EDITORIAL

Two-phase thermosiphons: Technology for the efficient and rational use of energy

According to the National Energy Efficiency Plan 2022-2026, one of the most commonly used forms of measuring a country's energy efficiency is the ratio between energy consumption and gross domestic product[1]. Chile has not completely decoupled energy consumption from economic growth, which has experienced significant increases in recent years. The Energy Efficiency Action Plan 2020 (PAEE20) includes a series of actions aimed at promoting energy efficiency in the different economic sectors of the country. Within the vast majority of these initiatives, there is a pressing need to invest in developing and transferring new technologies to use the country's energy resources better. The two-phase thermosyphon technology is presented as a proven alternative for developing new equipment for efficient and rational use of energy.

Two-phase thermosyphons are simplified heat pipe devices capable of transferring large amounts of heat with small temperature gradients, i.e., heat superconductors. These devices operate in a closed cycle of evaporation and condensation of a certain working fluid, which is selected according to the operating temperature[2]. Thermosyphons are manufactured from a metal tube that can be divided into three sections, evaporator, adiabatic section, and condenser. During operation, heat is introduced into the evaporator, causing the phase change of the working fluid, which is initially in a liquid state. The generated vapor travels through the adiabatic section to the device's condenser, exchanging heat with the environment and causing condensation of the working fluid. The condensed liquid returns to the evaporator by gravity, thus closing the thermodynamic cycle. It is relevant to point out that for the correct operation of this device, the evaporator must always be positioned below the condenser.

An early patent related to two-phase thermosyphon technology was registered in the mid-1800s and attributed to A.M. Perkings and J. Perkings. The invention made by these authors corresponds to a water heater thermally fueled by a biomass furnace, where thermosyphons were used to transport heat from the furnace to the water tank. In 1944, Gauler proposed incorporating a porous medium in the device to ensure the return of the condensed liquid from the condenser to the evaporator regardless of gravity. In 1964, this device began to be called Heat Pipe, which differs from the two-phase thermosyphons only by incorporating a porous medium[3].

Despite the high heat transfer capacity of heat pipe and two-phase thermosyphon, it was only in the 1960s that research in this area was increased, mainly driven by the development of the space industry and the need to develop efficient systems for thermal control in spacecraft. Since then, a vast number of studies have been carried out, expanding the use of this technology in various applications, ranging from small bakery ovens to sophisticated systems for thermal control in nuclear reactors.

---

[1] G. Pudrencio, F. Martinez-Conde, M. Padilla and F. Bradford. "Plan Nacional de Eficiencia Energética 2022-2026". Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. 2021.

[2] M.B.H. Mantelli. "Thermosyphons and heat pipes: theory and applications". Springer International Publishing. First edition. Cham, Switzerland. ISBN: 978-3-030-62773-7. 2021.

[3] M.B. Mantelli. "Thermosyphon Technology for Industrial Applications". In Thermosyphon technology for industrial applications. Heat pipes and solid sorption transformations: fundamentals and practical applications. CRC Press. First edition, pp. 411-464. Boca Raton, USA. ISBN: 9780429099939. 2013.

Considering the remarkable progress made by science in developing and applying two-phase thermosyphon and heat pipe technology. It is not unrealistic to think that the same technology initially used in spacecraft could be applied in some of the main sectors contemplated by PAEE20, such as the building, industry, and mining. In the field of energy efficiency in buildings, two-phase thermosyphon technology provides a passive alternative for cooling and heating. Different equipment has been developed for these purposes, aiming at reducing electricity consumption and, in some cases, burning fossil fuels or biomass. Recent efforts in this area of research are directed to the use of hybrid thermosyphons that allow coupling conventional energy sources with renewable sources such as solar and geothermal energy. Considering Chile's solar and geothermal potential, this is presented as a potential alternative for passive heating solutions in the country.

Regarding the industrial and mining sector, it is necessary to understand that a two-phase thermosyphon behaves thermally analogous to a conventional boiler, although thermosyphons transfer heat passively; that is, they do not need pumps to transport the working fluid. Furthermore, the correct selection of this fluid allows thermosyphons to operate at significantly lower pressures than those observed in conventional boilers, thus allowing a more reliable operation with low implementation and maintenance costs, creating a competitive advantage of this type of technology for the efficient transport of heat.

