

SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR ADSORCIÓN COMO UNA ALTERNATIVA PARA EL USO DE CALOR RESIDUAL Y ENERGÍA SOLAR

Recepción:

30 de Septiembre de 2011

Aprobación:

15 de diciembre de 2011

Carlos Javier Noriega Sánchez

Estudiante de maestría en Ingeniería Mecánica
Investigador Grupo LABSOLAR
UFSC - Universidad Federal de Santa Catarina Brasil
carlosj@lepten.ufsc.br

Eduar Ernesto Pérez Rojas

Estudiante de Ingeniería Mecánica
Estudiante Investigador Grupo GIFEAH
Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña
eeperez@ufpso.edu.co

Resumen

El presente documento hace una síntesis de un sistema de refrigeración llamado de adsorción que puede ser operado por una fuente de energía a baja temperatura (60°C-70°C) tales como calor residual o energía solar y puede ser una alternativa de refrigeración o climatización, tradicionalmente realizado por equipos de compresión mecánica; los cuales presentan aun el inconveniente de utilizar refrigerantes que contribuyen a la destrucción de la capa de ozono e incrementan el consumo de energía, energía que en su gran porcentaje proviene de fuentes no renovables.

Palabras Claves:

Adsorción, chiller, energía solar, refrigeración por adsorción, sistema de adsorción.

Abstract

This document makes a synthesis of a refrigeration system called adsorption that

can be operated by an energy source at low temperature (60 °C - 70 °C), such as waste heat or solar energy, and may be an alternative cooling or air conditioning, traditionally done by mechanical compression devices. Which have the drawback of using refrigerants that contribute to the destruction of the ozone layer and increase energy consumption, energy that in most comes from nonrenewable sources.

Keywords:

Adsorption system, chiller, adsorption refrigeration, solar energy, sorption.

Introducción

Sistemas de refrigeración por sorción fueron los primeros tipos de equipamientos utilizados para producir efecto frigorífico artificialmente. Todavía, con el auge y popularización de las redes de distribución de energía eléctrica y con la producción de los refrigerantes halogenados en las primeras décadas del

siglo XX, los sistemas de refrigeración por compresión mecánica pasaron a ser utilizados en prácticamente todas las instalaciones frigoríficas convirtiéndose en responsables del consumo entre 10 y 20% de electricidad mundial (Louis, 1998). Durante los últimos 20 años se ha registrado un creciente interés por los sistemas de refrigeración por sorción. Primeramente, debido a la crisis del petróleo en la década del 70, después, en los años 90, debido a la preocupación ambiental relacionada con las emisiones de refrigerantes halogenados a la atmosfera y con el aumento creciente en el consumo de energía mundial, se está tornando necesario descubrir alternativas para el uso racional de las fuentes energéticas tradicionales y la forma de utilizar fuentes de energías alternativas, como la energía solar, la energía eólica y el residuo térmico. Por tal motivo, maquinas que puedan ser alimentadas por fuentes térmicas en bajos niveles de baja temperatura, tales como refrigeradores y bombas de calor por sorción, representan una alternativa para un mejor aprovechamiento de las fuentes de energía disponibles.

En comparación con los sistemas de refrigeración por compresión mecánica, los sistemas de refrigeración por sorción tienen el potencial de ayudar con el ahorro de energía si fuesen alimentados por calor residual de instalaciones industriales o con energía solar. Sistemas de refrigeración por sorción tienen un principio simple de operación, tienen pocas piezas móviles y por ende bajos costos de mantenimiento. A pesar de las anteriores ventajas, estos sistemas presentan un bajo coeficiente de desempeño (COP) y una baja potencia de refrigeración (SCP) por unidad de volumen o por unidad de masa de adsorbente (Meunier, 1998; Oliveira, 2006). Para superar estos problemas las alternativas incluyen la mejora en las propiedades de transferencia de calor y de masa del adsorbente sólido así como sus propiedades adsorptivas y una mejor utilización del calor suministrado al sistema.

