

ESTUDIO TEÓRICO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN SOLAR POR ABSORCIÓN USANDO COMO PAREJA MONOMETILAMINA – AGUA PARA LA CONSERVA DE ALIMENTOS

C.A. Isaza^{a,*}, I. Pilatowsky^b, R.J. Romero^c, F.B Cortés^d

^a Instituto de Energía, Materiales y Medio Ambiente, Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1 No. 70-01, Medellín, Colombia

^b Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, cerrada Xochicalco s/n, Colonia Centro, CP 62580, Temixco, Morelos, México

^c Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, C.P. 62209, Cuernavaca, Morelos, México

^d Grupo de Política y Gestión Tecnológica, , Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1 No. 70-01, Medellín, Colombia

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia: Tel.: +57-4-4125246, Fax: +57-4-4111207,
cesar.isaza@upb.edu.co

RESUMEN

Este trabajo presenta la viabilidad y aplicabilidad de los sistemas de refrigeración solar por absorción usando como pareja la monometilamina - agua (MMA-W) para fines de conservación de alimentos en las regiones rurales de Colombia, donde no hay electricidad disponible. Se propone un sistema de calefacción solar mediante colectores solares de placa plana con un sistema convencional de calentamiento auxiliar para suplir las necesidades energéticas del refrigerador por absorción. Se determinó el coeficiente de desempeño (COP) del sistema de refrigeración solar por absorción de una sola etapa en función de la temperatura en los diferentes componentes del ciclo. Los resultados indican que el sistema podría mejorarse mediante un mejor diseño en el intercambiador de calor de solución, el evaporador y el rectificador. Los resultados teóricos demuestran que el uso de la solución de MMA-W puede ser usada en sistemas de refrigeración como pareja absorbente operado por la energía térmica de baja calidad, como la energía solar.

Palabras claves: refrigeración solar por absorción, monometilamina - agua, conservación de alimentos

ABSTRACT

This work reports the applicability of monomethylamine–water solutions in a solar absorption refrigerator for food conservation purposes in the rural regions of Colombia, where no electricity is available. A solar heating system using flat plate solar collectors with a conventional auxiliary heating system is proposed. We have determined the COP of the solar single-stage absorption refrigerator as a function of the temperature in the different components of the cycle. The results indicate the system might be improved by better design on the solution heat exchanger, the evaporator and the rectifier. The theoretical results prove that the use of MMA-W solution can be driven by low-grade thermal energy, such as solar energy.

Keywords: Solar Refrigeration by absorption, monomethylamine-water, Food storage

INTRODUCCIÓN

Las pérdidas poscosecha de frutas y verduras son difíciles de predecir, sin embargo se estima que entre el 51 y 20% se pierde durante las diversas etapas que componen la cosecha del sistema de consumo, y la diferencia va a los consumidores en la producción de un producto en particular [1].

Varios métodos de enfriamiento han sido aplicados después de la cosecha para prolongar la vida útil, mantener la calidad y reducir las pérdidas de los alimentos. Algunos de los tratamientos a baja temperatura no son adecuados para las zonas rurales. En estas zonas, los ciclos de refrigeración basados en el principio de absorción contribuirían a la mejora de la calidad de vida.

Los sistemas de refrigeración por absorción se pueden utilizar para preenfriado de frutas, es decir, cuando su temperatura se reduce de 3 a 6 ° C y es lo suficientemente frío para un transporte seguro. El enfriamiento de las frutas con el aire frío es la práctica más común. Se puede hacer colocando los cultivos en las salas de almacenamiento en frío. El tipo de habitación utilizada puede variar, pero generalmente consta de una unidad de refrigeración en el que el aire frío se pasa a través de un ventilador (Fan Coil). La circulación puede ser tal que el aire sopla en la parte superior de la habitación y cae a través de la cosecha por convección. La principal ventaja es el costo porque no se requiere ninguna instalación específica. Por lo tanto, el valor añadido se realiza en pre-enfriamiento del producto inmediatamente después de la cosecha, lo que restringirá el deterioro y mantener el producto en una condición aceptable para el consumidor.

