

SISTEMA HÍBRIDO DE ENFRIAMIENTO COMO ALTERNATIVA AL SISTEMA CONVENCIONAL DE AIRE ACONDICIONADO

HYBRID COOLING SYSTEM AS AN ALTERNATIVE TO THE CONVENTIONAL AIR CONDITIONING SYSTEM

PEDRO JOSÉ MAGO GÓMEZ

*Departamento de Ingeniería Mecánica, Núcleo de Anzoátegui,
Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. pmago@ufl.edu*

RESUMEN

En este trabajo se describe en forma detallada la construcción y aplicación de un sistema híbrido de enfriamiento el cual utiliza un líquido secante, como alternativa al sistema convencional de aire acondicionado. Además de mostrar el funcionamiento del sistema híbrido de líquido secante, se describen las ventajas que éste tiene sobre el sistema convencional de aire acondicionado, tales como ahorro de electricidad y un mejor control de la humedad en el espacio acondicionado. Por medio de datos experimentales obtenidos en una casa de prueba en University of Florida's Energy Research and Education Park ubicada en Gainesville, Florida, se encontró que el uso del sistema híbrido de líquido secante en lugar del sistema convencional es mucho más útil cuando es usado en aplicaciones que requieren 100% aire fresco en lugar de aire recirculado.

PALABRAS CLAVES: Aire Acondicionado, Enfriamiento, Líquido Secante, 100% Aire Fresco, Sistema Híbrido.

ABSTRACT

This paper describes the construction and application of a hybrid liquid desiccant system as an alternative to a conventional air conditioning system. Besides showing how such a system works, it also describes its advantages over the conventional system, that include energy savings and better humidity control. Experimental data gathered from a test house at the University of Florida's Energy Research and Education Park in Gainesville, Florida, show that a hybrid desiccant cooling system is more useful than a conventional system when used in applications that require 100% fresh air instead of recirculated air.

KEY WORDS: Air Conditioning, Cooling, Liquid Desiccant, 100% Fresh Air, Hybrid System.

INTRODUCCIÓN

En lugares donde existe bastante humedad y altas temperaturas, el consumo de electricidad debido al uso del aire acondicionado es significativo. Cuando la humedad es alta el aire acondicionado convencional muchas veces no es capaz de manejar la carga latente. Para poder controlar la humedad muchas veces el aire acondicionado convencional tiene que ser operado por largos ciclos y a bajas temperaturas para luego recalentar el aire frío para llevarlo a las condiciones de diseño. Como consecuencia, este proceso es bastante costoso. Es aquí donde surge la idea del uso de un sistema híbrido de enfriamiento de líquido secante, para solucionar este problema. Este sistema no es más que una combinación de un sistema de deshumidificación con un equipo convencional de aire acondicionado. El buen funcionamiento del sistema

híbrido de líquido secante fue verificado por Mago (2000). El principal objetivo de este sistema es separar el manejo de la carga latente de la carga sensible, es decir, el sistema de deshumidificación maneja la carga latente mientras que el sistema convencional la carga sensible.

El proceso más importante en este sistema es el de deshumidificación. Este se lleva a cabo cuando el aire es puesto en contacto con el líquido secante. La deshumidificación tiene lugar porque la presión de vapor de agua del aire es mayor que la presión de vapor de agua de la superficie del líquido secante, lo que trae como consecuencia que la humedad se transfiera del aire al líquido secante.

Después que el líquido secante se ha utilizado por cierto tiempo este pierde sus propiedades por la cantidad de humedad proveniente del aire que ha

deshumidificado. Por este motivo el líquido secante debe ser regenerado para poder ser usado nuevamente. El proceso de regeneración se lleva a cabo elevando la temperatura del líquido secante lo que incrementa la presión de vapor del agua en la superficie. Una vez que el líquido es calentado se pone en contacto con aire y la humedad se transfiere del líquido al aire.

Muchas sustancias pueden ser usadas como líquido secante. Entre ellas tenemos: una solución acuosa de cloruro de litio, una solución acuosa de cloruro de calcio, entre otras, Ertas et al. (1992).

