

## **EQUIPO DE CLIMATIZACION ECOLOGICO PARA AUTOMOTORES UTILIZANDO LA ENERGIA DE DESPERDICIO DEL MOTOR: ESTUDIO PRELIMINAR**

Busso<sup>†</sup> A., Figueredo<sup>§</sup> G., Pochettino<sup>§</sup> J.J., Aeberhard<sup>†</sup> A., Benitez<sup>§</sup> F.  
† - GIDER - Fac. Ing., UNNE, Av. Las Heras 727, 3500 Resistencia, Chaco. Tel: 0722-36298.  
§ - GITEA - UTN Regional Resistencia - French 414 - 3500 Resistencia - Chaco. Tel: 0722-32928.  
email: ajbusso@ing.unne.edu.ar

### **RESUMEN**

Se determinan experimentalmente características físicas del gel de sílice comercial (curva de humedad de equilibrio y calor de regeneración) y se comparan con datos de literatura.

Se propone un ciclo de refrigeración por secado y enfriamiento evaporativo del aire de proceso para satisfacer una carga frigorífica de 1750 Watt.

Se simula su operación bajo diversas condiciones ambientales estableciéndose como parámetros de diseño  $T_{amb} = 36^{\circ}\text{C}$  y  $Hr_{amb} = 60\%$ .

De los requerimientos energéticos para la operación del ciclo (10 KW) se concluye que el sistema no es apropiado para ser aplicado en vehículos de pequeño porte ya que el aporte energético de los gases de escape es insuficiente para velocidades menores a los 80 Km.hr<sup>-1</sup>.

### **ANTECEDENTES**

En el presente la industria del Aire Acondicionado se encuentra abocada a la solución de desafíos tales como; mayor eficiencia energética, erradicación del uso de CFCs y HCFCs, mejoramiento de la calidad del aire interior, entre otros.

Nuevos métodos de acondicionamiento están siendo evaluados continuamente para resolver estos temas.

El enfriamiento por desecado y deshumidificación no es una tecnología nueva y provee ventajas importantes en la solución de muchos de estos problemas (Knaebel, 1995; Basta, 1994; Hairston, 1995).

El ámbito de aplicación de este tipo de sistema fue ampliándose a lo largo de los años, encontrándose hoy, en aplicaciones industriales de manufactura de productos sensibles a la humedad, supermercados, restaurantes, hoteles y hasta (a nivel de I&D) en transporte (Pesaran *et al*, 1992; Slayzak *et al*, 1992; Harriman *et al*, 1997).

El presente trabajo es un informe de avance correspondiente al proyecto sobre "Estudio y Desarrollo de un Sistema Ecológico de Acondicionamiento de Aire Mediante Deshumidificación y Enfriamiento Evaporativo" encarado en forma conjunta entre los grupos GITEA y GIDER de la Universidad Tecnológica Nacional y la Fac. de Ingeniería de la UNNE respectivamente, y que dio comienzo en abril del presente año.

Cabe destacar, que de los resultados preliminares obtenidos hasta aquí, surgió la propuesta de aplicar la tecnología en estudio tanto en transporte como en vivienda, siendo las fuentes de calor para la regeneración del desecante, solar para el caso de vivienda y energía de desperdicio del motor para el caso de uso en transporte (Pesaran *et al*, 1992; Cotella *et al*, 1997; Vrinat, 1993; Alhusein *et al*, 1993). Por tanto y dada la falta de espacio, detalles acerca de los cálculos de la energía necesaria para la operación del ciclo de refrigeración y el análisis económico para su aplicación en vivienda se presentan en un trabajo separado (Figueredo *et al*, 1998).

### **MATERIALES Y METODOS**

Del análisis sobre de los métodos posibles de refrigeración por absorción y adsorción, y de sus ventajas para los propósitos del proyecto, se optó por un ciclo de adsorción con Gel de Sílice como material adsorbente.

La selección de la gel de sílice como material adsorbente se basa, entre otras cosas, en resultados de trabajos anteriores, su bajo costo (U\$D 7.00 Kg.), facilidad de adquisición en el medio local, y por representar un sistema simple y con muy pocas partes mecánicas.

Entre los desecantes analizados podemos mencionar:

- Soluciones de cloruro de calcio (no se pueden alcanzar humedades relativas menores al 30%).
- Soluciones de cloruro de litio (no son apropiadas para climas húmedos (Slayzak *et al*, 1992; Collier, 1979).

- Alúmina activada y Tamices moleculares (presentan temperaturas de regeneración por arriba de los 130°C).
- Carbón activado (su falta de afinidad con moléculas polares lo hace inapropiado en procesos de deshumidificación).
- Sílica gel (relativamente bajas temperaturas de regeneración; 85°C -100°C).

