

CLIMATIZACIÓN POR CICLO ABIERTO POR DESECADO Y HUMIDIFICACIÓN

Figueredo Gustavo R.** Busso Arturo* Pochettino Juan J.** Benitez Francisco** Aeberhard Arturo F.*
**GITEA Fac. Reg. Rcia. UTN - *GIDER Fac. Ingeniería UNNE
French 414 - 3500 - Resistencia - Argentina
utn.resistencia@ecomchaco.com.ar Tel: (0722)32928 Fax: (0722)32683

RESUMEN

Se presentan los resultados del análisis técnico económico del equipo de refrigeración de un sistema de climatización para climas cálidos y húmedos operado por energía solar. Se seleccionó un ciclo abierto de humidificación con deshumidificación adiabática previa mediante gel de sílice regenerada por energía solar, con enfriamiento de la corriente de aire mediante un intercambio de calor con aire exterior saturado de humedad. En base al comportamiento termodinámico del ciclo y a una carga térmica de 1745 W se determinó que el gel de sílice debe adsorber $1,7 \text{ gr s}^{-1}$ de agua, para regenerar esta masa de agua se debe aportar 10000 W al aire de regeneración con un colector de placa plana de cubierta de vidrio simple de 30 m^2 . Se efectuó el cómputo de materiales y presupuesto y se determinó que el costo del equipo sería de \$8410 con una incidencia del colector del 50%.

ANTECEDENTES

La región del NEA presenta un clima, caracterizado por altas temperaturas y elevada humedad. Debido a esto, para lograr las condiciones de confort es necesaria principalmente la refrigeración. En la actualidad los sistemas de refrigeración más difundidos son los de compresión de vapor, los que ocasionan los siguientes inconvenientes:

- alto consumo de energía eléctrica,
- simultaneidad en la demanda, lo que ocasiona picos de consumo de energía eléctrica,
- daño a la capa de ozono debido a la utilización de CFC como vapor refrigerante.

Como referencia podemos citar que en Kuwait los picos de consumo eléctrico y la demanda anual de energía son debidos predominantemente a los requerimientos de aire acondicionado; que representan cerca del 70% del pico de generación de potencia y el 53% del consumo de electricidad en el verano (Al-Bassam y Maheswari 1994).

La utilización de la energía solar en refrigeración, aprovecharía la correlación entre la oferta de radiación y la demanda de energía para refrigeración lo cual permitiría disminuir los costos de operación, minimizar el almacenamiento de energía necesario en los equipos solares y evitar todos o algunos de los inconvenientes antes mencionados.

A nivel mundial se desarrollan gran cantidad de investigaciones sobre el tema, y se han instalado y testeado varios sistemas de aire acondicionado accionados por energía solar. Para el caso de climas cálidos y húmedos como el de Joao Pessoa-Brasil, se obtuvo que mediante climatización solar, utilizando una superficie de colección de aproximadamente el 20% del lugar a climatizar, se puede mantener en verano el ambiente a 24°C y 60% de humedad relativa (Kluppel y Casanova 1996). En Hampton, Virginia, el ensayo del rendimiento de una casa solar indicó que el sistema solar puede proveer el 57% de la energía anual para calefacción y refrigeración; y en el Japón, un estudio experimental de calefacción y refrigeración solar de una vivienda, demostró que el sistema provee toda la energía para calefacción en invierno y el 70% de la energía necesaria para refrigeración en un típico día de verano (Yeung *et al.* 1992). Mediante simulación computarizada Shiran *et al.* (1981) demostraron que para las condiciones climáticas de Israel, la radiación solar colectada en la superficie del local a climatizar, puede proveer el 81% de la energía necesaria para calefacción y refrigeración.

En esta investigación se propone seleccionar, dimensionar, construir y ensayar un sistema que utilice como fuente principal de energía a la solar y que permita climatizar un ambiente en épocas estivales e invernales. En el presente trabajo efectuamos la selección del equipo de refrigeración en base al análisis de la pre-factibilidad técnico - económica de los diferentes sistemas.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA:

El enfriamiento por humidificación se utiliza ampliamente en climas cálidos y secos, en cambio en climas húmedos no da resultados convenientes si no se acompaña con un proceso previo de deshumidificación.

