

Enfriamiento evaporativo con desecante, estado del arte

Luis Dibene & Ramón Flores

L. Dibene & R. Flores

Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas, Blvd. Nuevo Vallarta No. 65 Poniente, Nuevo Vallarta, Nayarit, 63732. México.

Universidad Tecnológica de la Zona Metropolitana de Guadalajara, Camino a San Isidro Mazatepec Km 4.7 Santa Cruz de Las Flores, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, 45360. México

rflores@utzmg.edu.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2013.

Abstract

This article aims to present a review of the development and application of technologies focused on thermally activated desiccant cooling, and analyzes the state of rotary desiccant dehumidification and air conditioning in the following two aspects: optimizing the system configuration and the use of solar energy and other sources of low quality heat, such as solar energy, heating, waste heat and bioenergy.

5 Introducción

El confort en el interior de una oficina o una casa es hoy en día indispensable para el ser humano, sobre todo en climas cálidos y húmedos, donde los equipos de aire acondicionado llegan a consumir hasta el 70% del total de la energía eléctrica de alta demanda que requieren los edificios . Casi todos ellos funcionan por medio del sistema mecánico por compresión de vapor.

Actualmente se ha logrado mejorar la eficiencia de los equipos que utilizan dicho sistema y con un menor daño al ambiente, pero el consumo aun es excesivo, lo que involucra la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera y otras sustancias que contaminan.

Para ahorrar energía en el aire acondicionado se puede optar por una o la combinación de las siguientes soluciones posibles:

Acondicionar los espacios para un menor uso de la energía, mediante tipos de materiales aislantes y técnicas de arquitectura bioclimática.

Generar energía eléctrica a partir de fuentes no contaminantes.

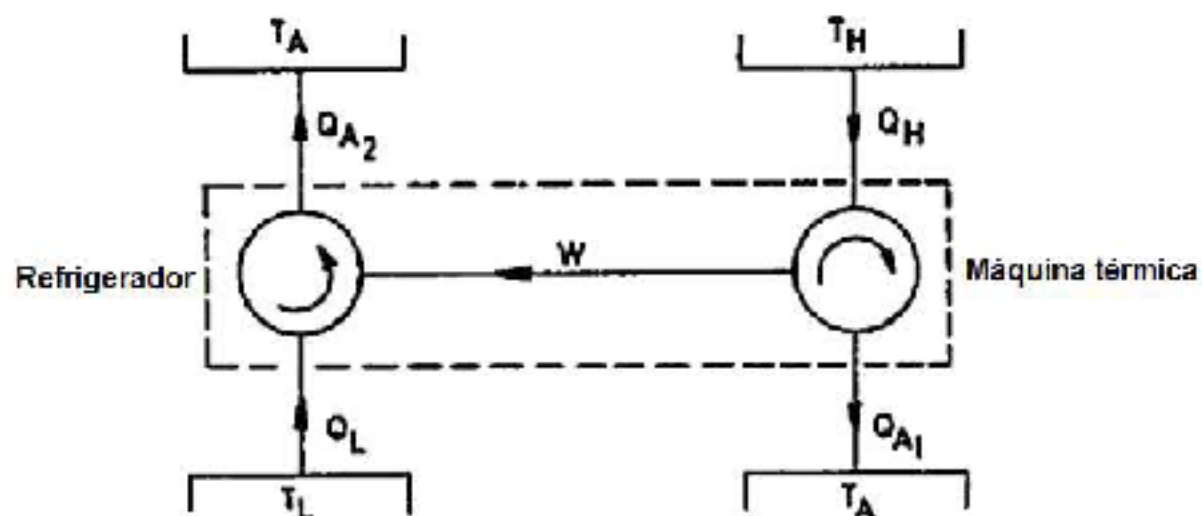
Utilizar equipos que no consuman energía eléctrica o sea mínimo su uso, como los Sistemas Activados Térmicamente por fuentes alternativas. Una opción es el sistema de enfriamiento evaporativo con desecante, el cual utiliza energía térmica de baja calidad, su refrigerante es el agua y puede ahorrar hasta un 50% en energía eléctrica (Henning HM., 2001).Combinaciones de las anteriores: Una opción es utilizar equipos que no consuman energía eléctrica o sea mínimo su uso, como los Sistemas Activados Térmicamente por fuentes alternativas.