Desarrollo

Refrigeración por adsorción

Refrigeradores por sorción son similares a los de compresión mecánica, en el sentido que utilizan un condensador, un evaporador y en ciertas maquinas un dispositivo de expansión. La diferencia radica en la forma en que el refrigerante a baja presión del evaporador alcanza alta presión para ingresar al condensador. En los sistemas de sorción, la energía térmica es la fuerza motriz necesaria para alcanzar la presión del condensador, en vez del trabajo de compresión mecánica. El calor suministrado en los sistemas de sorción puede provenir de la combustión de gas natural, de calor residual, de fuentes geotérmicas o de energía solar. Los diferentes procesos de sorción que acontecen en máquinas de este tipo son; adsorción física solido-gas, adsorción química solido-gas y absorción liquido-gas. En este artículo serán presentados los principios básicos de la adsorción química.

Adsorción química solido-gas

En la refrigeración por adsorción ocurre la adhesión de moléculas de un fluido (adsorbato) a una superficie sólida (adsorbente). La cantidad adsorbida depende de la temperatura o de la presión del adsorbente químico. La adsorción química tiene equilibrio mono-variante y cada reacción tiene una condición de equilibrio (Oliveira, 2011).

Ciclo de refrigeración por adsorción y componentes

El ciclo básico de adsorción para refrigeración o climatización no necesita ningún tipo de energía mecánica, pudiendo ocurrir apenas con una transferencia de calor con una fuente térmica. Un sistema de adsorción consiste de uno o varios adsorbentes sólidos (ubicados dentro de un reactor), de un condensador, de



un evaporador de una fuente de calor y de un sumidero de calor (Mauran, 1993), conforme es ilustrado en la Figura 1.

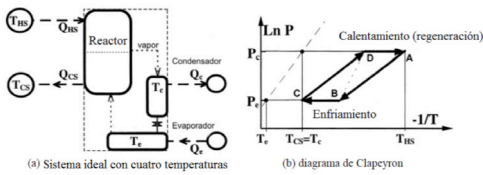


Figura 1 Refrigerador por adsorción con dos reactores

El ciclo de adsorción de refrigerante inicia con el reactor cerrado rechazando calor QCS a un fluido frío para enfriar el adsorbente que está a alta temperatura y alta presión (puntos A-B en la figura 1.b). El evaporador extrae calor Qe de un circuito de agua (o aire) utilizado para climatizar/refrigerar. Cuando la presión en el sólido alcanza la presión del evaporador Pe producto del descenso de su temperatura, el reactor es abierto y vapor de refrigerante que proviene del evaporador comienza a ser adsorbido, (puntos B-C). Después de un periodo pre-establecido, el adsorbente sólido está impregnado de refrigerante. En ese instante el reactor es cerrado e inicia el intercambio de calor QHS con una fuente térmica (puntos C-D), aumentado la temperatura y presión en el sólido hasta alcanzar la presión del condensador Pc. Cuando es alcanzada la presión en el condensador el reactor es abierto y el refrigerante desorbido (puntos D-A) continúa en dirección al condensador donde libera calor QC al ambiente y se condensa. El refrigerante condensado continúa hacia el evaporador para dar continuidad al ciclo. Para garantizar un proceso cuasi-estático de adsorción, son utilizadas más de dos cámaras (reactores) de adsorción.

Rendimiento de sistemas de adsorción

El coeficiente de desempeño de los sistemas de adsorción (también conocidos como bombas químicas o bombas de calor) es relativamente bajo teniendo como referencia una máquina térmica de Carnot. Algunos valores de COP característicos de estos sistemas están en el orden de la unidad, sin embargo pueden aprovechar calor residual a bajas temperaturas que en otras aplicaciones sería considerado un calor sin uso práctico o calor de desecho. Entre los factores que influyen en el bajo COP de estos sistemas está la baja conductividad térmica de algunos adsorbentes sólidos entre ellos; Sílica Gel en la orden de 0.17 W m⁻¹ K⁻¹, 0.16 - 0.21 W m⁻¹ K⁻¹ para la Zeolita, lo cual disminuye la transferencia de calor entre el fluido térmico y el lecho adsorvente. Actualmente se están utilizando la mezcla de algunos compuestos con adsorbentes para mejorar su conductividad térmica. Es el caso de grafito expandido con sales metálicas como el cloruro de calcio (CaCl₂), Bromuro de Sodio (NaBr) entre otras, utilizadas como adsorbente en sistemas de refrigeración con amoníaco NH₃ como refrigerante. La conductividad térmica de esos compuestos sólidos han alcanzado valores superiores a 15 W m⁻¹ K (Tamainot-Telto, 1997) alcanzándose de este forma máquinas de adsorción más eficientes. En la Figura 2 son ilustrados algunos COP para sistemas de adsorción que utilizan diversos pares de trabajo, entre ellos carbón activado-Metanol, carbón activado-NH₃, Sílica Gel-agua y algunas sales metálicas como el NaBr-NH₃ (Wang, 2006).

