

ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN SOLAR POR ABSORCIÓN USANDO SOLUCIONES DE MONOMETILAMINA – AGUA PARA LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF A SOLAR ABSORPTION REFRIGERATION SYSTEM USING MONOMETHYLAMINE – WATER SOLUTIONS FOR FOOD STORAGE

ANÁLISE TERMODINAMICA DUM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO SOLAR POR ABSORÇÃO USANDO COMO PARELHA MONOMETILAMINA – ÁGUA PARA A CONSERVA DE ALIMENTOS

CESAR A. ISAZA¹, ISAAC PILATOWSKY², ROSEMBERG J. ROMERO³, FARID B. CORTÉS⁴

PALABRAS CLAVES:

Refrigeración solar por absorción, monometilamina - agua, conservación de alimentos.

KEYWORDS:

Solar absorption refrigeration, monomethylamine-water, food conservation.

PALAVRAS CHAVES:

Sistema de refrigeração solar por absorção, água, monometilamina, conservação de comida.

RESUMEN

Este trabajo presenta la viabilidad de los sistemas de refrigeración solar por absorción usando soluciones de monometilamina - agua (MMA-A) para aplicaciones en conservación de alimentos en las regiones rurales de Colombia, sin acceso a la red de energía eléctrica. Para suplir los requerimientos de energía térmica se propone un sistema de calentamiento de agua con energía solar usando colectores de placa y un sistema de respaldo convencional. En este trabajo se determinó el coeficiente de operación (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-A puede ser usada en sistemas de refrigeración por absorción operados con energía térmica de baja calidad, tales como la energía solar.

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

Recibido para evaluación: 21 de octubre de 2009, Aprobado para publicación: mayo 29 de 2010

1 I.M., Ph.D. Grupo de Energía y Termodinámica-Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia,

2 I.Q., Ph.D. Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

3 I.M., Ph.D. Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.

4 I.Q., M.Sc, Ph.D. Grupo de Investigación Política y Gestión Tecnológica. Facultad de Ingeniería. Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

Correspondencia: cesar.isaza@correo.upb.edu.co.

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.

RESUMO

Este trabalho apresenta a viabilidade e aplicabilidade dos sistemas de refrigeração solar por absorção usando como parêntese a monometilamina – água (MMA-W) para fins de conservação de alimentos nas regiões rurais da Colômbia, onde não há energia disponível. Propõe-se um sistema de calefação solar mediante coletores solares de placa plana com um sistema convencional de aquecimento auxiliar para suprir as necessidades energéticas do refrigerador por absorção. Determinou-se o coeficiente de desempenho (COP) do sistema de refrigeração solar por absorção só de uma etapa em função da temperatura nos diferentes componentes do ciclo. Os resultados indicam que o sistema poderia se melhorar mediante um desenho melhor no intercambiador de calor de solução, o evaporador e o retificador. Os resultados teóricos demonstram que o uso da solução de MMA-W pode ser usada em sistemas de refrigeração como parêntese absorptiva operado pela energia térmica de baixa qualidade, como a energia solar.

INTRODUCCIÓN

Las pérdidas poscosecha de frutas y verduras son difíciles de predecir, sin embargo se estima que entre el 51 y 20% se pierden 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].

Existen muchos métodos de enfriamiento utilizados para el tratamiento de los productos pos-cosecha, con el fin de prolongar la vida útil, mantener la calidad y reducir las pérdidas. Algunos de los tratamientos a baja temperatura no son viables en las zonas rurales. En estas zonas, los ciclos de refrigeración basados en el principio de absorción, son una opción que puede darle valor agregado a estos productos.

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 o cuartos fríos. Existen muchos tipos de cuartos de enfriamiento, 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

del producto por convección. La principal ventaja es el costo porque no se requiere ninguna instalación específica. Por lo tanto, el valor añadido se realiza en el pre-enfriamiento del producto, inmediatamente después de la cosecha, lo que reducirá el deterioro y mantendrá 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 bajas temperaturas de refrigeración, y extender la vida útil por varios meses (6-12 meses y más).