Uno de los objetivos de este trabajo es describir en forma detallada la construcción y aplicación de un sistema híbrido de enfriamiento el cual utiliza un líquido secante, como alternativa al sistema convencional de aire acondicionado. Otro de los objetivos incluye mostrar las ventajas que éste sistema tiene sobre el sistema convencional de aire acondicionado, tales como ahorro de electricidad y mejor control de la humedad en el espacio acondicionado.

COMPARACIÓN DEL PROCESO DE DESHUMIDIFICACIÓN PARA LOS DOS SISTEMAS

Para mostrar las ventajas que tiene el uso del sistema híbrido de líquido secante sobre el sistema convencional de aire acondicionado, es necesario comparar los procesos de enfriamiento y deshumidificación para ambos sistemas. En la Figura 1 se muestran estos procesos en la carta psicrométrica. La Línea 1-2 representa el proceso para el sistema convencional de aire acondicionado y la Línea 1-a-2 representa el proceso para el sistema híbrido de líquido secante. De la Línea 1-2 se puede observar que el sistema convencional de aire acondicionado tiene que manejar la carga latente y la carga sensible del espacio a acondicionar. Sin embargo, el sistema de líquido secante maneja la carga latente en el sistema de deshumidificación y la carga sensible en el sistema convencional de aire acondicionado. Como se puede ver en la Figura 1, la cantidad de entalpía extraída del aire con ambos sistemas es (h_1-h_2) . La diferencia es que con el sistema de enfriamiento de líquido secante está dividida en dos partes: (h_1-h_a) en el sistema de deshumidificación y (h_a-h_2) en el sistema convencional de aire acondicionado. De acuerdo con esta figura la cantidad de entalpía extraída del aire en el evaporador del sistema de líquido secante es mucho menor que la del evaporador del sistema convencional de aire acondicionado lo que trae como consecuencia un ahorro de energía eléctrica durante la operación de ambos sistemas.

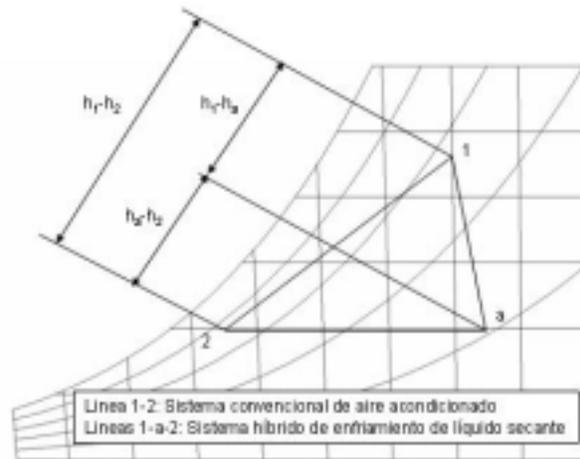


Figura 1. Representación de los procesos de enfriamiento y deshumidificación para ambos sistemas.

REPRESENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

El sistema híbrido de líquido secante puede ser usado en dos configuraciones: recirculando el aire o utilizando 100% aire fresco, dependiendo de la aplicación y de los códigos que se tengan que seguir. En teoría, el sistema de líquido secante debe ser más efectivo cuando se trabaja con 100% aire fresco ya que este es mucho más húmedo que el aire recirculado, y este sistema es esencialmente útil cuando la humedad del aire es bastante alta. Las dos configuraciones del sistema se muestran en las Figuras 2 y 3 cuando se usa recirculación de aire y cuando se usa 100% aire fresco respectivamente.

El sistema funciona de la siguiente manera: en la Figura 2, el aire es tomado desde el retorno en el espacio acondicionado y pasa a través de la torre del sistema de deshumidificación en donde pierde humedad, para luego pasar a través del evaporador del sistema convencional de aire acondicionado donde este es enfriado. En la figura 3, la diferencia está en que el aire es tomado desde el exterior y es pasado directamente por la torre del sistema de deshumidificación, para luego seguir el mismo recorrido.

Este sistema no está disponible comercialmente pero puede ser construido sin ningún problema. Los componentes que se necesitan son los siguientes: un sistema convencional de aire acondicionado, un tanque, packings, el líquido secante y dos bombas para su recirculación.

