

Modelamiento y simulación de sistemas de enfriamiento por absorción empleando energía solar, según TRNSYS 17

José Antonio Romero¹

jromero@uea.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-7870-2908>

Universidad Estatal Amazónica
Ecuador

María Del Cisne Loján

mlojan@uea.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5345-5859>

Universidad Estatal Amazónica
Ecuador

Karla Yerovi

karlitayerovi@yahoo.es

<https://orcid.org/0009-0001-3774-5474>

CACPE Pastaza
Ecuador

Andrea Yajaira Romero

ay.romerop@uea.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-6734-1040>

Universidad Estatal Amazónica
Ecuador

Juan Elías Gonzalez

jgonzalez@uea.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0674-7741>

Universidad Estatal Amazónica
Ecuador

RESUMEN

Este artículo presenta el modelamiento y la simulación de un sistema de enfriamiento por absorción empleando energía solar como alternativa para la climatización de edificaciones en climas cálidos y húmedos como es el laboratorio del Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica de la Universidad Estatal Amazónica. Las simulaciones fueron realizadas empleando el programa Transient System Simulation Tool (TRNSYS 17). El sistema modelado y simulado está conformado por los siguientes elementos fundamentales: colectores solares de tubos al vacío, un tanque de almacenamiento de agua caliente, un sistema auxiliar de calentamiento, una máquina de absorción, y una torre de enfriamiento. Los resultados muestran que el sistema más adecuado emplearía un área de captación de energía solar de 100 m² que será entregada con 35 colectores de tubos al vacío marca Factsheet Olymp Sunstar HP 65/20 con una inclinación de 10° orientados al norte, un volumen de almacenamiento de agua caliente de 3,2 m³ y un flujo de agua en los colectores de 3 000 kg/h, y una máquina de absorción Yazaki de simple efecto de Bromuro de Litio y Agua de 20 kW o 5,68 toneladas de refrigeración (TR).

Palabras clave: sistema de enfriamiento por absorción; máquina de absorción; colectores de tubos al vacío; torre de enfriamiento.

¹ Autor principal

Correspondencia: jromero@uea.edu.ec

Modeling and simulation of absorption cooling systems using solar energy, according to TRNSYS 17

ABSTRACT

This paper presents the modeling and simulation of an absorption cooling system using solar energy as an alternative for the air conditioning of buildings in hot and humid climates such as the laboratory of the Experimental Center for Amazonian Research and Production of the Amazon State University. The simulations were performed using the Transient System Simulation Tool (TRNSYS 17). The modeled and simulated system consists of the following fundamental elements: evacuated tube solar collectors, a hot water storage tank, an auxiliary heating system, an absorption machine, and a cooling tower. The results show that the most suitable system would employ a solar energy collection area of 100 m² to be delivered with 35 Factsheet Olymp Sunstar HP 65/20 evacuated tube collectors with a 10° north-facing tilt, a hot water storage volume of 3.2 m³, collectors water flow rate of 3 000 kg/h, and a Yazaki single-acting absorption machine of Lithium Bromide and Water of 20 kW or 5.68 tons of refrigeration (TR).

Keywords: *absorption cooling system; absorption machine; evacuated tube collectors; cooling tower.*

Artículo recibido 15 junio 2023

Aceptado para publicación: 15 julio 2023

INTRODUCCIÓN

Para climatizar una instalación y conseguir las condiciones de confort, se pueden emplear la tecnología de sistemas de enfriamiento por absorción las misma que permiten incorporar fuentes energéticas dando prioridad a las de origen renovable como la energía solar. (Romero, José., 2013), (Romero, José., 2014), (Henning, H.M., Döll, J. 2012).

Se utiliza el software TRNSYS, para la modelación de la demanda de aire acondicionado, según las referencias la demanda de aire acondicionado de una casa de 120 m² 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 m² de captadores solares de placa plana con una inclinación de 35° y un tanque de almacenamiento de agua caliente de 0,8 m³. (Djelloul et al., 2013).

La máquina de absorción de LiBr-H₂O de simple efecto es el elemento fundamental en los sistemas de enfriamiento por absorción empleando energía solar. (Prasartkaew, B., 2014), (Tsekouras et al., 2014).