El ciclo de refrigeración por absorción puede ser operado con una fuente de 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 los ciclos de refrigeración por absorción son muy restringidas porque no pueden operar a bajas temperaturas de generación, 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 amoníaco-agua y 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 el uso de la mezcla mono-metilamina-agua (MMA-A) como un par refrigerante-absorbente muy prometedor en los ciclos de refrigeración. Las propiedades termodinámicas y físicas de esta mezcla son convenientes. Es decir, presiones de vapores moderados a temperaturas relativamente bajas en el generador, posee un menor calor latente que el amoníaco, pero una mejor capacidad de absorción del agua [2].

En la tabla 1 se hace una comparación de las principales características de la mezcla MMA-A con los pares más usados en sistemas de refrigeración por absorción. Las características deseadas son básicamente un elevado calor latente, baja presión (alta solubilidad), bajo calor de disolución, bajo calor específico, baja viscosidad, alta conductividad, alta difusividad, bajo punto de congelación, químicamente estable, no tóxico, no corrosivo y no inflamable.

La mezcla MMA-A posee características apropiadas para operar con fuentes de calor de baja temperatura, tales como las generadas por un colector solar de placa plana (fabricación nacional); además las presiones de operación son bajas, permitiendo la fabricación de equipos más económicos y se pueden alcanzar temperaturas ligeramente más bajas que

Tabla 1. Comparación de la mezcla MMA-A con otros pares

Característica deseada	NH ₃ -Agua	LiBr-H ₂ O	MMA-Agua
Temperatura generación	Alta (>120°C)	Media (>80°C)	Baja (>60°C)
Presión operación	Alta (10-15 bar)	Vacío (0,01 bar)	Baja (5-7 bar)
Calor latente	Medio	Alto	Bajo
Rectificación	Si	No	Si
Eficiencia	Baja	Alta	Baja
Toxicidad	Alta	Baja	Alta
Inflamabilidad	Media	Baja	Alta
Cristalización	No	Si	No
Corrosión	Baja	Moderada	Baja
Costo reactivos	Bajo	Alto	Alto
Viscosidad	Baja	Baja	Baja

con el par LiBr-Agua. Sin embargo, al igual que el par Amoniaco-Agua, requiere rectificación y es una sustancia considerada tóxica; posee un fuerte olor que permite la detección de fugas con relativa facilidad a bajas concentraciones en el aire.

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-A. 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 la MMA de la solución de MMA-A. 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. La 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) absorbe el vapor de MMA que sale del evaporador (6).

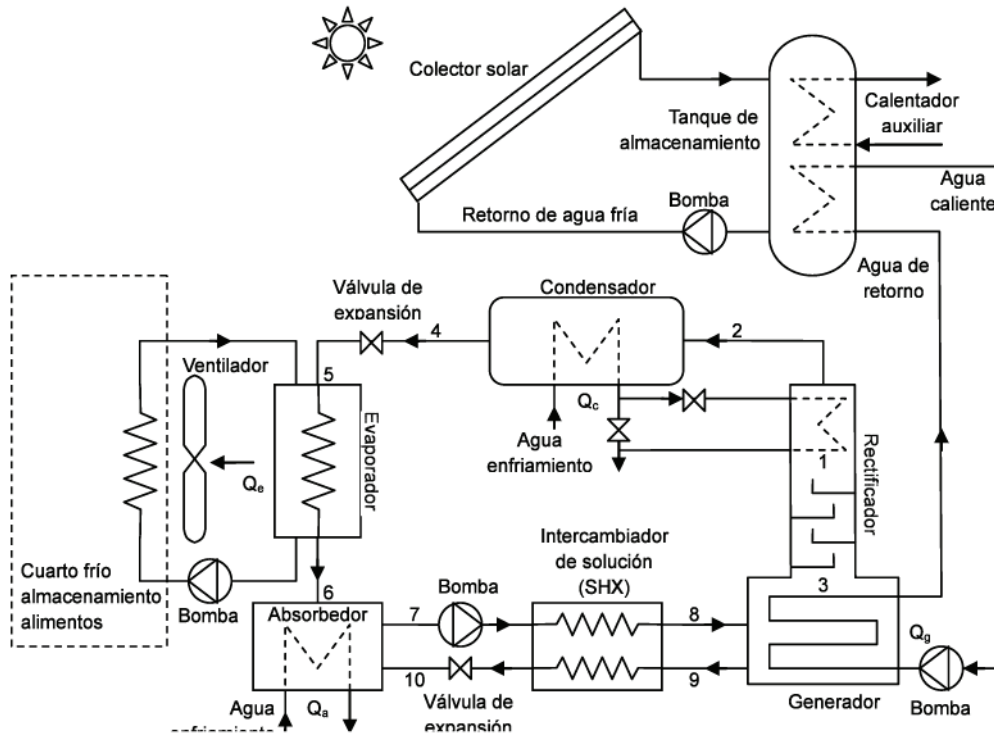
El agua fría de la torre de enfriamiento extrae tanto el calor de la mezcla producido en el absorbedor, como el calor de condensación del condensador. De hecho la temperatura de absorción tiene una mayor influencia en la eficiencia del sistema que la temperatura de condensación; por lo tanto el agua de enfriamiento que extrae este calor, debe pasar primero por el absorbedor, antes que por el condensador.