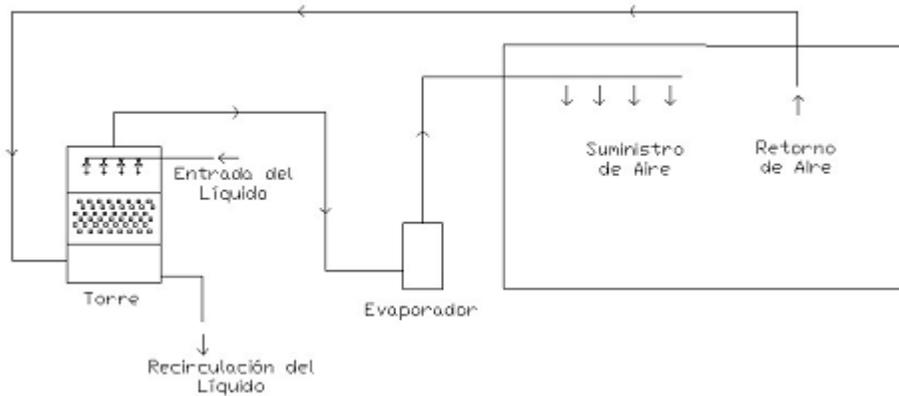


Figura 2. Sistema de enfriamiento de líquido secante usando aire recirculado

La base del sistema híbrido de líquido secante es el sistema de deshumidificación, por esta razón es explicada detalladamente a continuación. El sistema de deshumidificación no es más que un tanque (o torre) en el cual se pone en contacto el aire con el líquido secante, como se muestra en la Figura 4. En esta figura se observa que el aire entra por la parte inferior del tanque mientras que el líquido secante entra por la parte superior lo que permite que se pongan en contacto en contra flujo. En el medio de la torre hay una sección llena de packings, con la única finalidad de incrementar la transferencia de masa entre el aire y el líquido secante. La distribución del líquido secante es un factor muy importante para el buen funcionamiento de la torre. Los packings tienen que estar completamente mojados, porque si parte de ellos están secos, la transferencia de masa es ineficiente. La mejor forma de asegurarse que la distribución del líquido sobre los packings sea uniforme, es usando varias regaderas en la parte superior de la torre para su distribución tal como se muestra en la Figura 4.

En cuanto al líquido secante utilizado, es importante conocer sus propiedades tales como viscosidad, tensión

superficial y su concentración, así como asegurarse que éste no sea tóxico, no tenga olor y no sea inflamable. Mago y Goswami (2001) verificaron que una solución acuosa de cloruro de litio es un buen líquido secante, ya que su comportamiento en el proceso de deshumidificación es bastante efectivo. Es importante conocer que la concentración óptima de cloruro de litio para el proceso de deshumidificación está entre de 35 y 37%. Esto quiere decir que si la concentración del líquido no está dentro del rango mencionado hay que recurrir al proceso de regeneración.

El proceso de regeneración es uno de los problemas de este sistema, porque aunque como se menciono anteriormente, siempre existe un ahorro de energía durante el proceso de enfriamiento y deshumidificación al usar este sistema, se necesita energía para calentar el líquido secante para recuperar su concentración inicial. Por ejemplo, para la solución acuosa de cloruro de litio se necesita una temperatura de aproximadamente 80°C para su regeneración. Este proceso puede hacerse usando energía solar, gas natural, etc.