En esta investigación se muestran los resultados de la modelización y simulación a través de TRNSYS de un sistema de refrigeración solar por absorción se describen en la referencia, con el fin de satisfacer parcialmente la demanda térmica de un edificio de oficinas. La carga térmica por hora máxima llega a los 153 kW en el mes de marzo, el modelo propuesto usa captadores de tubos al vacío, una máquina de refrigeración de absorción de LiBr-H₂O de simple efecto Yazaki WFC SC 50 con 175 kW de potencia nominal, un tanque de almacenamiento de agua caliente de 16 m³ y una caldera auxiliar externa, la superficie acondicionada es 1 296 m² y corresponde a la última planta de un edificio de 15 pisos. La pendiente óptima para los captadores solares Sunstar Olymp HP 65/20 de 2,92 m² en Guayaquil (Ecuador) es de 10°, se requiere de 600 m² de captadores solares de tubos al vacío. Estos resultados muestran que el sistema más adecuado se puede alcanzar con una fracción solar anual de 0,6 (Naranjo et al., 2013).

La investigación indica el estudio numérico de un sistema solar de aire acondicionado para tres climas diferentes en Australia. La superficie de estudio a climatizar es de 100 m² que emplea una máquina de absorción de Bromuro de Litio y Agua de 10 kW de capacidad de enfriamiento. Se determinó que el sistema óptimo está constituido por una superficie de 50 m² de captadores solares planos y un tanque de almacenamiento del agua caliente de 1,8 m³ (Baniyounes et al., 2013).

Según (Louafi et al., 2013), muestra que un sistema de refrigeración solar de bromuro de litio y agua, con una capacidad de enfriamiento de 4,5 kW, 12 m² de captadores solares de placa plana con una inclinación de 23° y un tanque de almacenamiento de 0,5 m³ llega a cubrir la demanda de aire acondicionado en una casa de 20 m².

En esta investigación, se evalúa el desempeño de una máquina de absorción que funciona con LiBr-H₂O de 35 kW de capacidad de enfriamiento la cual es impulsada por un grupo de captadores solares de tubos al vacío de 72 m² y un sistema auxiliar de gas. Los resultados del estudio indicaron que el COP promedio real del sistema fue de 0,33; mientras que los valores máximos y mínimos fueron 0,50 y 0,17 respectivamente; estos resultados se obtuvieron en base al promedio de la eficiencia del captador y la fracción solar de 0,55; y con una temperatura ambiente de 32°C (Ketjoy et al., 2013).

La investigación de Sphaier y Nobrega (2014), manifiesta que, en los sistemas de absorción accionados térmicamente, las principales tecnologías de refrigeración son los sistemas de refrigeración por absorción y con rueda desecante.

La investigación de Romero, Carbonell, y Quevedo (2016), presentan un estudio comparativo de un sistema de refrigeración solar simple efecto LiBr-agua por absorción y un sistema de enfriamiento con rueda desecante usando energía solar. El estudio se realiza mediante la simulación dinámica de estos sistemas en un laboratorio caso de estudio, en condiciones de clima cálido y húmedo y empleando el software TRNSYS 17. Se simuló el comportamiento de ambas tecnologías usando colectores solares planos y de tubos al vacío. Ambos sistemas garantizan los parámetros de temperatura y humedad requeridos en el laboratorio estudiado.

METODOLOGÍA

Descripción de la instalación objeto de estudio y datos climatológicos.

El estudio se realizó en los laboratorios del Centro Experimental de Investigación y producción Amazónica (CEIPA) de la Universidad Estatal Amazónica, ubicado el cantón Santa Clara entre las provincias Pastaza y Napo, en el kilómetro 44 vía Puyo-Tena, las condiciones meteorológicas del CEIPA corresponden a un clima cálido y húmedo, la temperatura ambiente anual varía entre 19°C a 32°C, y la humedad relativa ambiente anual varía de 40% a 97% (ASHRAE 2004) e (INAMHI 2020).

