Avances en Ciencias y Técnicas del Frío – 1

Editado por

López, A., Esnoz, A., Artés, F.

Departamento de Ingeniería *de Alimentos*
y del Equipamiento Agrícola
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Actas del I Congreso Español de Ciencias y Técnicas del Frío
CYTEF'2002
Celebrado en la Universidad Politécnica de Cartagena del 4 al 6 de abril de 2002

Editores: López, A.; Esnoz, A.; Artés, F.
Editado por: Universidad Politécnica de Cartagena y la
Sociedad Española de Ciencias y Técnicas del Frío
Impreso por: Loyga, Cartagena
ISBN: 84-95781-17-4
Depósito Legal: MU–591–2003

Sólo se permite la reproducción parcial de este libro, y con la condición de que se cite de forma precisa la fuente original.

DISEÑO DE UNA BOMBA DE CALOR DE ABSORCIÓN/COMPRESIÓN DE ALTA TEMPERATURA CON FLUIDOS ORGÁNICOS

A. Mestra, M. Vallès, M. Bourouis y A. Coronas
Centre d'Innovació Tecnològica en Revalorització Energètica i Refrigeració (CREVER)
Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, crever@crever.urv.es

RESUMEN

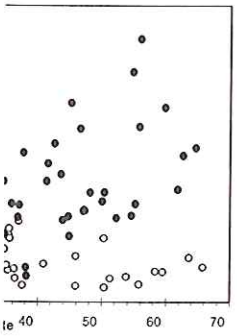
Las bombas de absorción/compresión presentan un gran potencial para ahorrar energía primaria y aumentar la capacidad de calentamiento de los procesos, disminuyendo las corrientes de calores residuales y la demanda de agua de refrigeración. Por estas razones, se ha venido realizando en los últimos años desarrollos a nivel de plantas piloto de equipos de absorción/compresión utilizando la mezcla amoníaco/agua. Aunque dichos equipos han demostrado su gran potencial desde el punto de vista termodinámico, también han puesto de manifiesto problemas de operación debido a la acumulación del aceite lubricante del compresor en el circuito de solución.

Con el objetivo de evitar el problema reseñado, y partiendo de la experiencia en equipos de absorción con fluidos orgánicos para aplicaciones de aire acondicionado, se propone el diseño y construcción de un equipo de absorción/compresión con fluidos orgánicos en el cual el absorbente realice a la vez la función de lubricante en el compresor. En esta comunicación se discute la selección de la mezcla orgánica más idónea y de los componentes del ciclo para su posterior aplicación al diseño de una planta piloto de bomba de calor de absorción/compresión de 15 kW de potencia en el absorbedor utilizando intercambiadores de placas.

Palabras claves: absorción/compresión, bomba de calor, residuos térmicos, fluidos orgánicos, intercambiadores de placas.

1. INTRODUCCIÓN

Los ciclos de absorción/compresión son el resultado de la combinación de las tecnologías de absorción y de compresión utilizando una mezcla compuesta por un refrigerante y un absorbente en vez de refrigerante puro. Estos ciclos se componen de un desorbedor, un absorbedor, un compresor, una bomba, una válvula de expansión y un intercambiador de calor de solución/solución. El calor es transferido desde la fuente de calor hacia el desorbedor donde parte del refrigerante es evaporado. A continuación, el vapor es comprimido hasta la presión del absorbedor. La solución pobre es bombeada desde el desorbedor hasta el absorbedor. En el absorbedor, el refrigerante es absorbido por la solución pobre liberándose calor a la temperatura de revalorización. La solución rica que sale del absorbedor pasa a través del intercambiador de solución/solución donde le cede calor a la solución pobre para luego pasar a través de la válvula de expansión y retornar al desorbedor. En la figura 1 se muestra un esquema del ciclo descrito anteriormente.



