

CLIMATIZADOR POR ADSORCIÓN - HUMIDIFICACIÓN : CONSTRUCCIÓN Y PRIMEROS RESULTADOS EXPERIMENTALES

Sequeira A., Pochettino J., Spotorno R., De Bortoli M., Screpnik C., Figueredo G.R., Benitez F.

GITEA (Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Apropriadas)
Facultad Regional Resistencia - Universidad Tecnológica Nacional
French 414. 3500 Resistencia. Chaco. Argentina. Tel. 03722 – 432928 Fax. 03722 – 432683

RESUMEN

Se presentan la construcción y los primeros resultados experimentales de un climatizador por adsorción - humidificación orientado a su posterior operación mediante regeneración del adsorbente con energía solar. El equipo se diseñó y construyó en base a las tecnologías y materiales utilizados en la zona del Nordeste Argentino prestando especial atención al aspecto económico. Los ensayos se efectuaron con un flujo constante de aire en el equipo, caudal constante de agua en el intercambiador de calor y exceso de agua en el humidificador, obteniéndose temperaturas del orden de los 17°C partiendo de 22,5°C. Se detectaron divergencias entre los parámetros de diseño y operación, en la humedad relativa del aire a la salida del módulo de adsorción 20% contra 10% supuestos y en la temperatura a la salida del humidificador 17°C contra 13°C teóricos.

PALABRAS CLAVES: Refrigeración solar, adsorción, humidificación, climatización solar, aire acondicionado

INTRODUCCIÓN

En un sistema de climatización solar por adsorción -humidificación el aire es desecado con un material higroscópico y posteriormente enfriado por evaporación de agua. El material higroscópico es regenerado a través de energía solar, el agua adsorbida es liberada al ambiente y el proceso puede continuar.

La utilización de energía solar en refrigeración orientado a la climatización de edificios ofrece la gran ventaja de la alta correlación entre la insolación y los requerimientos de refrigeración. Se han instalados numerosos sistemas por absorción y adsorción y han operado satisfactoriamente pero sin embargo no han resultado competitivos económicamente. Por otro lado son necesarios trabajos en los que se estudien la extensión de la aplicación de sistemas de refrigeración por adsorción y humidificación a climas cálidos y húmedos y su operación mediante colectores solares para aire (Treffinger et al, 1997).

En el centro tecnológico de Riesa, Alemania, se instaló un sistema de climatización por adsorción – humidificación en un aula de 330 m³ para 60 personas. El sistema consta de 20 m² de colectores de placa plana, un ciclo operando en modo ventilación y un tanque de almacenamiento de agua caliente de 2 m³. El sistema demostró que la climatización solar es viable en Europa Central pero sin embargo no puede ser operado en todas las condiciones climáticas que requieren refrigeración. (Henning et al, 1997).

Por otro lado también se desarrollan estudios evaluando la posibilidad de aplicar un sistema de este tipo a medios de transporte utilizando la energía de desperdicio del motor para regenerar el adsorbente. Si bien las primeras estimaciones son desfavorables para vehículos de pequeño porte, resta aun analizar el caso de ómnibus y camiones (Busso et al, 1998)

El presente trabajo se efectuó en el marco de un proyecto orientado a desarrollar un sistema de climatización frío - calor que opere en climas cálidos y húmedos como el del NEA, utilizando a la energía solar como fuente principal de energía. Luego de efectuar comparaciones entre los diferentes sistemas donde se evaluaron los aspectos técnicos, económicos e interés científico de los potenciales sistemas se eligió trabajar en un ciclo abierto por adsorción – humidificación con regeneración mediante aire caliente proveniente de un colector solar. Dicho sistema no presenta mayores complicaciones técnicas debido a que trabaja en un ciclo abierto a presión atmosférica; no contiene elementos contaminantes; y es accesible económicamente. Se pretende que el equipo operando en modo recirculación, con la renovación de aire mínima necesaria, pueda mantener el ambiente interior a aproximadamente 25°C y 60% de humedad relativa, transfiriendo al medio exterior la carga térmica y el exceso de humedad del ambiente a climatizar. (Figueredo et al, 1998).

CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO PROTOTIPO

Es sabido que los sistemas de climatización por humidificación se utilizan ampliamente y con buenos resultados en climas cálidos y secos, en cambio en climas húmedos no dan resultados convenientes si no se acompañan de un proceso previo de deshumidificación. Dichaa deshumidificación puede ser llevada adelante por medio de la utilización de desecantes líquidos o sólidos, para el presente trabajo se utilizó un cartucho metálico que contiene 3 kg de Gel de Sílice de tipo industrial al que se

puede acceder con total facilidad en el comercio local de la Argentina. El Gel de Sílice genera la deshumidificación del aire a través de un proceso de adsorción.

