

CONSTRUCCIÓN DE UNA HELADERA SOLAR POR ADSORCIÓN

Sergio Vera, Rodolfo Echarri¹, Andres Sartarelli, Ernesto Cyrulies, ²Inna Samson
Instituto de Desarrollo Humano, Universidad Nacional de General Sarmiento (IDH, UNGS)
J.M. Gutierrez 1150 Los Polvorines, Pcia de Buenos Aires

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

²INTEC (Instituto Tecnológico Santo Domingo. Rep. Dominicana)

RESUMEN: Se construyó una heladera solar que funciona haciendo uso del principio de adsorción de metanol sobre carbón activado. El prototipo fue construido con el fin de evaluar su comportamiento en la zona de San Miguel (Provincia de Buenos Aires) con miras al diseño y construcción de un dispositivo de mayor envergadura que posibilite su utilización en áreas sin energía eléctrica.

El dispositivo construido posee un colector de 0,6 m² y 3 Kg de carbón activado y con el mismo se logran 0,3 Kg de hielo por jornada. El condensador diseñado se funda en el principio de enfriamiento evaporativo lo que facilita la condensación con un mínimo de materiales bajando notablemente los costos de construcción.

Palabras clave: energía solar, adsorción, metanol-carbón activado.

INTRODUCCION

Es conocido por todos el problema de la utilización de combustibles fósiles para la producción de energía por un lado y la utilización de los CFC en la industria.

La implementación de nuevas técnicas de refrigeración busca paliar los efectos de las dos cuestiones mencionadas aunque, por supuesto, no pretende eliminarlos totalmente.

Por un lado, en la industria de la refrigeración clásica (ciclo de compresión), se han buscado reemplazantes del conocido freón, que actualmente ya están en uso.

Por el otro, se han desarrollado técnicas que permiten obtener frío haciendo uso de energías no convencionales. Dentro de estas últimas, se encuentra la posibilidad de un ciclo de adsorción de metanol sobre carbón activado. El mencionado ciclo permite utilizar, como fuente de energía, un colector solar del tipo plano (aunque no es nuestro caso) ya que son suficientes las temperaturas alcanzadas en él (típicamente 100°C).

Si se quisiera utilizar otro tipo de ciclo donde la temperatura de la fuente caliente tuviera que ser mayor, se deberían utilizar otros colectores solares más sofisticados (concentradores) lo que aumentaría sensiblemente los costos de producción de una heladera de este tipo.

Además, si bien el metanol es ligeramente tóxico, la presión máxima a la que puede llegar a encontrarse dentro el sistema siempre es menor que la atmosférica, y frente a cualquier fuga penetraría aire al sistema, y no saldría metanol. Esto es lo contrario a lo que ocurre en las instalaciones de refrigeración de amoníaco donde una pérdida en el sistema puede afectar severamente a las personas que se encuentren cerca.

La heladera solar propuesta consiste en un colector solar donde se aloja una masa de carbón activado que eleva su temperatura durante las horas de insolación. Al calentarse, el carbón activado desorbe una cierta cantidad de metanol que se encuentra adsorbido en él, la que pasa en estado gaseoso a un condensador en el que se convierte al estado líquido, liberando el calor latente de condensación hacia el medio ambiente.

A su vez, el metanol en estado líquido pasa por gravedad a un recipiente que lo contiene (evaporador) hasta que se completa el ciclo de desorción.

Cuando el carbón activado baja su temperatura (durante las horas sin luz solar) comienza a adsorber los vapores de metanol presentes en el sistema, disminuyendo la presión de éstos y provocando la evaporación del metanol líquido que se encuentra en el evaporador.

El calor latente de evaporación del metanol es el responsable de la extracción de calor de la cámara fría.

Los cálculos realizados, que se han basado en trabajos previos de otros autores (por ejemplo en Frigerio, 2004a; Frigerio, 2004b; Leite et al, 2004; Oertel et al, 1997; ASHRAE, 1993; Dubinin, 1975; Polanyi, 1914; Grenier et al, 1988) permiten estimar que para una producción diaria de 5 Kg de hielo, es necesario un metro cuadrado de colector solar con un contenido de unos 15 Kg de carbón activado, dependiendo de sus características. El modelo que se construyó posee 3 Kg de carbón activado, y tiene una producción de 0,3 Kg diarios de hielo. Esto es aproximadamente la tercera parte de lo esperado y se debe principalmente a las pérdidas de calor en la cámara fría.