Una fuente auxiliar de energía es instalada para garantizar el buen funcionamiento del sistema de refrigeración por absorción, cuando la energía solar no sea suficiente para alcanzar la temperatura requerida para la generación.

El modelamiento matemático del sistema de refrigeración solar por absorción requiere la modelación tanto del sistema de absorción, así como la del sistema de colectores solares por separado.

MODELO DE ABSORCIÓN DEL SISTEMA DE

Figura 1. Esquema del sistema de refrigeración solar por absorción utilizando la pareja MMA- W.



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-A son tomadas de Isaza [3]. Las ecuaciones usadas se evaluaron para los rangos de operación del ciclo y considerando MMA pura en los procesos de condensación y evaporación, estas se presentan en la tabla 2.

Por su parte el modelo para el ciclo de absorción del sistema de refrigeración se basa en el propuesto por Herold et al [4], el cual consiste en un ciclo de una etapa considerando las siguientes hipótesis:

- El sistema opera en régimen estacionario.
- Las corrientes de salida del absorbedor, generador, condensador y evaporador están en condiciones de saturación.
- No se consideran pérdidas o ganancias de calor a través de los diferentes componentes del sistema y de los conductos.
- No se consideran pérdidas de presión a lo largo los

- conductos ni en otros componentes del sistema.
- El proceso en las válvulas se considera isoentalpico.
- Se desprecia el trabajo de la bomba, el cual representa menos de un 10% de la energía de entrada.

Considerando un volumen de control alrededor de cada componente, la tasa de absorción de calor en el generador (Q_g , kW) 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 (Q_r , kW) 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 (Q_c , kW) está dada por:

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

El calor en el evaporador (Q_e , kW) está representado por:

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

Tabla 2. Ecuaciones termodinámicas para la mezcla de MMA-A

Variable	Rango de evaluación	Ref.
Presión de vapor MMA, P [Pa]	$179.69 \leq T \leq 430 \text{ K}$	[4]
Entalpía líquido MMA, h_l [kJ/kg]	$179.69 \leq T \leq 430 \text{ K}$	[3]
Calor evaporación MMA, H_{ig} [kJ/kg]	$179.69 \leq T \leq 430 \text{ K}$	[3]
Presión de vapor sol. MMA-A, P [Pa]	$179.69 \leq T \leq 430 \text{ K}$	[5]
Concentración sol. MMA-A, x [kg/kg]	$-26 \leq T \leq 150 \text{ }^\circ\text{C}$ $0.2 \leq P \leq 8.4 \text{ atm}$	[3]
Temperatura sol. MMA-A, T [K]	$0 \leq x \leq 1 \text{ kg/kg}$ $0.2 \leq P \leq 10 \text{ atm}$	[3]
Concentración vapor MMA-A, y [kg/kg]	$0 \leq x \leq 1 \text{ kg/kg}$ $0.2 \leq P \leq 10 \text{ atm}$	[3]
Entalpía líquido sol. MMA-A, h_f [kJ/kg]	$0 \leq x \leq 1 \text{ kg/kg}$ $0 \leq T \leq 250 \text{ }^\circ\text{C}$	[3]
Entalpía vapor MMA-A, h_g [kJ/kg]	$0 \leq y \leq 1 \text{ kg/kg}$ $0.2 \leq P \leq 10 \text{ atm}$	[5]

