

Diseño y Construcción de un Refrigerador Solar por Adsorción que Usa el par Oxido de Silicio-Agua

Design and Construction of an Adsorption Solar Refrigerator Using the Silicon Oxide-Water Pair

AGUILAR-CELIO, Valentín†, TOLEDO-MANUEL, Ivan, ARANA-CHAVEZ, David y SABÁS-SEGURA, José*

Instituto Tecnológico Superior de Abasolo-Ingeniería en Energías Renovables

ID 1^{er} Autor: Valentín, Aguilar-Celio / ORC ID: 0000-0003-4579-0192, CVU CONACYT ID: 891182

ID 1^{er} Coautor: Ivan, Toledo-Manuel

ID 2^{do} Coautor: David, Arana-Chavez / CVU CONACYT ID: 477272

ID 3^{er} Coautor: José, Sabás-Segura / CVU CONACYT ID:168628

Recibido 08 Enero, 2018; Aceptado 12 Marzo, 2018

Resumen

Un problema crítico para la refrigeración y las bombas de calor es la utilización de energía. Los refrigeradores de compresión tradicionales y las bombas de calor comúnmente funcionan con electricidad. Una solución es la refrigeración solar, tan solo en el estado de Guanajuato el recurso solar es de 3.6 a 5.4 kilowatts por metro cuadrado. Por otro podemos encontrar dentro de la literatura diferentes tipos de tecnología de refrigeración solar, un buen ejemplo son los sistemas de sorción y así como los sistemas de absorción y de adsorción. En este trabajo se presenta la operación de un sistema de refrigeración por adsorción alimentado con energía solar el cual fue diseñado para lograr enfriamiento, operando con el principio de adsorción-desorción, el sistema no tiene partes móviles. El concepto de operación se basa en el hecho de que cuando se enfría (por la noche) el óxido de sílice actúa como una esponja que absorbe o adsorbe el vapor de agua y cuando se calienta durante el día de sol el vapor de agua se desorbe o libera.

Oxido de Silicio, Par adsorbente-adsorbato Refrigeración Solar

Abstract

A critical problem for refrigeration and heat pumps is the use of energy. Traditional compression chillers and calorie pumps run on electricity. A solution for solar cooling, only in the state of Guanajuato the solar resource is 3.6 to 5.4 kilowatts per square meter. On the other hand, we can find in the literature the different types of solar cooling technology, a good example are the absorption systems and as well as the absorption and adsorption systems. This paper presents the operation of a cooling system by adsorption powered by solar energy, which was designed to achieve cooling, operating with the principle of adsorption and desorption, the system has no moving parts. The concept of operation is based on the fact that when it is cooled (at night) the silica oxide acts as a sponge that absorbs or adsorbs the water vapor and when it is heated during the sunny day the water vapor becomes desorbed or free.

Silica oxide, Adsorbent-adsorbate pair, Solar cooling

Citación: AGUILAR-CELIO, Valentín, TOLEDO-MANUEL, Ivan, ARANA-CHAVEZ, David y SABÁS-SEGURA, José. Diseño y Construcción de un Refrigerador Solar por Adsorción que Usa el par Oxido de Silicio-Agua. Revista de Ingeniería Mecánica. 2018. 2-5: 9-15.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jose.sabas@tecabasolo.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los refrigeradores de compresión tradicionales y las bombas de calor comúnmente funcionan con electricidad. Las demandas de electricidad aumentan a medida que las sociedades se desarrollan. Según los datos proporcionados por el departamento de energía de EE. UU. Entre 2003 y 2004, la electricidad consumida por los aires acondicionados durante el verano es del 15,4% del consumo total de electricidad. Así mismo el consumo promedio por refrigerador fue 840 kWh anual [1], lo que se traduce en 419.92 toneladas de dióxido de carbono emitido. Una solución es la refrigeración solar, tan solo en el estado de Guanajuato el recurso solar es de 3.6 a 5.4 kilowatts por metro cuadrado (dependiendo la estación del año) [2].