In their loop configuration, two-phase thermosyphons reach higher geometric flexibility, increasing the possibilities of industrial applications that cannot be solved directly through a boiler. Additionally, the use of two-phase thermosiphons coupled to heat exchangers, a widely studied application in the literature, is a viable alternative for heat recovery in industry and the implementation of cogeneration systems, corresponding precisely to the main proposals of the PAEE20 for this sector.

Thus, two-phase thermosyphon technology is presented as a real alternative solution focused on the efficient use of energy resources in different productive sectors of the country. However, regardless that the literature presents a large number of studies and solutions to energy problems, most of them are only at the laboratory scale, which leads to thinking that a critical approach to be taken is the promotion of applied research for the development of new industrial-scale equipment assisted by this type of technology. The Mechanical Engineering Department of the Universidad de Tarapacá (UTA) has taken the first step in the transfer of two-phase thermosyphon technology through the start-up of the Two-Phase Thermosyphon Laboratory - LABTER, which in cooperation with the Laboratory of Environmental Research of Arid Zones - LIMZA of the UTA and the Heat Pipe Laboratory - LABTUCAL of the Universidad Federal de Santa Catarina - Brazil, work to solve the main energy problems of the northern macro zone of the country through the development of new equipment assisted by the two-phase thermosyphon technology.

Dr. Luis H.R. Cisterna
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
Universidad de Tarapacá
E-mail: lrodriguez@academicos.uta.cl

EDITORIAL

Termosifones Bifásicos: Tecnología para el uso eficiente y racional de la energía

Según el Plan Nacional de Eficiencia Energética de 2022-2026, una de las formas más utilizada para medir la eficiencia energética de un país es la relación entre el consumo de energía y el producto interno bruto[1]. Chile, no ha conseguido desacoplar completamente el consumo de energía con el crecimiento económico, el cual viene experimentando aumentos significativos en estos últimos años. El Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020 (PAEE20) contempla una serie de medidas que pretende aumentar la eficiencia energética en los diferentes sectores económicos del país. En la gran mayoría de estas medidas existe la necesidad urgente de invertir en el desarrollo y transferencia de nuevas tecnologías que permitan aprovechar mejor los recursos energéticos del país. En ese contexto, la tecnología de termosifones bifásicos se presenta como una alternativa altamente validada para el desarrollo de nuevos equipos visando el uso eficiente y racional de la energía.

Los termosifones bifásicos son un tipo simplificado de tubos de calor (heat pipe) capaces de transferir grandes cantidades de calor con pequeños gradientes de temperatura, es decir, superconductores de calor. Estos dispositivos operan en un ciclo cerrado de evaporización y condensación de un determinado fluido de trabajo, el cual es seleccionado principalmente en función de la temperatura de operación[2]. Los termosifones son fabricados a partir de un tubo metálico que puede ser dividido en tres secciones, evaporador, sección adiabática y condensador. Durante la operación, el calor es introducido en el evaporador, provocando el cambio de fase del fluido de trabajo, el cual se encuentra inicialmente en estado líquido. El vapor generado se desplaza a través de la sección adiabática hasta el condensador del dispositivo, intercambiando calor con el ambiente y provocando la condensación del fluido de trabajo. El líquido condensado retorna al evaporador por acción de la gravedad, cerrando así, el ciclo termodinámico. Es importante destacar que para el correcto funcionamiento de ese dispositivo es necesario que el evaporador siempre sea posicionado debajo del condensador.

La primera patente relacionada a la tecnología de termosifones bifásicos fue registrada a mediados de 1800 y atribuida a A.M. Perkings y J. Perkings. La invención realizada por estos autores corresponde a un calentador de agua alimentado térmicamente por un horno de biomasa, donde los termosifones fueron utilizados para el transporte del calor desde el horno hasta el tanque de agua. En 1944, Gauler propone incorporar un medio poroso al dispositivo, con el objetivo de garantizar el retorno del líquido condensado desde el condensador hasta el evaporador independientemente de la acción de la gravedad. A partir del año 1964, este dispositivo comenzó a ser llamado de Heat Pipe, el cual se diferencia de los termosifones bifásicos apenas por la incorporación de un medio poroso[3].

A pesar de la gran capacidad de transferencia de calor de los tubos de calor y termosifones bifásicos, fue solo a partir de la década de los 60 que las investigaciones en esta área fueron intensificadas, debido principalmente al desarrollo de la industria espacial y la necesidad de desenvolver sistemas eficientes para el control térmico en vehículos espaciales.

