



## Simulación de un sistema de refrigeración solar por absorción

### *Simulation of a solar absorption refrigeration system*

José Antonio-Romero Paguay  
Tania-Carbonell Morales  
Viviana Fernanda-Quevedo Tumailli

**Recibido:** julio de 2015

**Aprobado:** diciembre de 2015

#### Resumen/Abstract

Este artículo presenta la simulación de un sistema de refrigeración solar por absorción como una alternativa para la climatización de edificaciones en climas cálidos y húmedos. Esta simulación fue realizada empleando el programa TRNSYS 17; muy usado actualmente por muchos investigadores para estudiar diversas tecnologías. El sistema simulado consta de 120 m<sup>2</sup> de captadores solares de tubos al vacío, un tanque de almacenamiento de agua caliente de 3,2 m<sup>3</sup>, y una máquina de absorción de Bromuro de Litio y Agua de 35,2 kW. Los resultados obtenidos muestran que se puede garantizar la demanda de enfriamiento con esta tecnología durante 8 meses del año. El sistema de captación solar simulado aporta una fracción solar anual de hasta un 60% y el COP promedio anual de la máquina de absorción se encuentra entre los valores reportados en la bibliografía para sistemas similares.

**Palabras clave:** sistemas de refrigeración solar por absorción, captadores solares, máquina de absorción, climatización solar, TRNSYS.

*This article shows the simulation of absorption solar refrigeration system as an alternative for the air conditioning of buildings in hot and humidity climate. This simulation was carried out using the program TRNSYS 17; this software is very used by the research for the study of different technologies. The simulated system have 120 m<sup>2</sup> of vacuum tube collectors solar, a tank of storage of hot water of 3,2 m<sup>3</sup>, and an absorption machine of Bromide of Lithium and Water of 35,2 kW. The results obtained shows that the simulated system gives the cooling demand for 8 months. The solar system simulated give a solar annual fraction of 60 % and the annual average COP of absorption machine take a valor according for the others similar systems report in the State of Art.*

**Key words:** absorption solar refrigeration system, solar collectors, machine of absorption, solar air conditioning, TRNSYS.

#### INTRODUCCIÓN

En los últimos años las tecnologías de refrigeración solar por absorción han despertado gran interés. Los problemas medioambientales asociados al uso de sustancias fluorocarbonadas y la emisión de gases de efecto invernadero conjuntamente con la necesidad de emplear fuentes renovables de energía, han propiciado el estudio y presencia creciente en el mercado de estas tecnologías alternativas de climatización.

El sistema de refrigeración solar por absorción usa la energía solar para activar las máquinas de absorción en un rango de temperaturas entre 70°C - 150°C, valores de temperatura que pueden ser alcanzados por los colectores solares disponibles en el mercado. Esto propicia que hoy día los equipos de absorción puedan ser considerados como una alternativa más ecológica para el acondicionamiento de aire y producción de frío. Para localidades con climas tropicales cálidos – húmedos, con valores promedios de radiación solar alrededor de los 4,8 kW.h/m<sup>2</sup>; valorar la posibilidad de utilizar la tecnología de refrigeración por absorción puede ser atractivo.

En el año 2010, **Herador María**[1], plantea que los sistemas de refrigeración solar por absorción emplean máquinas de refrigeración por absorción, clasificándolas dependiendo de su ciclo termodinámico, máquinas de simple efecto y de doble efecto. Las máquinas de doble efecto requieren temperaturas del orden de 150°C o vapor de agua a presión entre 3 bar y 10 bar para su accionamiento, mientras que las de simple efecto pueden funcionar con agua caliente a temperaturas relativamente moderadas entre 80° y 95°C que pueden ser alcanzadas por los captadores solares o vapor de baja presión. Los COP de las máquinas de absorción varían desde 0,7 para sistemas de simple efecto, al valor de 1,2 para sistemas de doble efecto. Los dos pares refrigerante/absorbente más empleados en las máquinas de absorción son: Amoníaco-Agua, y Agua-Bromuro de Litio; el primero de ellos, en aplicaciones preferentemente de refrigeración, y el segundo, en climatización.

**García Casals**[2], efectuó simulaciones numéricas empleando TRNSYS para determinar con qué tipo de captador solar se alcanzaba un coeficiente de funcionamiento superior comparando los captadores solares planos con los captadores solares de tubos al vacío; determinó que para una máquina de absorción de Bromuro de Litio y Agua de simple efecto a una radiación solar de 900 W/m<sup>2</sup>, el sistema que utiliza los captadores de tubos al vacío alcanza un COP con un valor 15% superior respecto al sistema que utiliza los captadores solares planos.