5.1 Desarrollo

Los sistemas de aire acondicionado alternativos que utilicen materiales, procesos y recursos energéticos alternativos pueden tener un enorme impacto en el consumo de energía de los edificios (IPCC, 2008). Los sistemas de enfriamiento térmico que pueden ser operados a través de energía térmica de baja calidad directamente son opciones importantes para el enfriamiento de los edificios. Con ellos, la energía solar puede ser aprovechada para tales propósitos. La principal ventaja de esos sistemas es que la carga de enfriamiento está en fase con la radiación solar disponible. De este modo, durante el verano, coincide una alta carga térmica con una alta radiación solar disponible.

Se entiende al enfriamiento térmico a aquel en el cual se aplica energía calorífica para producir el efecto de enfriamiento (Grossman, 2002). Sin embargo, ya que las tecnologías son muy variadas en sus principios de funcionamiento y los requisitos de calor, algunas tecnologías de refrigeración térmica tienen aplicaciones limitadas. La ventaja principal del sistema de enfriamiento térmico o del sistema operado térmicamente contra la refrigeración por compresión de vapor es la aplicación de energía térmica directa para el funcionamiento del sistema. En este tipo de sistemas se puede usar energía térmica de baja calidad para operar el sistema. Además de lo mencionado con anterioridad, se pueden usar diversas fuentes de energía para activarlos, tales como el calor desperdiciado de procesos y otros. El concepto de refrigeración térmica es que la mayor parte de la energía necesaria para operar el sistema de refrigeración y proporcionar un efecto de enfriamiento se basa en la utilización de energía térmica. La figura 5 muestra el principio termodinámico general del sistema de enfriamiento térmico. El concepto está basado en la máquina de Carnot (Abrahamsson K, 1993). Sin embargo, el sistema de enfriamiento térmico utiliza energía eléctrica para la operación de ventiladores, bombas y sistemas de control.

Figura 5 Principio termodinámico del sistema de enfriamiento térmico (Grossman G, 1981)

