



# GENERACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA MEDIANTE EL USO DE BOMBAS DE CALOR ASISTIDAS POR ENERGÍA SOLAR

William Giovanni Quitiaquez Sarzosa, César Alejandro Isaza Roldán, Luis Fernando Toapanta Ramos, René Patricio Quitiaquez Sarzosa

Universidad Politécnica Salesiana  
Quito, Ecuador

## Resumen

Durante el consumo de agua caliente en el sector residencial se produce un desperdicio de agua en relación al método utilizado para su obtención, para el uso de calefones a gas, se necesita de un determinado tiempo para que el agua se caliente y pueda ser utilizada; los calentadores de agua eléctricos, generan agua caliente sanitaria de una manera rápida, pero a su vez se debe considerar el consumo energético que representa; una alternativa para solucionar los problemas del desperdicio de agua y el consumo energético, es realizar una investigación sobre el uso de bombas de calor asistidas por energía solar (SAHP), la cual se realiza con miembros tanto de la Universidad Politécnica Salesiana de Quito-Ecuador, como de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín-Colombia, se analizan los diferentes componentes de las SAHP; evaporador, compresor, válvula de expansión, condensador, el uso de refrigerantes ecológicos, con la finalidad de generar agua caliente y que esta se encuentre a disposición todos los días del año, sin generar desperdicios de agua y además, para ayudar a la reducción de la contaminación del planeta, reduciendo la cantidad de emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a la atmósfera. En los resultados obtenidos se encuentra una temperatura superficial en el colector / evaporador que alcanza los 354 K en diferentes lugares del colector, con una velocidad promedio de 2.81 m/s, se utiliza como fluido de trabajo refrigerantes R134a y R600a.

**Palabras clave:** consumo de agua; bombas de calor; agua caliente

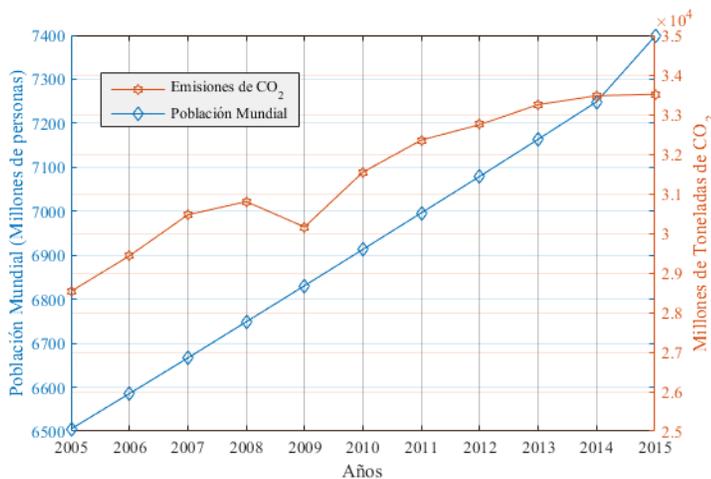
**Abstract**

*During the consumption of hot water in the residential sector there is a waste of water in relation to the method used for their obtain, for the use of gas heaters, it takes a certain time for the water gets hot and can be used; the electric water heaters generate domestic hot water in a fast way, but they should also consider the energy consumption, an alternative for solve the problems waste of water and energy consumption, is to perform an investigation about the use of solar-assisted heat pumps (SAHP), which is performed with members from the Salesian Polytechnic University of Quito-Ecuador and the University Pontifical Bolivarian of Medellin-Colombia, the different components of SAHP are analyzed; evaporator, compressor, expansion valve, condenser, use of organic refrigerants, with the goal by generating hot water and that it is available every day of the year, without generating waste of water, and as well for help reduce pollution of the planet, it reducing the quantity of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) to the atmosphere. In the results obtained is found a surface temperature in the collector / evaporator reaches 354 K in different places of the collector an average velocity of 2.81 m / s; is used as working fluid, refrigerants R134a and R600a.*

**Keywords:** water consumption; heat pump; heat water

**1. Introducción**

Para el calentamiento de agua mediante el uso de equipos como calentadores de agua eléctricos de almacenamiento, calentadores de agua instantáneos se utiliza energía eléctrica proveniente de combustibles fósiles, los cuales favorecen el cambio climático y a la contaminación, estos impactos ambientales son generados por el uso de dichos combustibles; debido al crecimiento industrial, la emisión de gases de efecto invernadero cada vez es mayor, siendo el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) el principal contaminante [1]. En la figura 1 se muestra la relación entre la población mundial con las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas.



