

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DEL ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA
Y CIENCIAS APLICADAS (CIICAp)

Semana de Química e Ingeniería 2004

Notas del Curso

**“Bombas de Calor de absorción
para ahorro de energía”**

Dr. Rosenberg J Romero D

Marzo de 2004

GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN

En esta sección se describen los conceptos generales de las bombas de calor, su clasificación y descripción de funcionamiento, así como de las características de las sustancias utilizadas en ellas.

CONCEPTOS GENERALES

Como se mencionó en la introducción al proyecto una opción para el ahorro de energía térmica son las bombas de calor. Las bombas de calor son dispositivos térmicos que mediante la aplicación de trabajo (en los sistemas de compresión) o energía térmica (en los sistemas de absorción) realizan un proceso de evaporación de una sustancia denominada fluido de trabajo, que absorbe calor de una fuente de calor a una temperatura T_{EV} (correspondiente a un componente llamado evaporador) y disipa calor a un sumidero de calor a una temperatura T_{CO} (que corresponde a un componente denominado condensador).

Las bombas de calor pueden ser utilizadas para disminuir la emisión de contaminantes al aprovechar calor de desecho en algunos casos o evitar la **quema local de combustibles fósiles** en el caso de compresión mecánica de vapor [Kimio, 1998; Van de Ven,1998].

CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS DE CALOR

Las bombas de calor se pueden clasificar de diversas formas,

- Por el tipo de proceso que se realiza en el equipo
- Por el origen y destino de la energía que pasa por la Bomba de Calor
- Por su diseño e instalación
- Por su funcionamiento

Clasificación por el **proceso** físico que llevan a cabo, se pueden clasificar de dos tipos :

- Bomba de calor por **compresión**, en la cual se logra la elevación de presión y temperatura entre componentes mediante la compresión mecánica de vapor.
- Bomba de calor por **absorción**, en la cual la elevación de la presión y temperatura se realiza como resultado de un proceso termodinámico en el cual se absorbe y desorbe un refrigerante en un soluto.

Clasificación por su **origen** y **destino** de la energía:

- Aire - aire (para climatización)
- Aire - agua (para agua sanitaria o calefacción)
- Agua - aire (utilizadas en corrientes de ríos)
- Agua - agua (para radiadores en el suelo)
- Tierra - aire y Tierra - agua (poco habituales por el costo)

Clasificación por su **diseño** e **instalación**:

- Compacta (un solo cajón contiene todos los componentes)
- Split (hay una parte exterior y otra interior)
- Multi - Split (hay una parte exterior y varias interiores)

Clasificación por su **funcionamiento**

Reversibles (opera el ciclo de calefacción y el ciclo de enfriamiento)

No reversibles (opera solo el ciclo de calentamiento)

Simultáneos (suministra frío y calor al mismo tiempo)

COMPONENTES DE UNA BOMBA DE CALOR

Los componentes de una bomba de calor dependen del tipo de proceso físico que desarrollen, por lo cual existen dos esquemas básicos de bombas de calor:

Componentes principales de una bomba de calor por compresión mecánica de vapor

- Compresor y válvula de expansión
- Condensador y Evaporador

Componentes principales una bomba de calor por absorción

- Generador y Absorbedor
- Condensador y Evaporador

En general se pueden agrupar en dos tipos de bombas de calor [Herold and Radermacher, 1996]:

- las bombas de calor de tipo I en las cuales $T_{EV} < T_{CO}$ y
- las bombas de calor de tipo II en las cuales $T_{CO} < T_{EV}$.

Cada uno de los tipos de bombas de calor tiene una aplicación específica.

BOMBA DE CALOR DEL TIPO I

La bomba de calor tipo I se puede emplear para el acondicionamiento de espacios ya sea suministrando energía térmica a una temperatura mayor de la del medio ambiente (en el caso de calentamiento) o extrayendo energía térmica a una temperatura menor que el medio ambiente (caso de enfriamiento), para lo cual utiliza trabajo suministrado por un compresor (bomba de calor por compresión) o mediante la separación del fluido de trabajo de una segunda sustancia denominada absorbente en un ciclo químico (bomba de calor por absorción), que se lleva a cabo en un par de componentes adicionales a los mencionados (un absorbedor y un generador) conformando así un ciclo termodinámico de absorción.

Descripción de los ciclos de bomba de calor del tipo I

Bomba de calor por compresión mecánica de vapor

Es la bomba más usada debido a su alto rendimiento y se puede usar tanto para calentamiento como para enfriamiento. Los componentes principales de este tipo de bomba son: un compresor, un evaporador, un condensador, una válvula de expansión y un fluido de trabajo.