En este sentido podemos encontrar dentro de la literatura diferentes tipos de tecnología de refrigeración solar, un buen ejemplo son los sistemas de sorción y bomba de calor impulsados por calor de baja calidad y que utiliza refrigerantes ecológicos [3], otros ejemplos son los sistemas de absorción y de adsorción. En la refrigeración solar los enfriadores de absorción usan una fuente de calor en lugar de un compresor para cambiar el refrigerante del vapor al líquido. Existen dos combinaciones más comunes, las cuales son agua mezclada con bromuro de litio o amoníaco, en cada caso, debido al gas refrigerante, su fabricación resulta costosa [1].

Por otro lado, los sistemas de adsorción tienen una amplia variedad de adsorbentes, que incluyen diferentes adsorbentes físicos y químicos tales como son metanol-carbón activado, zeolita-agua y alúmina-carbón activado. En este documento presenta los resultados a nivel experimental de un refrigerador de adsorción alimentado con energía solar, el cual fue diseñado para disminuir la temperatura operando con el principio de adsorción-desorción, cabe señalar que el sistema no tiene partes móviles, utiliza agua como fluido de trabajo y se usa como adsorbente óxido de silicio.

El sistema propuesto se presenta como una alternativa a la refrigeración tradicional, ya que es amigable con el ambiente, debido a la alta disponibilidad de radiación solar en México, así como por los materiales con los que fue construido.

El principal propósito de esta investigación es reducir la temperatura para, una vez superada la etapa de pruebas, ser utilizado para la conservación de medicamentos y alimentos.

En la primera sección de este documento se describe el principio de operación del ciclo desorción-desorción propuesto, en la sección dos a cinco se describe como fueron diseñados los elementos principales del refrigerador solar, colector solar, condensador y evaporador respectivamente, en la sección 6 se explica como fue el montaje del mismo sistema y finalmente en la sección 7 se muestran las mediciones de temperatura en la cámara de refrigeración durante la operación del ciclo.

Concepto Básico de Operación

El sistema propuesto está compuesto por los siguientes elementos: un colector tipo plano, un condensador de tipo estático enfriado por aire, un evaporador de inundación, un depósito de agua, así como válvulas de control; el diseño general del sistema se muestra en la Figura 1.

El concepto de operación se basa en el hecho de que cuando se enfría (por la noche) el óxido de silicio actúa como una esponja que adsorbe el vapor de agua y cuando se calienta durante el día de sol el vapor de agua se desorbe o libera [4].

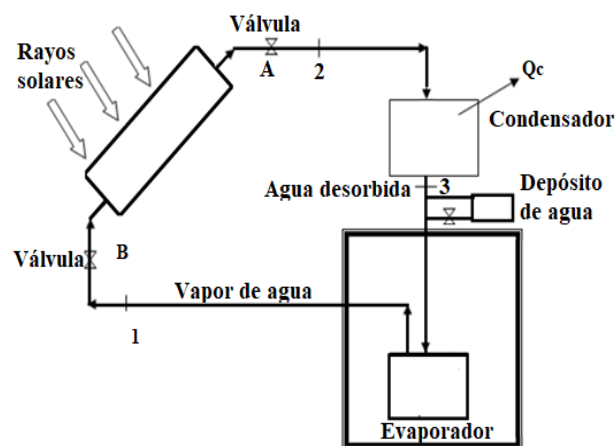


Figura 1 Diagrama de diseño del refrigerador de adsorción

Fuente: Elaboración Propia

Se decidió utilizar el óxido de sílice debido al COP (coeficiente de rendimiento) con el que cuenta, en comparación con otros elementos, esto es mostrado en la tabla 1.

Tipo de Colector	Área	COP
Colector Plano	0.4m ²	0.40
Colector Plano	6m ²	0.1 0.12
Colector Plano	20m ²	0.10
Colector Plano	2m ²	0.36
Tubo de Vacío	170m ²	0.2 – 0.3
Tubo Evacuado	150m ²	0.35

Tabla 1. COP del refrigerador solar.