**Figura 1.** Población mundial y emisiones de CO<sub>2</sub> vs años [2, 3, 4].

En el sector residencial se utiliza en mayor cantidad el Gas Licuado de Petróleo (GLP) y electricidad para la obtención agua caliente y esta a su vez, se utiliza para saneamiento e higiene, incluyendo lavado y secado de ropa, lavavajillas, cocción de alimentos [5, 6, 7]. El calentamiento de agua sanitaria residencial [8] ocupa el tercer lugar de consumo energético.

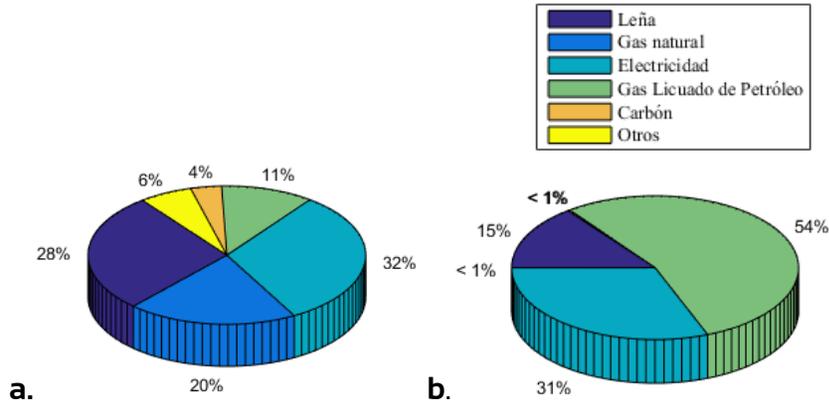


Figura 2. Consumo energía en el sector residencial. a) Colombia b) Ecuador [9, 10].

## 2. Análisis de la demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS)

Para el análisis de demanda de ACS se considera los datos de la tabla 1, donde se aprecia que el consumo de una persona en una residencia es de 41 litros a 60°C [11]. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) en la provincia de Pichincha el promedio de personas por hogar es de 3,54 por lo tanto, una familia promedio necesita 164 litros/día de agua caliente sanitaria.

Tabla 1. Criterio de demanda de ACS [11].

Criterio de demanda	Litros/día-unidad	Unidad
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/hostal	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona

Nota: Demanda de referencia a 60°C

Según la Empresa Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS) se puede determinar valores de consumo de agua; si una ducha está abierta durante 5 minutos aproximadamente se utilizan 62 litros de agua, los cuales pueden ser utilizados para llenar más de 300 vasos de agua; al utilizar el fregadero en un intervalo de 4 minutos se utilizan 44 litros de agua los cuales pueden ser utilizados para una provisión mínima de líquido que requiere el organismo de 15 personas al día. En función del tamaño, la conexión, la distancia a la cual se realiza la instalación, el agua se tarda en calentarse, se considera un tiempo promedio de 30 segundos los cuales tomaría generar el agua caliente, este tiempo arrojaría un desperdicio de agua de 6.2 litros aproximadamente.

Este desperdicio puede ser reducido al utilizar un sistema que cuente con un tanque de almacenamiento de agua caliente, además de utilizar un regulador de temperatura, con el cual se puede proporcionar agua caliente a la temperatura deseada, una SAHP al utilizar energía solar para su funcionamiento, puede reducir la cantidad de electricidad que se utiliza para el calentamiento de agua

### 3. Bombas de calor asistidas por energía solar (SAHP)

La implementación de un sistema de bomba de calor asistida por energía solar en la producción de agua caliente sanitaria puede generar una reducción en el consumo de energía eléctrica de al menos un 12% [12], y brindar agua caliente en cualquier instante, favoreciendo el uso eficiente del agua. En comparación con un calentador de agua por resistencia, una bomba de calor asistida por energía solar ahorra entre un 40% a 60% en el consumo energético.

El caso desarrollado es una bomba de calor asistida por energía solar; conlleva el uso de un colector solar térmico como fuente de energía calórica para el ciclo de la bomba de calor, el volumen de producción de agua caliente sanitaria varía en función de las necesidades del lugar para el presente caso se considera el uso de agua en una vivienda unipersonal en la cual el consumo de agua caliente asciende a 41 litros por día.