En todo equipo de refrigeración, la energía que se extrae desde el recinto a refrigerar debe entregarse al medio, el proceso que se utiliza para efectuar esto es el más importante en sistemas como el propuesto. En el proceso de adsorción se manifiesta la energía extraída desde el ambiente en forma de calor sensible, para ceder este calor al medio, la cámara de adsorción o un intercambiador posterior a esta, debe estar a una temperatura superior a la del medio al que se cede calor.

Para efectuar el intercambio de calor existen dos alternativas, la primera es efectuarlo directamente en la cámara de adsorción lo cual trae aparejados inconvenientes técnicos difíciles de resolver (Bassols-Rheinfelder 1985), la segunda es construir la cámara de adsorción adiabática y efectuar la transmisión de calor en un intercambiador posterior a la cámara, esto es técnicamente simple pero tiene la desventaja de que el elemento adsorbente trabaja a una temperatura mayor. Para el presente análisis nos inclinamos por la segunda alternativa debido a las razones técnicas y económicas.

También toma trascendencia en qué va a consistir el medio al que el sistema entrega calor, convencionalmente se utiliza el aire atmosférico directamente o también indirectamente a través de agua que se enfría en una torre de enfriamiento. Existen numerosas propuestas con respecto a los flujos de aire que van a recibir la energía desde el intercambiador, nos inclinamos a trabajar directamente con aire exterior, lo que permite manejar el caudal de aire necesario. La corriente de aire exterior se mantiene saturada de humedad lo que permite disminuir el salto de temperaturas, debido a que durante todo el proceso se produce evaporación de agua.

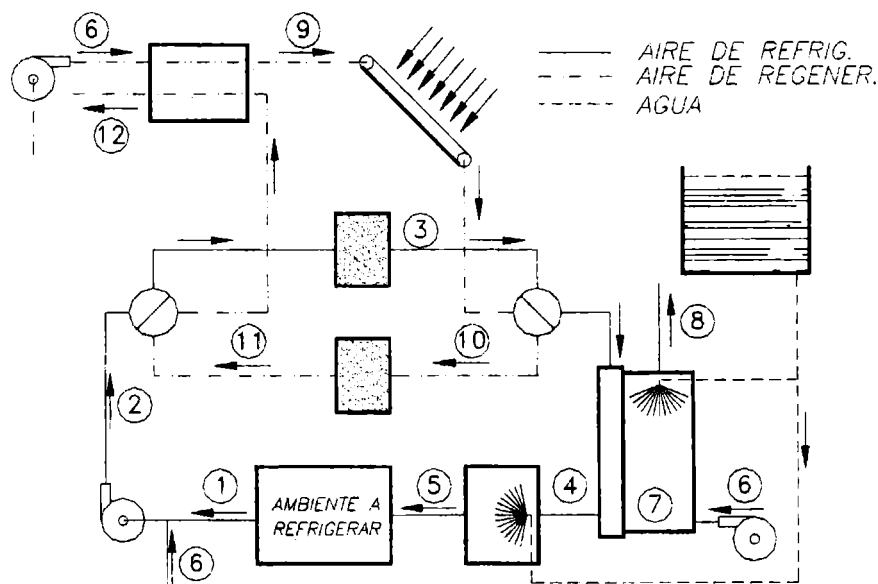


Fig. 1. Diagrama de los circuitos del sistema de refrigeración.

En la Fig. 1. están esquematizados los circuitos del sistema, consta de 3 circuitos de aire: el primero es el correspondiente al de refrigeración, el segundo se utiliza para la regeneración del adsorbente y el último para recibir calor desde el circuito de refrigeración. También existe un circuito de agua para humidificación.

A continuación se describen y representan en un diagrama psicrométrico Fig. 2, los procesos a que se somete el aire de refrigeración:

- 1 - 2 mezcla con un 10% de aire exterior [estado 6] para renovación
- 2 - 3 deshumidificación adiabática, pasando por una cámara de adsorción donde entra en contacto con el elemento higroscópico, sale con una humedad relativa cercana al 10%
- 3 - 4 enfriamiento en un intercambiador de calor donde cede calor al medio
- 4 - 5 humidificación adiabática hasta el 60% y retorno al recinto a refrigerar.