Los laboratorios del CEIPA cuentan con diez ambientes: Aula biblioteca (Área 24m²); Oficina técnicos

(Área 15,04 m²); Estereoscopia (Área 15,36 m²); Colección de herbario (Área 71,1 m²); Pre-archivo (Área 15,36 m²); Dirección (Área 8,84 m²); Bodega (6,45 m²); Baño (2,03 m²); Sala de espera (21,97 m²); y Hall (Área 44,80 m²).

Esta instalación tiene un área total de 224,95 m² y una altura de 2,7 m.

La toma de datos de las variables independientes (Temperatura °C, Humedad %, radiación solar W/m²), fueron interpretados mediante el software EASY WEATHER PLUS y también mediante METEONOROM. El cálculo de la demanda de enfriamiento del laboratorio caso de estudio se realizó empleando el software CARRIER versión 4.04 (Carrier 2014). En el laboratorio estudiado la carga total a vencer es de 19,62 kW, lo que equivale a 5,57 toneladas de refrigeración (TR).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

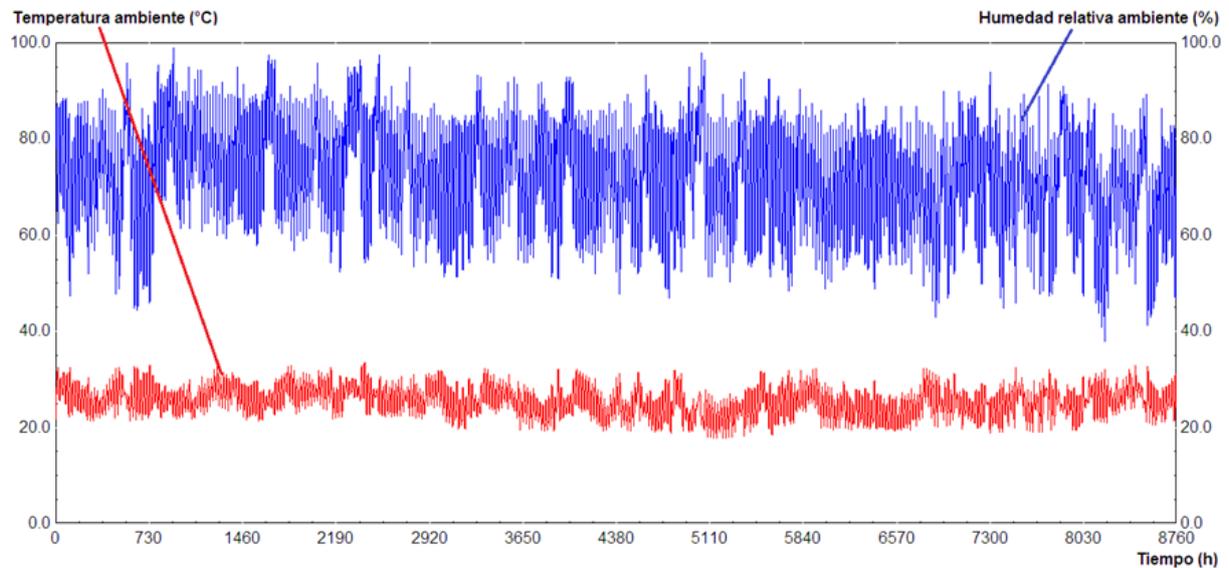
Los resultados de los cálculos de las cargas térmicas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados del cálculo de carga térmica.

Tipos de Cargas	Valor
Carga sensible total del sistema (kW)	13,724
Carga latente total del sistema (kW)	5,892
Carga total (kW)	19,616
Carga total (Toneladas de Refrigeración)	5,57
% de carga latente sobre carga total	30,04
% de carga sensible sobre carga total	69,96

La figura 1, muestra la variación anual de la temperatura y humedad relativa del año 2022 en el CEIPA, según esta variación de temperatura considerada, genera la necesidad de climatización durante todo el año. El CEIPA por encontrarse a la cercanía de la línea ecuatorial hace que esta región tenga un fuerte potencial solar durante aproximadamente 12 horas de sol por día.