**Assilzadeh y otros**[3], presentan la simulación y optimización de un sistema de refrigeración solar por absorción de Bromuro de Litio con colectores solares de tubos al vacío. Los resultados de este artículo muestran la validez de recurrir a las herramientas de simulación de sistemas para optimizar y obtener el desempeño de diversas tecnologías bajo diferentes condiciones de operación. Estos estudios de simulación numérica, tienen la ventaja de permitir tomar decisiones a corto plazo sobre el empleo o introducción de un sistema; además de eliminar los costos en la construcción de prototipos.

En el año 2007 **Hans Henning**[4], realizó una revisión de los sistemas de refrigeración solar por absorción, adsorción, y desecantes instalados en Europa; según su estudio el 58,6% de los sistemas instalados en Europa son sistemas de absorción; sin embargo las instalaciones más grandes en términos de capacidad de refrigeración son sistemas de adsorción. Adicionalmente realiza un análisis sobre la superficie de los captadores instalada en relación a la capacidad de climatización, para los sistemas de absorción la mayoría de las instalaciones tienen una relación de aproximadamente 3 m<sup>2</sup> por kW a climatizar. El autor concluye que este factor es difícil de evaluar debido a que algunas instalaciones emplean la energía solar para otras aplicaciones además de la climatización, o también emplean sistemas de calentamiento de agua auxiliar. La relación entre la superficie de captación y la capacidad de climatización, constituye una referencia primordial para todo tipo de instalaciones de refrigeración por absorción solar.

**Mateus y Oliveira**[5], realizaron un análisis energético y económico de la aplicación de la climatización solar para diferentes edificios y condiciones climatológicas empleando el software TRNSYS. Las simulaciones se realizaron para captadores solares planos y captadores de tubos al vacío empleando adicionalmente una caldera de gas como sistema de calentamiento auxiliar; de acuerdo con su análisis consideran que el uso de captadores de tubos al vacío reducen la superficie del captador solar entre el 15% y el 50% en comparación con los captadores solares planos.

En el año 2010 **Calise y otros**[6], describen un modelo de simulación en régimen transitorio de un sistema de calefacción y refrigeración solar usando el software TRNSYS, la edificación es de 1.600 m<sup>2</sup>; el sistema consiste de 300 m<sup>2</sup> de captadores solares de tubos al vacío y una máquina de refrigeración de absorción de simple efecto de Bromuro de Litio y Agua. Se determinó un volumen óptimo de almacenamiento de 75 l/m<sup>2</sup>, la eficiencia de la bomba de circulación es de 0,90; el coeficiente de funcionamiento de la máquina de refrigeración es de 0,80 y una capacidad de enfriamiento de 157,5 kW.

Este sistema de refrigeración por absorción solar simulado tiene altos rendimientos especialmente en el funcionamiento de la máquina de refrigeración de simple efecto de Bromuro de Litio y Agua, obteniéndose una relación de superficie de captación de 1,91 m<sup>2</sup> por kW a climatizar.

**Martínez y otros**[7], compararon la simulación de un sistema de climatización solar mediante TRNSYS con datos reales de un sistema instalado en Alicante, España; el sistema de climatización está formado por una máquina de absorción de Bromuro de Litio y Agua de simple efecto de 17,6 kW de capacidad y un tanque de almacenamiento de agua caliente de 1 m<sup>3</sup>. Los resultados muestran una aproximación entre los datos medidos y simulados, donde el COP de la máquina de absorción con los datos experimentales es de 0,691 mientras que el COP del sistema simulado alcanza un valor de 0,729. Por su parte en el año 2013 **Burckhart y otros**[8], describen un campo de captadores solar de 250 m<sup>2</sup> empleados para el enfriamiento y la calefacción de un edificio de 4.000 m<sup>2</sup>, que incluye oficinas, laboratorios, y un área pública. Los captadores solares térmicos son de tubos al vacío los cuales proporcionan temperaturas del orden de los 90°C, que permiten el funcionamiento eficaz de una máquina de refrigeración de absorción de Bromuro de Litio y Agua de 95 kW de capacidad de enfriamiento. En este mismo año **Ketjoy y otros**[9], evaluaron el desempeño de una máquina de absorción de Bromuro de Litio y Agua de 35 kW de capacidad de enfriamiento, la misma que trabaja con un campo de captadores solares de tubos al vacío de 72 m<sup>2</sup> y un sistema auxiliar de gas. Los resultados de este estudio mostraron que el COP promedio real del sistema fue de 0,33.

Los resultados obtenidos por estos autores evidencian que un sistema de refrigeración por absorción solar de Bromuro de Litio y Agua, empleando colectores de tubos al vacío tiene alto rendimiento con una relación de superficie de captación de 2,63 m<sup>2</sup> por cada kW de climatización.

