las limitaciones impuestas por los fluidos actuales de los equipos de absorción pueden superarse mediante el empleo de mezclas de fluidos orgánicos. Así refrigerantes como el metanol o el trifluoroetanol (TFE) en combinación con absorbentes como el tetraetilenglicoldimetileter (TEGDME) presentan una buena afinidad química, una diferencia de temperaturas de ebullición de más de 200°C, una excelente solubilidad en todas proporciones, no son corrosivos y presentan una buena estabilidad térmica hasta temperaturas de 200°C. El gran potencial de dichas mezclas en ciclos de absorción y de absorción-compresión han sido puestos de manifiesto por Boer et al (1993); Coronas et al (1996) y Vallès et al (1996). Las propiedades termofísicas tanto de las sustancias puras como de sus mezclas han sido estudiadas por Esteve (1995); Olivé (1998); Conesa (2000) y Herraiz (2001).

Así pues, las buenas expectativas creadas en los anteriores estudios, justifican que en 1997 el Grupo de Ingeniería Térmica Aplicada de la Universitat Rovira i Virgili en colaboración con las empresas Clariant Ibérica S.A., Gas Natural SDG S.A., Alfa Laval S.A. emprendieran un proyecto para desarrollar un equipo de absorción-compresión con fluidos orgánicos para aplicaciones de climatización para potencias entre 25 y 100 kW. Este proyecto está subvencionado por el Plan Nacional de Investigación Científica y Desarrollo, y cofinanciado con fondos FEDER junto con las empresas colaboradoras. En el año 2000, la empresa Pedro Gil S.A. se adhirió como empresa colaboradora de dicho desarrollo.

Debido a que las propiedades de transporte de dichos fluidos son bastante deficientes, la primera fase del proyecto se centró en el proceso de absorción de dichas mezclas mediante intercambiadores de placas, con el fin de obtener un sistema compacto y eficiente. Los resultados experimentales de dicho estudios se hallan publicados en la tesis doctoral de Vallès (2000).

1.7 - OBJETIVOS DE LA TESIS

Partiendo de la viabilidad técnica de los intercambiadores de placas de operar como absorbedores con fluidos orgánicos, en esta tesis y como segunda fase del proyecto CLIMABGAS se propone diseñar, construir y ensayar un climatizador compacto que opere bajo un ciclo de absorción-compresión tanto en modo de calentamiento como de refrigeración con una potencia de unos 20 kW.

Con el fin de obtener una buena aceptación de dicho producto en el mercado, se establecieron los siguientes requerimientos:

- a) Obtención de un COP superior a la unidad al operar en modo de refrigeración.
- b) Posibilidad durante el período invernal de operar como bomba de calor, al menos para unas condiciones meteorológicas no muy severas
- c) Necesidad de operar en el condensador y en el absorbedor a temperaturas suficientemente elevadas, de tal forma que se permita la disipación de calor mediante aero-refrigeradores.
- d) Equipo compacto y de baja inercia térmica, con el fin de facilitar su adaptación a la carga térmica
- e) Sistema de control simple pero fiable, que permita la reducción de coste tanto en la fase de fabricación del equipo como en la fase de mantenimiento.

Para alcanzar los requisitos anteriores, en esta tesis se han planteado los siguientes objetivos concretos:

- 1) Determinación de la configuración del ciclo de absorción más idónea para que el equipo de climatización pueda cubrir la demanda en refrigeración y climatización, con una buena eficiencia energética ($COP > 1$, en ambos casos), utilizando una mezcla de fluidos orgánicos.
- 2) Diseño de los diversos componentes que forman el ciclo, y su distribución espacial para obtener un equipo lo más compacto posible.
- 3) Propuesta de una estrategia de control fiable del equipo, así como la determinación de la instrumentación requerida para su regulación, con el fin de dotar al equipo de un funcionamiento eficaz.
- 4) Diseño de un banco de ensayos, que permita evaluar las prestaciones del equipo experimental. Además, este banco de ensayos se validará con un equipo de absorción comercial.
- 5) Implementación del prototipo desarrollado en el banco de ensayos, para analizar sus prestaciones reales en las diferentes condiciones de operación.