Aplicación	Temperatura de la fuente o Insolación.	Par de trabajo	COP	SCP o Prod. de Hielo	Referencia
Producción de hielo	20 MJ m ⁻² día ⁻¹	^a AC-Metanol	0.12	6 kg m ⁻² día ⁻¹	(Pons, Guilleminot, 1986)
Producción de hielo	105 °C	AC-NH ₃	0.1	35 W kg ⁻¹	(Tamainot-Telto , Critoph, 1997).
Agua fría	100 °C	AC-NH ₃	0.4	73.1 W kg ⁻¹	(Wang et al., 2001)
Producción de hielo	15.4 MJ m ⁻² día ⁻¹	Sílica gel-Agua	0.16 ^b	2.05 MJ día ⁻¹ m ⁻²	(Hildbrand et al., 2004)
Agua fría	80°C	Sílica gel-Agua	0.33-0.5	91.7-171.8 W kg ⁻¹	(Liu, Wang, Xia, 2005)
Aire acondicionado	204°C	Zeolita-Agua	0.6-1.6	36-144 W kg ⁻¹	(Tchernev DI, Emerson DT, 1998)
Agua fría	65°C	NaBr-NH ₃	0.43-0.46	129-137 W kg ⁻¹	(Oliveira et al., 2009).

Tabla 1. Coeficiente de desempeño de sistemas de adsorción

a. AC, carbón activado.
b. Valor promedio obtenido durante 30 días de operación continua.

Sistemas de adsorción operados por energía solar

Sistemas de climatización alimentados por energía solar son una alternativa interesante para aprovechar esa energía gratuita e renovable que llega hasta nosotros, pues los picos de utilización de sistemas de aire acondicionado y los de insolación generalmente son coincidentes. El estudio y desarrollo de sistemas transformadores de calor por sorción, principalmente aquellos con capacidad de regeneración a baja temperatura, podría auxiliar en la reducción del consumo de energía en grandes instalaciones comerciales, como “shopping centers” y locales con climatización central. Países con irradiación media menor que Colombia, como Alemania y China, ya están muy avanzados en el estudio de máquinas que utilizan energía solar, pues percibieron la importancia de atender no solo el mercado interno sino en desenvolver tecnología y equipamientos destinados a importación. De igual forma, sistemas de refrigeración por sorción pueden ser utilizados para generar hielo, pudiéndose este utilizar para conservación de alimentos perecederos, vacunas, entre otros, siendo de gran ayuda para lugares habitados sin disponibilidad de energía eléctrica. Ya, sistemas de refrigeración por sorción de gran escala necesitan de energía auxiliar para controlar algunos dispositivos de control del sistema.

Resultados presentados en el Atlas de Radiación Solar de Colombia (UPME-IDEAM, 2005), indican el potencial de la energía solar en el país presentado en la Figura 3.

Región del país	Radiación Solar (kWh m ⁻² año)
Guajira	2 000 - 2 100
Costa Atlántica	1 730 - 2 000
Orinoquía-Amazonía	1 550 - 1 900
Región Andina	1 550 - 1 750
Costa Pacífico	1 450 - 1 550

Tabla 2. Potencial de energía solar en Colombia (UPME-IDEAM, 2005).

Aprovechando esos niveles de radiación en energía solar térmica, se podría disponer de un fluido térmico con temperaturas entre 60°C-80°C. Con una fuente térmica en esos niveles de temperatura se puede operar un sistema de adsorción Sílica Gel-Agua o **NaBr-Grafito expandido** con NH₃ como refrigerante, utilizados principalmente para acondicionamiento de aire.

Investigaciones actuales y futuras

Nuevas tecnologías de refrigeración por adsorción están siendo estudiadas extensivamente en sectores académicos e industriales. Un gran número de patentes alrededor del mundo han sido presentadas, adicionando mejoras sustanciales en el COP y SCP de tales sistemas (Yong, 2007). La figura 4 a. reporta el número de patentes por país, indicando que países como Estados Unidos, Japón y China están contribuyendo con más del 70% de las investigaciones en esta área. En la Figura 4. b son presentadas el número de patentes a nivel mundial a partir del año 2000. Estas siguen en aumento, lo cual demuestra un creciente interés por esta tecnología.