Figura 1. Variación anual de la Temperatura y Humedad relativa ambiente del año 2022 en el CEIPA-UEA, Pastaza, Ecuador.

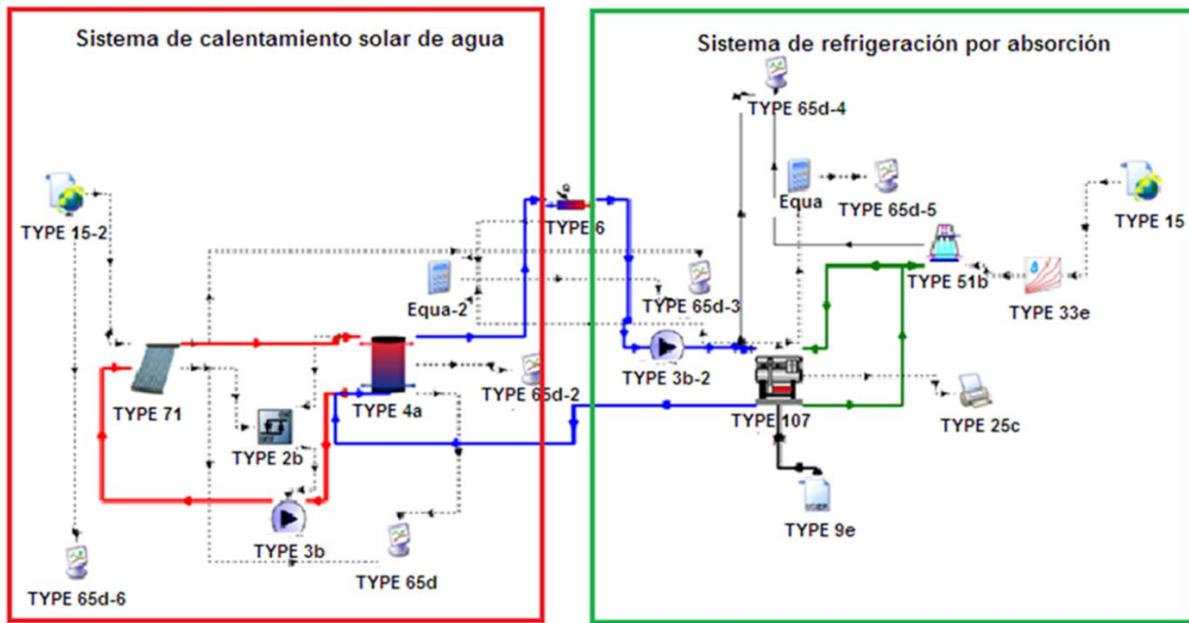


(Romero, 2022)

En la figura 2, la modelación y simulación empleando TRNSYS del sistema de enfriamiento solar por absorción propuesto en el laboratorio objeto de estudio, está conformado por dos partes: el sistema de calentamiento solar de agua y por el sistema de refrigeración o enfriamiento por absorción.

La radiación solar incidente calienta el agua en un campo de colectores solares de tubos al vacío (TYPE 71), esta agua caliente fluye hacia un tanque de almacenamiento (TYPE 4a), y posteriormente es transportada hasta la máquina de absorción (TYPE 107) a través de un calentador auxiliar (TYPE 6) 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 (TYPE 51b) y retorna a la misma después de condensar el refrigerante. De acuerdo con la demanda térmica a satisfacer, se emplea un flujo variado de agua fría a 7°C a la salida de la máquina de absorción. Las simulaciones del modelo planteado fueron realizadas a través del programa TRNSYS 17, constituye una herramienta más empleada en la simulación de esta clase de sistemas. TRNSYS 17 contiene distintas librerías con muchos componentes que se emplean normalmente en esta clase de sistemas, en especial los componentes de lectura de archivos externos como datos meteorológicos y datos de comportamiento de máquinas comerciales; por estas razones, el programa TRNSYS 17 se ajusta adecuadamente al comportamiento real de un sistema a lo largo del tiempo.

Figura 2. Sistema de enfriamiento solar por absorción modelado en TRNSYS 17.