Cuando se combina el secado al sol y el proceso de fermentación, con el enfriamiento de la fruta, esta puede ser almacenado a temperaturas de refrigeración bajo, y extender la vida útil de varios meses (6-12 meses y más allá).

El ciclo de refrigeración por absorción puede ser operado por energía térmica, tal como la energía solar. Este tipo de aplicaciones conllevan a ahorros energéticos y por ende a la protección del medio ambiente. Sin embargo, las aplicaciones tradicionales de ciclo de refrigeración por absorción son muy restringidas porque no pueden alcanzar temperaturas de regeneración bajas, fácilmente alcanzables con la radiación solar térmica. La elección del fluido de trabajo adecuado en los sistemas de refrigeración por absorción es muy difícil. En las aplicaciones industriales y comerciales sólo los sistemas de amoniaco-agua y el bromuro de litio-agua se utilizan ampliamente. Sin embargo, estos fluidos de trabajo tienen cierta desventaja, como los requisitos de alta y baja presión, toxicidad, corrosión y problemas de cristalización.

En este trabajo se propone la aplicabilidad de la monometilamina - agua (MMA-W) como prometedor par refrigerante absorbente en los ciclos de refrigeración. Las propiedades químicas termodinámicas y físicas de esta mezcla son convenientes. Es decir, presiones de vapores moderados a temperaturas relativamente bajas en el generador, un menor calor de regeneración que en los otros sistemas convencionales de absorción, una mejor capacidad de absorción es mayor, y por ende un mejor coeficiente de operación [2].

REFRIGERADOR SOLAR POR ABSORCIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

La Figura 1 muestra el diagrama esquemático del sistema de refrigeración solar por absorción utilizando solución de MMA-W. Aquí, la energía solar es obtenida a través del colector y se acumula en el tanque de almacenamiento. El agua caliente se suministra al generador para desorber el MMA de la solución de MMA-W. El vapor de MMA (1) luego es rectificado, a fin de aumentar la concentración de vapor (2). Este dispositivo condensa una fracción del absorbente (3) de la mezcla de vapor, que devuelve al generador. El MMA se enfría (4) en el condensador y luego pasa al evaporador, donde se evapora de nuevo a baja presión (5), proporcionando así el enfriamiento del espacio necesario. Mientras tanto, la solución fuerte (9) que abandona el generador entra al intercambiador de calor para precalentar la solución débil. Luego pasa al generador (8). En el absorbedor, la solución fuerte (10) MMA absorbe el vapor que sale del evaporador (6).

El agua fría de la torre de refrigeración elimina el calor de la mezcla y la condensación. De hecho la temperatura del absorbente tiene una mayor influencia en la eficiencia del sistema que la temperatura de condensación. Una fuente auxiliar de energía es instalada para soportar el buen funcionamiento del sistema de refrigeración por absorción, cuando la energía solar no sea suficiente para alcanzar la temperatura requerida para la regeneración. El modelamiento matemático del sistema de refrigeración solar por absorción requiere la modelación del sistema de absorción, así como la del sistema de colectores solares por separado.

MODELO DE ABSORCIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El modelo se basa en los balances de materia y energía para cada elemento del ciclo, basados en la suposición de régimen permanente. Las ecuaciones necesarias para las propiedades termodinámicas de las soluciones MMA-W son tomadas de Isaza [3]. Por su parte el modelo para la absorción del sistema de refrigeración se basa en el propuesto por Herold et al [4].

