

Bombas de Calor en Aplicaciones Industriales

Uno de los grandes retos industriales del siglo 21 radica en disponer de un suministro de energía confiable, económicamente viable, sustentable, y que cumpla con las cada vez mayores exigencias en cuanto a la protección del medioambiente.

Si bien en las últimas décadas se han producido importantes mejoras en cuanto a la eficiencia y emisiones asociadas a los usos energéticos en las industrias, se pueden lograr incluso mayores mejoras si se aplicasen las mejores tecnologías disponibles.

Las bombas de calor son cada vez más relevantes como tecnologías para mejorar la eficiencia energética y disminuir las emisiones equivalentes de CO₂ en la industria. En particular, las bombas de calor industriales, aprovechando algún flujo de calor de rechazo, permiten suministrar calor a una mayor temperatura para ser aprovechado en procesos industriales, en el calentamiento o pre-calentamiento de soluciones, o para la calefacción o climatización de edificaciones.

La implementación de sistemas de bomba de calor en la industria permite disminuir tanto el consumo de combustibles fósiles, así como las emisiones de gases de efecto invernadero. Las aplicaciones pueden ser tan diversas como son los procesos de calentamiento de sustancias, procesos de secado, lavado, pasteurización, procesos de evaporación y destilación, entre otros.

Las principales industrias que se pueden beneficiar de esta tecnología son el sector agroalimentario, las plantas cerveceras y de destilación, plantas de embotellamiento, industria textil, industria forestal y papeleras, las piscifactorías, plantas procesadoras de harina de pescado, procesos de calentamiento en la minería, y la industrias químicas.

A día de hoy, la implantación de sistemas de bomba de calor para suministrar calor a temperaturas menores a 100°C se considera generalmente sencillo. Aplicaciones a mayores temperaturas son posibles, pero requieren todavía una mayor madurez de la tecnología, tanto en el desarrollo de bombas de calor adecuadas para dichas aplicaciones, así como en relación a su integración en los procesos a mayores temperaturas.

Descripción de la Tecnología

La bomba de calor es una máquina térmica que permite obtener calor desde un medio a baja temperatura, para luego transferirlo a otro medio a una temperatura mayor mediante el aporte de trabajo externo al sistema.

Los principales componentes de una bomba de calor industrial son el compresor, el condensador, la válvula de expansión, el evaporador y sus componentes auxiliares.

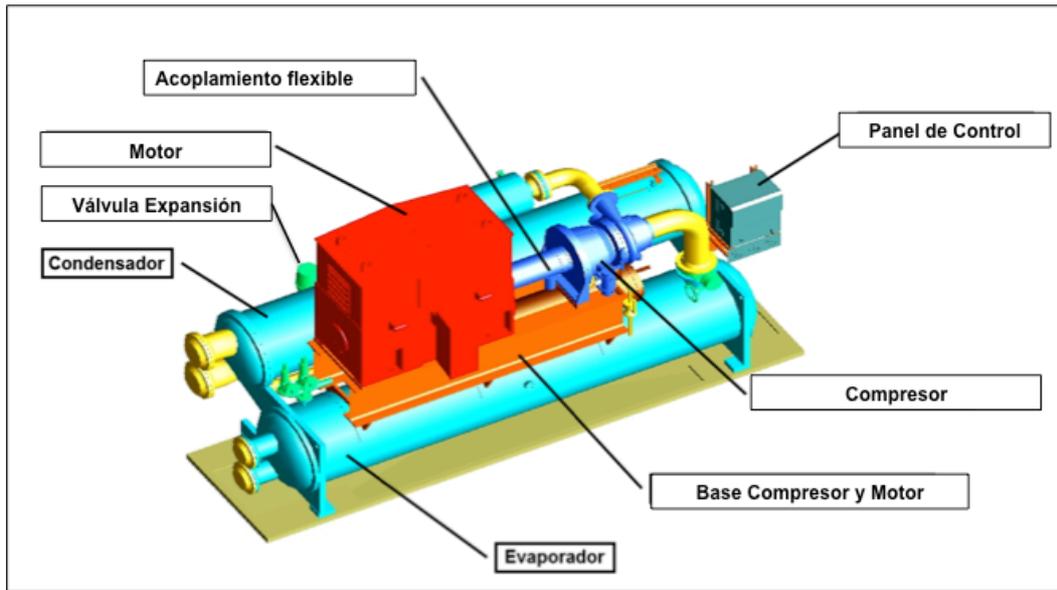


Figura N°1: Componentes principales de una bomba de calor industrial.