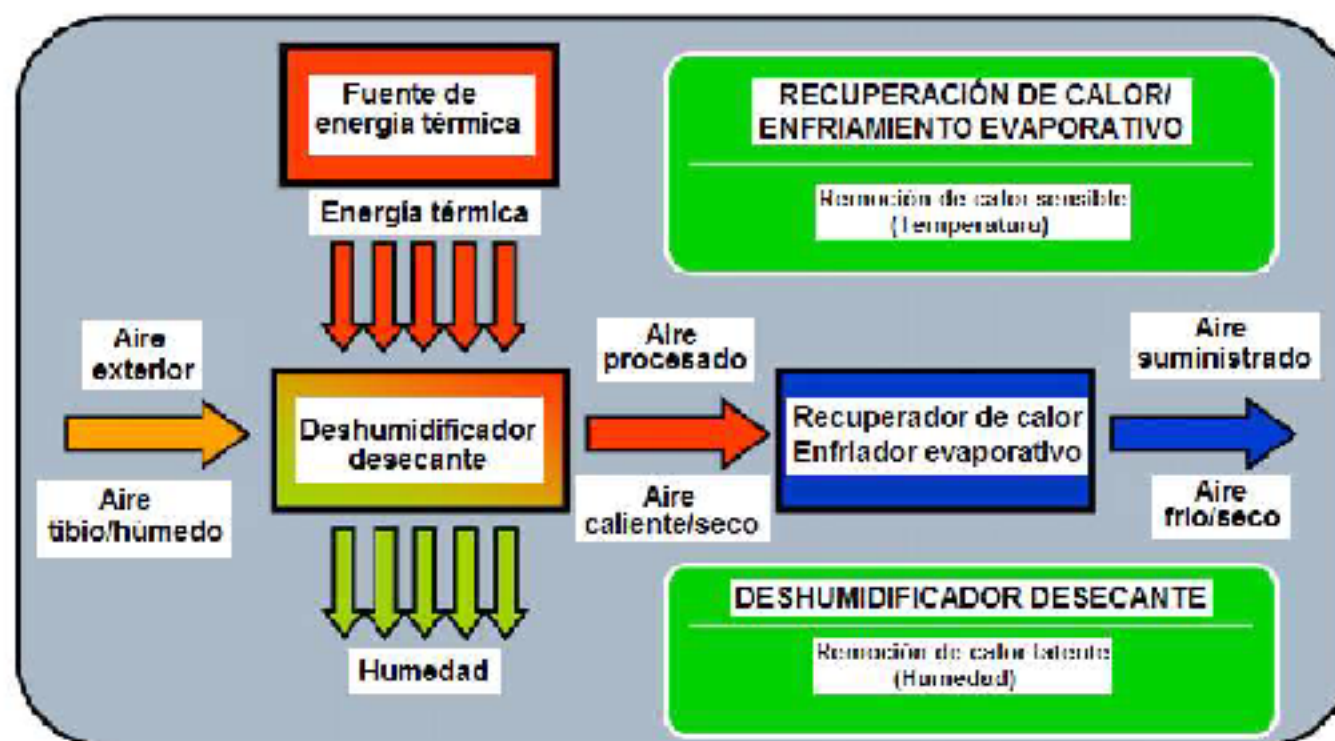


Desde el punto de vista termodinámico, el rendimiento del sistema depende de la temperatura de la fuente de energía térmica y de la temperatura del efecto de enfriamiento. El sistema se basa en las condiciones de temperatura ambiente. Por lo tanto, el rendimiento del sistema termodinámico se puede obtener sobre la base de las condiciones de temperatura del sistema en funcionamiento.

Los sistemas de aire acondicionado y de ventilación basados en desecante utilizan la capacidad de los materiales desecantes para remover el contenido de humedad del aire por procesos naturales -el proceso de sorción.

El proceso de sorción (adsorción y absorción) es una interacción entre las moléculas absorbentes y sorbato través de interacción intermolecular. Dado que los materiales desecantes tienen baja concentración de vapor de agua, la humedad del aire es atraída a la superficie de los materiales desecantes, debido a la diferencia de presión de vapor de agua entre el aire y la superficie desecante. Con el fin de que el material desecante pueda ser utilizado de nuevo, es necesaria la aplicación de energía térmica para remover el contenido de humedad del material desecante. La figura 5.1 muestra un diagrama del concepto básico de las tecnologías de enfriamiento con desecantes activadas térmicamente.

Figura 5.1 Conceptos básicos y principio del enfriamiento con desecante



Mecanismo de remoción de humedad: Todos los materiales capaces de atraer la humedad son llamados desecantes. Desecantes comerciales mantienen entre el 10% de humedad (ASHRAE, 1989). Los desecantes comerciales capturan la humedad hasta que alcanzan el estado de equilibrio con el aire circundante e incluso algunos absorben más allá del contenido de humedad del aire.

La eliminación de la humedad del desecante puede hacerse ya sea por calor o por la reducción de la presión. En aplicaciones comerciales, el calentamiento es el método más preferido, mientras que para los procesos industriales, la reducción de presión es el preferido.

Los materiales desecantes pueden ser sólidos o líquidos: los desecantes sólidos y adsorbentes hidrófilos son el gel de sílice, alúmina activada y las zeolitas con excepción del cloruro de calcio que es absorbente. Los adsorbentes sólidos hidrófobos comerciales son los carbones activados y ciertos óxidos metálicos, especialmente hidruros metálicos porosos y compuestos adsorbentes desarrollados. Algunos materiales desecantes son combinaciones de absorbente y adsorbente para mejorar sus propiedades físicas y su capacidad de sorción llamados compuestos.

El mecanismo básico de la sorción de humedad entre el aire y la humedad del material desecante es la diferencia en la presión de vapor de agua entre la superficie del desecante y del material. La absorción de la humedad del aire hacia el desecante es cuando la presión de vapor en el aire es más alta, la eliminación de vapor a partir del material desecante se realiza cuando la presión de vapor en el aire es menor que en el material desecante. Cuando la presión de vapor es la misma tanto en el aire y en el material desecante, la condición de equilibrio que se alcanza y se detiene el proceso de sorción. El único medio para hacer que el proceso de adsorción continúe es mediante el uso de fuerzas externas, tales como aumentar la presión de aire, disminuir la temperatura o por aplicar fuerza electromotriz artificial. El mismo procedimiento se aplica para la eliminación de la humedad del material desecante que se hace en sentido contrario.

Procesos de enfriamiento del aire: El aire, después de pasar por el material desecante está caliente y seco debido a la conversión del calor latente del aire en calor sensible, la liberación de calor de sorción en el caso del enfriamiento por desecante sólido, y el traspaso de calor desde el lado de regeneración hacia el lado del proceso. Hay varios procesos de enfriamiento de aire para la reducir el contenido de energía sensible del aire (temperatura). Los procesos naturales tales como el enfriamiento evaporativo, intercambio de calor con agua fría y la aplicación de las bombas de calor (sistema híbrido) se realizan por el aire.