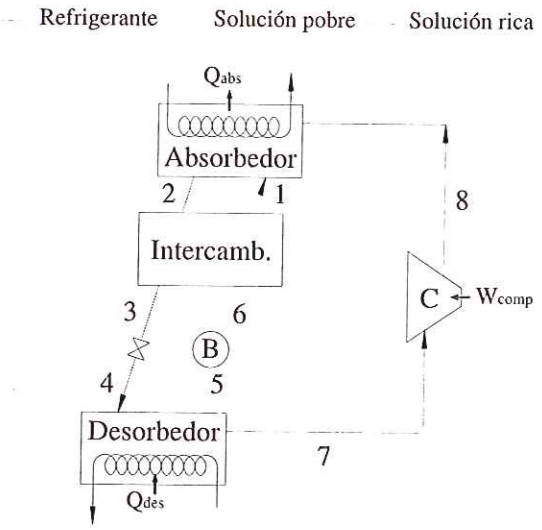


Figura 1. *Esquema del ciclo de absorción/compresión.*

La principal diferencia entre los ciclos de compresión de vapor y los ciclos de absorción/compresión es el uso de dos fluidos (refrigerante/absorbente) con una diferencia apreciable en la temperatura de ebullición. Este hecho, provoca dos aspectos importantes a tener en cuenta: el primero es que aunque la absorción y la desorción ocurran a presión constante, las temperaturas de saturación varían con los cambios de concentración que se producen en el proceso de cambio de fase ("*gliding temperature*"). El segundo, una reducción de la relación de compresión para una temperatura de revalorización fija debido a que la presencia del absorbente en el ciclo disminuye la presión de vapor de la mezcla comparada con la del refrigerante puro. Esto permite por una parte un mayor acercamiento entre las temperaturas del absorbedor y de la corriente a revalorizar y por otra, un aumento en el coeficiente de funcionamiento (*COP*) comparado con el del ciclo de compresión de vapor con el refrigerante puro.

Los primeros estudios teóricos sobre los ciclos de absorción/compresión, conocidos también como ciclos de compresión de vapor con circuito de solución, fueron realizados por Altenkirch (1950). En ellos se mostraba su gran potencial para el ahorro de energía. Este hecho añadido a la necesidad de encontrar "nuevos refrigerantes" substitutos de los CFC ha generado un aumento en las actividades de investigación con dichos ciclos durante los últimos veinte años tal y como se indica en la tabla 1.

A nivel industrial, los procesos de calentamiento requieren niveles de temperatura entre 60 y 1700°C aproximadamente. De todos ellos, cerca del 60% son utilizados para la producción de calor a niveles de temperatura no superiores a 180°C. Teniendo en cuenta que la mayoría de los procesos de producción generan grandes cantidades de residuos térmicos a temperaturas inferiores a 100°C, las bombas de calor de absorción/compresión presentan un gran potencial para ahorrar energía primaria y aumentar la capacidad de calentamiento de los procesos, disminuyendo las corrientes de calores residuales y la demanda de agua de refrigeración.

Autor	Año	Investigación Exp.	Investigación Teo.	Fluido de trabajo
Lotz	1981		X	NH_3/H_2O
Bercesu et al.	1983	X		NH_3/H_2O
Mucic, Scheuermann	1983	X		NH_3/H_2O
Lourdudoss, Stymne	1985		X	R-12/aceite mineral
Pourreza-Djousari, Radermacher	1986		X	R-22/DEGDME
Stokar, Trepp	1986	X		NH_3/H_2O
Radermacher	1986		X	R-22/R-113
Ahlby, Hodgett	1987		X	NH_3/H_2O
Malewski	1988	X		NH_3/H_2O
Mucic	1989	X		NH_3/H_2O
Thies, Najork	1989		X	R-22/NMC, R-141b/NMC
Kruse et al.	1989	X	X	R-22/aceite mineral
Rane, Radermacher, Herold	1989	X		NH_3/H_2O
Bergmann, Hivessy	1990	X	X	NH_3/H_2O
Ziegler, Hammer	1990	X	X	R-22/TEGDME
Groll, Kruse	1991	X	X	R-23/DEGDME, CO_2/acetona
Kawada, Otake, Toyofuku	1991	X	X	TFE/TEGDME
Ahlby, Hodgett, Berntsson	1991		X	NH_3/H_2O
Rane, Amrane, Radermacher	1991	X	X	NH_3/H_2O
Torstensson, Nowacki	1991	X		NH_3/H_2O
Schneider, Göbel, Thies	1991		X	NH_3/H_2O
Chatzidakis, Rogdakis	1992		X	NH_3/H_2O, H_2O/BrLi
Ahlby, Radermacher, Hodgett	1992		X	NH_3/H_2O
Groll, Radermacher	1994	X	X	NH_3/H_2O
Itard, Machielsen	1994		X	NH_3/H_2O
Nogués et al.	1997		X	TFE/TEGDME, MeOH/TEGDME
Sveine, Grandum, Baksaas	1998	X	X	NH_3/H_2O
Hultén, Berntsson	1999	X		NH_3/H_2O
Bourouis et al.	2000		X	TFE/H_20/TEGDME
Mongey et al.	2000	X		NH_3/H_2O