Fuente: (S. C. Kaushik A. Mahesh, 2013)

A la temperatura de desorción, el vapor de agua comienza a desorberse del óxido de sílice. Por lo tanto, el receptor actúa como una caldera y el vapor de agua sale por el conducto hacia el condensador [4]. Este vapor de agua se condensa en gotas de agua a medida que el intercambiador de calor (condensador) emite calor como se muestra en el diagrama de flujo (Figura 1). El agua resultante desciende debido a la gravedad en un tanque de almacenamiento [4].

Durante la noche, el óxido de sílice se enfría cerca de la temperatura ambiente y comienza a adsorber el vapor de agua. El agua líquida en el evaporador absorbe el calor del espacio que se va a enfriar y se convierte en vapor de agua. Como el sistema está sellado a muy baja presión, el agua restante en el tanque de almacenamiento se enfría. El agua fría se calentará lentamente durante el día siguiente, proporcionando así una temperatura baja razonable.

Diseño del Colector Solar

Para el diseño del colector solar se consideró que solo parte de la radiación solar global se convertirá en calor. La radiación solar global E se define por las propiedades de los materiales de superficie transparentes y los de la superficie de absorción, esto se muestra en la ecuación 1 [6].

$$Q_a = (\alpha\tau) \cdot E = A_0 \cdot E \quad (1)$$

Las pérdidas ópticas del colector solar representan la diferencia entre la intensidad de la radiación solar y la intensidad de la radiación solar absorbida por la absorción en la superficie, esto se describe en la ecuación 2 [6].

$$q_{opt} = E - Q_a \quad (2)$$

Las pérdidas térmicas están directamente relacionadas con la diferencia de temperaturas T_m entre la superficie de absorción y el entorno T_a , esto se muestra en la ecuación 3.

$$q_t = k \cdot (T_m - T_a) \quad (3)$$

El calor utilizable derivado del colector Q_u es el calor transferido por el factor térmico mencionado, representa el calor derivado de la superficie de absorción y las pérdidas térmicas del colector (relación llamada Hottel-Whillier-Bliss) mostrada en la ecuación 4 [6].

$$Q_u = \alpha \cdot \tau \cdot E - k \cdot (T_m - T_a) \quad (4)$$

La eficiencia térmica se define como la relación entre la energía utilizable resultante y la intensidad de radiación, esto se muestra en la ecuación 5 [6].

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{Q_u}{E} = \frac{\alpha \cdot \tau \cdot E - k \cdot (T_m - T_a)}{E} \quad (5) \\ &= \alpha \cdot \tau - \frac{k \cdot (T_m - T_a)}{E} \end{aligned}$$

De esta manera el calor absorbido por el factor térmico es descrito en la ecuación 6 [6].

$$Q_t = \dot{m} \cdot c \cdot (T_e - T_i) \quad (6)$$

Debido a que el calor absorbido por el factor térmico es igual a 1 calor utilizable derivado del colector solar, por lo tanto, se tiene la ecuación 7 [6].

$$\dot{m} \cdot c \cdot (T_e - T_i) = \tau \cdot \alpha \cdot E - k(T_m - T_a) \quad (7)$$

Las diferencias de temperatura entre la temperatura de entrada y la temperatura de salida del colector implican un alto factor de velocidad de flujo que corre a través del colector. Si el factor de velocidad de flujo es bajo, se producen diferencias de temperatura altas entre la entrada y la salida del colector un diagrama de esto se observa en la figura 2.