Los sistemas más ampliamente utilizados para enfriar aire cuando se usa enfriamiento por desecante son los enfriadores evaporativos (Henning HM, 2001). Esos enfriadores se pueden aplicar directamente (adición de humedad) o indirectamente (uso de aire secundario para el intercambio de calor sensible con el aire primario). Hay muchos diseños y aplicaciones para el enfriamiento evaporativo directo. Por lo tanto, se aplica ampliamente en el sistema de enfriamiento por desecante. Otro método natural de enfriamiento del aire puede hacerse a través de intercambio de calor con agua fría subterránea

Debido a que son ventajosos en el manejo de las cargas de calor latente, todas estas tecnologías se han utilizado ampliamente. Especialmente, atraen más atención los sistemas de aire acondicionado con desecantes rotativos, que son compactos y menos sujetos a la corrosión y puede trabajar continuamente. Hasta la fecha, se han llevado a cabo estudios extensos sobre acondicionamiento de aire con desecante giratorio sobre la base de la simulación matemática (L. Y. Ge TS, Wang RZ, DaiYJ., 2008), el análisis termodinámico, la investigación experimental y la aplicación práctica. Una gran cantidad de sociedades académicas, institutos de investigación, universidades, empresas, etc., han participado en estos trabajos, y han sido alcanzadas mejoras significativas en el rendimiento del sistema, el coste y la fiabilidad. En la actualidad, la investigación continua y el desarrollo (I+D) que trabajan para la tecnología de acondicionamiento de aire con desecante giratorio se han dirigido a: (1) los materiales avanzados desecantes, (2) configuraciones de sistemas óptimos y las correspondientes aplicaciones prácticas

5.2 Resultados

Los materiales desecantes han desempeñado un papel crucial en el desarrollo de acondicionamiento de aire con desecante. Comúnmente los materiales desecantes utilizados incluyen carbón activado, alúmina activada, tamiz molecular, gel de sílice, cloruro de litio, cloruro de calcio, etc.

Dos principios fundamentales para la selección de materiales desecantes apropiados son:

(1) los materiales desecantes deben poseer gran cantidad de adsorción saturada y poder ser reactivados fácilmente

(2) el rendimiento de adsorción de los materiales desecantes deben acercarse al material de Tipo 1 M (Waugaman DG, 1993), que representa la forma óptima para aplicaciones de aire acondicionado.

Las investigaciones recientes sobre los desecantes sólidos generalmente constan de cuatro aspectos, a saber, la modificación de desecante convencional, desecantes naturales a base de roca, bio-desecantes (BeeryKE, 2001) y desecantes compuestos. Para la deshumidificación de los desecantes giratorios, los investigadores están buscando encontrar materiales desecantes que se acerquen al material de tipo 1M en su rendimiento de absorción (Waugaman DG, 1993), y se han identificado compuestos formados por sales porosas adsorbentes que pueden ser efectivas.

Clasificación de los sistemas desecantes: Los sistemas desecantes pueden ser: Sólidos, líquidos o híbridos.

El sistema basado en desecante sólido usa materiales sólidos para el secado removiendo el contenido de humedad del aire. Hay diferentes tipos de materiales de desecante sólido –silica gel, silicatos de titanio, cloruro de calcio, alúminas activadas, zeolita (natural y sintética), tamiz molecular, cloruro de litio, desecantes de base orgánica, polímeros y desecantes compuestos. La aplicación de estos materiales depende de los costos, condiciones de operación y la fuente de energía térmica (Grossman G, 1981).

El sistema basado en desecante líquido utiliza materiales desecantes líquidos para la remoción del contenido de humedad del aire. Los extensos materiales usados como desecante líquido son el cloruro de litio, bromuro de litio, cloruro de calcio y sustancias con base glicol. Algunos desecantes son corrosivos y requieren un manejo adecuado en su aplicación (Grossman G, 1981). Sin embargo, la principal ventaja del desecante líquido es la gran capacidad de remoción de humedad con bajos requerimientos de temperatura de regeneración.

El sistema en base híbrido está basado en ambos materiales desecantes sólido o líquido usados para la remoción del contenido de humedad del aire en conjunto con la aplicación del sistema de compresión de vapor con un enfriador de aire y regenerador de desecante. El sistema híbrido de enfriamiento con desecante sólido es usualmente una combinación del sistema de compresión de vapor y la rueda desecante giratoria (Sheridan JC, 1985). El condensador del sistema de compresión de vapor sirve como regenerador de la rueda desecante, mientras, el evaporador sirve como el enfriador de aire del aire procesado (después de la rueda desecante) (Jia CX, 2006). La principal ventaja del sistema híbrido es el manejo independiente de la energía latente del aire y la energía sensible contenida. En este caso, el rendimiento de compresión de vapor se incrementa debido a que solo maneja el contenido de energía sensible del aire mientras que el material desecante maneja el contenido de energía latente del aire.