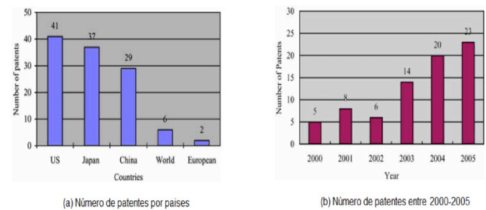


Figura 2. Número de patentes por año y por países (Yong, 2007).

Conclusiones

- Considerando el consumo creciente de electricidad de sistemas de refrigeración convencionales y el impacto negativo de las emisiones de gases efecto invernadero al ambiente producto de la energía generada

principalmente de origen termoeléctrica, se torna una importante alternativa el estudio de sistemas de refrigeración amigables al ambiente tales como los sistemas de adsorción particularmente aquellos con sales metálicas que utilizan una fuente renovable de energía como fuerza motriz, debido principalmente a la presión de trabajo del sistema, evitándose así, problemas relacionados a infiltraciones con presiones de vacío presentado en sistemas de adsorción Silica-Gel.

- El estudio de niveles de radiación local permitiría conocer la disponibilidad del recurso solar por metro cuadrado, diario o anual, y así poder proyectar capacidades máximas o mínimas de sistemas de adsorción.
- También gases de combustión de algunos procesos industriales locales como ladrilleras que actualmente se eliminan a la atmósfera a temperaturas mayores de 100°C, se pueden considerar como fuerza motriz en maquinas de adsorción para producción de hielo.

Bibliografía

- Hildbrand C., Dind P., Pons M., Buchter F. (2004). A new solar powered adsorption refrigerator with high performance. *Sol Energy*, 77 (3):311–8.
- Liu Y. L., Wang R. Z., Xia Z. Z. (2005). Experimental study on a continuous adsorption water chiller with novel design. *Int J Refrig*; 28 (2):218–30.
- Louis, L. (1998). v. 21, Issue 2. *International Journal of Refrigeration*, 87-88.
- Mauran S., P. P. (1993). Heat and mass transfer in consolidated reacting beds for thermochemical systems. . Heat and mass transfer in consolidated reacting beds for thermochemical systems. , *CHP*;13(4):315–9.
- Meunier, F. (1998). Solid sorption heat powered cycles for cooling and heat pumping applications. *Applied Thermal Engineering*, v 18, pp. 715-729.
- Oliveira, R. (2011). *Solar powered sorption refrigeration and air conditioning*. Nova Science Publishers, 201, pp. 205-238.
- Oliveira, R., Silveira, V., Wang, R. (2006). Experimental study of mass recovery adsorption cycles for ice making at low generation temperature. *Applied Thermal Engineering*, v 26, pp. 303-311.
- Oliveira, R. G., Wang, R. Z., Kiplagat, J. K., Wang, C. Y. (2009). Novel composite sorbent for resorption systems and for chemisorption air conditioners driven by low generation temperature. *Renewable Energy*;v(34): 2757-2764
- Pons M., Guilleminot, JJ. (1986). Design of an experimental solarpowered, solid-adsorption ice maker. *J Sol Energy—Trans ASME*; 108 (4):332–7.
- Tamainot-Telto Z., Critoph R. E. (1997). Adsorption refrigerator using monolithic carbon-ammonia pair. *Int. J. Refrigeration*; 20(2):146–55.

Tchernev DI, Emerson DT. (1998). High efficiency regenerative zeolite heat pumb. *ASHRAE Trans*; pag. 2024-2032.

UPME-IDEAM. (2005). *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. . Bogotá: UPME-IDEAM.

Wang R. Z., Oliveira R. G. (2006). Adsorption refrigeration—An efficient way to make good use of waste heat and solar energy. *Progress in Energy and Combustion Science* 32 424–458.

Wang R. Z., Wu J. Y., Xu Y. X. Wang W. (2001). Performance researches and improvements on heat regenerative adsorption refrigerator and heat pump. *Energy Convers Manage*;42 (2):233–49.

Yong, L. W. (2007). *Adsorption Refrigeration: A Survey of Novel Technologies*. . Adsorption Journal Of The International Adsorption Society. , pp 1-21.