Debido a la falta de información técnica sobre las características físicas del gel de sílice que se comercializa en el medio, se efectuaron corridas experimentales para determinar curvas de humedad de equilibrio, y calor de regeneración.

En la determinación de la curva de humedad de equilibrio se utilizaron dos métodos, uno de pesada directa y otro de balanza de resorte.

En el método de la balanza de resorte, la muestra de sílica gel colgaba de un resorte y ambos elementos estaban alojados dentro de un tubo de vidrio vertical por el que fluía una corriente de aire a temperatura y humedad conocidas. Con el dispositivo así montado se registró la elongación del resorte para la situación en que la sílica alcanzaba la humedad de equilibrio con el aire circulante.

Se procedió de igual manera variando la temperatura del aire desde la temperatura ambiente hasta ~120°C.

Se eliminó el error de medición introducido por la dilatación térmica del resorte manteniendo la muestra de sílica estática y determinando la humedad de equilibrio por pesada directa. En ambos casos se calculó la humedad en base seca.

En la fig.1 se esquematiza el dispositivo empleado para la determinación del calor de regeneración. La cámara de regeneración (10cm de diámetro por 17 cm da alto) contenía gel de sílice blanca de granulometría entre 5-8mm. Se conectó el calefactor a un variac para regular la potencia sobre el mismo y así la temperatura del aire entrante al regenerador.

Se realizaron corridas con temperaturas de regeneración entre 80°C y 90°C. Los datos de temperatura a la entrada y salida del regenerador, temperatura ambiente y humedad relativa a la salida del regenerador se registraban en forma automática cada minuto por medio de un sistema de adquisición de datos conectado a una PC.

Para el caso ideal de la experiencia, la energía utilizada en el proceso de regeneración será igual a la energía aportada por la resistencia eléctrica, dado que el intercambiador permitiría recuperar la energía remanente en los gases húmedos a la salida del regenerador, s. Además, siendo el  $c_p$  del aire húmedo a la salida mayor al  $c_p$  del aire mas seco a la entrada, idealmente la corriente entrante, c, podría alcanzar la temperatura de salida de los gases del regenerador.

Dividiendo el tiempo de duración de la experiencia en n intervalos iguales, el calor neto aportado al proceso de regeneración en el i-ésimo intervalo es igual a:

$$Qn_i = Q_i - ct.(t_{pmi} - t_a)$$

Donde  $Q_i$  = calor entregado por la resistencia en el i-ésimo intervalo (función de la variación de entalpía en el calentador y del caudal másico).

$ct$  = coeficiente global de transferencia de calor (determinado experimentalmente).

$t_{pmi}$  = temperatura promedio dentro del regenerador en el i-ésimo intervalo (se asume una distribución lineal de temperaturas dentro del regenerador).

$t_a$  = temperatura ambiente.

Se asume que las variables involucradas en el cálculo permanecen constantes durante el intervalo de tiempo de cálculo.

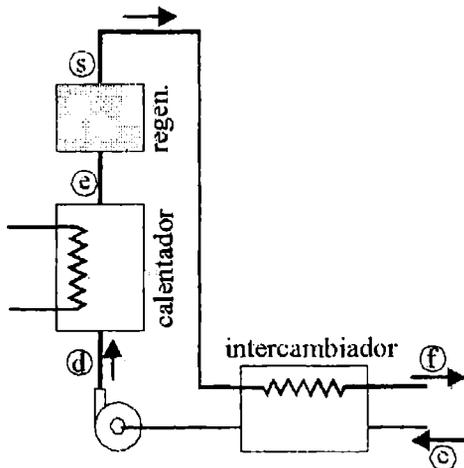


Fig. 1. Esquema del dispositivo para la determinación del calor de regeneración.

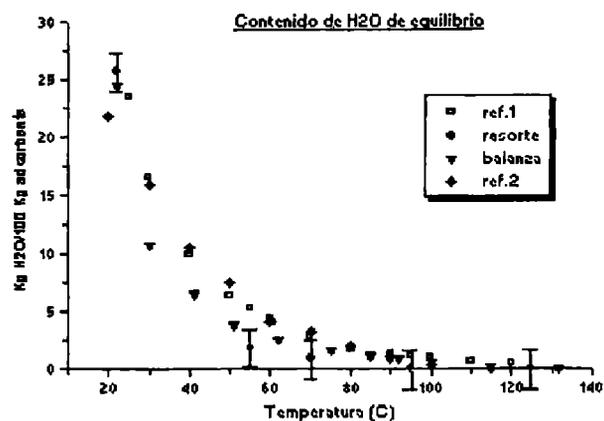


Fig. 2. Humedad de equilibrio experimentales y datos de literatura

## RESULTADOS OBTENIDOS

La fig.2 muestra los resultados obtenidos y su comparación con datos de literatura (Kirk y Othmer, 1996) observándose una buena correlación entre los mismos.

