

SISTEMA SOLAR DE REFRIGERACIÓN POR ADSORCIÓN/DESORCIÓN: CARACTERÍSTICAS DEL CARBÓN ACTIVADO

Erico Frigerio

INENCO*

Universidad Nacional de Salta

Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta

Tel. : (0387) 4255423

e-mail: frigerio_unsa.edu.ar

RESUMEN

Se presentan las curvas de adsorción/desorción de metanol características de un carbón activado adquirido con el fin de desarrollar un equipo solar de refrigeración. Sobre las medidas se da la ecuación Dubinin-Radushkevich obtenida para este carbón lo que permite conocer la relación entre presión, temperatura y concentración. Se muestra el ciclo ideal que seguiría tal sistema y el coeficiente de performance (COP) bajo diferentes hipótesis.

INTRODUCCIÓN.

En la búsqueda de equipos refrigeradores pasivos, se presentaron anteriormente diseños que hacen uso de la irradiación nocturna a cielo (Frigerio et al., 1996, 1997 y 1998) Ésta es eficaz en lugares con cielos despejados y climas secos, como los que poseen La Puna y los Valles Calchaquíes. Para regiones húmedas esta solución no es la más adecuada.

Se buscó una alternativa que pudiera ser útil en tales regiones. Así se encontró que, desde hace un tiempo, se proponen y trabajan con ciclos de adsorción en carbón activado. En particular se encontró literatura de ciclos de adsorción de metanol sobre carbón activado, como los trabajos de Exell et al., 1993 y Rodríguez González et al., 1997.

Se ha resuelto, entonces, desarrollar un equipo que haga uso de este ciclo teniendo al sol como fuente de generación. Tal equipo deberá contar con un colector/generador donde se encuentre el carbón activado, un condensador, un evaporador y un recipiente con el fluido a enfriar (agua, por ejemplo).

CARACTERÍSTICAS DEL CARBÓN ACTIVADO Y MEDICIONES DE A/D.

Se adquirió carbón activado de la firma FLUKA, que tiene la ventaja de estar presentado en forma de pellets con una granulometría entre 4 y 8 mm, lo que permite confinarlo más fácilmente en un volumen con paredes porosas. Sus propiedades de adsorción se hicieron medir en el INIQUI (Instituto UNSa.- CONICET). El resultado de estas medidas se dan en la figura 1, donde se observa cierta histéresis:

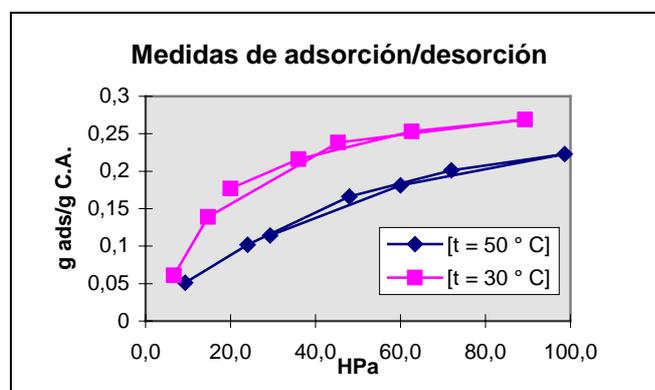


Figura 1: representación gráfica de las medidas de adsorción/desorción realizadas por el Ing. Gonzo del INIQUI.

ANÁLISIS DE DATOS.

La forma analítica de las curvas de adsorción por carbón activado (C.A.) fue dada por Dubinin y Radushkevich (ecuación D-R) y puede ser expresada por:

$$X = X_0 \exp\{-D[\ln(P_s/P)]^2\}$$

* Instituto UNSa. CONICET

donde:

X : concentración del adsorbato en el adsorbente, kg. ads./kg. C.A.;

X₀ : máxima concentración, kg. ads./kg. C.A.;

D : parámetro que depende principalmente del número y distribución de los microporos y también del adsorbato, ya que los adsorbentes tienen distintas afinidades para distintos adsorbatos, K⁻²;

T: temperatura absoluta;

Ps = k.ps ;

ps: presión de vapor saturado del adsorbato a la temperatura T, HPa;

P = k.p ;

p : presión de equilibrio a la misma T, HPa ; y

k = 1 [HPa]⁻¹.