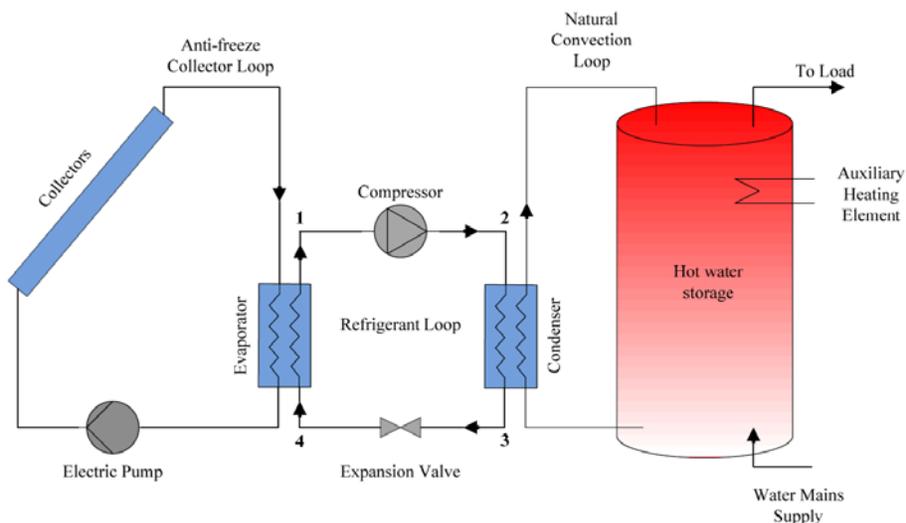


Figura 3. Diagrama de una bomba de calor asistida por energía solar [13].

Actualmente la investigación está enfocada en la simulación del colector evaporador utilizando diferentes tipos de refrigerantes con el objetivo de conocer el comportamiento de cada uno de ellos, cabe indicar que actualmente los refrigerantes R12 y R22 no deben ser utilizados puesto que perjudican la capa de ozono. Para determinar la cantidad de radiación solar incidente en la superficie se realizan simulaciones en el software ANSYS Fluent, a continuación, se muestran algunos resultados obtenidos en base a las simulaciones realizadas, el modelo de serpentín puede variar con el fin de obtener mejores resultados.

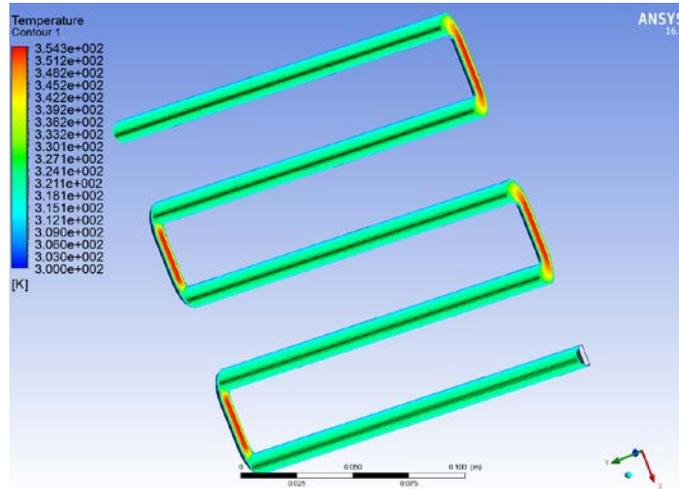


Figura 4. Simulación del colector de una SAHP (Temperatura).

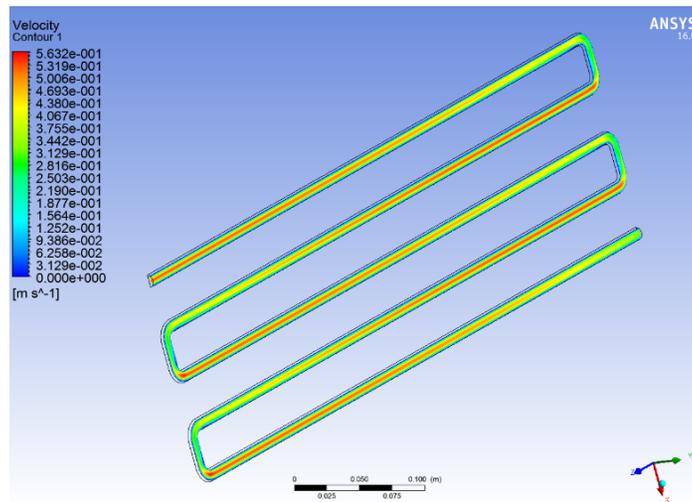


Figura 5. Simulación del colector de una SAHP (Velocidad).