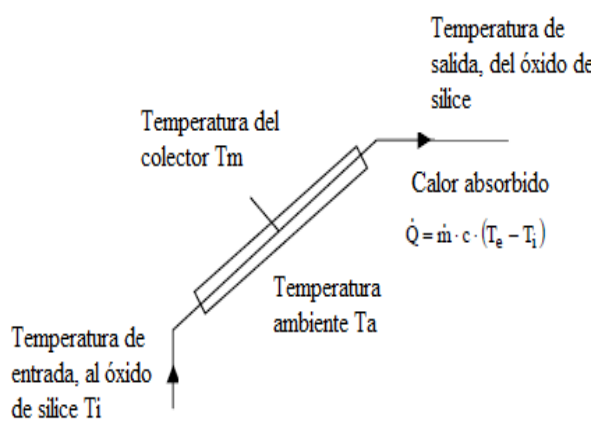


Figura 2 Balance de entrada y salidas del colector
Fuente: *Elaboración Propia*

Si el calor derivado de la superficie de absorción no es absorbido por el factor térmico (la bomba de circulación se detiene o se descompone), la temperatura de la superficie de absorción se eleva al valor T_{max} , esta temperatura impone condiciones sobre los materiales utilizados para construir el colector solar [6].

El diseño final del colector se muestra en la figura 3. Es importante indicar que el óxido de sílice se colocó dentro de este elemento; al ser solo medio kilogramo solo ocupó una pequeña área.



Figura 3 Diseño final del colector solar
Fuente: *Elaboración Propia*

Diseño del Condensador

Para el diseño del condensador se propuso el número de vueltas y una la longitud de tubo, con ellos calcular los parámetros de diseño. La primera condición física es mostrada en la ecuación 8, donde se calcula la conductividad en el condensador [7].

$$h = 0.725 \left[\frac{p^2 \cdot g \cdot h_{fg} \cdot k_f^3}{\mu_f \cdot n \cdot d (T_o - T_p)} \right]^{1/4} \quad (8)$$

La siguiente condición está dada por la ecuación 9, donde se calcula la relación entre el área y el número de vueltas [7].

$$\frac{A}{L} = n \cdot \pi \cdot d \quad (9)$$

Para determinar el calor que perderá por longitud se utilizó la ecuación 10. [7].

$$\frac{q}{L} = h \frac{A}{L} (T_o - T_p) \quad (10)$$

Y para obtener al último tendremos el flujo másico sobre la longitud respecto al condensador de la ecuación 11 [7].

$$\frac{\dot{m}}{L} = \frac{q}{L h_{fg}} \quad (11)$$

El diseño final del condensador se muestra en la figura 4.

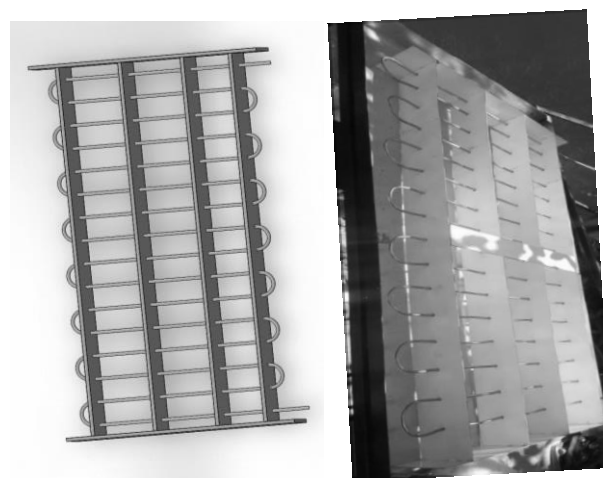


Figura 4 Diseño final del condensador
Fuente: *Elaboración Propia*

Diseño del Evaporador

En el diseño del evaporador se utilizaron las ecuaciones 8-11, mismas que en el condensador, de esta manera para el diseño se consideró el tamaño que debería tener la cámara de refrigeración. Se propuso que el serpentín del evaporador constará de un tubo doble reduciendo los espacios de aire y aumentando el área de contacto.

El número de vueltas se consideró mayor que el del condensador porque se utiliza para el intercambio de calor donde se produce la transferencia de energía térmica desde el fluido que circula desde el interior del dispositivo. El diseño final se muestra en la figura 5.