Para la presión de vapor saturado ps se recurrió a la tabla CRC (Lide,1991). Con los datos encontrados se dibujó el logaritmo de la presión en función de la inversa de la temperatura absoluta y se realizó una regresión lineal obteniéndose así una expresión válida en el rango de temperatura de interés : -23 °C a 112,5 °C. (Figura 2).

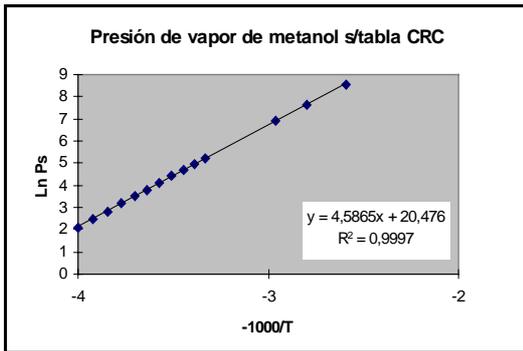


Figura 2: Presión de vapor de metano en función de la temperatura.

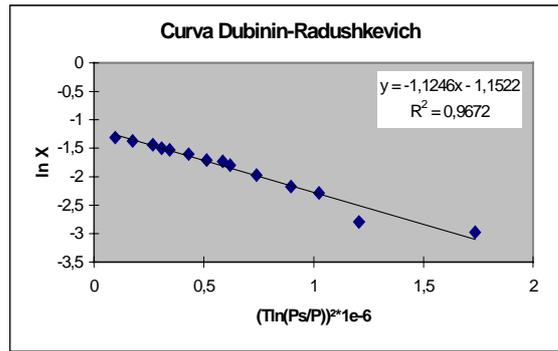


Figura 3: puntos y regresión obtenidos de las medidas mostradas en la figura 1.

Con los datos medidos y, usando esta última expresión, se obtuvo la figura 3.

De la regresión se obtiene para ln X₀ el valor de - 1,1522 ó X₀ = 0,316 kg ads/kg C.A., mientras que para D se tiene 1,12E-6 K⁻². Esto significa que el C.A. puede adsorber hasta un máximo de aprox. 32 % en peso de metanol. Comparados con los valores aportados por la literatura que se dispone, corresponden a un carbón con buenas propiedades de adsorción. También el coeficiente de correlación para la ecuación D-R se encuentra dentro de los valores reportados (0,96 a 0,98).

Con la ecuación D-R conocida, las relaciones entre p, T y x quedan determinadas (figura 4), donde x es la concentración de refrigerante adsorbido en kg ads./kg C.A. O sea que, dadas dos de ellas, la tercera puede ser calculada.

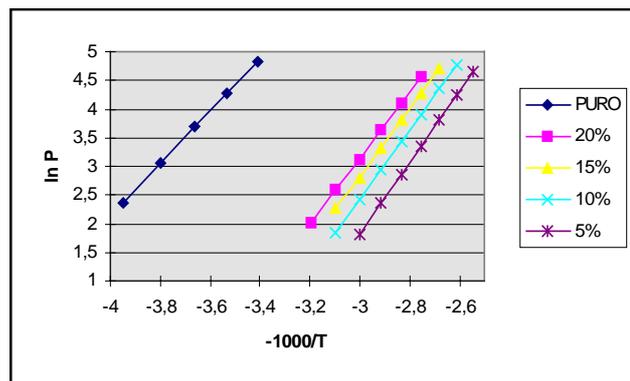


Figura 4: Isosteras calculadas a partir de la ecuación D-R. Los valores de las concentraciones en por ciento (kg ads/kg C.A.).

CICLO DE ADSORCIÓN/DESORCIÓN.