¹ Investigador Adjunto CONICET

² Investigadora de INTEC (Instituto Tecnológico Santo Domingo. Rep. Dominicana)

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

El diseño del dispositivo se puede observar en la figura 1. Todos los materiales son de fácil adquisición y bajo costo. El colector está formado por un tubo de 0,1 m. de diámetro y 0,9 m. de largo en el que se encuentra contenido el carbón activado.

A lo largo del eje del tubo, se ha dejado un canal de aproximadamente 0,015 m. para permitir el flujo de los vapores a través del sistema.

A su vez, el tubo mencionado se encuentra en el foco de un concentrador cilindro parabólico de 0,6m x 1m. El condensador está formado por cinco tubos de $\frac{3}{4}$ " (0,019 m) de diámetro por 0,4 m. de largo sumergidos en agua, que está contenida en un recipiente capaz de contener 20 litros. Dicho recipiente está recubierto de papel humedecido aumentando así su poder de disipación.

Este diseño del condensador nos ha permitido disminuir en gran medida la cantidad de materiales (y por lo tanto su costo) para uno equivalente en aire, como también su volumen en comparación con el necesario para un condensador de agua equivalente.

Por otro lado, el evaporador esta constituido por un recipiente cilíndrico de hierro de una capacidad aproximada de un litro, al que se le ha agregado un pequeño tubo de vidrio al costado para poder medir la cantidad de metanol condensado. El evaporador está sumergido en agua contenida en un recipiente aislado térmicamente, que en adelante llamaremos cámara fría. Todas las tuberías son de cobre de $\frac{3}{4}$ " (0,019 m) y las uniones fueron soldadas con plata.

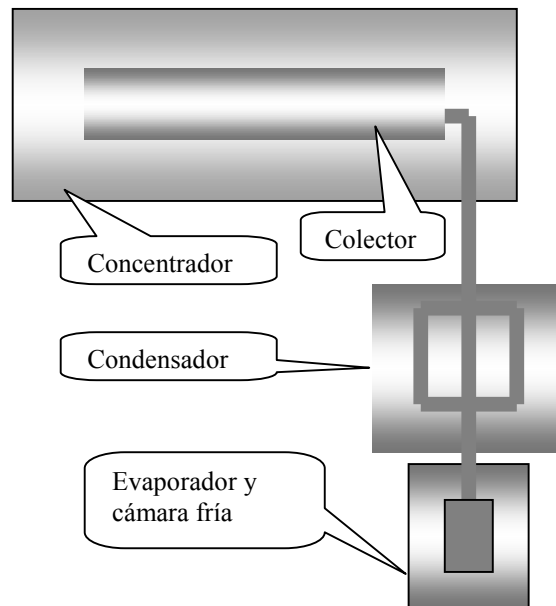


Figura 1: Esquema del dispositivo

RESULTADOS ESPERADOS

Al no disponer de las propiedades del carbón activado del que se disponía, se tomaron para una estimación, los valores típicos de un carbón de la literatura (Frigerio, 2004b) cuyo ajuste da, para la ecuación de Dubinin Raduskevich el siguiente resultado:

$$x = 0,316 e^{-1.12 \times 10^{-6} (T \ln(\frac{P}{P_s}))^2}$$

Donde x representa la masa de metanol por unidad de masa de carbón activado, T la temperatura del carbón activado en grados Kelvin, P la presión de vapor de metanol en el sistema, y P_s la presión de saturación del metanol a la temperatura del carbón activado.

Asumiendo una temperatura de colector de 100° C durante el día y una de 25° C durante la noche, con una temperatura de condensador de 30° C durante la etapa de desorción y una temperatura de evaporador de -3° C durante la adsorción se obtiene una fracción de metanol contenido en el carbón:

$$x_D = 0,094$$

Mientras que para la adsorción se obtiene:

$$x_A = 0,249$$

Esto da una diferencia de 0,155 Kg de metanol por Kg de carbón activado, que es con lo que se cuenta en el evaporador a la hora de comenzar la extracción de calor.