---

[1] G. Pudrencio, F. Martinez-Conde, M. Padilla and F. Bradford. "Plan Nacional de Eficiencia Energética 2022-2026". Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. 2021.

[2] M.B.H. Mantelli. "Thermosyphons and heat pipes: theory and applications". Springer International Publishing. First edition. Cham, Switzerland. ISBN: 978-3-030-62773-7. 2021.

[3] M.B. Mantelli. "Thermosyphon Technology for Industrial Applications". In Thermosyphon technology for industrial applications. Heat pipes and solid sorption transformations: fundamentals and practical applications. CRC Press. First edition, pp. 411-464. Boca Raton, USA. ISBN: 9780429099939. 2013.

Desde ese entonces a la fecha, una gran cantidad de investigaciones han sido realizadas, ampliando la utilización de esta tecnología en diversas aplicaciones, que van desde pequeños hornos de panadería hasta sofisticados sistemas para el control térmico en reactores nucleares.

De esta manera, considerando el gran avance realizado por la ciencia en el desarrollo y aplicación de la tecnología de termosifones bifásicos y tubos de calor, no es una utopía pensar que la misma tecnología que fue utilizada inicialmente en vehículos espaciales pueda ser aplicada en algunos de los principales sectores contemplados por el PAEE20, como por ejemplo en los sectores de edificación, industrial y minero. En el ámbito de la eficiencia energética en edificaciones, la tecnología de termosifones bifásicos proporciona una alternativa pasiva de enfriamiento y calefacción. Diferentes equipos han sido desarrollados para estos objetivos, apuntando a la reducción del consumo de electricidad y en algunos casos la quema de combustibles fósiles o biomasa. Los últimos esfuerzos en esta área de investigación están enfocados a la utilización de termosifones híbridos que permiten acoplar fuentes convencionales de energía con fuentes renovables como energías solares y geotérmicas, lo que considerando el potencial solar y geotérmico de Chile se presenta como una alternativa real para las soluciones de calefacción pasiva en el país.

En el caso del sector industrial y minero, es necesario primero entender que un termosifón bifásico se comporta térmicamente de forma análoga a una caldera convencional, con la diferencia que los termosifones transfieren el calor de forma pasiva, esto es, no necesita de bombas para el transporte del fluido de trabajo. Además, la correcta selección de este fluido permite que los termosifones puedan operar a presiones significativamente menores que las observadas en calderas convencionales, permitiendo así, una operación más segura, con bajos costos de implementación y mantención, creando una ventaja competitiva de este tipo tecnología para el transporte eficiente del calor.

En su configuración en circuito, los termosifones bifásicos consiguen mayor flexibilidad geométrica, aumentado las posibilidades de aplicaciones industriales que no pueden ser resueltas directamente a través de una caldera. Por otro lado, la utilización de termosifones bifásicos acoplados a intercambiadores de calor, aplicación ampliamente estudiada en la literatura, se presenta como una alternativa viable para la recuperación de calor en la industria y para la implementación de sistemas de cogeneración, que corresponden justamente a las principales propuestas del PAEE20 para este sector.

De esta forma, la tecnología de termosifones bifásicos se presenta como una alternativa real de solución enfocado al uso eficiente de la energía en los diferentes sectores productivos del país. Sin embargo, independientemente que la literatura especializada presenta un gran número de estudios y soluciones a los problemas energéticos, la gran mayoría se encuentra apenas en escala de laboratorio, lo que lleva a pensar que una acción importante a ser tomada es el fomento a la investigación aplicada para el desarrollo de nuevos equipos de escala industrial asistidos por este tipo de tecnología. En ese contexto, el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Tarapacá (UTA) ha dado el primer paso en la transferencia de la tecnología de termosifones bifásicos a través de la puesta en marcha del Laboratorio de Termosifones Bifásicos - LABTER, que en cooperación con el Laboratorio de Investigaciones Medio Ambientales de Zonas Áridas - LIMZA de la UTA y el Laboratorio de Tubos de Calor - LABTUCAL de la Universidad Federal de Santa Catarina - Brasil, trabajan con el objetivo de resolver los principales problemas energéticos de la macro zona norte del país a partir del desarrollo de nuevos equipos asistidos por la tecnología de termosifones bifásicos.

Dr. Luis H.R. Cisterna
Departamento de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de Tarapacá
E-mail: lrodriguez@academicos.uta.cl