La regeneración del adsorbente se efectuará con aire calentado en un colector solar de placa plana con cubierta simple de vidrio. Actualmente la regeneración del adsorbente se efectúa con aire calentado mediante una resistencia eléctrica. Luego de que se obtengan datos experimentales referidos a los requerimientos energéticos del equipo se diseñará el colector apropiado.

Durante el proceso de adsorción el Gel de Sílice extrae parte del agua contenida en el aire y entrega una determinada cantidad de energía que es absorbida por el aire y el adsorbente, la cual debe ser eliminada antes de que se realice la humidificación final para llegar a la climatización de un ambiente.

La energía absorbida por el aire, que le provoca un aumento de temperatura, es eliminada por medio de un intercambiador de calor (condensador convencional), del mismo tipo que el empleado en un equipo corriente de aire acondicionado. En este caso en particular se utiliza agua en lugar del fluido refrigerante usado en los equipos convencionales para refrigeración.

Para llevar a cabo el tratamiento del aire a climatizar se construyó un equipo siguiendo el esquema de la fig. N°1

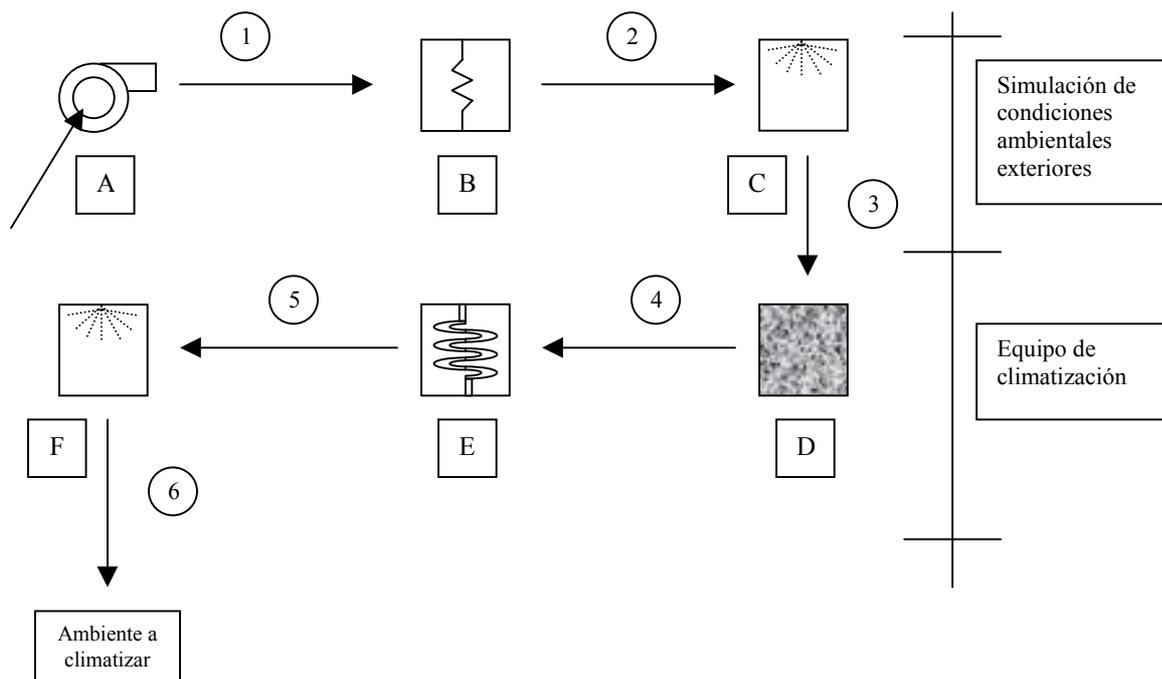


Fig. N° 1 – Esquema establecido para la construcción del “Equipo Piloto”.

El aire evoluciona en el equipo (Fig. N°2) por los siguientes procesos:

- 1 – 2 Se eleva la temperatura del aire ambiente, con el objetivo de obtener condiciones cercanas a las de trabajo.
- 2 – 3 Se eleva la humedad del aire ambiente, con el objetivo de obtener condiciones cercanas a las de trabajo.
- 3 – 4 Se deshumidifica el aire obligándolo a entrar en contacto con el elemento higroscópico (Gel de Sílice).
- 4 – 5 Se enfría el aire hasta una temperatura cercana al ambiente, utilizando un intercambiador de calor tipo de tubos con aletas.
- 5 – 6 Se humidifica el aire hasta alcanzar las condiciones de máxima humedad relativa.