Tabla 1. *Trabajos publicados sobre ciclos de absorción/compresión.*

2. SELECCIÓN DE LA MEZCLA

Los refrigerantes CFC y HCFC han sido los fluidos de trabajo tradicionales para las bombas de calor por compresión de vapor. Después de la firma del Protocolo de Montreal a finales de 1995, la búsqueda de "nuevos" refrigerantes para estos equipos ha sido una de las prioridades de los países firmantes de dicho acuerdo. En algunos casos, especialmente para refrigeración, el amoníaco se ha destacado como un sustituto debido a las ventajas que presenta frente a otros refrigerantes. Entre estas ventajas destacan: los elevados coeficientes de transferencia de masa y calor, el elevado calor latente de vaporización y la disponibilidad a bajo coste. Sin embargo, desventajas como: su inmiscibilidad con los lubricantes convencionales, su incompatibilidad con el cobre y el zinc y, su toxicidad lo hacen poco competitivo para pequeñas potencias.

A pesar de que las ventajas de los ciclos de absorción/compresión comparados con los de compresión de vapor son bien conocidas, no existen aún equipos comerciales. Los equipos construidos hasta hoy día son experimentales, y la gran mayoría de ellos utilizan como refrigerante amoníaco o hidrocarburos halogenados y como absorbente agua o fluidos orgánicos basados en poliglicoles (Groll, 1997). No obstante, el uso de estas mezclas es más indicado para aplicaciones de baja temperatura debido a que a altas temperaturas, las presiones de operación del ciclo son muy elevadas (Nogués et al., 1997).

El interés que ofrecen los fluidos orgánicos para las aplicaciones de bomba de calor de absorción/compresión de alta temperatura fue puesto de manifiesto en los trabajos realizados por Nogués (1997) y Olivé(1998). En dichos trabajos se han propuesto los alcoholes Metanol (MeOH) y Trifluoroetanol (TFE) como refrigerante y el Tetraetilenglicol dimetiléter (TEGDME) como

absorbente. Desde el punto de vista termodinámico, la solubilidad en todo el rango de concentraciones y la gran diferencia entre las temperaturas de ebullición (cerca de 200°C) hacen que dichos fluidos sean muy atractivos para los ciclos de absorción/compresión.

Un aspecto importante a tener en cuenta es la lubricación en el compresor. Normalmente, los lubricantes utilizados en los compresores son del tipo SAE 40. Su temperatura de operación oscila entre 90 y 100°C. En este intervalo de temperaturas, los valores de viscosidad de dicho lubricante están comprendidos entre 10 y 15 mm^2/s. La familia de los n-etilenglicol dimetiléteres con la estructura $CH_3(OCH_2CH_2)_nCH_3$, donde n = 1 – 44, puede resolver el problema de lubricación del compresor de los equipos de absorción/compresión ya que al aumentar el número de grupos etilenglicol, aumenta la viscosidad mientras que la densidad y la capacidad calorífica prácticamente son constantes.

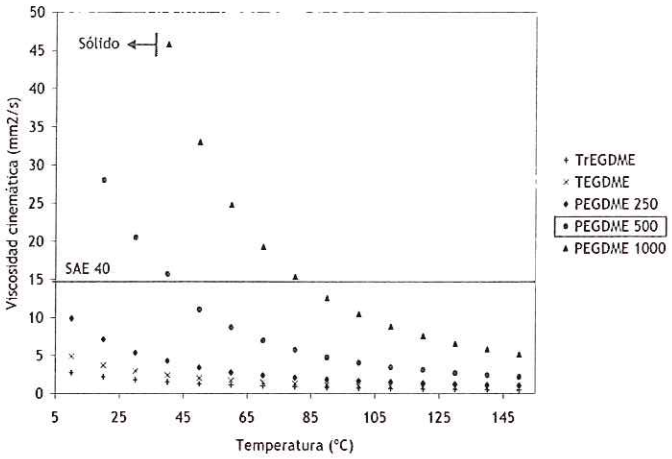


Figura 2. Viscosidad para algunos n-etilenglicol dimetiléteres.