El aire que recibe la energía desde el circuito de refrigeración sufre las siguientes transformaciones:

- 6 - 7 se satura de humedad agregando agua en estado líquido
- 7 - 8 recibe calor a contracorriente y se humidifica simultáneamente y luego se expulsa al exterior.

El aire de regeneración se somete a los procesos:

- 6 - 9 el aire exterior se precalienta en un intercambiador de calor que aprovecha la energía en el aire a la salida
- 9 - 10 se calienta en un colector de energía solar de placa plana de cubierta de vidrio simple hasta alcanzar un rango de temperaturas de 75 a 95 °C
- 10 - 11 circula por la cámara de adsorción que previamente se ha saturado y regenera al adsorbente
- 11 - 12 atraviesa el intercambiador de calor donde cede calor al aire que ingresa al circuito.

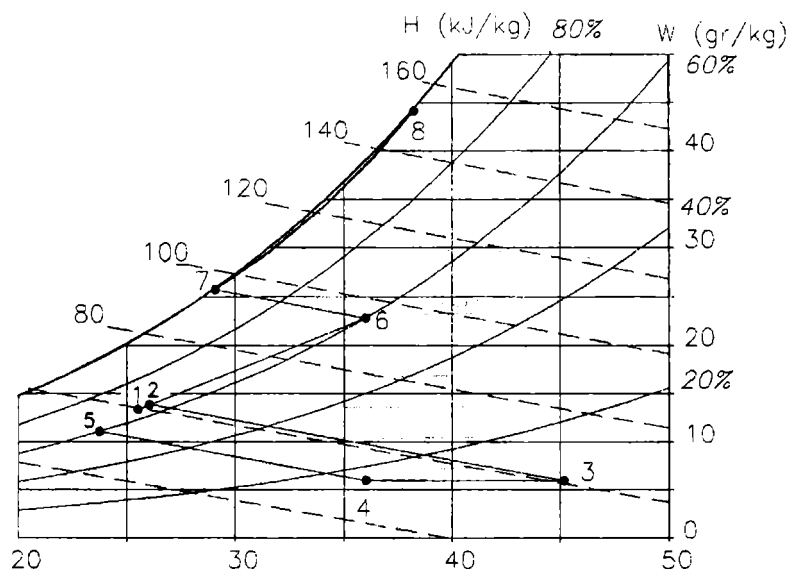


Fig. 2. Procesos del aire en el sistema de refrigeración.

DESECANTES ANALIZADOS

Se analizó la posibilidad de utilizar soluciones acuosas de cloruro de litio y cloruro de calcio con regeneradores abiertos las mismas presentan algunas ventajas ya conocidas. Las soluciones de cloruro de calcio tienen el inconveniente de que no se pueden alcanzar humedades relativas menores al 30% y las de cloruro de litio se descartaron debido a que se concluyó que no eran apropiadas para climas húmedos (Peng 1982).

La alúmina activada y los tamices moleculares se descartaron debido a que necesitan temperaturas de regeneración por arriba de los 120°C.

Debido a las características que se mencionan en la bibliografía (Perry 1958) donde se trata el tema desecado de gases y a la disponibilidad en el mercado, se seleccionó al gel de sílice como desecante más apropiado.

El gel de sílice se consigue en el mercado local a un precio de aproximadamente 7 \$ el kilogramo.

Se efectuaron experiencias de adsorción y regeneración del gel sílice (Busso *et al.* 1998) y se obtuvieron valores del calor de regeneración para 1 kg. de agua adsorbida de 5000 kJ regenerando a una temperatura de 90°C; en la bibliografía se cita que se necesitan de 4600 kJ a 5800 kJ para eliminar 1 kg. de agua adsorbida.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA PROPUESTO

Con el objetivo de establecer los parámetros de funcionamiento y las dimensiones principales del sistema, se efectuó un análisis teórico del comportamiento del equipo en función de la temperatura y la humedad exterior.

Se eligió como carga térmica mínima, que el equipo pueda evacuar 1745 W.