La idea básica de acondicionamiento de aire con desecante es integrar las tecnologías de la deshumidificación desecante y el enfriamiento evaporativo en un solo equipo. Mientras que el primero adopta el agua como refrigerante y puede ser impulsado por energía térmica de baja calidad como la energía solar, la calefacción, el calor residual y la bioenergía, este último es una tecnología con costo cercano a cero. Esto indica que el aire acondicionado con desecante no sólo sería eficiente en consumo de energía y favorable al medio ambiente, sino también competitivo en costo, especialmente para las zonas cálidas húmedas y cálidas secas.

La primera patente en el ciclo de acondicionamiento de aire con desecante giratorio fue presentado por Pennington en 1955 (Pennington, 1955).

La figura 5.2 y grafico 5 muestra el ciclo de Pennington, también conocido como ciclo de ventilación, esquemática y psicométricamente. Aire ambiente en el punto de estado 1 se adopta como aire de proceso y pasa a través de una rueda desecante (DW), donde se elimina la humedad y la temperatura se incrementa debido al efecto de calor de adsorción. Luego este aire caliente y seco se enfría sensiblemente del punto 2-3 en un intercambiador de calor (HE). Después, el aire de proceso se enfría por evaporación al estado de aire de suministro al pasarlo a través de un enfriador evaporativo directo (DEC). En el lado del aire de regeneración, el aire de regeneración en el estado 5 es enfriado y humedecido en otro DEC. Este aire es entonces sensiblemente calentado en el intercambiador de calor con el aire de proceso para preenfriar el aire de proceso y precalentarse a sí mismo. La corriente de aire tibio es entonces calentada desde el punto de estado 7-8 por la fuente de calor (HS). Después de la regeneración de la DW, el aire se descarga en el punto de estado 9.

Debido al efecto del calor de adsorción liberado durante el proceso de deshumidificación, la temperatura del aire de proceso se incrementa y su humedad relativa disminuye. Como resultado, la diferencia de presión de vapor, que en realidad es la fuerza impulsora para la deshumidificación, se reduce, y la capacidad de deshumidificación correspondiente se limita entonces. Debido a esto, una temperatura de regeneración mucho más alta es necesaria para obtener la capacidad de deshumidificación deseada, especialmente para climas húmedos. Para combatir este problema, la deshumidificación isotérmica es de gran importancia, ya que puede minimizar la irreversibilidad de la deshumidificación y enfriamiento del aire de proceso suficientemente (L. Y. Ge TS, Wang RZ, DaiYJ., 2008).

La idea básica es la siguiente: cuando el aire fluye alternativamente sobre ruedas desecantes infinitas e inter-enfriadas, su proceso termodinámico estaría cerca de ser isotérmico.