En la figura 2 se muestran los valores de la viscosidad para algunos n-etilenglicoles dimetiléteres que han sido medidos en nuestro laboratorio de propiedades. En dicha figura se observa que el PEGDME 500 y el PEGDME 1000 son los más indicados para esta aplicación. Sin embargo, el PEGDME 1000 solidifica a 35°C por lo que su uso quedaría condicionado al empleo de resistencias para alcanzar dicha temperatura antes de poner en marcha el equipo. Por esta razón, se ha seleccionado el PEGDME 500, el cual deberá operar entre 45 y 60°C para mantener los valores de la viscosidad requeridos.

2.1. Simulación del ciclo

La simulación termodinámica del ciclo ha sido realizada para los fluidos de trabajo MeOH/PEGDME 500 y TFE/PEGDME 500 partiendo de los balances de materia y energía en cada uno de los componentes y de las siguientes hipótesis:

- Condiciones de estado estacionario.
- Las pérdidas de carga y de calor son despreciables.
- La corriente de solución rica que sale del absorbedor lo hace en condiciones de equilibrio (líquido saturado).
- Las corrientes que salen del generador lo hacen en condiciones de equilibrio (liquido y vapor saturado).
- El proceso de expansión es a entalpia constante.
- El rendimiento isoentrópico del compresor es de 0.8.
- El rendimiento isoentrópico de la bomba es 0.5.
- La eficiencia térmica del intercambiador de solución/solución es de 0.9.

Para evaluar las condiciones de operación del ciclo se han tomado las siguientes variables como independientes:

- Temperatura a la salida del absorbedor T_2.
- Temperatura a la salida del desorbedor T_5 y T_7.
- Potencia térmica del absorbedor Q_{ABS}.

El estudio se ha realizado para las siguientes condiciones:

- Temperatura a la salida del desorbedor:60 – 80°C.
- Temperatura a la salida del absorbedor:120 – 140°C.
- Salto térmico en el absorbedor:10°C, 20°C
- Potencia térmica en el absorbedor:15 kW

2.2. Resultados de la Simulación del ciclo

En las figuras 3a y 3b se muestran los resultados obtenidos para los sistemas MeOH/PEGDME 500 y TFE/PEGDME 500 respectivamente.

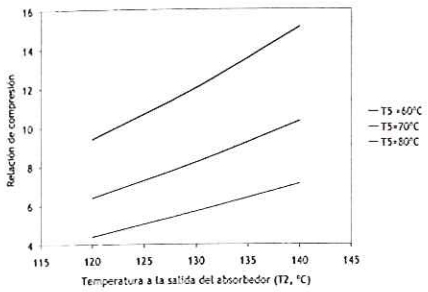


Figura 3a. Relación de compresión vs temperatura a la salida del absorbedor para la mezcla MeOH/PEGDME 500.

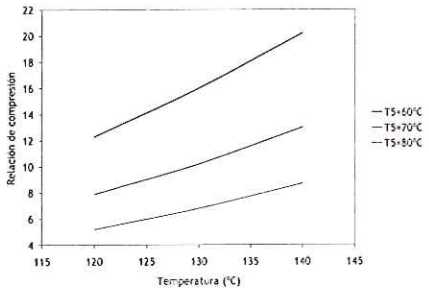


Figura 3b. Relación de compresión vs temperatura a la salida del absorbedor para la mezcla TFE/PEGDME 500.

Al comparar las figuras 3a y 3b se observa como la relación de compresión para la mezcla TFE/PEGDME 500 es superior a la de MeOH/PEGDME 500. Además, los resultados muestran que las condiciones óptimas de operación se presentan cuando la temperatura del desorbedor es superior a 70°C debido a que a temperaturas inferiores los valores de la relación de compresión son elevados.

3. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL CICLO

3.1. Compresor

La selección del compresor ha sido hecha a partir de la relación de compresión y del caudal volumétrico, aplicando el método propuesto por Cheremisinoff (1992), desde un punto de vista técnico y económico.

Los tipos de compresor más idóneos son: los de pistones y los de paletas. Se selecciona el compresor tipo paletas debido a que su regulación es más simple y, a que su robustez permite mayor flexibilidad en su lubricación.

4.2. Intercambiadores de calor

Como los coeficientes de transferencia de calor de los fluidos orgánicos son bajos por sus pobres propiedades de transporte se requiere el uso de superficies avanzadas para intensificar la transferencia de calor. Por ello, se han seleccionado los intercambiadores de placas. De estos, los intercambiadores termosoldados se presentan como la mejor opción ya que garantizan un alto grado de estanqueidad, necesario para cumplir con la normativa referente a seguridad y toxicidad, y evitar así los problemas ocasionados por la incompatibilidad del PEGDME 500 con los elastómeros convencionales.