El flujo de calor disipado por el absorbedor (Q_a , kW) 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 (ϵ_L) del intercambiador de calor (SHX) está dada por:

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

Despreciando el trabajo de bombeo, el COPE (Coeficiente de Operación) del ciclo se calcula a partir de la siguiente relación

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

La eficiencia de los ciclos de refrigeración por absorción operados con energía solar, depende básicamente de la eficiencia de los colectores solares y el rendimiento del sistema de refrigeración por absorción utilizado.

La energía solar útil absorbida en los colectores (Q_u , kW) es transferida al tanque de almacenamiento de agua caliente, desde donde se bombea el fluido térmico al ge-

nerador, equivalente a la energía de entrada del sistema.

En términos generales la capacidad de conversión de la energía solar a calor en un colector plano está dada por el rendimiento instantáneo [7], el cual se define como:

$$COP_E = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_g} \quad (8)$$

En donde QU es el calor absorbido por el fluido térmico o calor útil, I_c es la radiación solar incidente por unidad de área y A_c representa la superficie efectiva de captación de radiación solar del colector solar.

La eficiencia del colector también se puede expresar en términos de la eficiencia óptica y las pérdidas de calor al ambiente:

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

Donde FR es el factor de remoción de calor, α_s es la transmisibilidad de la cubierta, α_s es la absorptividad de la placa absorbadora y UC es el coeficiente global de pérdidas de calor por conducción. $T_{f,e}$ es la temperatura del fluido de entrada y T_a es la temperatura ambiente.

La eficiencia decrece de manera lineal cuando la temperatura del fluido aumenta y es máximo e igual a $FR\tau\alpha_s$ cuando $T_{f,e} = T_a$ y se anula cuando $I_c = U_C(T_{f,e} - T_a) / \tau\alpha_s$.

El rendimiento del sistema de refrigeración solar (COPs) está dado por el rendimiento del ciclo de refrigeración (COP) multiplicado por el rendimiento del conversor solar (η):

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

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, presentadas en la Tabla 3. Todo esto con la intención de obtener el COPsol máximo del sistema y definir los parámetros de diseño y operación de óptima de este tipo de equipos, tales como la temperatura de generación, temperatura

Tabla 3. Condiciones y variables de operación

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

de evaporación, efectividad del intercambiador y concentración de la solución.

Para el colector solar, se ha definido un colector solar plano para calentamiento de agua con una cubierta de vidrio y placa absorbadora con una superficie selectiva negro-cromo, que posee unas propiedades tales que el intercepto FRtsas es 0.7 y la pendiente FRUC es 4.7 [7].

La capacidad de enfriamiento (Q_e) del cuarto frío para conservación de frutas y hortalizas se fijó en 1 kW.

La modelización fue desarrollada en el entorno del programa Engineering Equation Solver® (EES). La función básica de este programa es la resolución simultánea de un sistema de ecuaciones. El programa identifica automáticamente y agrupa las ecuaciones que deben ser resueltas simultáneamente.

El ciclo de refrigeración por absorción usando MMA-A, es sensible a la temperatura de evaporación (T_e), la cual determina la aplicación de enfriamiento para la cual este destinado el equipo. En este sentido, se ha seleccionado una aplicación donde se desea obtener un ambiente controlado, para un cuarto para la conservación de frutas y hortalizas, donde la temperatura del aire puede oscilar entre 4 y 7 °C. Para obtener estos niveles de temperatura se espera que la temperatura de evaporación (T_e), se encuentre alrededor de 0 ± 5 °C.

