



## Calentar con frío

◆ Rosenberg J. Romero

De acuerdo con la primera ley de la termodinámica, un sistema con materia constante solo puede variar su energía en la medida que se le agregue calor o trabajo. Por otro lado, la segunda ley argumenta que no es posible que un calentamiento se transfiera de un recipiente frío a uno caliente de forma natural.

En concordancia con esto, un sistema que no intercambia materia sino solo energía está limitado a hacerlo en un sentido de forma natural: del sistema caliente hacia su entorno frío. Sin embargo, hace más de un siglo, en 1855, Peter Ritter von Rittinger, en Austria, y en 1911, E. Altenkirch, idearon una forma de revertir el proceso.

Todas las ideas sobre transferencia de calor se basan en la observación del cambio de temperatura, identificable por medio de varias escalas absolutas y relativas para las cuales, previo al establecimiento de la temperatura en escala de Celsius y la posterior escala de Kelvin del Sistema Internacional de Medidas, hubo varios intentos de establecer una referencia. Un ejemplo poco conocido por lo impráctico pero con las mismas referencias establecidas por Anders Celsius fue la escala propuesta por Isaac Newton al inicio del siglo XVIII, en relación

con el punto de congelamiento y la temperatura de ebullición del agua.<sup>1</sup>

A principios del siglo XIX no había información suficiente para calcular las propiedades de equilibrio de las sustancias requeridas para conocer los ciclos termodinámicos propuestos por Carnot en 1824. Newton estableció leyes físicas que afectan los fluidos: las cinéticas y las dinámicas para velocidades relativamente bajas en un sistema de referencia inercial. Algunos de esos sistemas son los fluidos propuestos por los estudiosos de la termodinámica. Así, dentro de las máquinas de Carnot, estos se rigen por las leyes de la mecánica de fluidos, en que la inercia de movimiento define a un sistema como newtoniano o no newtoniano, así como las leyes termodinámicas que correlacionan la energía necesaria para cualquier cambio en el sistema y la energía aportada a los alrededores.<sup>2</sup>

Altenkirch calculó la energía liberada del sistema en el proceso natural de transferencia de calor de la parte caliente hacia la fría, considerando un circuito eléctrico con dos componentes: una fuente de calor y un sumidero de calor. Entre ellos, consideró un circuito que tenía dos interfaces de transferencia de calor y su dispositivo termoeléctrico.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> U. Grigull, "Newton's temperature scale and the law of cooling", *Heat and Mass Transfer*, núm. 4, vol. 18, 1994, pp. 195-199.

<sup>2</sup> Kurt C. Rolle, *Termodinámica*, Pearson Prentice Hall, 6ª ed., México DF, 2006, p. 611.

<sup>3</sup> E. Altenkirch y B. Tenckhoff, *Absorptionkaeltemaschine Zur kontinuierlichen erzeugung von kaelte und waerme oder acuh von arbeit*, German Patent 278076, 1911.

◆ Profesor e investigador, Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (Ciicap), UAEM



Von Rittinger instaló un sistema, derivado del trabajo previo de Jacob Perkins, utilizando éter dietílico como fluido de trabajo para intercambiar calor entre dos zonas, una denominada de temperatura baja relativa y otra de temperatura alta relativa. No fue sino hasta 1860 cuando se propuso el uso de un sistema de compresión que aumentara la temperatura con base en la presión, pues para entonces ya se conocían las propiedades termodinámicas de los fluidos. En ese momento se les utilizó como enfriadores para la producción de hielo, y de ahí surgió el primer refrigerador que desvió el interés y la investigación de estos sistemas hacia las bajas temperaturas relativas.<sup>4</sup>

En 1929, durante la crisis económica mundial, se comenzó a tener en cuenta estos sistemas para su uso en la calefacción de edificios. Se estableció el concepto de coeficiente de operación, el cual relaciona la energía útil con la energía suministrada para ese propósito. Sin embargo, este sistema resulta provechoso, ya que, en el concepto inicial de Von Rittinger, con él se puede ahorrar hasta un 80% de la energía utilizable sin una bomba de calor. El concepto llamó tanto la atención en los países con climas gélidos, que para 1945 se instaló una

bomba de este tipo que utilizaba el calor del suelo como su zona de baja temperatura relativa para climatización. Incluso Albert Einstein,<sup>5</sup> junto con su colega Leo Szilard, se interesó en estos sistemas de climatización y refrigeración y solicitó en 1926 una patente que le fue otorgada el 11 de noviembre de 1930, en la que hace una contribución brillante: elimina las partes móviles del sistema con el uso de la gravedad para el movimiento de los fluidos.<sup>6</sup>