Figura 5.2 Ciclo Pennington

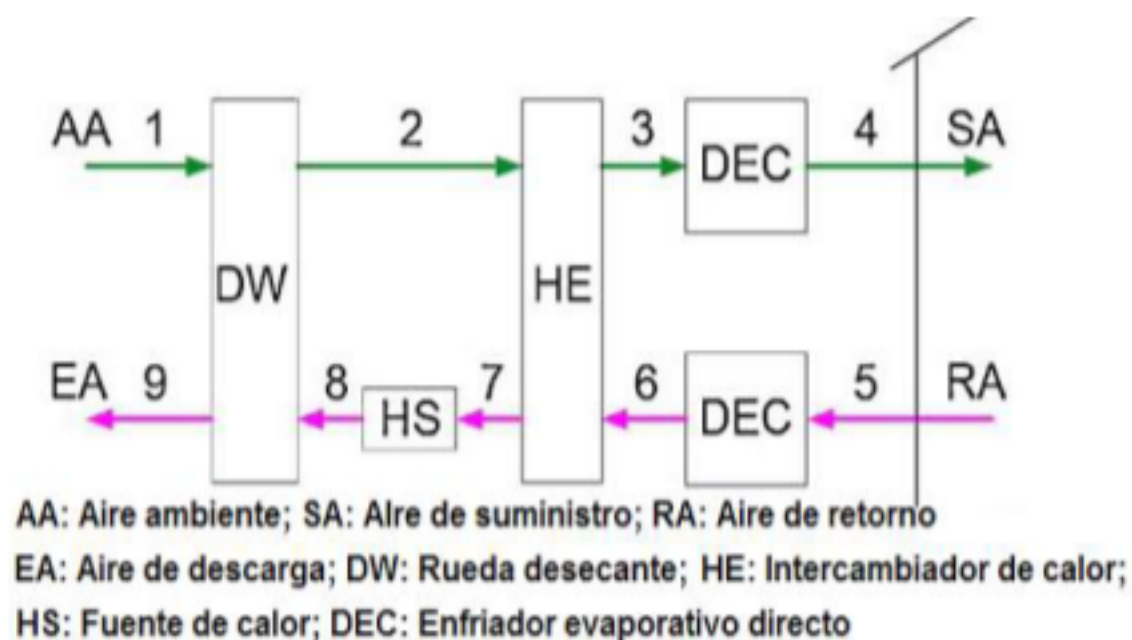
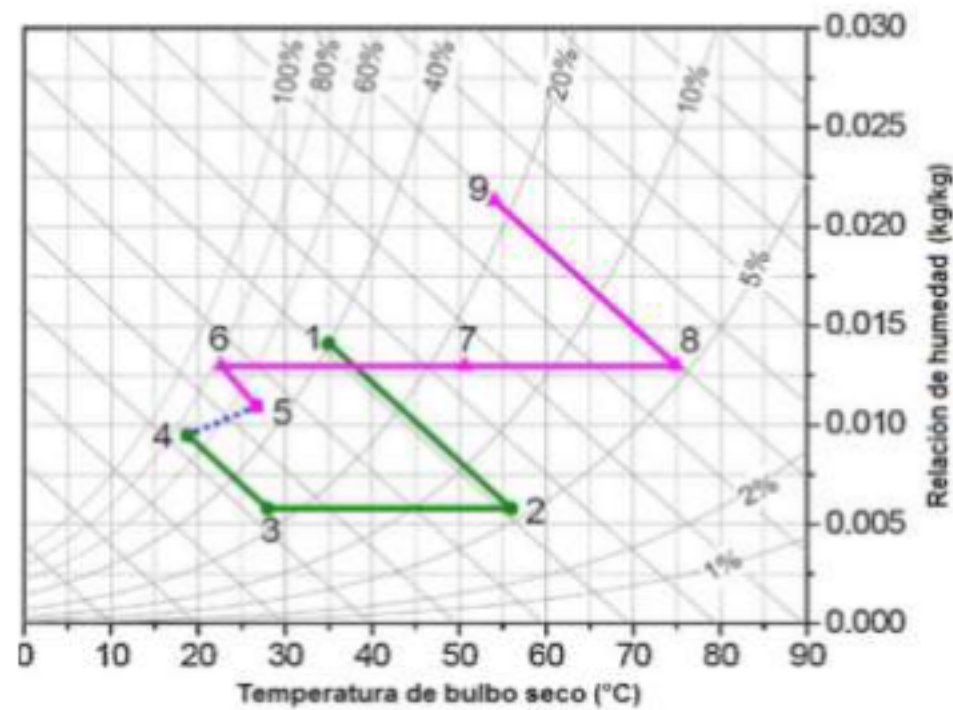
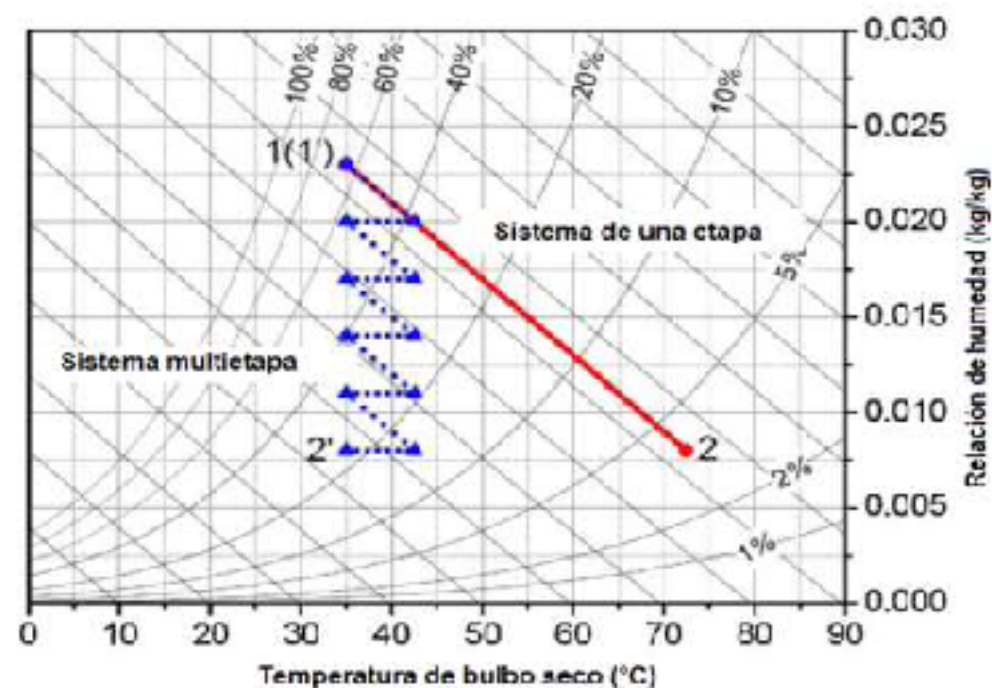