La fig.3. presenta la evolución de las temperaturas de entrada y salida del regenerador como así también el calor neto acumulado obtenido de los cálculos.

Se observa que transcurrido aproximadamente 1.5 hs ya no se producen cambios en el calor neto como era de esperar, dado que el proceso de regeneración acabó.

De las experiencias de adsorción y regeneración así realizadas, se determinó que el calor de regeneración para nuestras muestras de sílice gel es, en promedio, de  $5300 \text{ KJ.kg}^{-1}$  en concordancia con los valores de 4600 a  $5800 \text{ KJ.kg}^{-1}$  mencionados en la bibliografía consultada (Perry, 1958).

Entre corridas de regeneración se realizaron corridas de saturación a temperatura ambiente ( $25^\circ\text{C}$ ) que dieron como resultado una adsorción del 10% en acuerdo con la esperada (para igual temperatura) según la curva de humedad de equilibrio (fig.2).

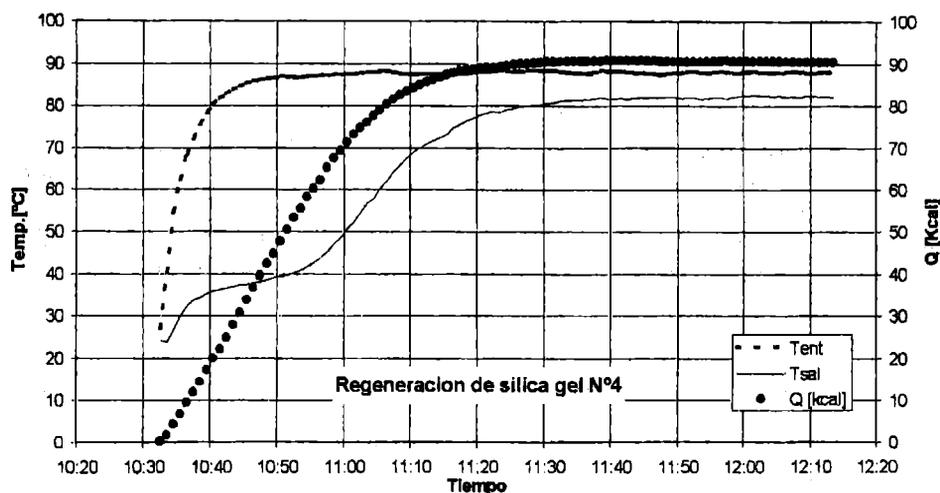
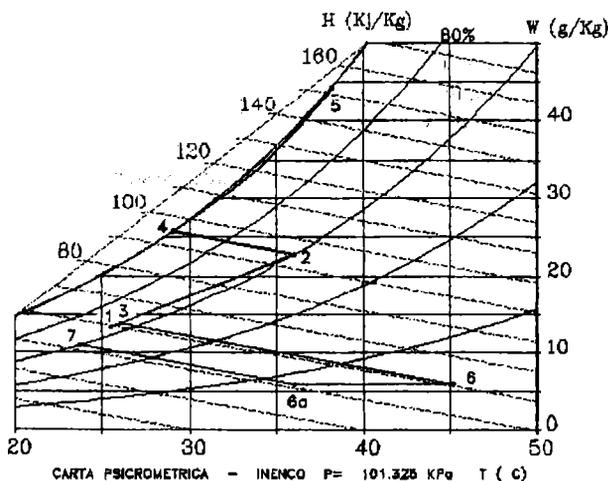


Fig.3. Curva de regeneración y calor neto acumulado de regeneración.

El ciclo de trabajo propuesto se muestra en el diagrama psicrométrico de la Fig.4. Para llevar a cabo este ciclo se usan dos camas de desecante expuestas al flujo de aire. Mientras una seca el aire de proceso la otra se regenera. Estas alternan su funciones en forma periódica mediante el redireccionamiento de las corrientes de aire. Debido a que la deshumidificación no es isotérmica, se reduce el calor sensible de esta corriente haciéndola pasar a través de un intercambiador de calor. Posteriormente, el enfriamiento del aire de proceso se logra mediante humidificación evaporativa.