**Djelloul y otros**[10], muestran la simulación de acondicionamiento de aire empleando el software TRNSYS, según los autores la demanda de aire acondicionado de una casa de 120 m<sup>2</sup> de superficie se logra cubrir con un sistema de refrigeración constituido por una máquina de absorción de simple efecto Yazaki de 10 kW, una superficie de 28 m<sup>2</sup> de captadores solares de placa plana con una inclinación de 35° y un tanque de almacenamiento de agua caliente de 0,8 m<sup>3</sup>. Este sistema de refrigeración por absorción solar simulado de Bromuro de Litio y Agua, empleando colectores de placa plana tiene altos rendimientos, los mismos que tienen una relación de superficie de captación de 2,80 m<sup>2</sup> por kW a climatizar. Por su parte **Baniyounes y otros**[11], realizaron la simulación de un sistema de climatización solar por absorción para tres zonas climáticas de Australia, empleando TRNSYS; la superficie a climatizar es de 100 m<sup>2</sup> empleando una máquina de absorción de Bromuro de Litio y Agua de simple efecto de 10 kW de capacidad. Concluyeron que el sistema óptimo consiste de una superficie de captadores planos de 50 m<sup>2</sup> y un tanque de almacenamiento de agua caliente de 1,8 m<sup>3</sup>.

De la revisión bibliográfica se aprecia que la tecnología de refrigeración solar por absorción está siendo estudiada y empleada en diversos países. Se confirma que los sistemas de refrigeración por absorción que emplean colectores solares de tubos al vacío pueden ser más eficientes que los que emplean colectores solares planos. Además de que en la actualidad el software TRNSYS es uno de los programas profesionales más utilizado para el estudio del comportamiento de tecnologías de acondicionamiento de aire [10-12].

Este trabajo tiene como objetivo valorar la posibilidad de emplear un sistema de climatización solar por absorción de simple efecto, operando para condiciones meteorológicas de clima cálido húmedo, tomando una edificación como caso de estudio. El desempeño del sistema se simulará empleando el software TRNSYS.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Datos climatológicos y demanda de energía de enfriamiento

Las condiciones meteorológicas de la región objeto de estudio se corresponde con un clima cálido y húmedo, la temperatura promedio mensual oscila entre 20°C y 26°C; mientras que la temperatura promedio anual desde las 06h00 horas hasta las 19h30 horas varía de 20°C a 30°C, como se puede observar en la figura 1, lo que evidencia la necesidad del acondicionamiento del aire.

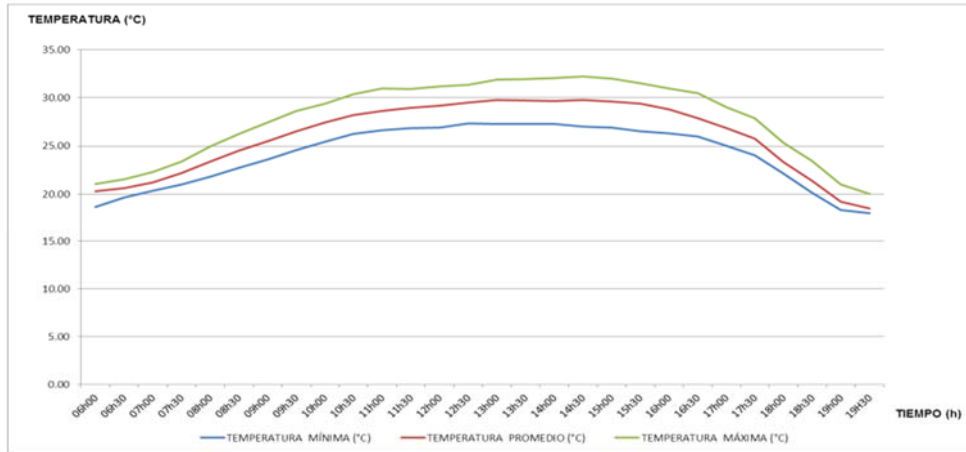


Fig. 1. Temperatura promedio del año 2014 de 06h00 a 19h30 en la provincia de Pastaza, Ecuador.

La insolación solar varía según la época del año. Como se puede observar en la figura 2, durante los meses junio, julio, y agosto; la insolación es menor debido a la alta nubosidad que existe en esta época de lluvia.