Grafico 5 Ciclo Pennington



En el grafico 5.1 muestra psicrometricamente el proceso de tratamiento de aire de un sistema ideal de múltiples etapas en comparación con un sistema de una sola etapa. Con otras condiciones sin cambios, la temperatura de regeneración de un sistema de enfriamiento con desecante ideal infinito de etapas múltiples sería el mínimo y el consumo de calor de regeneración se reduce a través de la adopción de inter-enfriadores. De este modo, tanto el rendimiento térmico como la aplicabilidad se podrían mejorar significativamente.

Grafico 5.1 Comparación entre el sistema de una etapa y el de múltiples etapas en la carta psicrométrica



Muchas investigaciones teóricas sobre el sistema híbrido de acondicionamiento de aire con desecante se han llevado a cabo (Waugaman DG, 1993). Las actividades de investigación son principalmente acerca de Desecantes híbridos y unidades VAC.

Figura 5.3 Intercambiador de calor con desecante líquido: (a) un estado y (b) doble estado (Li Z, 2005)



Figura 5.4 Sistema híbrido de enfriamiento con desecante (S. K. Li Y, Dai YJ, Zhong JH, Wang RZ., 2006)

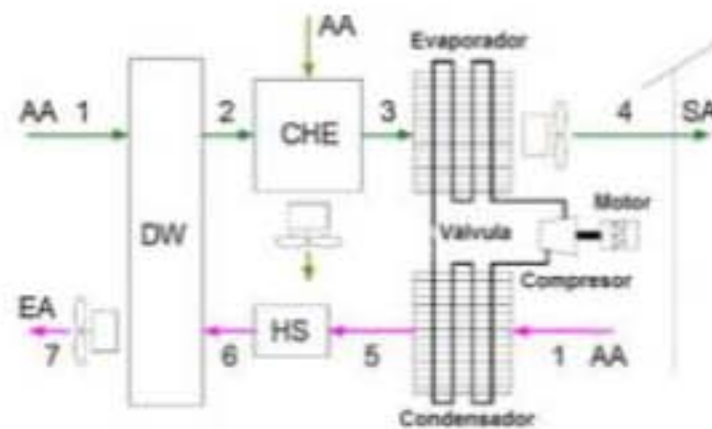
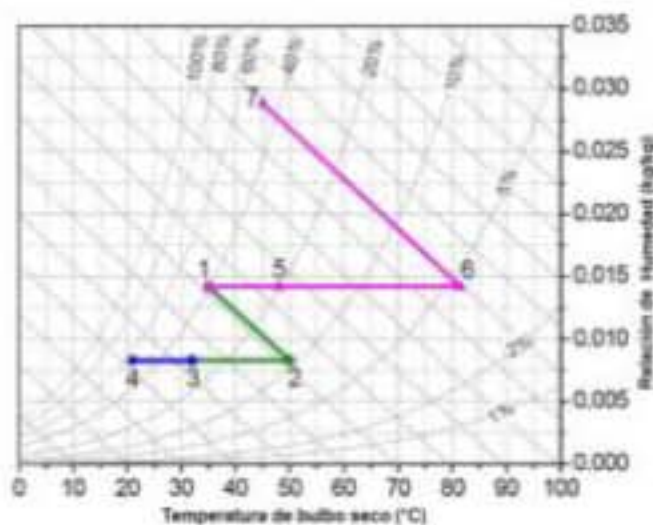


Grafico 5.2 Sistema híbrido de enfriamiento con desecante (S. K. Li Y, Dai YJ, Zhong JH, Wang RZ., 2006)



5.3 Conclusiones

El aire acondicionado con desecante rotatorio es una típica tecnología activada térmicamente, que principalmente consume fuentes de calor de baja calidad como la obtenida en colectores solares planos, calefacción, calor residual, etc., lo que aliviará la demanda pico de electricidad causada por los sistemas tradicionales de aire acondicionado. Especialmente, sobre la base de los recientes avances en materiales desecantes y configuraciones del sistema.