El ciclo termodinámico de la bomba de calor por compresión se muestra en el diagrama presión - temperatura (figura G.1). El funcionamiento que tiene una bomba de calor por compresión es el siguiente: En el evaporador el fluido de trabajo se evapora (línea 1-2 en el diagrama) a la temperatura T_{EV} extrayendo una cantidad de calor Q_{EV} del medio que puede estar en estado sólido, líquido o gaseoso. El fluido de trabajo se comprime (línea 2-3) y cede calor latente Q_{CO} a una temperatura mayor T_{CO} en el condensador (línea 3-4). El fluido de trabajo condensado se expande a través de la válvula de expansión (línea 4-1) y se regresa al evaporador completándose así el ciclo.

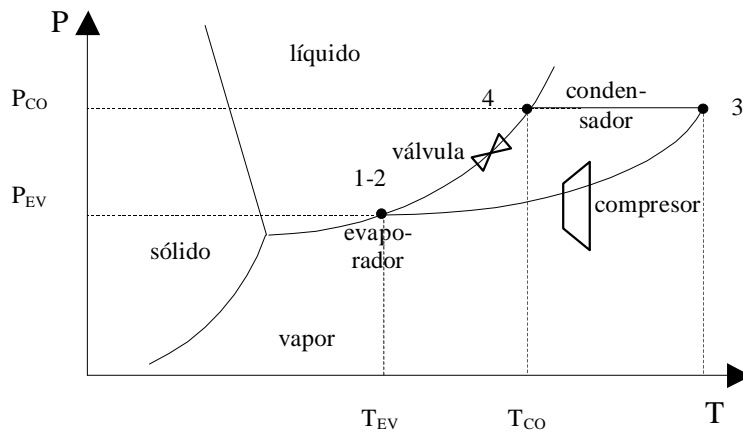


Figura G.1. Diagrama esquemático de una bomba de calor por compresión en ejes presión - temperatura.

Bomba de calor por absorción

Las bombas de calor del tipo I por absorción, tienen el siguiente ciclo termodinámico: Se suministra energía a temperatura elevada (T_{GE}) al componente denominado generador, en el cual se realiza la separación del fluido de trabajo del absorbente. Al fluido de trabajo se le reduce su temperatura en el condensador cediendo energía a una temperatura intermedia (T_{CO}). El refrigerante se cambia a fase líquida y se expande para posteriormente pasar al evaporador (que se encuentra a menor presión que el condensador) dónde se cambia a fase vapor a una temperatura menor con ayuda de la energía que proviene del ambiente (T_{EV}) (y que por lo tanto no implica un costo). El vapor proveniente del evaporador se conduce al absorbedor en dónde se pone en contacto con una corriente de refrigerante – absorbente proveniente del generador produciendo un desprendimiento de calor que es energía a una temperatura T_{AB} (mayor a T_{EV}). Este ciclo termodinámico se esquematiza en la figura G.2 dentro de ejes temperatura vs presión.

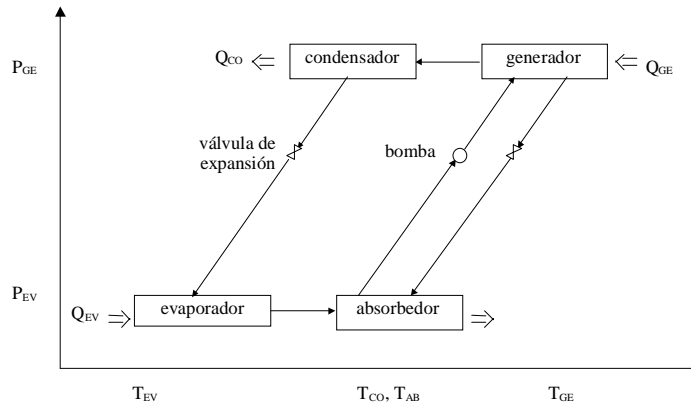


Figura G.2. Diagrama esquemático de una bomba de calor por absorción de una etapa con tres niveles de temperatura y dos niveles de presión

BOMBA DE CALOR DEL TIPO II (TRANSFORMADOR TÉRMICO)

La bomba de calor tipo II (conocida también como transformador térmico o termostransformador) también puede estar constituida por los cuatro componentes (en una configuración básica) y se denomina transformador térmico por absorción (TTA) el cual utiliza energía térmica que puede suministrarse a la misma temperatura a la cual se disipa calor de desecho industrial, por lo cual es una opción atractiva para el mejor aprovechamiento de la energía de dichos procesos [Berntsson, 1989].