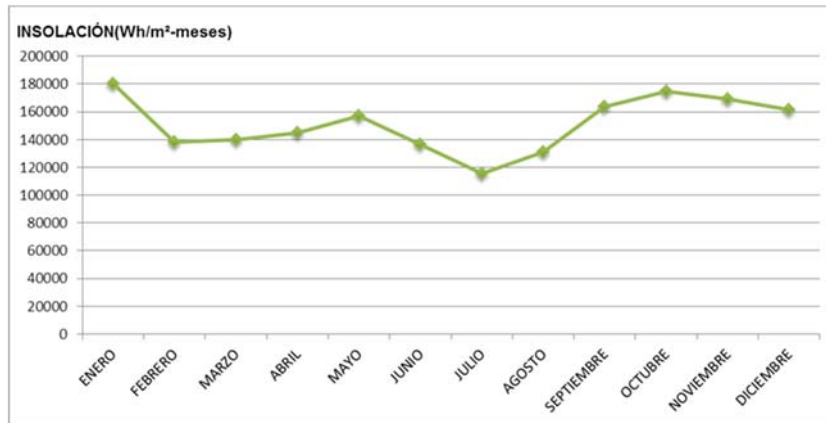


Fig. 2. Insolación mensual en la provincia de Pastaza, Ecuador.

Para la simulación se toma como caso de estudio una edificación que tiene una extensión total de 205,2 m<sup>2</sup>, y se desea mantener en su interior una temperatura de 20°C con 50% de humedad relativa. El estudio de la demanda de enfriamiento mensual requerida por la edificación se puede apreciar en la siguiente figura, obteniéndose que la demanda máxima enfriamiento es de 33,5 kW (9,2 TR) y ocurre en el mes de enero, no siendo significativa la variación mes a mes, en el mes de julio se necesitan solo 25,6 kW constituyendo el mes de menor ganancia térmica. De la misma manera en la figura 3, se muestra que la energía mensual requerida para la climatización de la instalación oscila entre 5 MWh y 6,5 MWh.

El sistema de refrigeración por absorción se basa en la capacidad de una sustancia en absorber a otra sustancia, como por ejemplo el Agua y el Bromuro de Litio o el Agua y el Amoniaco. Por tanto su funcionamiento depende de las reacciones físico-químicas entre un refrigerante y un absorbente. La figura 4, muestra el esquema de un sistema de refrigeración por absorción que emplea energía solar.

Cuando la radiación solar no es suficiente para calentar el agua a la temperatura requerida por la máquina de absorción, se utiliza un sistema auxiliar para completar la demanda energética necesaria. Como la energía que se va a utilizar en el sistema de refrigeración por absorción es la energía solar se debe seleccionar la tecnología captadora. De acuerdo al estudio bibliográfico realizado [2,5,6,8,9], se justifica la utilización de captadores de tubos al vacío ya que las temperaturas del agua requeridas en el generador de la máquina de absorción son de alrededor de 100°C, y en ese rango de temperaturas los captadores de tubos de vacío ofrecen un mejor desempeño. Para la simulación se considerarán los captadores solares de tubos al vacío Fact she et Olymp Sunstar HP 65/20, teniendo fundamentalmente en cuenta su eficiencia, costos de instalación, costos de mantenimiento y disponibilidad.

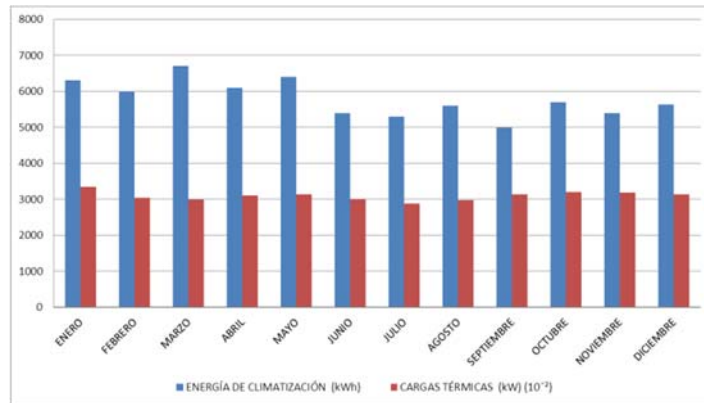


Fig. 3. Energía de climatización y demanda de energía para enfriamiento.