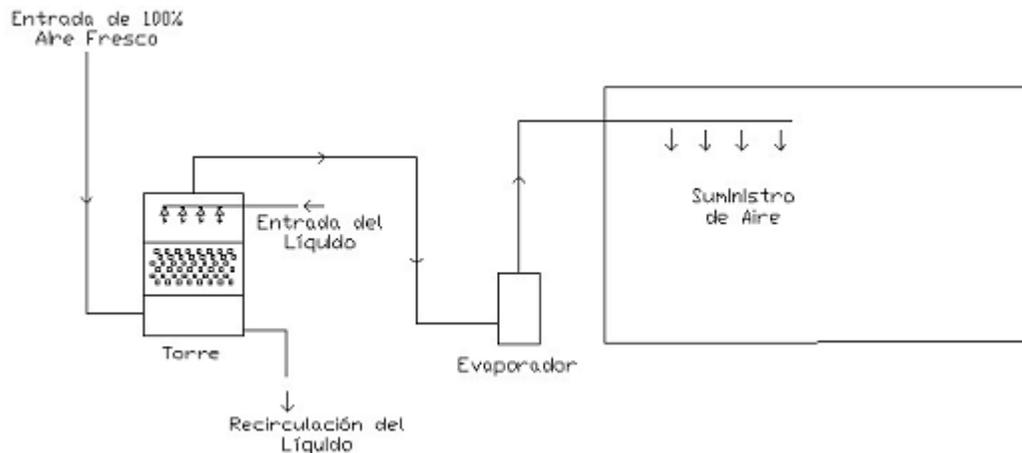


Figura 3. Sistema de enfriamiento de líquido secante para 100% aire fresco

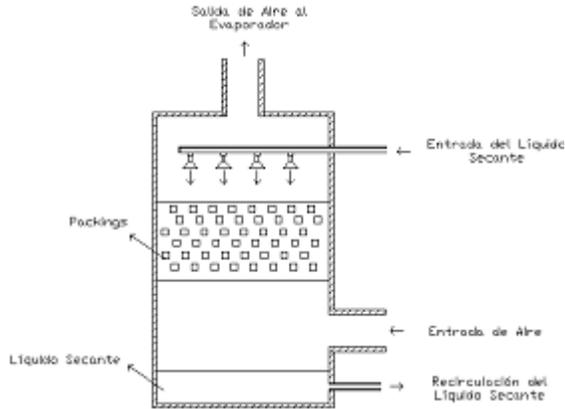


Figura 4. Tanque del sistema híbrido de líquido secante

FACILIDADES Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para analizar el funcionamiento de este sistema y compararlo con el sistema convencional de aire acondicionado se realizaron experimentos en una casa experimental en University of Florida's Energy Research and Education Park ubicada en Gainesville, Florida. El sistema de aire acondicionado en esta casa puede funcionar en dos configuraciones: el sistema convencional de aire acondicionado y el sistema híbrido de líquido secante. Ambas configuraciones pueden funcionar usando aire recirculado o 100% aire fresco. El sistema de líquido secante consta de una torre de 56 cm de diámetro y 60 cm de altura. La torre contiene unos packings (anillos) Rauschert Hiflow hechos de plástico y con un área específica de superficie de $210 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Para distribuir el líquido secante sobre los packing se usaron tres regaderas. La toma de datos se realizó mediante un software llamado Labview. Las temperaturas se midieron usando termocuplas de cobre-constantan, con una exactitud de $\pm 0.5^\circ\text{C}$, y las humedades relativas se midieron utilizando sensores de humedad HMD 20 UB, con una exactitud de $\pm 2\%$ RH (para el rango de 0-90% RH) y $\pm 3\%$ RH (para el rango de 90% - 100%), para medir la velocidad del aire se utilizó un Velometer ALNOR con una exactitud de $\pm 2\%$. La concentración del líquido secante fue determinada por el método de titulación Karl Fischer. Este es un método cuantitativo para determinar la concentración de agua presente en el líquido secante.

Ambos sistemas se analizaron usando recirculación de aire y 100% aire fresco por un tiempo aproximado de una hora. A través de un sistema computarizado de adquisición de datos se midieron los siguientes parámetros: temperatura y humedad relativa del aire a la entrada y a la salida del evaporador, temperatura del líquido secante en la torre, temperatura y humedad relativa del aire a la

entrada y a la salida de la torre, flujo másico de aire y tiempo. Para determinar la concentración del líquido secante se tomaron muestras antes y después de cada experimento.

RESULTADOS

Ambos sistemas se analizaron usando recirculación de aire (caso A) y 100% aire fresco (caso B). Ambas configuraciones son similares a las mostradas en las Figuras 2 y 3. Una gran cantidad de experimentos se realizaron en las instalaciones, pero a continuación en las Tablas 1 y 2 se muestran algunos resultados típicos en la aplicación de estos sistemas.