Aplicaciones más y más prácticas se han realizado en todo el mundo. Materiales desecantes más ampliamente utilizados en el mercado, a saber, gel de sílice y cloruro de litio, están limitados por la capacidad de deshumidificación o problemas por la cristalización y la corrosión. Agentes desecantes compuestos combinan las ventajas de los desecantes existentes y superan estos problemas y han sido reconocidos como una mejor opción. Además, la reducción en la temperatura de regeneración y el incremento en la capacidad de deshumidificación en un amplio intervalo serán de gran beneficio para la utilización de calor de baja temperatura y expansión de la aplicación del aire acondicionado con desecante.

El sistema híbrido de aire acondicionado con desecante es el más investigado debido a que integra las ventajas de sistema de deshumidificación desecante y el aire acondicionado frente a otros sistemas, menor tamaño del sistema y mejora el rendimiento del sistema significativamente; El aire acondicionado con desecante que produce tanto aire seco como agua fría es una tecnología novedosa.

Los materiales desecantes se utilizan para aplicar el aire acondicionado con las siguientes ventajas cuando (ASHRAE, 1989):

- (1) La carga latente es mayor en comparación con la carga sensible.
- (2) El costo de la energía para regenerar el desecante es menor cuando se compara con el costo de energía para deshumidificar el aire por enfriamiento cuando está por debajo del punto de rocío.
- (3) El control de nivel de humedad requerido en el espacio puede requerir enfriar el aire a temperaturas de punto de rocío bajo cero si la refrigeración por compresión fuera usada para deshumidificar el aire.
- (4) El control de nivel de temperatura requerido para el espacio o procesos requiere suministro continuo de aire a temperaturas bajo cero.

Por lo tanto, el funcionamiento del sistema de enfriamiento con desecante será más barato que el sistema de enfriamiento de compresión de vapor y el costo inicial es menor cuando las condiciones anteriores se cumplen. Además, los materiales desecantes tales como dióxido de titanio (TiO₂) absorben otros tipos de contaminantes presentes en el aire tales como bacterias y virus a través del proceso fotocatalítico. Con esto, el sistema de enfriamiento con desecante aumenta la calidad del aire sin un costo adicional de purificadores de aire en el sistema de compresión de vapor.

5.4 Referencias

Abrahamsson K, J. A. (1993). Carnot comparison of multi-temperature level absorption heat cycles. *International Journal of Refrigeration*, 16, 240-246.

ASHRAE. (1989). *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers fundamentals*. Atlanta, Georgia.

Beery KE, L. M. (2001). Chemistry and properties of starch based desiccants. *Enzyme and Microbial Technology*, 28(7-8), 573-581.

Grossman G, J. A. (1981). Solar cooling and air conditioning. *Progress in Energy and Combustion Science*, 7, 185-228.

Grossman, G. (2002). Solar-powered systems for cooling, dehumidification and air conditioning. *Solar Energy*, 72, 53-62.

Henning HM, E. T., Hindenburg C, Santamaria IS. (2001). The potential of solar energy use in desiccant cooling cycles. *International Journal of refrigeration*, 24, 220-229.

IPCC. (2008, January 20-25). *Scoping meeting on renewable energy resources*, Lubeck, Germany.

Jia CX, D. Y., Wu JY, Wang RZ. (2006). Experimental comparison of two honeycombed desiccant wheels fabricated with silica gel and composite desiccant material. *Energy Conversion and Management* 47(15-16):, 2523-2534.

Li Y, Y. H. (2008). Investigation on solar desiccant dehumidification process for energy conservation of central air-conditioning systems. *Applied Thermal Engineering*, 28, 1118-1126.

Pennington, N. (1955). USA, Patent No. Sheridan JC, M. J. (1985). A hybrid solar desiccant cooling system. *Solar Energy* 34(2), 187-193.

Waugaman DG, K. A., Kettleborough CF. (1993). A review of desiccant cooling systems. *Journal of Energy Resources Technology*, 115(1), 1-8.