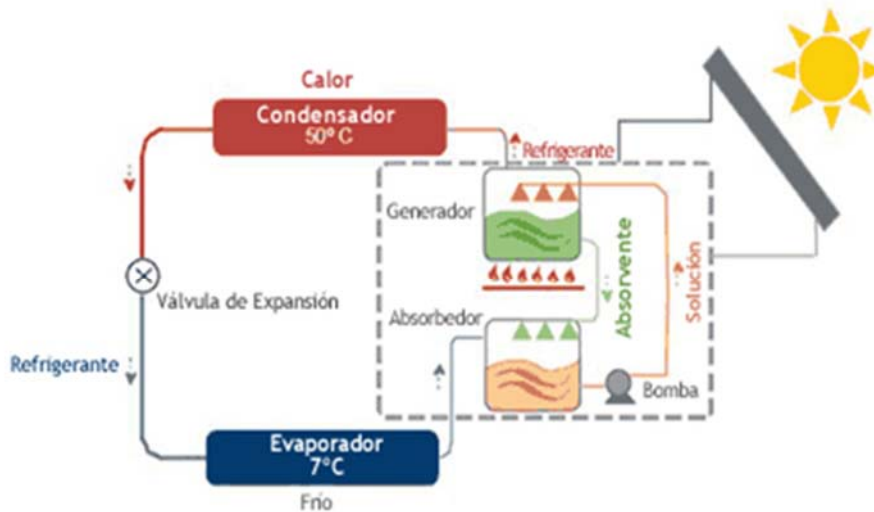
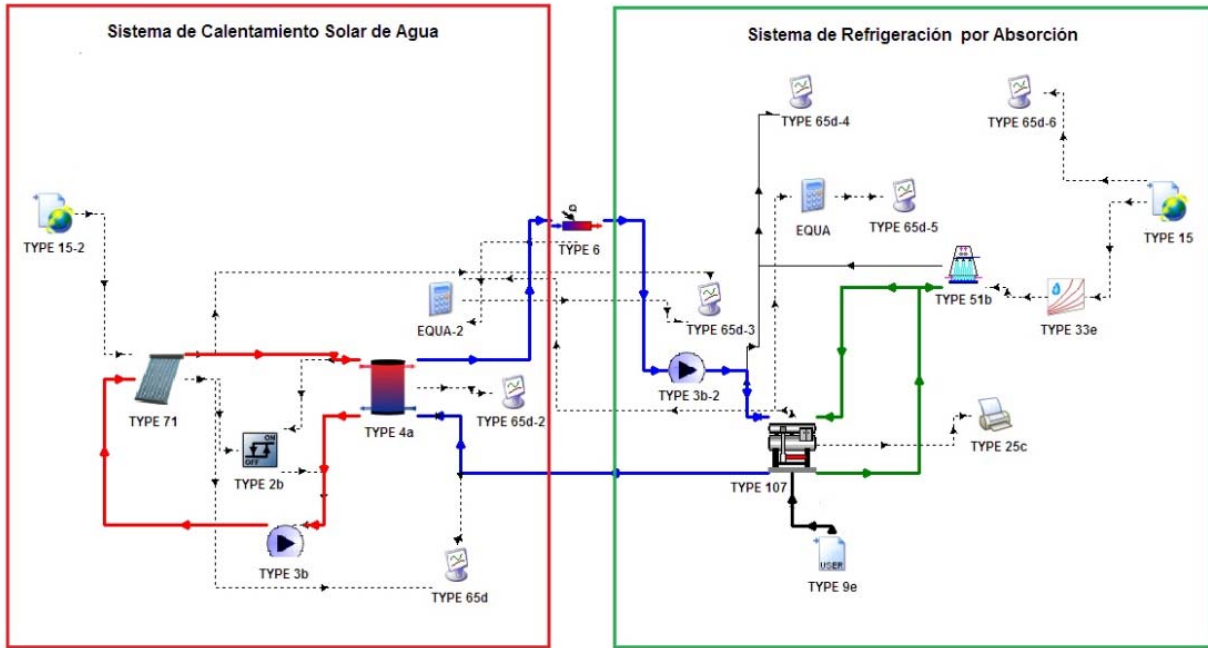


Fig. 4. Sistema de refrigeración solar por absorción, 2010 [1].

### Descripción de la simulación del sistema

El sistema de refrigeración solar a estudiar puede ser dividido en dos subsistemas: sistema solar de calentamiento de agua, y el sistema de refrigeración por absorción. Los cuales operan de forma general como se describe a continuación

La energía obtenida de la radiación solar incidente calienta el agua en un campo de captadores solares de tubos al vacío, esta agua caliente fluye hacia un tanque de almacenamiento, y posteriormente es transportada hasta la máquina de absorción a través de un calentador auxiliar que se activa si el agua caliente no tiene la temperatura mínima de 88°C. El agua caliente que se emplea en la máquina de absorción retorna a la parte inferior del tanque de almacenamiento. El agua que se emplea para el condensador de la máquina de absorción viene desde la torre de refrigeración y retorna a la misma después de condensar el refrigerante. De acuerdo a la demanda térmica a satisfacer, se emplea un flujo variado de agua fría a 7°C a la salida de la máquina de absorción. La figura 5, muestra todos los elementos que se tuvieron en cuenta en la simulación.