Considerando un volumen de control alrededor de cada componente, la tasa de absorción de calor en el generador es la energía de entrada en el ciclo de refrigeración, el cual está dado por:

$$\dot{Q}_g = (\dot{m}_9 h_9 + \dot{m}_3 h_3) - \dot{m}_8 h_8 \quad (1)$$

El flujo de calor del rectificador está definido por:

$$-\dot{Q}_r = (\dot{m}_{3,f} h_{3,f} + \dot{m}_1 h_1) - \dot{m}_3 h_3 \quad (2)$$

El calor disipado en el condensador está dada por:

$$-\dot{Q}_c = \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_2 h_2 \quad (3)$$

El calor en el evaporador está representado por:

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_6 h_6 - \dot{m}_5 h_5 \quad (4)$$

El flujo de calor disipado por el absorbente está dada por:

$$-\dot{Q}_a = (\dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_{10} h_{10}) - \dot{m}_7 h_7 \quad (5)$$

La efectividad del intercambiador de calor está dada por:

$$\varepsilon_L = \frac{T_8 - T_7}{T_8 - T_7} = \frac{T_8 - T_{10}}{T_7 - T_7} \quad (6)$$

Despreciando el trabajo de bombeo, el *COP* (Coeficiente de Rendimiento) del ciclo se calcula a partir de la siguiente relación

$$COP_E = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_g} \quad (7)$$

La energía solar útil colectada y transferida al tanque de almacenamiento de agua caliente, desde el cual se bombea el fluido térmico al generador para la regeneración. Las ecuaciones necesarias para el modelo de la energía solar se han tomado de Duffie y Beckman [5].

$$\eta = \frac{Q_u}{I_C A_C} \quad (8)$$

donde, Q_u es la energía útil recogida en los colectores del sistema, A_C , el área del colector, I_C , irradiación solar y η es el rendimiento del colector. Teniendo en cuenta las temperaturas alcanzadas por los colectores solares, se selecciona una placa de colectores solares planos.

$$\eta = F_R (\tau\alpha)_S - F_R U_C \left(\frac{T_{f,e} - T_a}{I_C} \right) \quad (9)$$

El coeficiente de desempeño solar de un sistema de refrigeración por absorción COP_S es igual al producto de la eficiencia del colector solar (η) y el *COP* del refrigerador de absorción, es decir,

$$COP_S = COP \cdot \eta \quad (10)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el fin de analizar cómo se comporta el sistema a diferentes condiciones de operación, es necesario simular las variables que afectan su desempeño. Todo esto con la intención de

obtener el COP máximo del sistema (maximizar la eficiencia del proceso de refrigeración y por ende la obtención de los parámetros de diseño y operación de óptima de este tipo de equipos). Las condiciones de funcionamiento se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Condiciones de operación

Variable	Valor
Temperatura de condensación (T_c), [°C]	25
Temperatura de absorción (T_a), [°C]	25
Temperatura de generación (T_g), [°C]	60 - 100
Temperatura de evaporación (T_e), [°C]	-5, 0, 5
Efectividad de soluciones en el intercambiador de calor (ϵ_{shx}), [-]	0.5, 0.8, 1.0
Concentración de vapor en el rectificador (y_r), [-]	0.91, 0.95, 0.99

Los resultados de simulación de un equipo de refrigeración con una capacidad de 1 kW operado con energía solar y usando la MMA-W como pareja absorbente son presentados en la Figura 3. La temperatura del generador varía mientras las demás variables se mantienen constantes. En este trabajo se estudio la influencia de la temperatura del evaporador, la eficiencia del intercambiador de calor, el desempeño del sistema de refrigeración en la eficiencia del ciclo de refrigeración solar en función de la temperatura de generación. A continuación se presentan los resultados teóricos obtenidos mediante el modelo matemático propuesto.