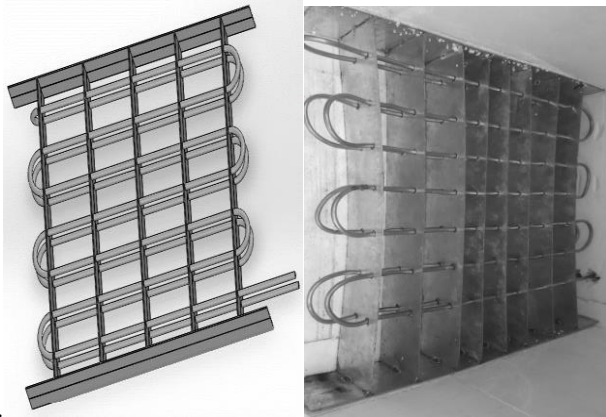


Figura 5 Diseño final del condensador
Fuente: *Elaboración Propia*

Cámara de Enfriamiento

En el diseño del refrigerador se utilizó un software CAD, considerándose una cámara interna de enfriamiento, así como una cama aislante como se muestra en la figura 2. Este modelo nos ayuda a poder armar el cajón para la cámara de enfriamiento ya que se realiza por medio de forma de un cubo y se le recorta la tapa para que quede como se muestra en la figura 6.

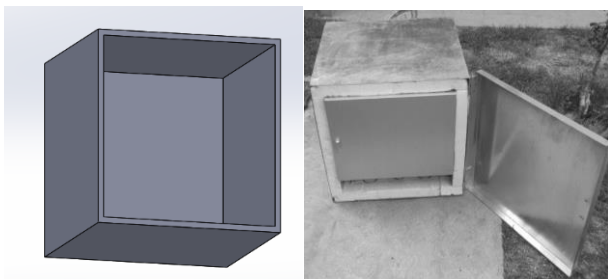


Figura 6 Diseño de la cámara de enfriamiento
Fuente: *Elaboración Propia*

La cámara de enfriamiento es recubierta de una capa de poliestireno localizada entre ambas cámaras. En la parte inferior de la cámara de enfriamiento es colocado el evaporador, dentro del recubierto de la capa de poliestireno a fin de evitar pérdidas y colocado directamente en la cara interna para tener contacto con el interior, esto se muestra en la figura 7.



Figura 7 Detalle de la colocación del evaporador dentro de la cámara de enfriamiento
Fuente: *Elaboración Propia*

Ensamble del dispositivo

Construidos todos los elementos se ensamblaron sobre una base de escuadra de acero, mediante tubería de 1/4 de pulgada se conectaron de acuerdo con el diagrama de la figura 1. El diseño terminado se muestra en la figura 8.



Figura 8 Diseño final del refrigerador
Fuente: *Elaboración Propia*

Además, se colocaron tres las válvulas. La primera entre el colector y el condensador, la cual su función es evitar que el calor no liberado por el condensador regrese rápidamente (figura 7). La segunda válvula es colocada entre el evaporador y el colector, esta evita que el calor liberado por el óxido de silicio durante el día regrese a la cámara de refrigeración (figura 8). La tercera válvula es colocada entre el evaporador y el depósito de agua, con la finalidad de regular la cantidad de líquido que se encuentra en el sistema (figura 9).

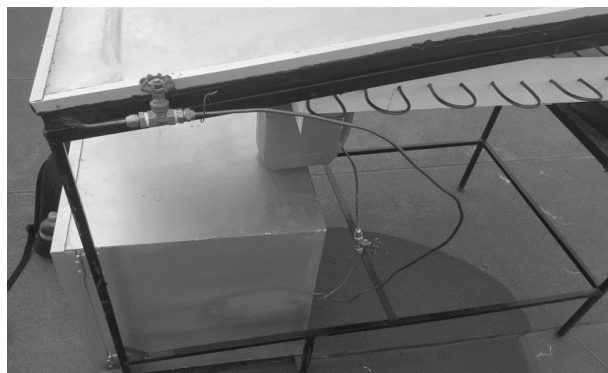


Figura 9 Perspectiva lateral del refrigerador
Fuente: Elaboración Propia

Resultados

Se realizaron mediciones durante algunos días para comprobar el funcionamiento del refrigerador. Como parte de este estudio, las lecturas de temperatura fueron tomadas a intervalos de dos horas para evitar el posible ingreso de calor a la cámara de refrigeración.