Las variables independientes, tales como: la temperatura de absorción (T_a) y la temperatura de condensación (T_c), fueron fijadas de acuerdo a las condiciones ambientales. Además, de estas depende la composición de la solución concentrada y la temperatura mínima

de generación. Por lo tanto, buscando una mínima temperatura de generación (T_g), que se adapte a las fuentes de calor disponibles en un colector solar de placa plana, en un rango de 60 a 100 °C. En este sentido se consideró una temperatura mínima de absorción (T_a) y condensación (T_c) de 25°C.

Otro factor que puede influenciar considerablemente el COP del ciclo de refrigeración de simple efecto usando MMA, es la eficacia del intercambiador de solución (ϵ_{shx}). Esta variable no ha sido evaluada en la literatura consultada y por lo tanto se hará un análisis de sensibilidad, con respecto a las prestaciones de este elemento.

Finalmente la concentración de la solución (y_r), es una variable que depende básicamente de la temperatura del rectificador y de un diseño adecuado de este. La efectividad del proceso de condensación y evaporación se puede ver afectada por la concentración de la solución la cual deberá estar por encima de 0.9.

Los resultados de simulación del sistema de refrigeración por absorción operado con energía solar y usando la mezcla MMA-A son presentados en las Figuras 2, 3 y 4. La temperatura del generador varía mientras las demás variables se mantienen constantes.

En la Figura 2 se graficó el COPs en función de la temperatura de generación parametrizado por la temperatura de evaporación (T_e).

El coeficiente de desempeño solar máximo se logró a una temperatura de generación alrededor de los 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 COPs.

En la Figura 3 se muestra la relación entre el COPs y la T_g en función de la eficacia del intercambiador (ϵ_{shx}), desde 0.5 a 1.

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 COPs disminuye para un aumento en la temperatura de generación.

Por último, la Figura 4 muestra el COPs vs T_g en función

Figura 2. COPs vs. T_g a diferentes T_e

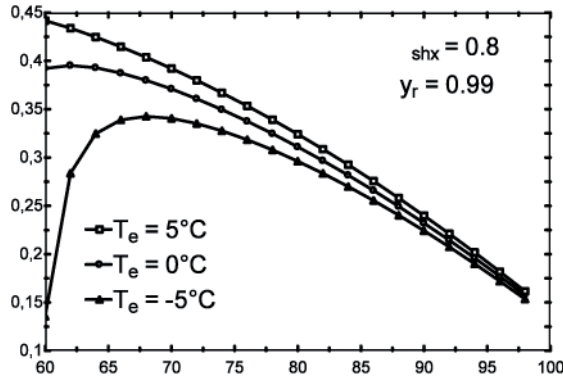


Figura 3. COPs vs. T_g a diferentes εshx

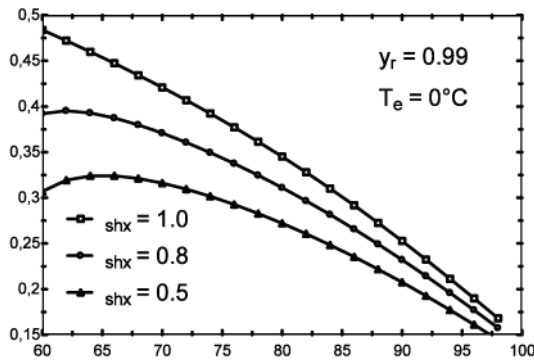
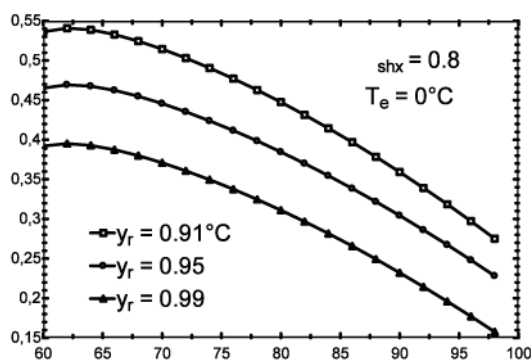