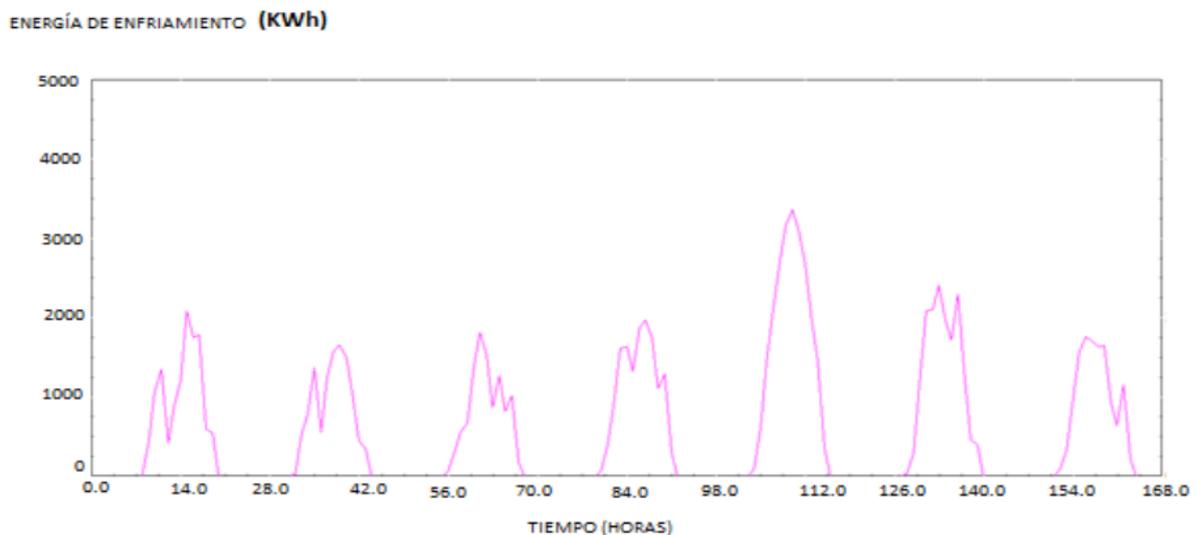


(Romero, 2022)

La simulación y modelación de este sistema se realizó empleando tres áreas de sistema de captación solar de: 90, 100 y 110 m², obteniéndose mejores resultados cuando se emplea un área de captación de 100 m². Se obtiene valores máximos de calentamiento total de 36,5 kW/h; y radiación solar global de 1050 W/m².

La figura 3, muestra el valor máximo de energía de enfriamiento que se detectó el viernes con 3 400 kWh y el valor mínimo el martes con 1 700 kWh.