Dado que en el colector posee 3,4 Kg de carbón, la máxima cantidad de metanol líquido en el evaporador será de 0,526 Kg.

Despreciando las pérdidas de calor en la cámara fría y el calor necesario para enfriar el metanol remanente, la masa de hielo esperada partiendo de agua a 20° C está dada por:

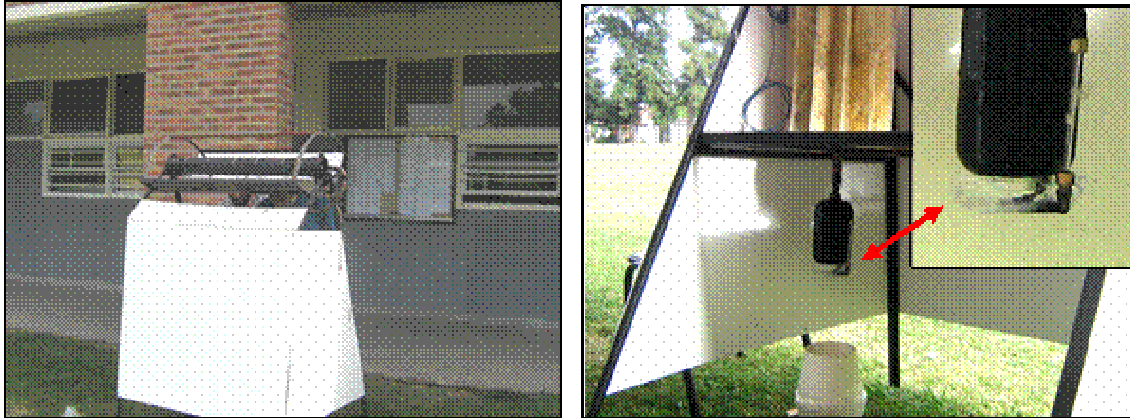
$$m_{hielo} = \frac{m_{met} L_{met}}{L_{agua} + C_{agua} \Delta T}$$

Que en este caso es

$$m_{hielo} = \frac{0,526 \times 1.160.000}{334400 + 4180 \times 20} = 1,458 \text{ Kg}$$

RESULTADOS OBTENIDOS

Se obtuvo hielo en varias oportunidades en las que las condiciones climáticas lo permitieron, como se puede apreciar en las fotografías:



La masa de hielo obtenida experimentalmente resultó de 0,350 a 0,500 Kg para los mejores días. Esto representa, la tercera parte de lo esperado y puede ser debido a varios factores que se analizan a continuación:

- i) Carbón activado no adecuado para nuestros fines: Como por el momento no se cuenta con los medios para hacer el análisis correspondiente, se asume ese desconocimiento y se pasa a analizar los demás factores posibles.
- ii) Pérdidas en el aislamiento de la cámara fría: Para estimar esas pérdidas, se analizó el gráfico que se muestra en la figura 2.