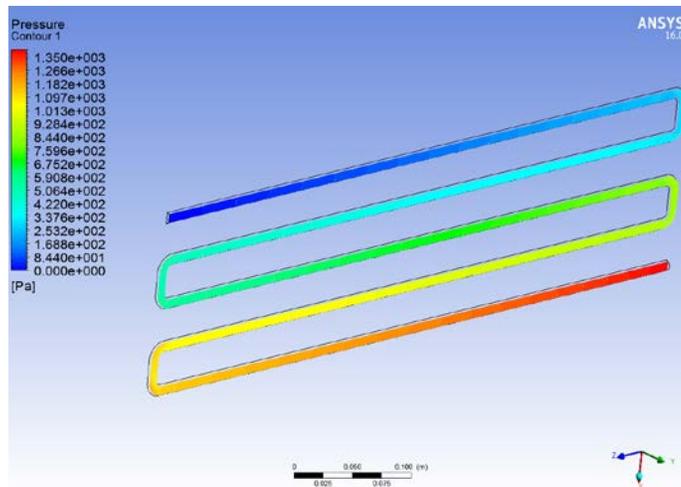


Figura 6. Simulación del colector de una SAHP (Presión).

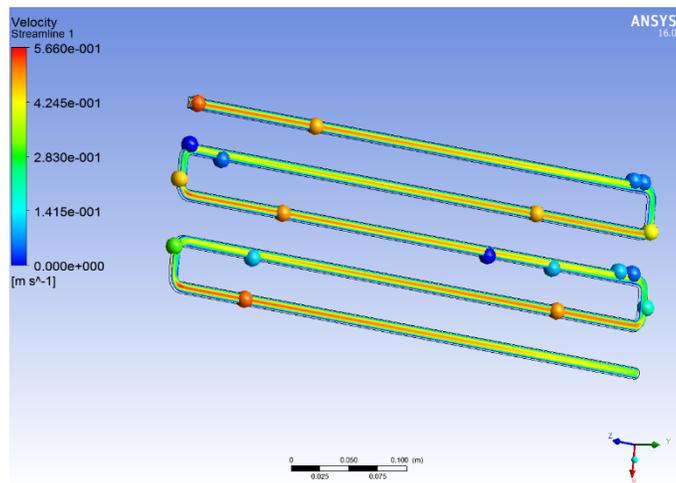


Figura 7. Simulación del colector de una SAHP (Velocidad movimiento).

El estudio de diferentes refrigerantes para reemplazar al R-12 en un sistema DX-SAHP [14], indica que los valores más altos de coeficiente de rendimiento (COP) se producen utilizando los refrigerantes R-22 y R-134a, la temperatura del colector oscila entre 0 – 20 °C, una comparación entre los refrigerantes R-410A y R-407C, indica que el R-410A es más eficiente que el R-407C o del R-404a pero no como el R-134a, el refrigerante R-410a produce valores de COP que son de 15-20 % más bajos que los obtenidos con el R-134a.

Con relación a la implementación del equipo, en primer lugar, se realizan las simulaciones con los diferentes refrigerantes, posterior a ellos se seleccionarán los equipos tales como un compresor el cual puede trabajar con velocidad variable, el equipo será construido en su totalidad en la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador.

#### 4. Conclusión

Para utilizar de manera eficiente el agua y evitar desperdicios, en primer lugar se debe cambiar la forma de pensar de las personas, como por ejemplo al momento del baño el gasto de agua es considerable como se explicó en párrafos anteriores, además, se necesita implementar nuevos equipos como por ejemplo las bombas de calor con asistencia solar, las cuales proporcionan agua caliente, ayudan a mitigar el impacto ambiental puesto que reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y son innovaciones que se deben continuar realizando para evitar un daño irreversible al planeta ya que para su funcionamiento utilizan fuentes renovables de energía.

Al calentar el agua con una fuente renovable como lo es la energía solar se está reduciendo la cantidad de dióxido de carbono emitido a la atmósfera en comparación del uso de combustibles fósiles; las simulaciones realizadas corroboran los resultados obtenidos en la práctica, llegando a una temperatura promedio de 330 K; además de la velocidad de entrada y salida del fluido en un promedio de 2 m/s, considerando que la longitud total de los tubos es de 3.16 m.

El uso de refrigerantes ecológicos es un parámetro fundamental en la investigación, las simulaciones se realizan con refrigerantes R134a – R600a – R407c – R410a, todo ello para verificar el comportamiento de los refrigerantes al ser colocados en un colector evaporador en el cual incide la radiación solar.