SIMULACION DE CONDICIONES AMBIENTALES EXTERIORES

Cabe recordar que se proyecta utilizar el equipo de climatización para acondicionar una habitación, y que el aire de proceso al que se recurrirá será el atmosférico. Como se sabe en la región NEA, durante la época estival, que es cuando mayor uso se hace de los equipos de climatización, pueden llegar a sucederse días en los que la temperatura media diaria es de 26°C y con una humedad relativa media diaria del 80 % (Red solarimétrica, 1984).

Con el objetivo de simular las condiciones ambientales exteriores se recurrió a los siguientes elementos:

- A Ventilador centrífugo para la impulsión del aire con regulador de caudal.
- B Resistencia eléctrica de potencia variable de 3400 vatios, la cual se colocó perpendicular al flujo de aire.
- C Humidificador construido con un soporte vegetal, dotado de un dispersor de PVC, montado en un marco metálico.

EQUIPO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

Los componentes fundamentales son:

- D Módulo de adsorción, es un bastidor metálico sobre el cual se montaron bandejas contenedoras, direccionadas de tal forma que permitan el pasaje del flujo de aire a través del depósito de Gel de Sílice, que es en este caso el elemento higroscópico. Fig. N° 3
- E Intercambiador de calor, del tipo de tubos y aletas, que consta de caños de bronce y aletas de aluminio, en el cual el fluido refrigerante es el agua que circula por el interior de los tubos y el aire a enfriar circula perpendicularmente al radiador.
- F Humidificador construido con un soporte vegetal, dotado de un dispersor de PVC, montado en un marco metálico. Fig. N°3

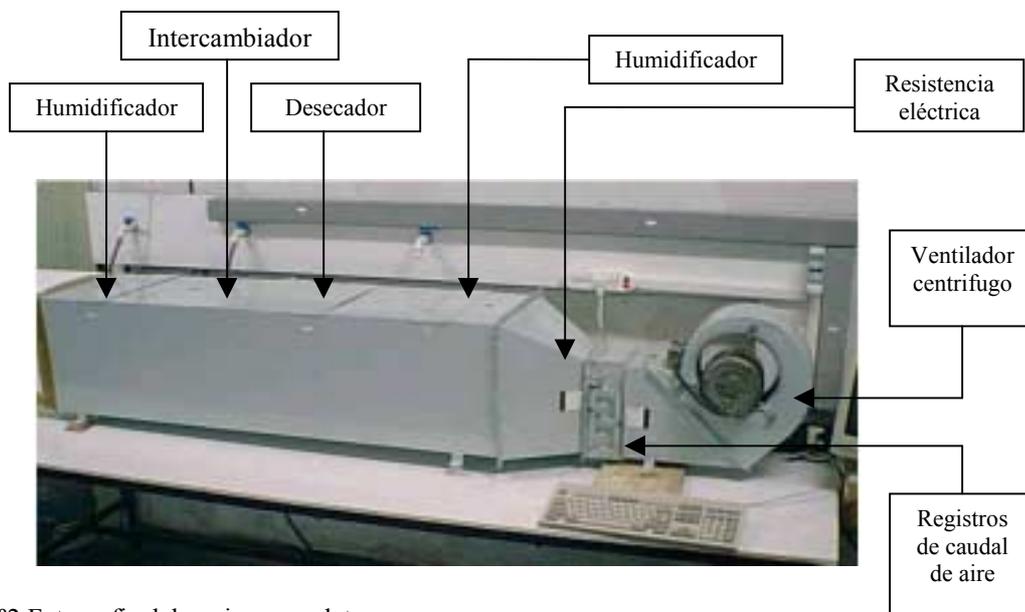


Fig. N°2 Fotografía del equipo completo



Fig. N°3 Fotografías del módulo de adsorción (izq.) y del humidificador (der)

MATERIALES

Utilizando el equipo mencionado, se efectuaron ensayos del ciclo de refrigeración durante los cuales se observó fundamentalmente el comportamiento del módulo de adsorción y de humidificación.