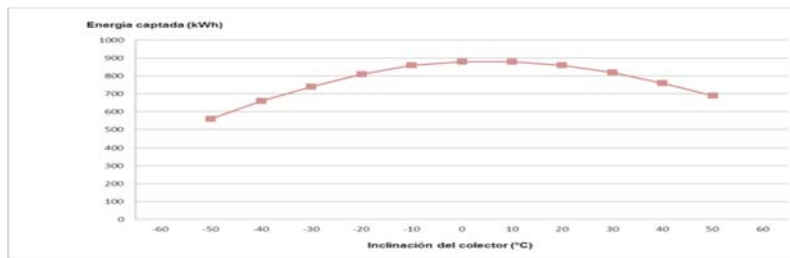


**Fig. 5. Sistema de Refrigeración solar simulado en TRNSYS**

Para la modelación de los captadores solares de tubos al vacío, en TRNSYS se emplea un archivo externo de modificadores del ángulo de incidencia transversal y longitudinal para calcular el rendimiento del captador.

En TRNSYS se simula el comportamiento de la máquina de absorción de simple efecto, de Bromuro de Litio y Agua de simple efecto del modelo Yazaki WFC SC 10 con una capacidad nominal de 35 kW; esta máquina satisface la demanda térmica máxima encontrada de 33,5 kW. En la máquina de absorción interactúan tres flujos de agua a diferentes condiciones: agua caliente, agua fría, y flujo de condensación. Para el agua caliente y el agua de condensación se mantuvo constante el flujo másico; para el flujo de agua fría se fijaron las temperaturas de entrada y salida de la máquina de absorción en 12,5 y 7°C respectivamente, variándose el flujo másico según la carga térmica a satisfacer.

En la simulación del sistema los parámetros considerados fueron: el ángulo de inclinación y el área de los captadores solares, el volumen del tanque de almacenamiento, y el flujo de agua de los captadores solares. Para este análisis se consideró la cantidad de calor que se aporta por medio de los captadores solares y del sistema auxiliar de calentamiento a la máquina de absorción. Para determinar el ángulo óptimo de los captadores solares seleccionados para emplearse en la instalación a climatizar, se simuló la cantidad de energía captada a diferentes ángulos de inclinación durante un año, como se puede observar en la figura 6, los ángulos de inclinación más favorables son 0° y 10° orientados al norte, este resultado está condicionado a la ubicación de la edificación en el Ecuador. Para su auto limpieza se considera 10° como el ángulo óptimo.



**Fig. 6. Sistema de Refrigeración solar simulado en TRNSYS.**

Para calcular el área de captación solar necesaria se determinó primero la cantidad de energía solar requerida por la máquina de absorción durante un año. El volumen del tanque de almacenamiento está en función del aporte de calor auxiliar al generador, se ha seleccionado un reservorio de 3,2 m³ que es el volumen mínimo para abastecer la máquina de absorción. El volumen del flujo de agua en los captadores

está en función del aporte de calor solar, determinándose en 3.000 kg/h para un volumen de almacenamiento de 3,2 m<sup>3</sup> y un área de captación solar de 120 m<sup>2</sup>.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con las simulaciones llevadas a cabo se obtuvo que a partir del mes de febrero y hasta el mes de septiembre, el sistema de refrigeración solar por absorción simulado cubre perfectamente las necesidades de enfriamiento de la edificación estudiada, lo cual se puede apreciar en la figura 7. No siendo así a partir del mes de octubre y hasta el mes de enero donde se necesita un sistema auxiliar de calentamiento pues el campo de colectores no es capaz de entregar la energía necesaria a la máquina de refrigeración por absorción. El resultado obtenido es lógico debido a que la radiación solar incidente en estos meses no es suficiente para alcanzar la temperatura necesaria en el generador.

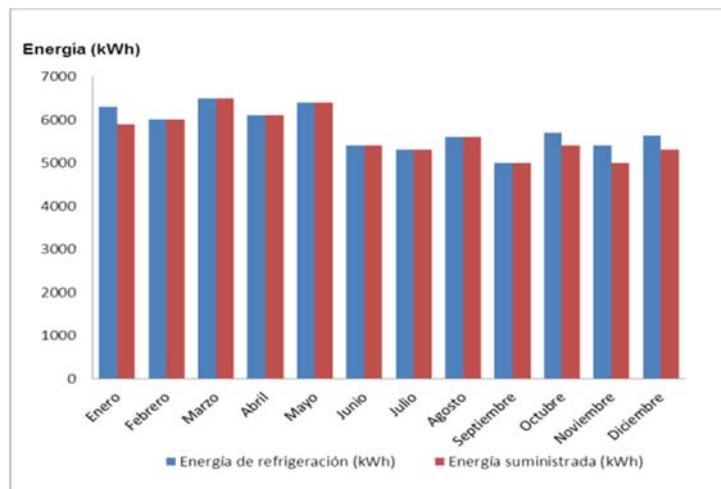


Fig.7. Energía de Refrigeración mensual entregada por el sistema.

En la figura 8, se puede observar la variación horaria del calor aportado al generador, el aporte de calor proveniente del reservorio es proporcional a la radiación incidente; el aporte por el sistema auxiliar se maximiza en las horas de baja radiación solar.