- 1.- Estado del aire interior
- 2.- Estado del aire exterior.
- 3.- Estado de la mezcla entre aire interior y exterior.
- 4.- Estado del aire a la entrada del intercambiador de calor.
- 5.- Estado del aire a la salida del intercambiador de calor.
- 6.- Estado del aire a la salida del deshumidificador.
- 7.- Estado del aire a la entrada del ambiente a refrigerar.

Fig.4. Ciclo de trabajo propuesto y descripción de los estados del aire.



Basados en este ciclo y mediante un procedimiento de cálculo sencillo (Figueredo *et al*, 1998) se realizaron simulaciones que nos permitieron determinar parámetros de trabajo tales como temperatura interior y masa de agua hora a eliminar durante el proceso de regeneración para diferentes estados de temperatura y humedad relativa ambiente. La masa de agua hora a eliminar es de importancia puesto que determina la energía mínima necesaria que debe suministrar la fuente de calor para operar el ciclo.

Entonces un punto de trabajo con una temperatura ambiente de 36°C, una humedad relativa ambiente de 60% y una carga térmica de 1745 Watt, determinan una temperatura en el interior de 25.5°C, un caudal de aire a circular por el sistema de 0.22 Kg.s<sup>-1</sup> y una masa de agua a eliminar durante la regeneración de 1.7 gr.s<sup>-1</sup>.

La energía necesaria para satisfacer estos requerimientos, tomando como valor de calor de regeneración 5000 KJ.kg<sup>-1</sup> será de aproximadamente 10 KW.

Estudios anteriores demuestran (Cotela *et al*, 1997; Alhusein *et al*, 1993) que en vehículos pequeños solo a partir de los 80 Km/hr aproximadamente se podrían extraer de los gases de desperdicio del motor, la energía necesaria para operar un ciclo frigorífico de estas características, haciendo inviable la aplicación de los mismos a esta clase de unidades automotrices.

Se debe por tanto analizar la situación para motores mas potentes (camiones, minibuses, etc.) donde los niveles de desperdicio de energía son mayores y posiblemente sean capaces de satisfacer los requerimientos energéticos aun en ralenti.

## CONCLUSIONES

Se analizaron experimentalmente las características físicas del gel de sílice obtenible en el mercado. La curva de humedad de equilibrio y el calor de regeneración muestran una correlación aceptable con datos de literatura.

Se expuso el ciclo propuesto y sobre la base de condiciones de trabajo predeterminadas se calculo la energía mínima requerida de la fuente de calor para que el ciclo pueda operar.

Se concluye que el sistema no es apropiado para ser aplicado en vehículos de pequeño porte ya que el aporte energético de los gases de escape es insuficiente para velocidades menores a los 80 Km.hr<sup>-1</sup>.

## REFERENCIAS

- Alhusein A., Inayatullah G. (1993). Systeme á Absorption pour Climatiseur d'automobile Fonctionnant avec la Charleur d'échappement, Rev. Gen. Froid, 28.
- Basta, N., Ondrey, G., Moore S. (1994). Adsorption Holds Its Own, Newsfront, Chemical Engineering, 39-43.
- Collier R. K. (1979). The analysis and simulation of an open cycle absorption refrigeration system. Solar Energy 23, 357-366.
- Cotella N., Antonelli S., Monge J. (1997). Estudio de la Factibilidad de Refrigerar el Habitaculo de un Vehiculo Utilizando el Calor de Escape. Avances de Energias Renovables y Medio Ambiente, Vol.1 N.2.
- Figueredo G., Busso A., Pochettino J.J., Benitez F., Aeberhars A. (1998). Reunion de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas (en prensa).
- Hairston D. (1995). Desiccants Take New Measures to Track Down Moisture, Chemical, Chemical Engineering, 55-58.
- Harriman L., Simkins D. (1997). Don't Swet It, Chemical Engineering, 80-87.
- Knaebel K. S. (1995). For Your Next Separation Consider Adsorption, Cover Story, Chemical Engineering, 92-102.
- Kirk-Othmer, (1996). Drying, Encyclopedia of Chemical Technology, 3ra. Edicion, Wiley-Interscience, 75-127.
- Perry J. H. (1958). Manual del Ingeniero Químico, 3º edic. Mc Graw Hill.
- Pesaran A., Parent Y. Bharathan D. (1992). Non-CFC Air Conditioning for Transit Buses, NREL communication 922459.
- Slayzak S., Pesaran A. A., Hancock C. E. (1992). Experimental Evaluation of Commercial Desiccant Dehumidifier Wheels, NREL.
- Vrinat G. (1993). La Climatisation des Véhicules Systemes Potentiels, Rev. Gen. Froid, 24.