Durante los ensayos se midieron:

- la temperatura y humedad ambiente con un termo-higrómetro-registrador,
- las temperaturas del aire al evolucionar en el equipo en los estados 1, 2 y 3 con termómetros de mercurio con una apreciación de 1°C y al salir del humidificador estado 4 con 0.2°C,
- las humedad relativa 2 luego del módulo de adsorción con un termohigrómetro Vaisala con una precisión del 3% entre 20 y 80°C,
- La humedad relativa 4 luego del módulo de humidificación con un higrómetro ETS con una precisión del 2% entre 0 y 80% y del 3% entre el 80 y 100%,
- La velocidad del flujo de aire se midió con un anemómetro de hilo caliente Tipo AIRFLOW TA2 con una apreciación de 0,1 m/s en el rango de 0 a 2 m/s.

MÉTODO

Antes de efectuar el ensayo se regeneraba el cartucho de adsorción durante 1,5 hs mediante una corriente de aire a 90°C, luego se lo cerraba herméticamente y se lo dejaba enfriar hasta la temperatura ambiente.

Durante los ensayos se mantuvieron constante los caudales de aire en el equipo, agua en el intercambiador y agua en el humidificador. El aire se aspiraba directamente desde el ambiente, en algunos ensayos primero se lo precalentó con una resistencia eléctrica, y luego evolucionaba a través del modulo de adsorción 1-2, el intercambiador de calor 2-3 y el modulo de humidificación 3-4. Fig. N° 5

RESULTADO EXPERIMENTALES

En la fig. 3 se representa la evolución típica de las temperaturas ambiente T_a , a la entrada del módulo de adsorción T_1 , a la salida del módulo de adsorción T_2 , a la entrada del humidificador T_3 y a la salida T_4 . También está representada la evolución de la humedad relativa a la salida del módulo de adsorción H_2 .

La primer y segunda lectura son sin flujo de aire, él que se inicio luego de efectuada la 2° lectura, se observa un fuerte descenso de la humedad relativa después del módulo de adsorción H_2 alcanzándose un mínimo del 20% a los 5 min. de iniciado el ensayo y luego un paulatino aumento hasta estabilizarse alrededor del 45%. Es de destacar que luego de 15 min. de ensayo se alcanza una H_2 de aproximadamente el 30% a consecuencia de que en ese periodo una gran parte del sílica gel ya se ha saturado de humedad. Acompañando el proceso de adsorción se observa primero un notable aumento en la temperatura del aire T_2 el que luego se vuelve moderado al disminuir la adsorción.

En el humidificador se observa un descenso de aproximadamente 3 °C y a la salida la humedad relativa del aire supera el 90%. Las temperaturas ambiente y a la salida del intercambiador permanecen constante y a la entrada del módulo de adsorción aumenta ligeramente por efecto del calentamiento del motor del ventilador.

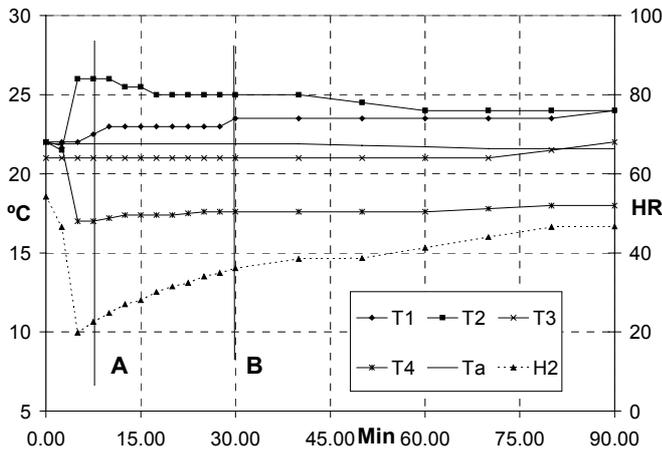


Fig. N° 4 Evolución de las temperaturas en las diferentes secciones del equipo y humedad a la salida del módulo de adsorción durante el ensayo.

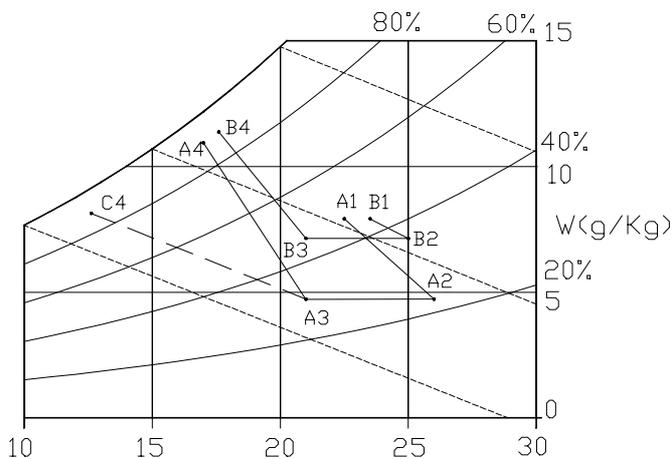


Fig. N°5 Estados del aire en el diagrama psicrométrico a los 8 min de iniciado el ensayo A1-A2-A3-A4 y a los 30 min. B1-B2-B3-B4.