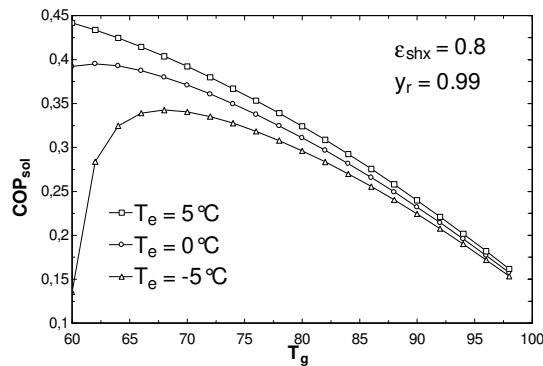


Figura 3a. COP_s vs. T_g a diferentes T_e

En la Figura 3a se graficó el COP_s en función de la temperatura de generación parametrizado por la temperatura de evaporación. El coeficiente de desempeño solar máximo se logró a una temperatura de generación de 70°C, aproximadamente. Para cada temperatura de evaporación evaluada. A la luz de este resultado se puede optar por un sistema de captación solar de placa plana para lograr la temperatura de generación requerida para el máximo COP_s . En la Figura 3b se muestra la relación entre el COP_s y la T_g en función de la eficiencia del intercambiador (ϵ_{shx}),

desde 0.5 a 1.0. En esta simulación se encontró que el coeficiente de desempeño solar se incrementa cuando la ϵ_{shx} aumenta. Además de poderse afirmar que para un ϵ_{shx} constante el COP_s disminuye para un aumento en la temperatura de generación.

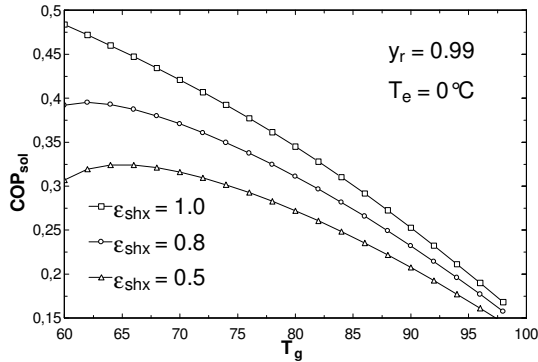


Figura 3b. COP_s vs. T_g a diferentes ϵ_{shx}

Por último, la Figura 3c muestra el COP_s vs T_g en función del y_r , manteniendo constante ϵ_{shx} y T_e a 0,8 y 0°C, respectivamente. La simulación fue llevada a cabo para tres concentraciones de vapor de funcionamiento que salen del rectificador. Para los valores de y_r de 0,91, 0,95 y 0,999, se incrementan los valores del COPs cuando y_r decrece. Sin embargo, los valores de COP_s disminuyen cuando aumenta el valor de T_g .

CONCLUSIONES

Un sistema de refrigeración solar de absorción usando MMA-W como pareja fue simulado. El COPs fue evaluado y analizado en función de la temperatura de generación parametrizado por temperatura de evaporador, eficiencia de intercambiador y concentración a la salida del rectificador. Del cual se puede concluir que el máximo coeficiente desempeño puede ser alcanzado a una temperatura de generación de 70°C y que esto a su vez puede ser alcanzado por un sistema de captación de placa plana.

En este sentido se puede decir que un sistema de refrigeración por absorción usando como pareja absorbente la monometilamina-agua puede ser operado con energía solar obteniendo un excelente desempeño. Este tipo de equipos pueden ser usados para la conserva de alimentos en zonas no interconectadas.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se llevo a cabo por el Programa de Cooperación Científica y Técnica México-Colombia bajo el proyecto “Estudio teórico y experimental del sistema monometilamina-agua para su integración en un ciclo de refrigeración”.

BIBLIOGRAFÍA

1. Barbosa-Cánovas, G.V., FAO, (2002).
2. Pilatowsky, I., Appl. Therm. Eng., 24 (2004).

3. Isaza, C.A., Thesis, Universidad Pontificia Bolivariana, (2008).
4. Herold, K.E., Radermacher, R., Klein, S.A., CRC Press, (1996).
5. Duffie, J.A., Beckman, W.A., Wiley (1991).