El principio de funcionamiento de una bomba de calor, se basa en el ciclo de Carnot, donde el fluido de trabajo (fluido refrigerante) absorbe calor desde una fuente a baja temperatura (proceso de evaporación del refrigerante), para entregarla a otra que está a una temperatura superior (proceso de condensación del refrigerante). Una bomba de calor consume energía eléctrica para accionar el compresor, el cual es el encargado de llevar el refrigerante desde la presión de evaporación hasta la presión de condensación del sistema.

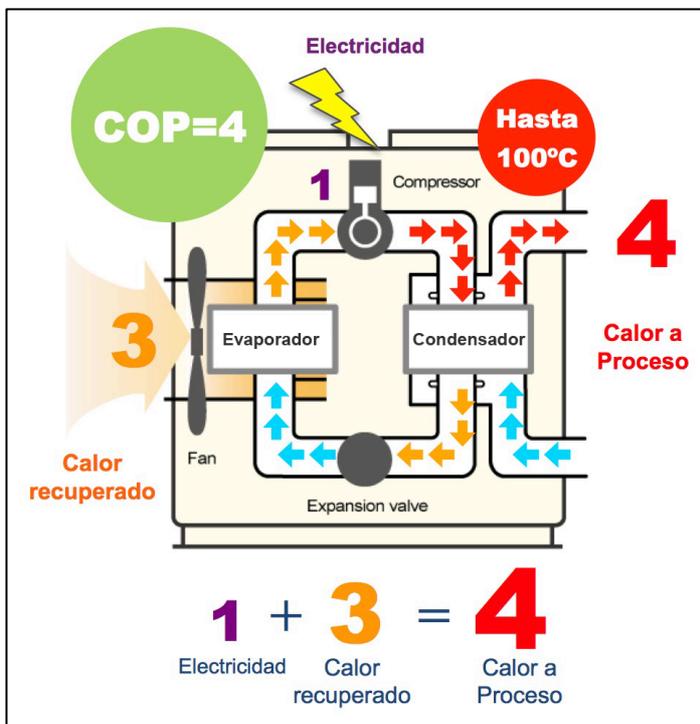


Figura N°2: Principio de funcionamiento de una bombas de calor.

El refrigerante en estado líquido (y a baja presión), si es expuesto en un intercambiador de calor (evaporador) a un fluido a una temperatura mayor (fuente de calor), se evaporará, y por lo tanto, absorberá calor del medio. Luego, el compresor eleva la presión del gas generado, y por consiguiente eleva la temperatura de este gas hasta la condición necesaria que permita calentar el fluido de proceso. Durante el proceso de ceder el calor del refrigerante al fluido de proceso, el refrigerante se condensará (en el condensador), para posteriormente pasar por una válvula de expansión, donde volverá al estado líquido a baja presión y temperatura, cerrando así el ciclo de operación.

En el caso de la bomba de calor, el concepto de eficiencia se denomina COP, que es el acrónimo de "*Coefficient of Performance*". El COP corresponde al ratio entre la energía térmica generada y la energía consumida. En la figura N°2 se puede apreciar un ejemplo en que la bomba de calor para suministrar 4 unidades de calor a un proceso, requiere tan sólo de una unidad de energía eléctrica para accionar el compresor. El resto de la energía térmica (3 unidades) la obtiene de la fuente de calor, que en el caso del sector industrial, normalmente sería a partir de calor actualmente rechazado en la planta. De esta forma, para el caso mostrado en el esquema anterior, el COP de la bomba de calor sería igual a 4.

Si lo comparásemos con una caldera, su eficiencia sería de 400 % y la de una caldera solo 80 %, así de impresionantes son los comportamientos térmicos de las bombas de calor.

Aplicaciones en la Industria

Las principales aplicaciones de una bomba de calor en la industria se encuentran en todos aquellos procesos que se requiera calor a menos de 100°C. A continuación, se resumen algunas de las posibilidades de implementar sistemas de bombas de calor en la industria:

Industrias agroalimentarias: Este sector presenta elevados requerimientos de agua caliente para lavado (30-60°C), procesos de secado (desde 40°C), pre-calentamiento de soluciones (20-60°C), concentración de sustancias (60-70°C), pasteurización (>70°C), cocción de alimentos (>80°C), entre otros. Normalmente en estas instalaciones se dispone de sistemas de refrigeración, los cuales disipan gran cantidad de calor al ambiente, o bien evacuación de riles. Este calor rechazado puede ser aprovechado por un sistema de bomba de calor para suministrar agua caliente a dichos procesos operando con un COP entre 3 a 6.

Pisciculturas: En las pisciculturas resulta muy interesante considerar una bomba de calor entre dos importantes flujos de proceso: el agua de rechazo, y el agua de reposición. Una bomba de calor que aproveche la energía contenida en el agua de rechazo, para a su vez calentar el agua de reposición, permitiría a esta industria reducir el consumo de energía de la planta (menor consumo combustibles), reducir costos de operación, y a su vez aumentar el nivel de producción (mayor ratio de crecimiento de los alevines). Para este sistema se pueden obtener fácilmente un COP superior a 6.