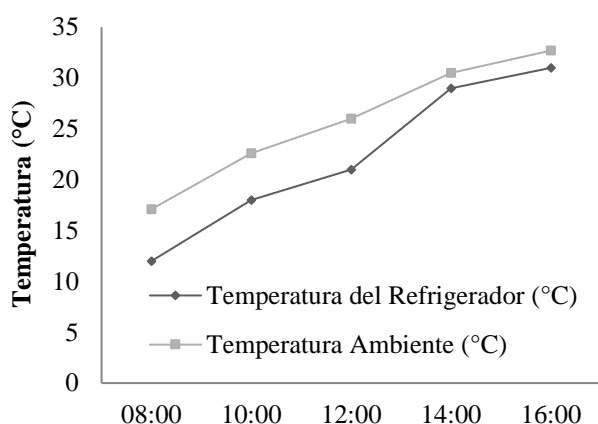


Figura 10 Temperaturas por hora del lunes 23 de abril dentro de la cámara de refrigeración.
Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con la figura 10, se observa que las temperaturas dentro de la cámara de refrigeración se mantuvieron inferiores a la temperatura ambiente. La temperatura más baja registrada fue de 11 grados centígrados a las 8 de la mañana, conforme va avanzando el día la cámara de refrigeración va ganando calor, manteniéndose a solo un grado de diferencia para las 16 horas.

Como resultado final del prototipo, se analizaron las mediciones obtenidas, para compararlas entre la temperatura promedio del refrigerador contra la temperatura ambiental dentro de los datos mostrados en la tabla 2.

Condiciones ambientales del experimento:

- 7 días soleados
- 2 días nublados
- 1 día operó con fuga de agua (primero)

Día	Temperatura Refrigerador °C	Temperatura Ambiental °C
Martes 17-04	23.66	24.03
Miércoles 18-04	23.4	24.86
Jueves 19-04	23	25.48
Viernes 20-04	22	24.14
Lunes 23-04	22.2	25.78
Martes 24-04	25.16	26.35
Miércoles 25-04	24.2	25.95
Jueves 26-04	23.4	25.96
Viernes 27-04	22.8	25.02
Lunes 30-04	22.2	25.22

Tabla 2 Resultados promedio
Fuente: Elaboración Propia

El análisis comparativo de los 10 días se muestra en la figura 11, donde se puede observar que en promedio la temperatura del refrigerador fue inferior a la temperatura ambiente. En color gris se muestra la temperatura ambiente contra la temperatura de la cámara de refrigeración en color negro, observándose que esta última es menor.

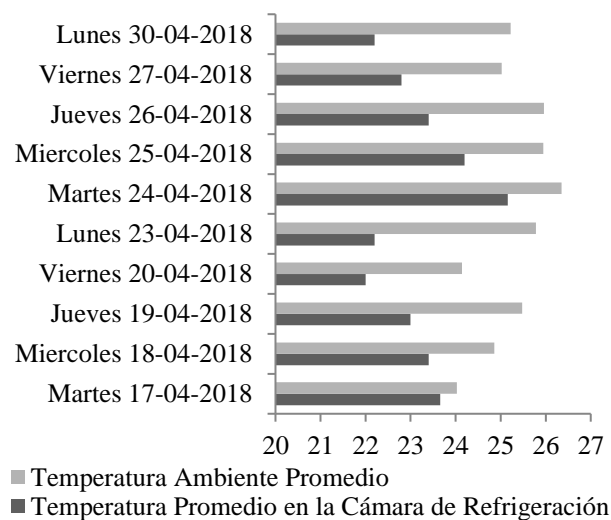


Figura 11 Temperaturas promedio ambiente y en la cámara de refrigeración
Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la figura 10 fue posible mantener una temperatura inferior manteniéndola baja por más de medio día. Cabe señalar que el primer día de operación el no se observaron cambios significativos, pero en el tercer día (después de que paso 48 horas al exterior, correspondiente al jueves 19) el dispositivo a las 8 horas se encontraba con temperaturas bajas, en comparación con la temperatura ambiente y las mantenía por debajo de esta la mayor la parte del día.