En la fig. N°4 se representaron las transformaciones que efectuó el aire para dos instantes diferentes del ensayo. Se puede observar que el proceso de secado en el módulo de adsorción A1-A2 se efectúa con una pendiente mas elevada que el de la

isoentálpica (proceso adiabático sin que la sílica gel libere energía) pero sin llegar a una isoterma (línea vertical), esto se debe a que el módulo de adsorción inicia el proceso a temperatura ambiente y absorbe energía al calentarse. En caso de que el proceso de adsorción se prolonge más tiempo se producirá un descenso en la pendiente de la transformación como ya se puede apreciar en la B1-B2 hasta llegar a un valor inferior al de la isoentálpica..

En relación al proceso de humidificación A3-A4 se obtuvieron resultados muy alejados del proceso teórico A3-C4 supuesto en el diseño (Figueredo et al, 1998), finalizándose el proceso con una temperatura y humedad absoluta superior a la supuesta.

CONCLUSIONES

Se construyó un equipo para ensayar los componentes de un climatizador por ciclo abierto por adsorción – humidificación, con regeneración solar del adsorbente y adaptado a climas cálidos y húmedos. Se efectuaron ensayos de los componentes correspondientes al sector de refrigeración del sistema. Partiendo de aire a 22,5°C y 48% de humedad relativa se obtuvo en la salida aire a 17°C y 90% .

Se detectó una notable divergencia entre el proceso real y el de humidificación adiabática supuesto, debido a la transmisión de calor desde el resto del equipo hacia la corriente fría de aire a través de la carcasa del humidificador. Según el proceso ideal el aire a la salida debería estar a una temperatura cercana a los 13 °C. Una posible solución sería aislar térmicamente el módulo humidificador del resto del equipo.

El módulo de adsorción opera durante aproximadamente 15 min., con una reducción en la humedad absoluta de aproximadamente 3 g/kg, para alcanzar una reducción superior a 5 g/kg es necesario efectuar más ensayos aumentando la cantidad de sílica gel y reduciendo el caudal de aire.

RECONOCIMIENTOS

Nuestro reconocimiento a los estudiantes S. Battaglia y S. Monzon de la carrera de Ingeniería Química de la UTN regional Resistencia por la labor desempeñada.

REFERENCIAS

Busso A., Figueredo G.R., Pochettino J.J., Aeberhard A., Benitez F., (1998). Equipo de climatización ecológico para automotores utilizando la energía de desperdicio del motor: Estudio preliminar.. Avances en energías renovables y medio ambiente. V2 02.13-16.

Henning H.M., Erpenbeck T., Hindenburg C., (1997). Sorptiongestutzte Klimatisierung mit Solarenergie, en Workshop “Solar Sorptive cooling”, pp. 147-157, Stuttgart, Alemania.

Figueredo G. R., Busso A., Pochettino J.J., Benitez F., Aeberhard A., (1998). Climatización por ciclo abierto por desecado y humidificación.. Avances en energías renovables y medio ambiente. V2 02.77-80.

Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (1984). Publicación semestral de datos de radiación solar registrados en las estaciones de la Red Solarimétrica pp 39-41 CNIE, Argentina.

Treffinger P., Busweiler U., Koenigsdorff R., Lavemann E., Lamp P., (1997) Status and Perspective of Solar Sorptive Cooling. Forschungsverbund Sonnenenergie, en Workshop “Solar Sorptive cooling”, pp. 8-13, Stuttgart, Alemania.

AIR CONDITIONING BY ADSORPTION -HUMIDIFICATION: BUILDING AND FIRSTS EXPERIMENTAL RESUTATES

Abstract

Construction and first experimental results of a desiccant based evaporative cooling cycle are presented. Regeneration of the adsorbent will be done by means of solar energy. The equipment was designed and built using technologies and materials of traditional used in the northeastern area of Argentina. Special attention to the economic aspect was considered as well. The experimentl runs were performed under constant process air flow, constant water flow in the heat exchanger and excess of water in the humidifier. Under these conditions a temperature drop of 5.5 °C was obtained from a room temperature of 22.5 °C. For the outcoming air a difference of 10% and 4°C were detected between experimental and theretical values for the relative humidity and for the temperature respectively.