Plantas de Harina de Pescado: Las plantas de harinas de pescado normalmente presenta riles que son evacuados al exterior a temperaturas cercanas a los 40°C. Este flujo de calor representa una interesante fuente de calor para un sistema de bomba de calor. En esta aplicación se podría implementar un sistema que permita bien producir agua caliente para lavado (60-80°C), precalentar parte de un proceso (40-80°C), o precalentar el agua de calderas. La eficiencia esperada para este sector sería de aproximadamente un COP entre 4 a 6.

Minería: La minería del cobre, principalmente, presenta elevados requerimientos de calentamiento de soluciones a temperaturas cercanas a los 50°C. Si se dispone de una potencial fuente de calor, como podrían ser el flujo de fluido en un mineroducto o acueducto (u otro flujo de fluido a media-baja temperatura), es posible implementar una bomba de calor para generar agua caliente, y de esta forma, remplazar los calentadores de agua existentes. El COP para dicho sistema estaría fácilmente entre 3.5 a 5.

Industria Cervecera: En este sector es habitual encontrar un circuito de torres de enfriamiento (o condensadores) asociados a la planta de refrigeración. El calor disipado en estos sistemas (normalmente a unos 30°C), puede ser aprovechado por un sistema de bomba de calor para generar agua caliente para lavado (50-80°C), o bien para pre-calentamiento de soluciones. El COP esperado en esta aplicación sería de entre 3.5 a 6 aproximadamente.

Industria Forestal: Dos aplicaciones que son de gran interés en este sector son algunos de los procesos de secado (50-80°) e impregnación de la madera (50-100°C). Un COP de entre 3 a 4.5 se podría obtener en dichos sistemas.

Industria Química: El sector químico se caracteriza por importantes requerimientos de pre-calentamiento de sustancias o soluciones (40-80°C), así como de agua de lavado (30-70°C) para limpieza de las instalaciones. También es frecuente encontrar necesidades paralelas de enfriamiento (5-15°C), lo cual se traduce en interesantes oportunidades para sistemas de bomba de calor. Aprovechando el calor rechazado en los sistemas de refrigeración, o en riles, es factible implementar un sistema de bomba de calor cuyo COP podría ser de aproximadamente 3 a 5.

Embotelladoras: Las embotelladoras presentan importantes requerimientos de agua caliente para sus procesos de lavado e higienización de botellas (50-75°C). A su vez, la propia planta genera riles a una temperatura cercana a los 35°C, lo cual permitiría implementar sistemas de bombas de calor operando con un COP de entre 3.5 a 5, aproximadamente.

Industria Textil: Tanto los procesos de coloración (40-130°C), así como el agua de lavado (30-70°C) y la calefacción de los edificios (desde 20°C), son interesantes aplicaciones para sistemas de bombas de calor. Al aprovechar el calor contenido en los riles generados en la propia planta, un sistema de bomba de calor podría suministrar agua caliente para estos procesos con un COP entre 3 a 5.

En términos generales, siempre que se disponga de una fuente de calor adecuada, es factible implementar un sistema de bomba de calor para generar agua caliente a ser utilizada en diversos procesos o aplicaciones industriales.

Fuentes de Calor

Para poder implementar un sistema de bomba de calor en la industria, resulta fundamental poder identificar al menos una fuente de calor disponible en la planta. Algunas de las principales fuentes de calor normalmente presentes en la industria, serían las siguientes:

- Circuito de agua de torres de enfriamiento o aeroenfriadores.
- Disipación de calor en plantas de refrigeración (condensadores).
- Riles a media o baja temperatura.
- Flujos de proceso que se requieren enfriar (ej.: flujos a 5 – 20°C).
- Calor rechazado en compresores de aire (aire comprimido).
- Aire caliente (o gases) de algún proceso (ej.: secadores por aire).

Es importante que la fuente de calor sea lo más constante posible a lo largo del año, tanto a nivel de disponibilidad (ej.: que sea un flujo constante), así como que su temperatura no presente grandes variaciones estacionales. Esto permitirá definir un sistema de bombas de calor que aporte gran cantidad de calor (agua caliente o calor a proceso) a lo largo del año, y a la mayor eficiencia posible (al mayor COP posible).

Ejemplo de Ahorro Mediante Bomba de Calor en la Industria

A continuación se presenta un ejemplo práctico de aplicación de bomba de calor en un proceso industrial.

La aplicación analizada consiste en el pre-calentamiento de un flujo de proceso desde los 40°C hasta los 75°C. El pre-calentamiento de esta solución se realiza actualmente mediante agua caliente a 80°C, la cual es generada mediante un calentador de gas natural. El agua caliente retorna del pre-calentador a unos 50°C. El caudal de agua caliente es de aproximadamente 20 m³/h.