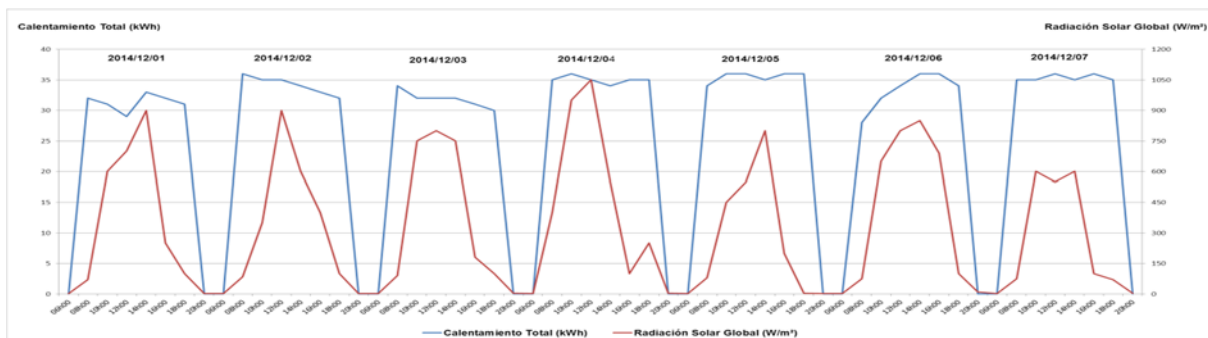


Fig. 8. Relación entre el calor total aportado a la máquina de absorción y la radiación solar global.

La figura 9, muestra la variación promedio mensual del COP de la máquina de absorción. De acuerdo a los resultados obtenidos en la simulación la máquina de absorción opera con un COP promedio de 0,67 que no varía en consideración del COP nominal de la máquina de 0,70.

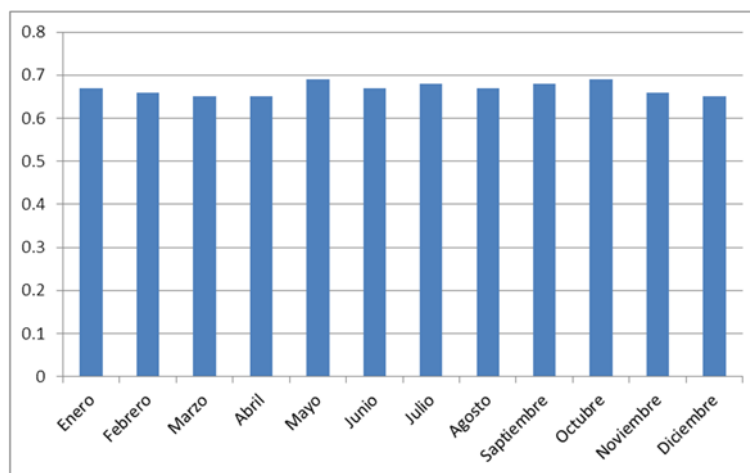


Fig. 9. Variación del COP de la máquina de absorción.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se muestra la refrigeración solar por absorción como una tecnología alternativa a valorar para climatizar una edificación en climas cálidos y húmedos. La simulación realizada mostró que se puede garantizar la demanda de enfriamiento con esta tecnología durante 8 meses del año y solo es necesario el sistema auxiliar de calentamiento durante los meses restantes. El sistema simulado está constituido por un área de captación solar de 120 m<sup>2</sup> con un ángulo de inclinación de 10°, un tanque de almacenamiento de 3,2 m<sup>3</sup> de agua caliente, un sistema de calentamiento auxiliar, y una máquina de refrigeración de absorción de Bromuro de Litio y Agua de simple efecto de 35,2 Kw. Como aspectos a destacar se puede destacar que el sistema de captación solar simulado aporta una fracción solar anual de hasta de un 60 % y que la variación del COP (coeficiente de desempeño) de la máquina de absorción ante cambios en las condiciones de operación del sistema, tiene un valor promedio de 0,68; el cual se corresponde con los reportados en la bibliografía para sistemas similares operando en condiciones climatológicas semejantes.