Tabla 1. Resultados para el sistema convencional de aire acondicionado

Caso	Condiciones del aire a la entrada				Condiciones del aire a la salida				Δh_e (kJ/kg)	$m_{c,e}$ (g/s)
	T_{bs} ($^\circ\text{C}$)	HR (%)	W (kg_w/kg_a)	h (kJ/kg)	T_{bs} ($^\circ\text{C}$)	HR (%)	W (kg_w/kg_a)	h (kJ/kg)		
A	26	53	0.0113	54.88	17	80	0.0098	41.88	13	0.98
B	33	51	0.0164	75.11	27	63	0.0143	63.57	11.54	1.37

Tabla 2. Resultados para el sistema híbrido de líquido secante

Caso	Aire a la entrada de la torre				Aire a la salida de la torre			
	T_{bs} ($^\circ\text{C}$)	HR (%)	W (kg_w/kg_a)	h (kJ/kg)	T_{bs} ($^\circ\text{C}$)	HR (%)	W (kg_w/kg_a)	h (kJ/kg)
A	26	53	0.0113	54.88	27	40	0.0090	50.10
B	33	51	0.0164	75.11	34	40	0.0135	68.84

Tabla 2. Resultados para el sistema híbrido de líquido secante (cont.)

Caso	Aire a la salida del evaporador				Δh			m_c		
	T_{bs} ($^\circ\text{C}$)	HR (%)	W (kg_w/kg_a)	h (kJ/kg)	Δh_t (kJ/kg)	Δh_c (kJ/kg)	Δh_e (kJ/kg)	$m_{c,i}$ (g/s)	$m_{c,e}$ (g/s)	$m_{c,s}$ (g/s)
A	15.9	76.7	0.0087	38.09	4.78	12.01	16.79	1.49	0.19	1.68
B	26	54	0.0115	55.44	6.27	13.4	19.67	1.88	1.30	3.19

Comparando el funcionamiento de ambos sistemas para el caso A (recirculación de aire), el cual se muestra en la Figura 5, podemos ver que para el sistema híbrido de líquido secante el cambio total de entalpía en el sistema fue de 16.79 kJ/kg, mientras que para el sistema convencional fue de 13 kJ/kg. Esto quiere decir, que el sistema híbrido de líquido secante logró remover 3.79 kJ/kg más entalpía del aire que el sistema convencional de aire acondicionado. Esto demuestra la capacidad del sistema híbrido de líquido secante de extraer más entalpía del aire. También, el flujo másico de condensación para el sistema híbrido de líquido secante se incrementó en aproximadamente 72% que cuando se usó el sistema convencional de aire acondicionado, y la temperatura final disminuyó en 1.1°C .

Comparando el funcionamiento de ambos sistemas para el caso B (100% aire fresco), el cual se muestra en la Figura 6, el cambio total de entalpía para el

sistema de líquido secante fue 19.67 kJ/kg comparado con 11.54 kJ/kg para el sistema convencional de aire acondicionado. Existe una diferencia de entalpía de 8.13 kJ/kg entre los dos sistemas. Este resultado demuestra que el sistema híbrido de líquido secante tiene más ventajas cuando se utiliza en aplicaciones que requieren el uso de 100 % aire fresco. Esto se explica ya que el aire fresco es mucho más húmedo que el aire de recirculación, y la función principal del sistema de líquido secante es reducir la humedad del aire antes que este entre en el evaporador. Adicionalmente, la cantidad de condensación cuando se utilizó el sistema de líquido secante fue 134% mayor que cuando se usó el sistema convencional de aire acondicionado y la temperatura final disminuyó en 1°C.

Basado en estos resultados se puede concluir que el sistema híbrido de líquido secante mejora el funcionamiento del aire acondicionado en la casa de prueba, disminuyendo la humedad y la temperatura del aire de salida. Es importante resaltar que cuando se usa 100% aire fresco la torre del sistema de líquido secante disponible en la casa experimental no es lo suficientemente grande para llevar a cabo toda la deshumidificación necesaria como puede verse en la Figura 6, de manera que el evaporador no tenga que realizar ninguna condensación, sino encargarse solamente de manejar la carga sensible, es decir, de enfriar el aire. Si se usa una torre mas grande para esta aplicación, los resultados obtenidos usando el sistema de líquido secante serian aun mucho mejores, lo que confirmaría que el uso de este sistema es mucho mas eficiente que el sistema convencional de aire acondicionado en cuanto control de humedad y ahorro de energía. Mago (2000) presenta una discusión detallada de este último punto en donde demuestra que una torre de aproximadamente 2 m es capaz de realizar toda la deshumidificación necesaria, lo que se traduce directamente en un ahorro de energía para la aplicación estudiada.