El día 27, es importante señalar, se observó un incremento en la temperatura promedio del refrigerador. Este fenómeno se explica ya que ese día no se presentaron condiciones óptimas de clima (nublado), con lo que el óxido de silicio, al no ser calentado, no permitió liberar adecuadamente el calor.

Se puede notar en la figura 10 que en aproximadamente tres días se estabiliza el ciclo de adsorción-desorción (observado en los días 20-23, así como en el 27-30)

Agradecimiento

Agradecemos a la Secretaría de Innovación, Ciencia y Educación Superior del estado de Guanajuato (SICES) por el financiamiento brindado para la realización de este proyecto a través de la convocatoria Investigadores Jóvenes 2017, así como al Instituto Tecnológico Superior de Abasolo por las facilidades otorgadas para la culminación de este.

Conclusiones

En el refrigerador solar par adsorbente-adsorbato se logro comprobar la funcionalidad tanto en el diseño como en el modelo. Como resultado de la construcción del dispositivo de refrigeración solar se observó que este tipo de sistema por adsorción utilizando el par oxido de sílice-agua puede ser útil para la producción de frio, aunque en esta ocasión solo se redujo la temeperatura.

Como se puede apreciar en las tablas de resultados se mantuvo un temeperatura inferior al ambiente en termino generales utilizando como adsorbente medio kilogramo de oxido de sílice. Como resultado del desarrollo del proyecto, y tal como se aprecia en las tablas de resultados, se alcanzó a disminuir la temperatura y mantenerla baja por más de medio día con tan solo medio kilogramo de oxido de sílice.

Cabe señalar que el primer día de terminado el dispositivo no se observaron cambios significativos, pero al tercer día (después de que paso 48 horas al exterior) el dispositivo a la 8 de la mañana se encontraba con temperatura baja y la mantenía temperaturas bajas en comparación con la temperatura ambiente por mayor parte del día.

Lo siguiente por realizar dentro de esta investigación es reducir aún mas la temperatura en el dispositivo utilizando mayor cantidad de óxido de sílice, así como incrementar el área de contacto entre el evaporador y la cámara de refrigeración. Finalmente, lo que restaría es analizar si el óxido de sílice pierde sus propiedades de adsorción después de un determinado número de ciclos, pero esto corresponde a un estudio complementario.

Referencias

- [1] CONERMEX, tabla de consumos de CFE, <http://www.conermex.com.mx/webinar/tabla-consumos-CFE.pdf>. Consultado noviembre 2017.
- [2] Gobierno del Estado de Guanajuato. Estudio de la Irradiación Solar en el Estado de Guanajuato 2006. Junio 28 de 2013.
- [3] RuzhuWang, LiweiWang and Jingyi Wu. Adsorption Refrigeration Technology, Wiley, 2014.
- [4] N. O. Omisanya¹, C. O. Folayan², S. Y. Aku² and S. S. Adefila. Performance of a zeolite–water adsorption refrigerator. Pelagia Research Library Advances in Applied Science Research, 2012, 3 (6):3737-3745
- [5] S. C. Kaushik A. Mahesh. SOLAR ADSORPTION COOLING SYSTEM: SOME MATERIALS AND COLLECTORS ASPECTS. Centre for Energy Studies Indian Institute of Technology Delhi Hauz Khas. New Delhi, India. 2013.
- [6] F. Struckmann. Analysis of a Flat-plate Solar Collector. Dept. of Energy Sciences, Faculty of Engineering, Lund University. Lund, Sweden. 2008.
- [7] J. P. Holman. Transferencia de Calor Southern Methodist University. Madrid, España. 1998.