El proceso de deshumidificación se supuso adiabático hasta una humedad del 10%.

El ambiente a refrigerar se mantiene a un 60% de humedad y entre 23 y 27°C.

El intercambiador se supuso ideal con una diferencia de temperatura de 7°C.

A partir de los supuestos antes mencionados se fueron determinando los diferentes estados para las distintas condiciones climáticas y se obtuvieron los caudales de aire, masa de agua a agregar en la humidificación, masa de agua a extraer en la deshumidificación, y la energía para regeneración del adsorbente.

CONCLUSIONES

Las diferentes condiciones climáticas analizadas fueron temperaturas entre 27°C y 42°C y humedades entre el 30% y 90%. De este rango la combinación factible más exigente fue de 36°C y 60% de humedad en estas condiciones el equipo entregaría aire a 23.7°C, circulando 0,222 kg s⁻¹ de aire de refrigeración, 0,056 kg s⁻¹ de aire en el intercambiador, extrayendo 1,7 gr s⁻¹ en la cámara de adsorción y humidificando con 1,1 gr s⁻¹ en la cámara de humidificación. Cada cámara de adsorción debería contener 90 kg. de gel de sílice y el colector debería aportar 10000 W a la corriente de aire de regeneración. Se efectuó el cálculo de un colector de placa plana de cubierta de vidrio simple con superficie absorbente no selectiva y se determinó un área de 30m² (Duffie y Beckman 1991). En base a las dimensiones obtenidas se efectuó un cómputo de materiales y presupuesto que se encuentra resumido en la tabla 1, los costos allí mencionados incluyen mano de obra para fabricación y montaje.

El costo del colector representa aproximadamente el 50% del costo del equipo, el costo total podría disminuir un 35% si la vivienda a climatizar se diseña en función del aprovechamiento de la energía solar y por ejemplo se integra al colector solar con la cubierta en un solo conjunto. Por otro lado surge la necesidad de optimizar el diseño del ambiente a refrigerar para que el equipo pueda climatizarlo eficientemente.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	COSTO \$
1	Colector de energía solar: placa plana, cubierta simple	4533.60
2	Conductos de chapa galvanizada, con aislación	282.86
3	Reducciones y cambios de sección de conductos	670.30
4	Curvas y derivaciones	132.86
5	Cámaras de adsorción	316.40
6	Intercambiadores de calor	598.20
7	Humidificadores	186.04
8	Gel de sílice	1260.00
9	Equipos de ventilación	160.00
10	Instalación eléctrica	120.00
11	Equipo de control y comando	150.00
	TOTAL	8410.26

Tabla 1. Costos de los componentes del equipo de refrigeración.

REFERENCIAS

- Al-Bassam E. y Maheshwari G. P. (1994) Performance evaluation of air-conditioning units. *Renowable Energy* 4, 7, 873-878.
- Bassols-Rheinfelder J. (1985) Solar cooling an open-cycle adsorption system with adiabatical mass transfer and external heat exchange. *Solar Energy* 35, 1, 93-104.
- 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. *Reunión de comunicaciones científicas y tecnológicas 98 UNNE*. En prensa.
- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991) *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2a. edición, pp 251-328. Wiley Interscience, New York.
- Kluppel R. P. y Casanovas D. S. (1995) Open cycle solar air conditioning using solid desiccants. Trabajo presentado en la *XVIII Reunión de Trabajo de ASADES*, San Luis, Argentina.
- Peng C. P. (1982) Analysis of open inclined surface solar regenerators for absorption cooling applications- comparison between numerical and analytical models. *Solar Energy* 28, 3, 265-268.
- Perry J. H. (1958) *Manual del Ingeniero Químico*, 3ª edición, pp 1370-1381 . Mc Graw Hill, México.
- Shiran Y., Shitzer A. y Degani D. (1981) Computerized desing and economic evaluation of an aqua-ammonia solar operated absorption system. *Solar Energy* 29, 1, 43-54.
- Yeung M. R., Yuen P. K. y Cornish L. S. (1992) Performance of a solar-powered air conditioning system in Hong Kong. *Solar Energy* 48, 5, 309-319.