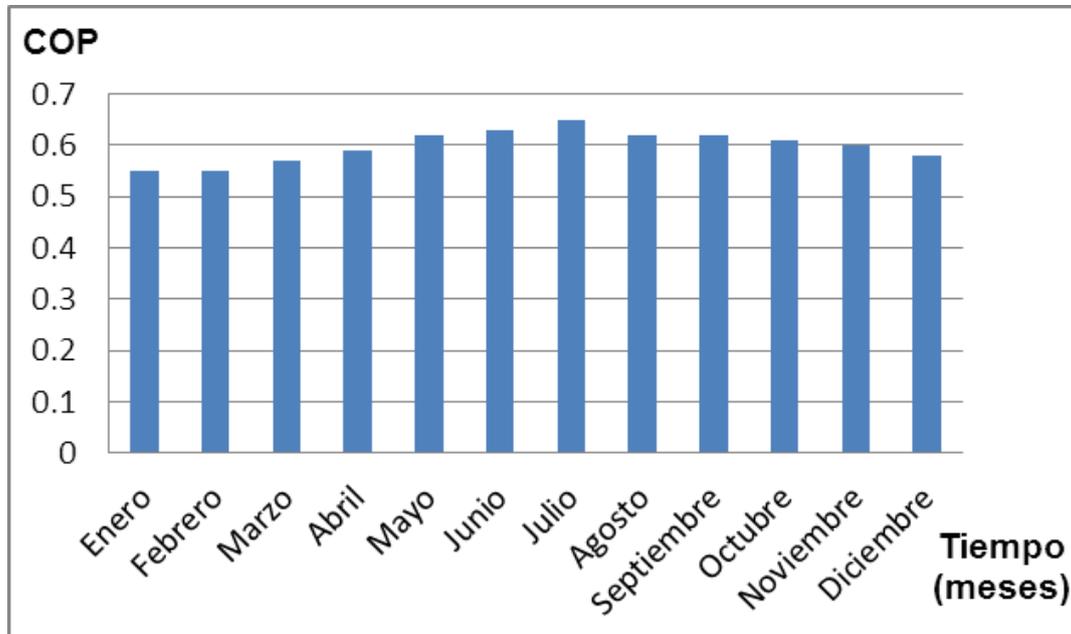
Figura 3. Energía de enfriamiento



(Romero 2022)

La figura 4, indica el coeficiente de rendimiento (COP) de la máquina de absorción, este coeficiente varía de 0,56 a 0,65. El COP declarado por el fabricante es de 0,7.

Figura 4. Coeficiente de rendimiento de la máquina de absorción, modelado y simulado con TRNSYS



(Romero 2022).

Como la energía que se va a utilizar en el sistema de enfriamiento por absorción es la energía solar se debe seleccionar la tecnología captadora. Por estudio bibliográfico realizado 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 considera los colectores solares de tubos al vacío Factsheet Olymp Sunstar HP 65/20, teniendo fundamentalmente, en cuenta su eficiencia, costos de instalación, costos de mantenimiento y disponibilidad.

Para este análisis se consideró la cantidad de calor que se aporta por medio de los colectores solares y del sistema auxiliar de calentamiento a la máquina de absorción. Para determinar la pendiente óptima de los colectores solares HP 65/20 Olymp Sunstar de 2,92 m² a emplearse en el CEIPA, se analiza la cantidad de energía captada a diferentes ángulos de inclinación durante un año.

La máquina de absorción seleccionada corresponde a una máquina de absorción Yazaki de simple efecto de Bromuro de Litio y Agua de 20 kW o 5,68 toneladas de refrigeración (TR).

CONCLUSIONES

En el estudio realizado se muestra al sistema de enfriamiento solar por absorción como una alternativa interesante para climatizar los laboratorios del CEIPA de la Universidad Estatal Amazónica en la ciudad del Puyo, provincia de Pastaza, debido a que el Ecuador cuenta con un alto potencial solar.

El sistema de enfriamiento simulado y modelado emplea el programa TRNSYS 17, constituido por un área de captación de energía solar de 100 m² que será entregada con 35 colectores de tubos al vacío marca Factsheet Olymp Sunstar HP 65/20 con una inclinación de 10° orientados al norte, un volumen de almacenamiento de agua caliente de 3,2 m³ y un flujo de agua en los colectores de 3 000 kg/h; que permiten operar una máquina de absorción Yazaki de simple efecto de Bromuro de Litio y Agua de 20 kW o 5,68 toneladas de refrigeración (TR). El coeficiente de rendimiento COP de la máquina de absorción varía de 0,56 a 0,65.

LISTA DE REFERENCIAS

- American Society of Heating Refrigerating and Air conditioning Engineers (ASHRAE). (2004). Thermal Environment Conditions for Human Occupancy (Standard No. ANSI/ASHRAE 55-2004). Atlanta-USA: ASHRAE. Obtenido de <https://www.slideshare.net/MakeValenciaParedes/ashrae-55-2004-thermal-comfortstandard>.
- Baniyounes, A., Rasul, M., Khan, M. (2013). Assessment of solar assisted air conditioning in Central Queensland's subtropical climate, Australia, 27(0), 334-341. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014811200393X>. ISSN 0960-1481.
- Carrier. (2014). Hourly Analysis Program HVAC System Design Software: Carrier 4.04. Obtenido de <http://www.carrier.com/commercial/en/us/software/hvac-system-design/software-downloads/>.
- Chiller, G.A. (2014). Solar Absorption Chiller, in Solar Absorption Chiller, L. SHANGHAI GLORIOUS REFRIGERATION EQUIPMENTS CO., Editor. Obtenido de <https://www.tradeindia.com/products/solar-water-absorption-chiller-464857.html>.
- Djelloul, A., Draoui & N. Moumami. (2013). Simulation of a solar driven air conditioning system for a house in dry and hot climate of Algeria. Courrier du Savoir. n.15. 31-39. Obtenido de <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/128/15/15/79051>. ISSN 1112-3338.