Descripción del ciclo de un transformador térmico

Ciclo básico de un transformador térmico

Las bombas de calor del tipo II, tienen el siguiente ciclo termodinámico: Se suministra energía a temperatura intermedia (T_{GE} , T_{EV}) a los componentes generador y evaporador, en el primero se realiza la separación del fluido de trabajo de la solución concentrada en absorbente. Al fluido de trabajo se le reduce su temperatura (T_{CO}) en el condensador y se cambia a fase líquida, posteriormente se bombea con ayuda de una bomba al evaporador (que se encuentra a mayor presión que el generador y el condensador) dónde se evapora y se conduce al absorbedor en dónde se pone en contacto con fluido bombeado desde el generador, produciendo un desprendimiento de calor a una temperatura T_{AB} , mayor que T_{EV} . Este ciclo termodinámico se esquematiza en la figura G.3 dentro de ejes temperatura - presión.

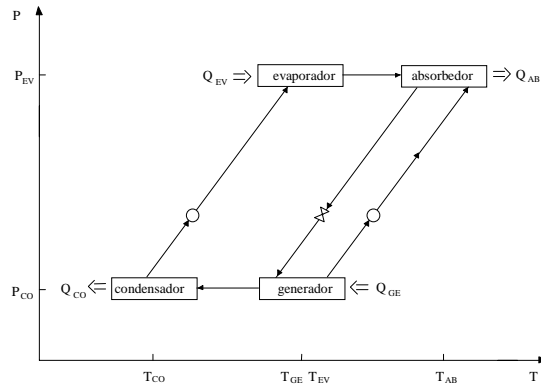


Figura G.3. Diagrama esquemático de un transformador térmico por absorción de una etapa con tres niveles de temperatura y dos niveles de presión

Ciclo refinado de un transformador térmico

El ciclo refinado de un transformador térmico por absorción de una etapa consiste en un ciclo básico con un intercambiador de calor ubicado entre el generador y el absorbedor con el objetivo de precalentar la solución que se conduce al absorbedor utilizando parte de la energía que aún contiene el fluido proveniente del absorbedor. Este intercambiador incrementa la eficiencia del ciclo dependiendo de su efectividad [Rivera, 1991]. Este sistema se esquematiza en la figura G.4.

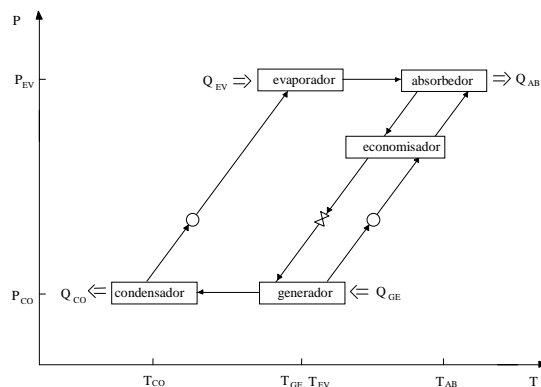


Figura G.4. Diagrama esquemático del ciclo refinado de un transformador térmico por absorción de una etapa con tres niveles de temperatura y dos niveles de presión

FLUIDOS USADOS EN LAS BOMBAS DE CALOR

Los fluidos que hacen posible el funcionamiento de las bombas de calor dependen del tipo de bomba de calor que sea, es decir tipo I o II.

Fluidos para las bombas de calor tipo I

Los fluidos de trabajo para bombas de calor del tipo I se dividen a su vez en dos tipos, fluidos de trabajo para compresión y para absorción. Los fluidos de trabajo para compresión, se conocen comercialmente como refrigerantes y la mayoría son compuestos creados artificialmente. Estos compuestos se denominan cloro – fluoro – carbonos, fluoro – carbonos y compuestos orgánicos. Los actualmente utilizados (que son menos agresivos a la capa superior de ozono) son:

- cloro – fluoro – carbonos: **R-22** (CHFCl) , **R-124** (CHClF-CF_3), **R-123** ($\text{CF}_3\text{-CHCl}_2$), **R-141b** ($\text{CH}_2\text{-CCl}_2\text{F}$)
- fluoro – carbonos: **R-134a** ($\text{CF}_3\text{-CFH}_2$), **R-32** (CH_2F_2), **R-125** ($\text{CF}_3\text{-CHF}_2$), **R-143a** ($\text{CHF}_2\text{-CH}_2\text{F}$)
- naturales: **NH₃**, **C₃H₈**, **CO₂**

Los fluidos de trabajo para las bombas de calor por absorción utilizan dos sustancias afines químicamente, una de ellas es el absorbente y la otra es el refrigerante. El refrigerante circula por el evaporador y el absorbente circula en un circuito secundario entre el generador y el absorbedor.