Desde 1969 se han colocado estas bombas para aprovechar el calor de las plantas geotérmicas, principalmente en Alemania, a promoción de una legislación que permite a las viviendas utilizar menos energía en sus sistemas de calefacción.<sup>7</sup>

En México, el desarrollo de sistemas de compresión mecánica de vapor para bombas de calor se inició desde 1983 en el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), localizado en el estado de Morelos, del cual surgieron ideas novedosas para sistemas basados en compresión y absorción. Actualmente se realizan investigaciones en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), en el Centro de Investigación en Energía (CIE) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), localizado en Temixco, y en el mismo IIE.<sup>8</sup>

---

<sup>4</sup> D. Banks, "Heat pumps and thermogeology: a brief history and international perspective", en *An Introduction to Thermogeology: Ground Source Heating and Cooling*, Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 2009.

<sup>5</sup> Kh. Mejri, N. Ben Ezzine, Y. Guizani y A. Bellagi, "Discussion of the feasibility of the Einstein refrigeration cycle", *International Journal of Refrigeration*, núm. 1, vol. 29, 2006, pp. 60-70.

<sup>6</sup> Matthew Trainer, "Albert Einstein's patents", *World Patent Information*, núm. 2, vol. 28, 2006, pp. 159-165.

<sup>7</sup> Alexandra Purkus y Volker Barth, "Geothermal power production in future electricity markets—A scenario analysis for Germany", *Energy Policy*, núm. 1, vol. 39, 2011, pp. 349-357.

<sup>8</sup> Alfonso García Gutiérrez, Rosa María Barragán Reyes y Víctor Manuel Arellano Gómez, "Investigación y desarrollo tecnológico sobre bombas de calor en México operando con energía geotérmica", *Boletín IIE*, julio-septiembre de 2008, pp. 132-140, en Instituto de Investigaciones Eléctricas, <http://www.ije.org.mx/boletin032008/art-inv.pdf>, consultado en febrero de 2011.

### Bombas por compresión y absorción

Todas las bombas de calor tienen dos componentes para las zonas de baja temperatura relativa y para las de alta temperatura relativa.<sup>9</sup> En el caso de los gases ideales, una ley sobre los mismos relaciona el producto de la presión con el volumen y la temperatura, a partir de una sola constante proporcional (constante de Boltzmann) y del número de moléculas. En función de esta ley de gases ideales,<sup>10</sup> con una temperatura mayor en el mismo número de moléculas del gas se tendrá una mayor presión. Esto se puede entender fácilmente con la ebullición del agua al nivel del mar: 100° C; sin embargo, cuando se está a 1 838 metros sobre el nivel del mar, como en Cuernavaca, de manera aproximada, el agua hierve a 93.5° C, porque la presión atmosférica es menor que al nivel del mar. Así, podemos entender que, en un recipiente, a una mayor presión le corresponde una mayor temperatura en un gas —una olla exprés utiliza este principio para aumentar la temperatura en su interior.

Recurriendo al mismo principio, si se utiliza un fluido como vapor a una temperatura dada, este debe mantenerse a la presión con la que permanezca en equilibrio. En el caso del agua, puede tenerse como vapor a una temperatura de 40° C y la presión en la que estará será menor que si se tiene a 50° C. De esta manera, podemos entender que es posible tener vapor en la temperatura que deseemos.

Otro fenómeno práctico observable de forma cotidiana es la condensación, típicamente de vapor de agua, en alguna superficie como el espejo del baño, los vidrios de los automóviles o cualquier otra. Para que el vapor deje de existir como tal y se convierta en líquido es necesario quitarle energía para que sus propiedades termodinámicas lo mantengan con esta forma; así, por ejemplo, podemos sentir la transferencia de calor de un vapor de agua sobre la piel cuando se forman gotas de agua y así constatar dicho fenómeno.

En forma similar, un vapor de cualquier sustancia puede intercambiar calor con una superficie que esté a menor temperatura al ceder energía y convertirse en líquido, proceso que conocemos como condensación. Así, podemos observar dos procesos de transferencia de calor con cambio de fase: evaporación y condensación. La evaporación requiere de energía para lograr una mayor separación de las moléculas; la condensación aporta energía cuando las moléculas se agrupan a menor temperatura.