## REFERENCIAS

- [1]. Herador, M.; "Estado del arte de las distintas tecnologías de refrigeración solar". [Tesis en opción a Master en Ciencias en Ingeniería Eléctrica], España: Universidad Miguel Hernández, septiembre 2010, [Consultado:10 de junio 2013], Disponible en: [http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70166/fichero/Archivo\\_Cap%EDtulo+3.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70166/fichero/Archivo_Cap%EDtulo+3.pdf)
- [2]. Assilzadeh, F., S. A. Kalogirou, Y. Ali et K. Sopian. "Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with evacuated tube collectors". *Renewable Energy*, 2005, vol. 30, no 8, p. 1143- 1159, ISSN 0960-1481.
- [3]. Henning, Hans-Martin,; "Solar assisted air conditioning of buildings – an overview", En: present at the Elsevier Applied Thermal Engineering. 2007, vol. 27, núm. 10, p. 1734-1749 , [consulta: 12 de abril del 2014]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431106002547>. ISSN 1359-4311.
- [4]. Mateus, T.; Oliveira, A.; " Energy and economic analysis of an integrated solar absorption cooling and heating system in different building types and climates", En: present at the Elsevier Applied Energy, 2009, vol 86, núm. 6, p. 949-957, [consulta: 28 de abril del 2014]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261908002249>. ISSN 0306-2619.
- [5]. Garcia, X.; "Solar absorption cooling in Spain: Perspectives and outcomes from the simulation of recent installations", En: present at the Elsevier Renewable Energy. 2004, vol 31, núm. 9, p. 1371-1389, [consulta: 5 de febrero del 2014]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148105001783>. ISSN 0960-1481.
- [6]. Burckhart, H.J., Audinet, F., Gabassi, M.L., Cern, C.M, "Application of a novel vacuum insulated solar collector for heating and cooling". SHC 2013, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, 2013. vol 48, p. 790-795, [consulta : 5 de febrero del 2014]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.091>. ISSN 1876-6102. ISSN 1876-6102.



- [7]. Ketjoy, N., Yongphayoon, R., Mansiri, K, "Performance Evaluation of 35 kW LiBr H<sub>2</sub>O Solar Absorption Cooling System in Thailand". 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering (EMSES2012), School of Renewable Energy Technology (SERT), Naresuan University, Phitsanulok 65000, En: present at the Energy Procedia. 2013, vol 34, p. 198-210. [consulta : 28 de abril del 2014]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.748>. ISSN 1876-6102.
- [8]. Martínez, P.; Martínez, J.; Lucas, M.; "Design and test results of a low-capacity solar cooling system in Alicante (Spain)", En: present at the Elsevier Solar Energy. 2012, vol 86, núm. 10, p. 2950-2960 , [consulta: 15 de octubre del 2014]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X12002502>. ISSN 0038-092X.
- [9]. Djelloul, A., Draoui, B., Moumami, N., "Simulation of a solar driven air conditioning system for a house indry and hot climate of Algeria". En: present at the Courier du Savoir. 2013, vol 1, núm.15, p. 31-39. [Consulta: 5 de septiembre del 2014]. Disponible en: <http://dSPACE.univ-biskra.dz:8080/jspui/handle/123456789/669>. ISSN 6789/0669.
- [10]. Calise, F., M. Dentice d'Accadia, and A. Palombo, "Transient analysis and energy optimization of solar heating and cooling systems in various configurations". En: present at the Solar Energy, 2010. 84(3): p. 432-449, [consulta: 27 de octubre del 2014]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X10000137>. ISSN 0038-092X.
- [11]. Baniyounes, A.; Rasul, M.; Khan, M.; "Assessment of solar assisted air conditioning in Central Queensland's subtropical climate, Australia", En: present at the Elsevier Renewable Energy. 2013, vol. 50, n. 0 , pag. 334-341 , [consulta: 5 de septiembre del 2014]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014811200393X>. ISSN 0960-1481.
- [12]. D.B.Jani, Manish Mishra, P.K.Sahoo, "Simulation of solar assisted solid desiccant cooling systems using TRNSYS" Proceedings of International SHMT-ASME Heat and Mass Transfer Conference December 28-31, 2013, IIT Kharagpur, India, Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/281110132\\_HMT1300273](https://www.researchgate.net/publication/281110132_HMT1300273), Consulta: 5 de septiembre del 2014.

## AUTORES

### **José Antonio Romero Paguay**

Ingeniero Mecánico, Master en Fuentes Renovables de Energía, Docente Investigador Titular, Universidad Estatal Amazónica, UEA, Puyo, Ecuador.

e-mail: [jromero@ceter.cujae.edu.cu](mailto:jromero@ceter.cujae.edu.cu); [jo\\_ser\\_2008@hotmail.es](mailto:jo_ser_2008@hotmail.es)

### **Tania Carbonell Morales**

Ingeniera Química, Doctora en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables, CETER. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.

e-mail: [taniac@ceter.cujae.edu.cu](mailto:taniac@ceter.cujae.edu.cu)

### **Viviana Fernanda Quevedo Tumaili**

Ingeniero en Sistemas Informáticos, Máster en Tecnologías para la gestión y práctica docente, Docente a Contrato, Universidad Estatal Amazónica, UEA, Puyo, Ecuador.

e-mail: [vquevedo@uea.edu.ec](mailto:vquevedo@uea.edu.ec)