Las mezclas utilizadas comercialmente son

- Bromuro de litio – agua (**LiBr - H₂O**), y
- Amoníaco – agua (**NH₃ - H₂O**).

En la mezcla LiBr – H₂O el refrigerante es el agua, por lo cual se limita su uso para temperaturas de evaporación superiores a los 4 °C y 100 °C en el generador, limitado por cristalización.

En la mezcla NH₃ – H₂O el refrigerante es el amoníaco y se utiliza principalmente para refrigeración a temperaturas inferiores a los 0 °C, sin embargo requiere de presiones altas.

Fluidos para las bombas de calor tipo II

En estas bombas de calor existen dos sustancias afines químicamente que se denominan absorbente y fluido de trabajo. El absorbente circula entre el generador y el absorbedor y el fluido de trabajo en todos los componentes en diferentes fases.

Debido a que la absorción es el proceso principal de estos equipos la selección de este par de sustancias (también conocido como par) determinará las condiciones de operación en que funcionará la bomba de calor de tipo II o transformador térmico por absorción.

El par más utilizado es la mezcla bromuro de litio – agua. Esta mezcla comercial ha sido caracterizada [McNeely, 1979] y puede obtenerse en diferentes grados de pureza para su utilización. Sin embargo, se ha demostrado [Best, 1994; Romero, 1996] que pueden modificarse sus propiedades fisicoquímicas agregando aditivos y aumentar el intervalo de condiciones de operación para un transformador térmico por absorción de una etapa. Por lo tanto, las modificaciones a las propiedades fisicoquímicas que se pueden implementar en las sustancias que participan en la absorción y que pueden favorecer la transferencia de calor y masa son:

Concentración (incremento) [Boryta, 1970; Matsuda, 1994],
viscosidad (mediante aditivos), [Kim, 1996] y
tensión superficial (mediante aditivos) [Gustafsson, 1996].

REFERENCIAS

ASHRAE Handbook, Refrigeration, SI Edition, GA, USA, 1994

Berntsson K M, Berntsson T, Franck P, Holmberg P and Wallin E, Learning from experiences with heat transformers in industrial processes, IEA, CADDET Series No. 2, The Netherlands, 1989

Best R and Rivera W, Thermodynamic design data for absorption heat transformers. part six: operating on water – carrol, Heat Recovery Systems & CHP, Vol 14, No 4, pp 427 – 436, 1994

Boryta D A, Solubility of lithium bromide in water between -50°C and 100°C (45 to 70% lithium bromide), J. Chem. Eng. Data, Vol 15, No 1, pp 142-144, 1970

Gustafsson M, Ternström G and Setferwall F, Surface tension of a aqueous lithium bromide and sodium hydroxide solutios with surfactants, Proceedings of the Ab-Sorption 96, Canada, September 17 – 20, Vol I, pp 61 –65, 1996

Herold K E, Radermacher R and Klein S A, Absorption chillers and heat pumps, CRC Pres., USA, 1996

Kim K J, Kulankara S., Herold K E, Miller C, Performance evaluation of LiCl and LiBr for absorber design applications in the open cycle absorption refrigeration system, Proceedings of the Ab-Sorption 96, Canada, September 17 – 20, Vol I, pp 89 –97, 1996

Kimio M, Advanced utilisation of unused energy, IEA Heat Pump Centre Newsletter, Vol 16, No. 1, pp 19-21, 1998

Matsuda A, Choi K, Khada H and Kawamura T, Effect of pressure an concentration on performance of a vertical falling – film type of absorber and generator using lithium bromide aqueous solutions, Int. J. Refrig., Vol 17, No 8, pp 538 – 542, 1994

McNeely L A, Thermodynamic properties of aqueous solutions of lithium bromide, ASHRAE Trans., Vol 85, Pt I, pp 413 – 434, 1979

REFPROP: Thermodynamic and Transport Properties of Refrigerants and Refrigerants Mixtures, NIST Standard Reference Database 23, Version 6.01, McLinden M O, Klein S A, Lemmon E W & Peskin A P, U. S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America, (c) 1998.

Romero R., Estudio de las mezclas bromuro de litio agua y Carrol - agua en transformadores térmicos por absorción de una etapa, Tesis de maestría en energía solar, UNAM, 1996

Van de Ven H., Large energy systems, IEA Heat Pump Centre Newsletter, Vol 16, No. 1, pp 10-15, 1998

Refrigeration and air conditioning technology, **Whitman W C & Johnson W M**, Delmar Puyblshers inc., 2nd Edition, USA, 1991