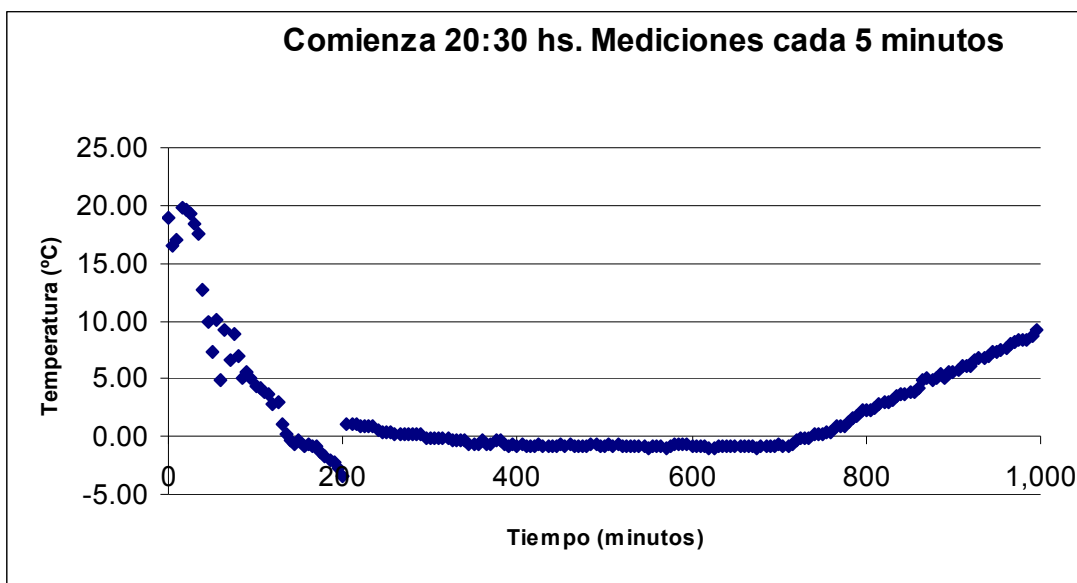


Figura 2: Medición de la temperatura del evaporador durante la desorción

En dicha figura se muestra la variación de temperatura en el evaporador y se puede observar una etapa de descenso, luego de la cual la temperatura permanece más o menos fija durante aproximadamente 10 hs lo que indica la presencia de hielo en la cámara fría. Luego de esto comienza una subida de temperatura que corresponde al momento en que ya no queda más hielo en el evaporador, y las pérdidas de calor desde el ambiente producen ese aumento.

De la última parte de la curva mostrada pueden inferirse las pérdidas de la siguiente forma:

Asumiendo una temperatura externa media de 25° C durante la rampa positiva, graficamos

$\ln(T_{\text{ambiente}} - T_{\text{evaporador}})$ en función del tiempo, y de la pendiente hallada se calcula la transferencia entre el ambiente y la cámara fría teniendo en cuenta que la masa de agua que contenía la cámara era de 0,5 Kg.

El resultado es $H = 0,0627 \text{ w/}^\circ \text{C}$ que a lo largo de las 10 horas durante las que la temperatura se mantiene constante da una pérdida de 56430 J equivalente a una masa de hielo de 168 g para ese día (esto, claro está, es habiendo tomado una temperatura media exterior de 25° C). Como se puede apreciar, éste no es un factor de gran importancia entre el valor teórico máximo y la masa de hielo obtenida experimentalmente.

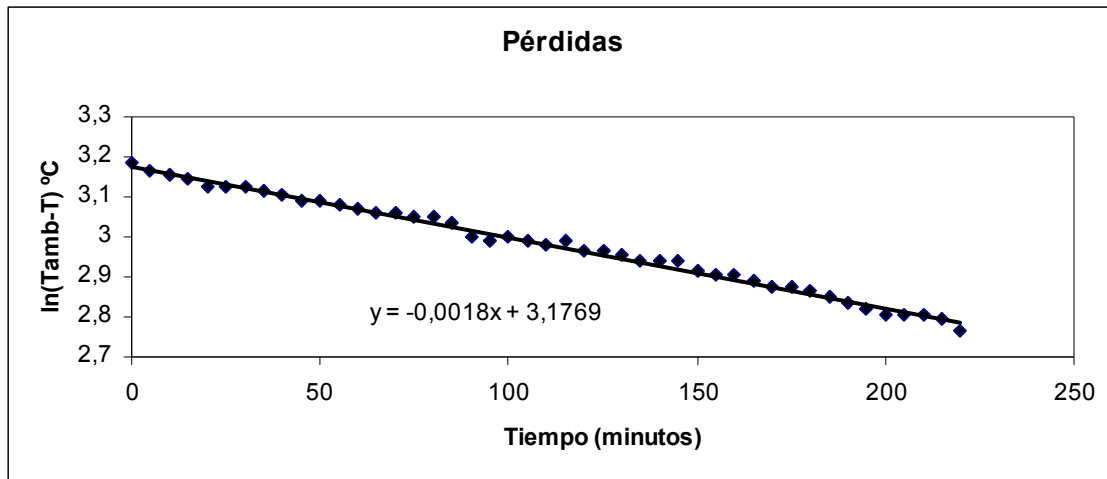


Figura3: Gráfico para calcular la transferencia de calor de la cámara fría

iii) Mal comportamiento del condensador:

Para el diseño de nuestro condensador se hicieron las siguientes suposiciones:

- a) El flujo del vapor de metanol es laminar, lo que está totalmente justificado con la estimación realizada para la velocidad del vapor dentro de los tubos que da menor que 0,06 m/s.
 - b) La transferencia de calor desde los tubos al agua es de $100 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
 - c) La transferencia de calor por condensación del metanol desde el interior del tubo es mucho mayor que desde el tubo al agua, y por lo tanto no se tomó en cuenta en el cálculo.
 - d) La resistencia al flujo de calor a través de los tubos de cobre es despreciable frente a las otras involucradas.
- Para calcular la disipación necesaria, se tomó en cuenta que el proceso de condensación (de 0,526 Kg. de metanol) lleva unas cinco horas. Esto da:

$$P = \frac{m_{met} L_{met}}{tiempo} = \frac{0,526 \times 1.160.000}{5 \times 3600} \approx 34W$$

Considerando que el condensador está formado por cinco tubos de cobre de $\frac{3}{4}$ " (0,019 m) por 0,4 m de largo, lo que da una superficie de intercambio de $0,13 \text{ m}^2$, y si se acepta una diferencia de 5°C entre el vapor de metanol y el agua, la disipación del mismo es de 65 W hacia el agua.

Tomando en cuenta el cálculo anterior, la disipación de los tubos al agua resulta apreciablemente mayor que el necesario. Por otro lado, la temperatura del agua del condensador no mostró un aumento apreciable durante la etapa de condensación, con lo que la disipación desde el agua al ambiente y/o la capacidad calorífica del recipiente parece ser adecuada.

Desde el punto de vista anterior, el condensador parece comportarse de forma adecuada, sin embargo, mirando un gráfico de la presión del vapor de metanol en función del tiempo, aparece algo sorprendente (figura 4).

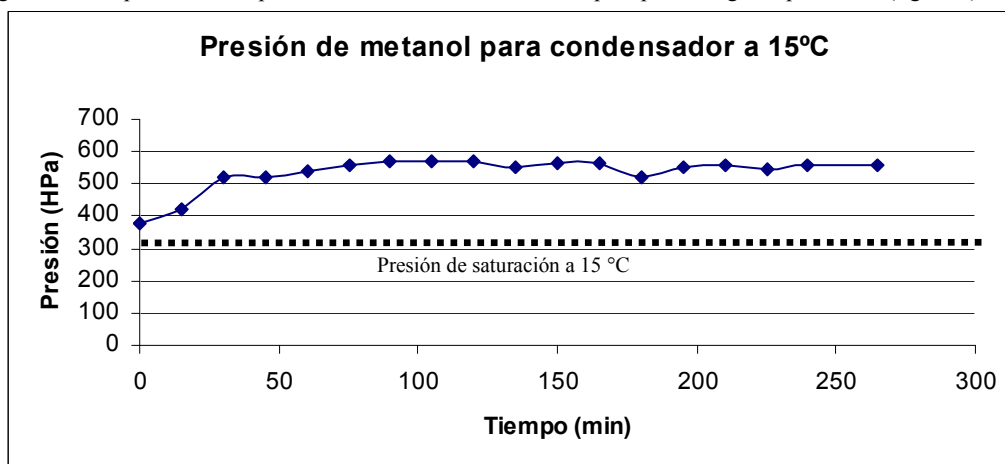


Figura 4: Valores de la presión de vapor medidos durante la etapa de desorción, para una temperatura del agua de condensador de 15°C . La presión de vapor saturado del metanol a esa temperatura es de aproximadamente 95 mm Hg.

Esto muestra que, a pesar de ser adecuada la disipación que resulta del cálculo, los vapores presentes en el sistema alcanzan una presión mucho mayor que la necesaria para la condensación a la temperatura del condensador. Dicho de otro modo, si se asume que la presión a la que está condensando el metanol es de aproximadamente 550 HPa como se aprecia en el gráfico, el vapor debería estar a una temperatura de 50° C, muy lejos de la del equilibrio esperado. Esto podría deberse a la presencia de vapores no condensables. En particular restos de aire por un vacío previo insuficiente o por la posible presencia de éter, producto del sobrecalentamiento del metanol en la cama de carbón activado. Esto último debido a que en días nublados se hizo uso de resistencias eléctricas para calentar el colector y producir la desorción.