#### 5. Referencias

- [1] F. Mondani, S. Aleagha, M. Khoramivafa and R. Ghobadi, "Evaluation of greenhouse gases emission based on energy consumption in wheat Agroecosystems," *Elsevier - Energy Reports*, pp. 37-45, 2017.
- [2] International Energy Agency, "World: Indicators," 03 2017. [Online]. Available: <https://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=WORLD&product=indicators&year=2014>.
- [3] REN21, "Renewable Energy Policy Network for the 21st Century," 05 2016. [Online]. Available: [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR\\_2016\\_Full\\_Report\\_lowres.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR_2016_Full_Report_lowres.pdf).
- [4] BP Statistical Review of World Energy, "BP Statistical Review of World Energy," 03 2017. [Online]. Available: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>.
- [5] International Institute for Applied Systems Analysis, "Energy End-Use," 2012. [Online]. Available: [http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/GEA\\_Chapter10\\_buildings\\_lowres.pdf](http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/GEA_Chapter10_buildings_lowres.pdf).
- [6] N. Ogueke, E. Anyanwu and O. Ekechukwu, "A review of solar water heating systems," *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 1, pp. 1-20, 2009.

- [7] Agencia de Gestión de Energía de la Región de Murcia, "Consumo en el hogar," [Online]. Available: [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random493ea37fa7d61/1228844162\\_Fichas\\_sobre\\_ahorro\\_energetico\\_ARGEM.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random493ea37fa7d61/1228844162_Fichas_sobre_ahorro_energetico_ARGEM.pdf).
- [8] J. Chen and L. Yu, "Theoretical analysis on a new direct expansion solar assisted ejector-compression heat pump cycle for water heater," *Solar Energy*, no. 142, pp. 299-307, 2017.
- [9] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, "Balance Energético Nacional," 2015. [Online]. Available: <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/01/Balance-Energe%CC%81tico-Nacional-2015-parte-2.pdf>.
- [10] Ministerio de Minas y Energía, "Programa de uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales - PROURE," 19 Abril 2010. [Online]. Available: [https://www.minminas.gov.co/documents/10180/558752/Informe\\_Final\\_Consumatoria\\_Plan\\_de\\_accion\\_Prooure.pdf/e8cdf796-d7b1-4bb1-90b9-e756c7f48347](https://www.minminas.gov.co/documents/10180/558752/Informe_Final_Consumatoria_Plan_de_accion_Prooure.pdf/e8cdf796-d7b1-4bb1-90b9-e756c7f48347).
- [11] Ministerio de Fomento, "Certificados Energéticos," 2013. [Online]. Available: [http://www.certificadosenergeticos.com/wp-content/uploads/2015/12/Doc\\_CTE\\_HE\\_Ahorro\\_Energ%C3%ADa.pdf](http://www.certificadosenergeticos.com/wp-content/uploads/2015/12/Doc_CTE_HE_Ahorro_Energ%C3%ADa.pdf).
- [12] J. P. Fine, J. Friedman and S. B. Dworkin, "Detailed modeling of a novel photovoltaic thermal cascade heat pump," *Elsevier - Renewable Energy*, pp. 500-513, 2016.
- [13] A. G. Bridgeman, *Experimental Analysis of an Indirect Solar Assisted Heat Pump for Domestic Water Heating*, Ontario: Queen's University, 2010.
- [14] F. Gorozabel, S. Chaturvedi and A. Almogbel, "Analysis of a direct expansion solar assisted heat pump using different refrigerants," *Energy Conversion & Management*, vol. 46, pp. 2614 - 2624, 2005.

## Sobre los autores

- **William Giovanni Quitiaquez Sarzosa:** Estudiante de Doctorado en Ingeniería – Magister en Gestión de Energías, Ingeniero Mecánico, Docente Investigador de la Carrera de Ingeniería Mecánica – Universidad Politécnica Salesiana de Quito-Ecuador. [wquitiaquez@ups.edu.ec](mailto:wquitiaquez@ups.edu.ec)
- **César Alejandro Isaza Roldán:** Doctor en Ingeniería, Magister en Ingeniería, Ingeniero Mecánico, Docente Investigador – Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín-Colombia. [cesar.isaza@upb.edu.co](mailto:cesar.isaza@upb.edu.co)
- **Luis Fernando Toapanta Ramos:** Estudiante de Doctorado en Ingeniería – Magister en Gestión de Energías, Ingeniero Mecánico, Docente Investigador de la Carrera de Ingeniería Mecánica – Universidad Politécnica Salesiana de Quito-Ecuador. [ftoapanta@ups.edu.ec](mailto:ftoapanta@ups.edu.ec)
- **René Patricio Quitiaquez Sarzosa:** Magister en Gestión de la Producción, Ingeniero Mecánico, Docente Investigador de la Carrera de Ingeniería Mecánica – Universidad Politécnica Salesiana de Quito-Ecuador. [rquitiaquez@ups.edu.ec](mailto:rquitiaquez@ups.edu.ec)

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2017 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)