Figure 4 COPS vs. T_g a diferentes yr



del y_r, manteniendo constante εshx y T_e a 0,8 y 0°C, respectivamente. La simulación fue llevada a cabo para tres concentraciones de vapor de MMA que sale del rectificador. Para los valores de y_r de 0,91, 0,95 y 0,99; se incrementan los valores del COPs cuando y_r

decrece. Sin embargo, los valores de COPs disminuyen cuando aumenta el valor de T_g.

Concentraciones menores a 0.90, no son recomendables ya que afectan el funcionamiento del evaporador principalmente. Por otro lado, concentraciones mayores a 0.99, requieren bajas temperaturas de rectificación, lo que a su vez también implica retirar mayor calor del rectificador y por lo tanto el generador necesita mayor cantidad de energía para ofrecer un flujo de refrigerante equivalente en el evaporador. Esto explica porque la curva de COPs disminuye a partir de un valor óptimo de temperatura de generación, dado que el calor en el rectificador aumenta al disminuir la concentración de la mezcla del vapor que sale del generador.

CONCLUSIONES

Un sistema de refrigeración solar de absorción usando MMA-A como pareja fue simulado. El COP_s fue evaluado y analizado en función de la temperatura de generación parametrizado por temperatura de evaporador, la eficacia de intercambiador de solución y la concentración a la salida del rectificador. Del cual se puede concluir que el máximo coeficiente de desempeño puede ser alcanzado a una temperatura de generación alrededor de los 70°C y que esto a su vez puede ser alcanzado por un sistema de captación solar de placa plana. Tecnología relativamente simple, la cual está disponible en países como Colombia, la cual cuenta con altos índices de radiación, la mayor parte del año en casi todo el territorio nacional.

El comportamiento del ciclo de refrigeración por absorción usando la mezcla MMA-A, presenta una temperatura de generación óptima, donde el COP alcanza un valor máximo. Sin embargo, para valores por encima o por debajo de esta temperatura, el COP_s decrece considerablemente. Por lo tanto, es necesario hacer un cuidadoso diseño del generador y la temperatura de operación de este, para mantener operando el ciclo en condiciones de alto rendimiento.

En este sentido se puede decir que un sistema de refrigeración por absorción usando la mezcla MMA-A puede ser operado con energía solar obteniendo un alto desempeño, comparado con otros pares refrigerantes y ser usados para la conservación 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".

REFERENCIAS

- [1] BARBOSA-CÁNOVAS, Gustavo et al. Postharvest losses of fruits and vegetables are difficult to predict. Roma: FAO, 2002. 99 p.
- [2] PILATOWSKY, Isaac, RIVERA, Wilfrido, ROMERO Rosemberg. Performance Evaluation of a Monomethylamine–Water Solar Absorption Refrigeration System for Milk Cooling Purposes. London, Applied Thermal Engineering, 2004. 1103–1115.
- [3] ISAZA, César. Estudio teórico y experimental del sistema monometilamina - agua para su integración en un ciclo de refrigeración por absorción, Tesis, Universidad Pontificia Bolivariana, 2008. 176 p.
- [4] DIPPR. Database of Evaluated Process Design Data, <http://dippr.byu.edu/index>. 1993.
- [5] ROMERO Rosemberg., GUILLEN, Luis y PILATOWSKY, Isaac. Monomethylamine–Water Vapour Absorption Refrigeration System. London, Applied Thermal Engineering, 2005. 867–876.
- [6] HEROLD, Keith, RADERMACHER, Reinhard y KLEIN, Sanford. Absorption Chillers and Heat Pumps. 1 ed. N.Y., CRC Press, 1996. 350 p.
- [7] DUFFIE, John, BECKMAN, William. Solar Engineering of Thermal Processes. 3 ed. Hoboken, Wiley 1991. 908 p.