Para garantizar una pérdida de carga mínima en el absorbedor y en el desorbedor, se han seleccionado las placas tipo L como la mejor opción. Para el intercambiador de calor de solución/solución se han seleccionado las placas tipo H para conseguir una elevada eficiencia térmica.

3.3. Disposición espacial de los componentes

Una vez seleccionados los diferentes componentes del ciclo de absorción/compresión, se procede a la distribución de dichos componentes en el espacio teniendo en cuenta su funcionalidad, las inter-relaciones entre ellos, así como el peso y volumen. Basados en dichos criterios, la disposición de los componentes se muestra en la figura 4.

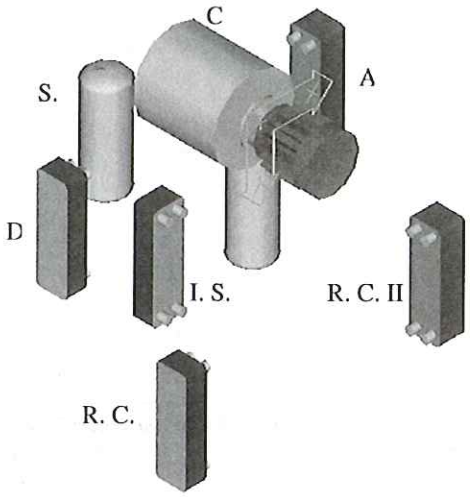


Figura 4. *Distribución espacial de los principales componentes que forman la planta piloto. A: absorbedor, C: compresor, D: desorbedor, I.S.S.: Intercambiador de solución, R.C.: recuperador de calor.*

4. CONCLUSIONES

Se presentan los estudios previos para el diseño y construcción de un equipo de absorción/compresión de alta temperatura con fluidos orgánicos para la revalorización energética de residuos térmicos industriales.

Se ha seleccionado el PEGDME 500 basados en los valores de viscosidad atendiendo a la doble función como absorbente y lubricante del compresor.

Se han considerado los refrigerantes MeOH y TFE y en función de los resultados de la simulación del ciclo se ha seleccionado el MeOH por su baja relación de compresión comparada con la del TFE.

Se ha seleccionado el compresor tipo paletas por su fácil regulación de caudal y por su mayor robustez en el tema de lubricación.

Se ha optado por los intercambiadores de placas debido a que se requieren superficies avanzadas para intensificar la transferencia de calor de los fluidos orgánicos.

REFERENCIAS

Altenkirch, E., 1950, Kompressionskältemaschine mit Lösungskreislauf, *Kältetechnik*, vol. 2, no. 10: p. 251-259, no. 11: p. 279-284, no. 12: p. 310-315.

Cheremisinoff, N., Cheremisinoff, P., 1992, Process and Pollution Control Equipment. Compressors and Fans, Prentice Hall, p. 60-88.

n el desorbedor, se han
ambiador de calor de
vada eficiencia térmica.

›sorción/compresión, se
:uenta su funcionalidad,
en dichos criterios, la

la planta piloto.
ión, R.C.: recuperador de

ón de un equipo de
orización energética de

:osidad atendiendo a la

le los resultados de la
presión comparada con

: caudal y por su mayor

: requieren superficies

:technik, vol. 2, no. 10:

quipment. Compressors

Groll, E.A., 1997, Current Status of Absorption/Compression Cycle Technology, *ASHRAE Transactions*, vol. 103 (1), p. 1-13.

Nogués, M., 1997, Absorption/Compression Heat Pumps for Industrial Heat Recovery using Organic Fluid Mixtures, *Trabajo de Investigación*, Universitat Rovira i Virgili.

Nogués, M., Bourouis, M., Boer, D. y Coronas, A., 1997, Absorption/Compression Heat Pumps using Methanol-TEGDME and Trifluoroethanol-TEGDME, *Proceedings of the conference of Compte Rendu de la Commission E2, with E1 & B2*, Linz, vol. 4, p. 197-204.

Olivé, F., 1998, Revalorización Energética de Residuos Térmicos por Ciclos de Compresión/Absorción mediante el Sistema Ternario TFE+H_2O+TEGDME, *Tesis Doctoral*, Universitat Rovira i Virgili.