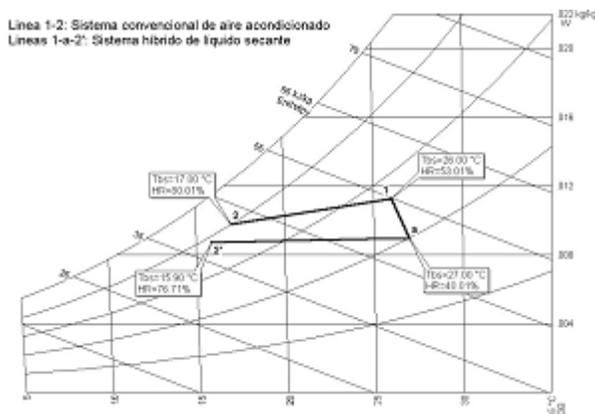


Figura 5. Caso A, Proceso de deshumidificación para ambos sistemas usando aire recirculado

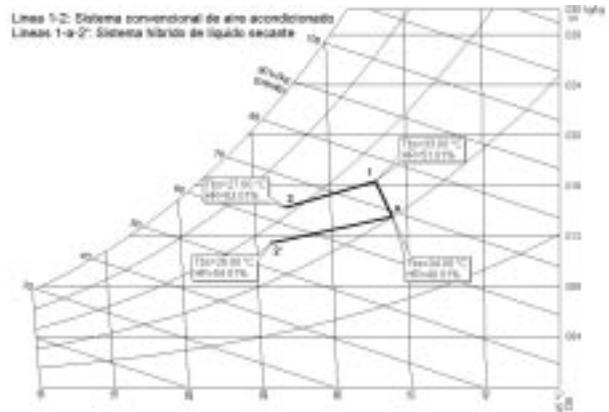


Figura 6. Caso B, Proceso de deshumidificación para ambos sistemas usando 100% aire fresco

CONCLUSIONES

- Se presentó en forma detallada la aplicación y construcción de un sistema híbrido de líquido secante como alternativa para el sistema convencional de aire acondicionado.
- Este sistema debe ser aplicado solo en lugares donde las humedades son altas, ya que la función principal de este sistema es deshumidificar el aire de manera que el sistema convencional de aire solo tenga que enfriarlo, lo que trae como consecuencia un ahorro de energía.
- El sistema híbrido de líquido secante funciona mejor para aplicaciones en donde se requiere 100% aire fresco en lugar de aire recirculado.

NOMENCLATURA

HR	humedad relativa, %
m_c	Flujo másico de condensación, $m_{c,e}$ (evaporador), $m_{c,t}$ (torre), $m_{c,s}$ (sistema), g/s
T_{bs}	temperatura de bulbo seco, °C
W	relación de humedad, kg_w/kg_a
Δh	Cambio de entalpía, Δh_e (evaporador), Δh_s (sistema), Δh_t (torre), kJ/kg

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ERTAS, A., ANDERSON, E. AND KIRIS, I. 1992. Properties of a New Liquid Desiccant Solution-Lithium Chloride and Calcium Chloride Mixture. Solar Energy. 49: 205-212.

MAGO, P. 2000. Performance of Hybrid Desiccant Cooling System Using Lithium Chloride and its Application in Residential and Commercial Sector. Master Thesis, University of Florida, Gainesville, Florida

MAGO, P. AND GOSWAMI, Y. 2001. A Study of the Performance of a Hybrid Liquid Desiccant Cooling System Using Lithium Chloride. Proceedings of the International Solar Energy Conference, a part of Forum 2001 "Solar Energy: The Power to Choose": 133-139.