Ahora bien, por medio de la presión se puede fijar la temperatura de la evaporación y hacer que ocurra una condensación con la temperatura deseada. Ambas son presiones de equilibrio de una sustancia pura. En el caso de las bombas de calor, a las sustancias que permiten realizar la transferencia de calor se las llama “pares”, o más comúnmente, pero de forma imprecisa, “refrigerantes”.<sup>11</sup>

<sup>9</sup> R. J. Romero, J. Siqueiros, R. Best, C. Cuevas, G. González, J. Uruchurtu, F. Sierra, G. Urquiza, M. Basurto Pensado, A. Álvarez, S. Silva, M. Bourouis, J. Cerezo y A. Coronas, “Technological and scientific challenges in heat pumps”, 8<sup>th</sup> International Energy Agency Heat Pump Conference, Las Vegas, 30 de mayo-2 de junio de 2005.

<sup>10</sup> Michael J. Moran y Howard N. Shapiro, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, Wiley & Sons, 5ª ed., Nueva York, 2006, pp. 831.

<sup>11</sup> R. J. Romero W. Rivera, J. García y R. Best, “Theoretical comparison of performance of an absorption heat pump system for cooling and heating operating with an aqueous ternary hydroxide and water/lithium bromide”, *Applied Thermal Engineering*, núm. 11, vol. 21, 2001, pp. 1137-1147.



Para que una bomba de calor funcione requiere de tres componentes de transferencia de energía: el evaporador, el condensador y un compresor. El compresor introducirá energía y así aportará el trabajo para que las moléculas que estén dentro de la bomba se agrupen con una mayor presión.

Ahora solo hay que decidir la temperatura del calor por extraer; si se desea su transferencia desde la temperatura del ambiente, ya sea por medio del aire, el agua de un río o el subsuelo, esta será la temperatura con la que se hará la evaporación. Para que ello ocurra, se forzará al fluido de trabajo a estar a una temperatura menor que la del ambiente; de esta manera, el ambiente queda “relativamente” cediendo energía al evaporador.

Para que el fluido de trabajo ceda a su vez la energía que recibió del ambiente debe aumentar-se su presión hasta una temperatura mayor que la requerida en la energía a obtener, es decir, el compresor deberá incrementar la presión del fluido hasta un valor de temperatura mayor que la deseada para así poder transferir el calor por medio de una diferencia de potenciales (a la diferencia de temperaturas se le llama potencial térmico).

De esta manera, el fluido de trabajo a temperatura “relativa” mayor cederá energía allí donde se coloque la bomba de calor; así es como se obtiene un bombeo de calor similar al bombeo de agua en una casa, en el cual esta se tiene en un nivel bajo

y se lleva a un nivel superior usando energía mecánica. De forma adicional, al utilizar una bomba de calor se obtiene un beneficio ambiental, ya que la energía introducida en un sistema sin generación o acumulación es la misma que saldrá de él. La utilidad de estas máquinas radica en que ayudan en la disminución de contaminantes emitidos a la atmósfera y hacen eficiente la conversión de energía mecánica en energía térmica. La energía que se toma del ambiente no tiene un costo agregado; en todo caso, tendría un costo la que mueve al compresor. La que se transfiere en el condensador es la suma de las energías del evaporador y el compresor. Por esa razón, utilizar una bomba de calor en lugar de una caldera es ambientalmente amigable. La caldera emite gases de efecto invernadero, y el compresor, que utiliza energía alternativa, no emite dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), por lo cual el uso de sistemas puede disminuir la emisión de gases contaminantes, de acuerdo con la Agencia Internacional de Energía.<sup>12</sup>

De esta forma, es posible recuperar energía prácticamente de cualquier objeto o fluido para utilizarla con una temperatura mayor recurriendo a un poco de energía adicional. En esto consiste el proceso de calentamiento con un objeto al que llamamos “frío” porque tiene una temperatura relativamente menor que la requerida para transferir la energía.

---

<sup>12</sup> “How heat pumps achieve energy savings and CO<sub>2</sub> emissions reduction: an introduction”, en Heat Pump Centre, <http://www.heatpumpcentre.org/en/aboutheatpumps/howheatpumpsachieveenergysavings/Sidor/default.aspx>, consultado en febrero de 2011.