Por otra parte, la planta industrial dispone de un flujo de riles a 35°C. A día de hoy, éstos son enviados a piscinas de decantación, sin ningún tipo de aprovechamiento previo de calor. El flujo de riles sobrepasa los 30 m³/h.

El sistema propuesto estaría compuesto principalmente por una bomba de calor, para suministrar agua caliente a 80°C, un estanque de inercia de agua caliente para absorber las variaciones en los procesos, y un circuito secundario de agua con intercambiador de calor entre el flujo de riles y el flujo de agua al evaporador de la

bomba de calor. A continuación se presenta el esquema conceptual para esta aplicación:

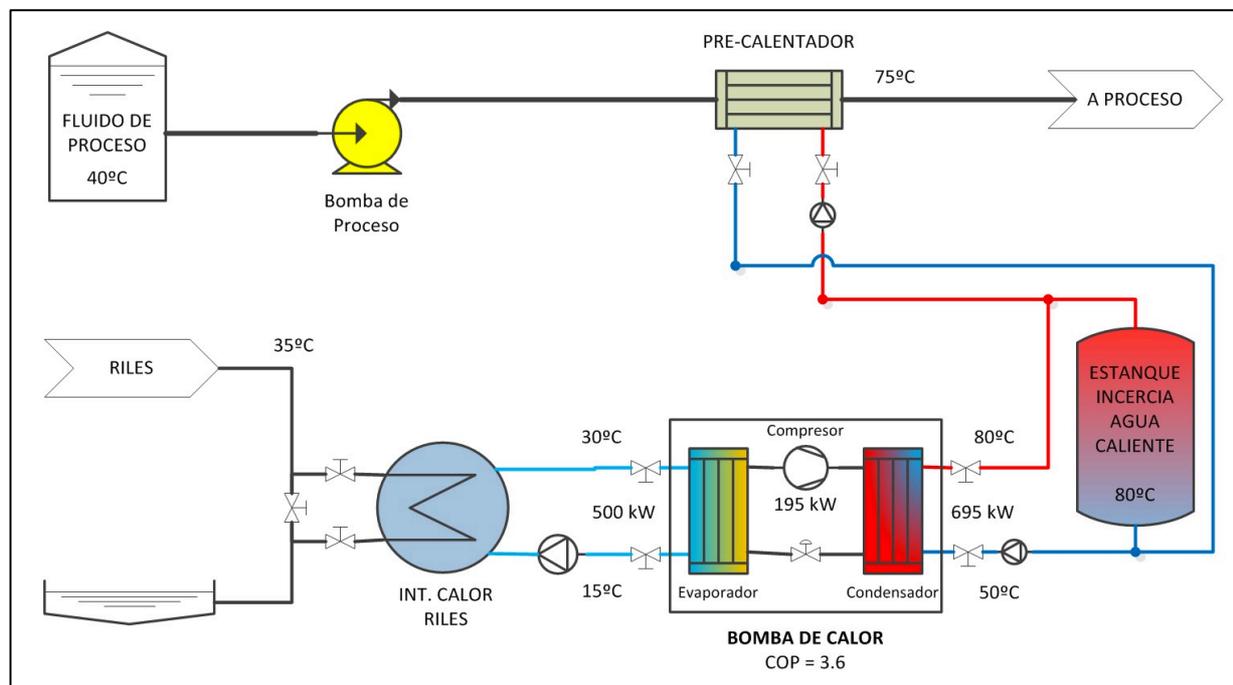


Figura N°3: Condiciones de operación de la bomba de calor.

Los principales supuestos considerados en el análisis de viabilidad, son los siguientes:

- Precio del gas natural : 11 US\$/MMBTU
- Precio de la electricidad : 80 US\$/MWh
- Horas de operación : 6000 horas/año
- Simultaneidades en el proceso : 70%

Los resultados esperados para esta aplicación serían los siguientes:

- Reducción en consumo de gas natural : 395.000 Nm³/año
- Consumo extra de electricidad : 820.000 kWh/año
- Ahorro en combustible : 175.000 US\$/año
- Gasto en electricidad : 66.000 US\$/año
- Ahorros económicos : 110.000 US\$/año
- Total inversión : 220.000 US\$/año
- Retorno de la Inversión : 2,0 años

Comentarios

El objetivo de este artículo es dar a conocer las bombas de calor, como una alternativa altamente eficiente, para satisfacer demandas de calor a temperaturas medias.

Felipe Trebilcock Kelly – ftrebilcock@thermal.cl
Ingeniero Especialista en Procesos Térmicos
THERMAL ENGINEERING LTDA. – www.thermal.cl