- Easy Weather Plus. (2018). Transfers weather station feedback to computers. Obtenido de <https://easyweatherplus.software.informer.com/>.
- Henning, H.M., Döll, J. (2012). Solar systems for heating and cooling of buildings. *Energy Procedia*. 30. 633 – 653. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/82262534.pdf>. DOI: 10.1016/j.egypro.2012.11.073
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2020). Irradiación solar global anual promedio en el Ecuador. Obtenido de: www.inamhi.gob.ec/index.php/paute.
- Ketjoy, N., R. Yongphayoon & K. Mansiri. (2013). Performance Evaluation of 35 kW LiBr H₂O 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, *Energy Procedia*. 34. 198-210. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/273859684>. DOI: 10.1016/j.egypro.2013.06.748.
- Louafi, S & B. Draoui. 2013. Simulation and optimisation of a solar driven air conditioning system for a house in south Algeria (Bechar). *International Conference on Energy and Sustainable Development*. Obtenido de <https://www.univ-biskra.dz/revues/index.php/cds/article/view/395> ISSN 1112-3338.
- Meteonorm, Irradiation data for every place on Earth, in *Meteonorm 7*. 2021. Obtenido de https://www.pvsyst.com/help/meteo_source_meteonorm.htm.
- Naranjo, C., Rouse & G. Quesada. (2013). Modeling of a solar absorption cooling system for Guayaquil, Ecuador. 2nd International Conference on Renewable Energy Research and Applications Madrid, Spain. 20-23. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/271492832_Modeling_of_a_solar_absorption_cooling_system_for_Guayaquil_Ecuador. DOI:10.1109/ICRERA.2013.6749870.
- OlympSunstar, Sunstar High energy solar tubes, in *OlympSunstar HP 65/20*. 2014. Obtenido de <https://www.yumpu.com/en/document/view/682788>.
- Prasartkaew, B. (2014). Performance Test of a Small Size LiBr-H₂O Absorption Chiller. *Energy Procedia*. 56. 487 – 497. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214010455>.

DOI.org/10.1016/j.egypro.2014.07.183.

Romero, J.A. (2013). Tecnologías de fuentes renovables de energía para emplear en sistemas de refrigeración por sorción en la provincia de Pastaza, Ecuador, in Facultad de Ingeniería Mecánica., CUJAE. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/319306199>. DOI:10.13140/RG.2.2.33757.72165.

Romero, J.A., Carbonell, T. (2014). Sistema de refrigeración solar por absorción para la comunidad de Kumay en Ecuador. in Facultad de Ingeniería Mecánica., CUJAE. 35(3), 286-294. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3291/329132445013.pdf>. ISSN 1815 - 5901.

Romero, J.A., Carbonell, T., Quevedo, V.F. (2016). Simulación de un sistema de refrigeración solar por absorción. Ingeniería Energética. 37(2), 84-93. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012016000200009&lng=es&nrm=iso. ISSN 1815-5901.

Sphaier, L.A., Nobrega, C. (2014). Desiccant Cooling Cycle Tuning for Variable Environmental Conditions. Heat Transfer Engineering. 35(1), 1035-1042. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1080/01457632.2013.863071>. ISSN 0145-7632.

Tsekouras, P., Drosoua, V., Tzivanidisb, C., Antonopoulos, K.A. (2014). Experimental results of a solar absorption cooling plant in Greece. International Journal of Sustainable Energy. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/262487066>. DOI:10.1080/14786451.2014.899229.

TRNSYS, Transient systems simulation program, in Trnsys 17. (2015). By the Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison. Obtenido de <http://web.mit.edu/parmstr/Public/TRNSYS/04-MathematicalReference.pdf>.