Obtenidas las condiciones del lugar donde se piensa hacer funcionar un equipo refrigerante como el buscado, haciendo uso de las relaciones p-T-x ó del gráfico 4 se puede determinar el ciclo ideal y se podrá calcular un coeficiente de performance, COP.

El ciclo ideal de refrigeración consiste en dos isosteras y dos isobaras (fig. 5). El calentamiento y enfriamiento sensible sigue las isosteras mientras que los procesos de generación y adsorción siguen las isobaras.

Según sea el fin buscado, se fija la temperatura de trabajo en el extremo evaporador del equipo. Eso fija la presión P1. T1 estaría dada por la temperatura media nocturna del lugar. Con ello se obtiene la concentración máxima. La presión P2 está determinada por la temperatura en el condensador. El resto del ciclo queda sujeto a estas condiciones iniciales y a la temperatura máxima alcanzada en el colector, usualmente alrededor de 100 °C para un colector solar en días claros.

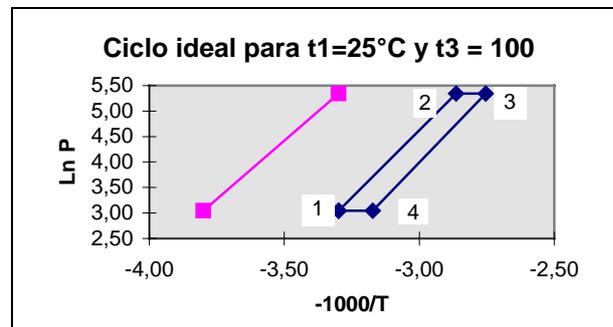


Figura 5 : ciclo ideal.

Cálculo de COP.

a) Calentamiento sensible 1-2.

El proceso comienza en el punto 1, donde el carbón adsorbe la máxima cantidad de adsorbato $X_{máx}$ a la temperatura T1. Comenzando a la mañana, el carbón con su concentración rica de adsorbato es calentado desde T1 hasta que se llega a la presión P2 (presión del condensador). Como no se produce desorción, se puede calcular T2. Luego :

$$Q_{1-2} = (Cp_a + Cp_r \cdot X_{máx})(T2 - T1)$$

donde Cp_a , Cp_r son los valores específicos del adsorbente y el refrigerante (metanol) ;
 Q_{1-2} calor sensible durante el proceso del punto 1 al 2.

b) Proceso de generación 2-3.

El proceso de desorción comienza en el punto 2 a presión constante. Este proceso continúa hasta que se llega al máximo de temperatura para el día. Conociendo la temperatura $Tmáx = T3$ y la presión se obtiene $X_{mín}$ del punto 3.

El calor suministrado durante el proceso consiste de

- calor sensible del adsorbente desde T2 hasta T3,
- calor sensible de la masa media del adsorbato desde T2 hasta T3, y
- el calor de desorción.

$$Q_{2-3} = (Cp_a + Cp_r \cdot (X_{máx} + X_{mín})/2)(T3 - T2) + (X_{máx} - X_{mín}) \cdot H_{des}$$

donde

$$H_{des} = \frac{1}{2}(R/M) \ln(P_2/P_1) \left(\frac{1}{1/T1 - 1/T2} + \frac{1}{1/T4 - 1/T3} \right)$$

es el valor medio del calor de adsorción/desorción calculado usando la ecuación de Caussius Clapeyron en los dos extremos, R es la constante universal de los gases y M es el peso molecular del adsorbato.

Enfriamiento producido.

Suponiendo que el refrigerante se enfría primero desde T1 hasta T_{ev} y que luego se evapora, y que el calor latente de evaporación L es constante, el enfriamiento logrado es

$$Q_f = (X_{máx} - X_{mín}) \cdot (L - Cp_r(T1 - T_{ev})),$$

y el coeficiente de performance es

$$COP = \frac{Q_f}{(Q_{1-2} + Q_{2-3})}$$

En la figura 6 se muestra el COP calculado para distintas condiciones. Se eligió para la temperatura de evaporador una representativa para producir hielo (-10 °C) y otra para refrescamiento (5 °C). Se dan dos condiciones de temperatura media nocturna T1 y se ha hecho variar la temperatura máxima del colector/generador entre 70 y 130 °C.