Actualmente se está procediendo a la limpieza del sistema para verificar la validez de la hipótesis.

CONCLUSIONES:

En conclusión, se ha diseñado y construido una heladera capaz de fabricar hielo con energía solar haciendo uso del fenómeno de adsorción de metanol en una cama de carbón activado.

La masa de hielo obtenido resultó la tercera parte promedio del valor esperado, posiblemente debido a la presencia de vapores no condensables. Para solucionar esto último, actualmente se están realizando ajustes al dispositivo con miras a la mejora en la producción de hielo.

REFERENCIAS:

- ASHRAE Handbook. (1993). Fundamentals. American society of heating, refrigeration and air conditioning engineers, Atlanta.
- Dubinín, M. M. (1975). *Progr. Surface Membrane Sci.*, 9, 10.
- Frigerio E. (2004). Sistema solar de refrigeración: Dimensionamiento de los componentes. Avances en energías renovables y medio ambiente. Vol 8. 03.37
- Frigerio E. (2004). Sistema solar de refrigeración por adsorción/desorción: características del carbón activado". Avances en energías renovables y medio ambiente Vol 8. 03.33
- Grenier Ph., Guillemín J. J., Meunier F., Pons M. (1988). Solar powered solid adsorption cold store. Journal of Solar Energy Engineering, Vol 110.
- Leite A.P.F, Grilo M.B., Belo F.A., Andrade R.R.D. (2004) . Dimensioning, thermal análisis and experimental heat loss coefficients of an adsorptive solar icemaker. Renewable Energy 29 1643-1633.
- Oertel K., Sprengel U., Mande J., Ghosh P., Kishore V.V.N. (1997). Development of an solar-hybrid adsorption cooling system for decentralized storage of agricultural products in India. Paper presented at CLIMA 2000. Brusseles.
- Polanyi, M. (1914). Verh. Deutsch, Phys. Ges., 16, 1012.

BIBLIOGRAFÍA:

- Bentayeb F. (1999) Adaptation d'une unité frigorifique solaire aux climats marocains et contribution à l'étude d'entrepôts frigorifiques. Thèse d'Etat, Faculté des Sciences de Rabat.
- Bird R. B., Stewart W. E., Lightfoot E. N. (1976). Fenómenos de transporte. Ed. Reverté
- Buchter F., Dind Ph. (2000) Expérimentation d'un réfrigérateur solaire à adsorption testé au Burkina Faso. Revue Scientifique de l'EIVD.
- Buchter F., Hildbrand C., Dind Ph., Pons M., (2001). Experimental data on an advanced solar-powered adsorption refrigerator. International Conference, Paris.
- Boubakri A., Pons M., Meunier F., Guillemín J.J. (1992). Experimental study of adsorptive solar powered ice makers in Agadir (Morocco) . Performance in actual site. Renewable Energy, Vol 2, N° 1.
- Guillemín J.J., Meunier F. (1981). Etude expérimentale d'une glacière solaire utilisant le cycle zéolithe 13X-eau. Rev. Gen. Therm. Fr, N° 239.
- Hildbrand C., Dind P., Pons m., Buchter F. (artículo en prensa). A new solar powered adsorption refrigerator with high performance. Solar Energy.
- Kreith, B. (2001). Principios de Transferencia de Calor. Thompson Learning, Editorial Color.
- Lemmini F. (1990). Contribution à l'étude de la réfrigération solaire par adsorption simulation numérique du stockage de froid sur une année. Thèse d'Etat, Faculté des Sciences de Rabat.
- Pons M., Szarzynski S. (1999). An adsorption cooling system with heat-regeneration experimental and numerical study. Proc. Of thint. Sorption Heat Pump. Conf. Munich, Germany.

ABSTRACT :

A solar ice maker was built. It works using the principle of adsorption of methanol on activated carbon. The prototype was built to evaluate their behaviour in San Miguel (Buenos Aires) in order to design and construct another device of bigger dimensions to be used in rural areas

The abovementioned prototype has an solar collector 0,6 m² and 3 Kg of activated carbon. It make 0,3 Kg of ice per day. The condenser is based on the principle of evaporative cooling and which facilitate the condensation with a minimum of components, and low cost.

KEYWORDS: Solar Energy, Adsorption, Methanol – Activated Carbon