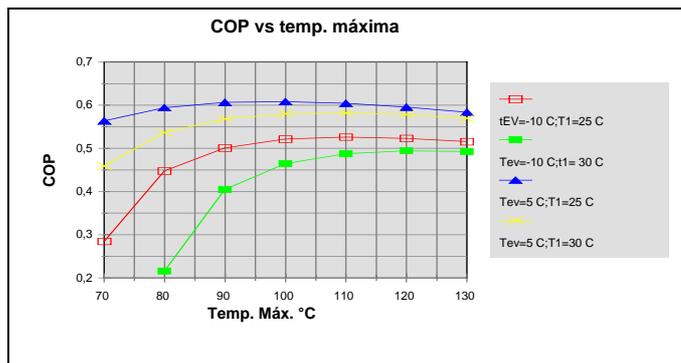


Figura 6 : COP calculado para distintas situaciones.

Como no se ha tenido en cuenta las masas de los elementos que compondrían el colector, este COP calculado sería un máximo a alcanzar por un ciclo de este tipo. Además se ha tomado el ingreso de calor directamente sobre el adsorbente y el refrigerante. Aún así, se observa que el COP máximo se desarrolla alrededor de los 110 °C.

CONCLUSIONES.

El carbón activado adquirido tiene buenas propiedades de adsorción. Se ha obtenido para él la expresión que relaciona p, T y x. Con esta última se puede obtener el ciclo que seguiría un sistema dadas las condiciones ambientales locales y el fin buscado. Se puede estimar además el coeficiente de performance que desarrollaría tal sistema.

NOTA. El presente trabajo ha sido financiado por el Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa).

AGRADECIMIENTO. Al Ing. Gonzo del INQUI que ha realizado las medidas de adsorción/desorción.

REFERENCIAS.

R.H.B. Exxel, S.C. Bhattacharya, Y.R. Uphadhyaya. (1993) *Research And Developement Of Solar Powered Dessicant Refrigeration For Cold-Storage Applications*. Informe final. Asian Institute of Technology, Tailandia, pp 14 - 72.

J.F. Rodríguez González, Ma. B. Quintana Díaz, H.E. Solís Correa, I.D. Barceló Quintal, M. Gordon Sánchez, C. M. Frías Ramírez, R. Farfán Anicúa, J. L. Medina López. (1997) *Evaluación De Un Refrigerador Solar Por Adsorción Con Carbón Activado Y Metanol*, ANES'97.

C. Dueñas, I. Pilatowsky. *Análisis Termodinámico De Un Refrigerador Solar Termoquímico (Cloruro De Bario-Amoníaco), Para La Producción De Hielo*, ANES'96.

David R. Lide. (1991) *Handbook of Chemistry and Physics*. 71a. edición. CRC Press.

E. Frigerio, L. Saravia, R. Lozano. (1996) *Enfriamiento Pasivo : Resultados.* ", Actas de la 19a. Reunión de ASADES, Mar del Plata, vol. 2, pp 7.17 - 7.20.

E. Frigerio, R. Lozano, L. Saravia. (1997) *Ensayo De Un Sistema De Enfriamiento Con Butano*. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol.1, N° 1, pp 85 -88.

E. Frigerio, R. Lozano. (1998) *Characterization of nocturnal radiation and applications*. Actas del 7° Congreso Latinoamericano de Transferencia de Calor y Masa (LATCYM 98), Salta, Vol. IV, pp. 1017 - 1021.

E. Frigerio, R. Lozano, L. Saravia. (1998) *Sistema de enfriamiento con butano. Nuevos ensayos* . Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Salta, Vol. 2, N° 1, pp 2.21-2.24.