



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ARAGÓN

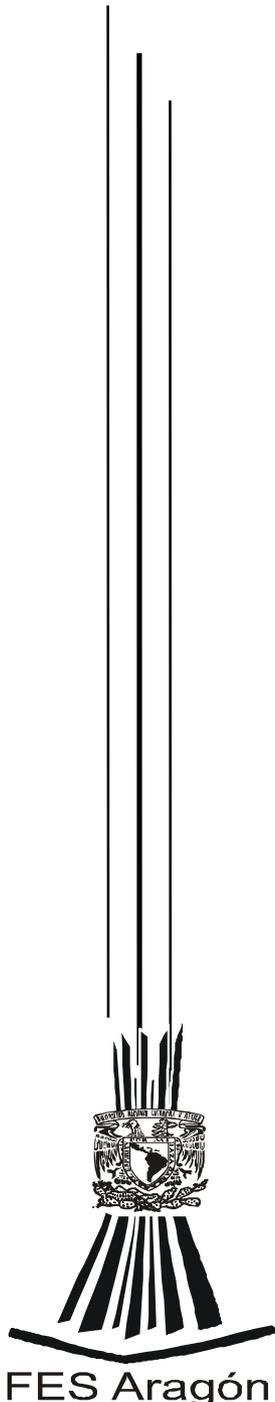
**“BOMBAS DE CALOR EN EL SECTOR
RESIDENCIAL”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERIA MECÁNICA ELÉCTRICA
P R E S E N T A :
ERIK MANUEL URIBE GODOY**

ASESOR:

ING. DAMASO VELÁZQUEZ VELÁZQUEZ



MÉXICO

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis padres:

Que de ellos tienen origen este trabajo, que se han visto privados por muchos años de ver llegar este objetivo y los beneficios del mismo.

De antemano que no existe forma, ni palabras para agradecer una vida de sacrificios, lucha y esfuerzos; quiero que sepan que el logro obtenido es de ustedes y la fuerza que me ayudo a obtenerlos fue su apoyo.

Erik

INDICE

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I:

FUNDAMENTOS DE LA BOMBA DE CALOR

1.1. Bombas de Calor	2
1.2. Tipos de Bombas de Calor	3
1.3. Bombas de calor de compresión mecánica accionadas por un motor eléctrico.	5
1.4. Bombas de Calor con motor de Gas	6
1.5. Bombas de calor de absorción.	6
1.6. Componentes de las bombas de calor.	7
1.7. Principales tipos de bombas de calor para aplicaciones industriales.	11

CAPÍTULO II:

APLICACIONES INDUSTRIALES

2.1. Calentamiento de agua.	14
2.2. Secado de productos.	14
2.3. Calentamiento y enfriamiento de agua en piscifactorías. ...	16
2.4. Fermentación del Pan.	16
2.5. Otros sectores donde la bomba de calor es de aplicación.	18

CAPÍTULO III:

CLASIFICACIÓN DE BOMBAS DE CALOR

3.1. Bombas de Calor para Acondicionamiento térmico.	20
3.2. Tipos de bombas de calor.	21
3.3. Bombas de calor para calentamiento de piscinas. ...	23
3.4. Bombas de calor geocalor.	31

CAPÍTULO IV:

DESEMPEÑO DE LA BOMBA DE CALOR

4.1. Desempeño de la Bomba de Calor.	35
4.2. Casos de Aplicación.	35
4.3. Ahorros Previstos.	38

CONCLUSIONES	42
---------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA	43
----------------------------	----

INTRODUCCIÓN

La bomba de calor es una máquina térmica capaz de transferir calor de una fuente fría a otra más caliente, la bomba de calor es capaz de extraer el calor de una fuente energética natural (aire, agua, etc.), y transmitirlo a otro lugar para su utilización. De ahí el nombre de “bomba de calor” por su comparación al bombeo de energía de un lugar a otro, también puede usarse para el enfriamiento.

El calor se transfiere entonces en la dirección opuesta, desde la aplicación que se encuentra (fría) hacia los ambientes a una temperatura más alta.

Las bombas de calor son escasas actualmente en la industria; sin embargo, cuando las reglamentaciones ambientales son muy estrictas, esta tecnología puede participar de manera importante en la reducción de emisiones contaminantes.

En la industria se presentan en muchas ocasiones necesidades simultáneas de agua fría y caliente para lavandería, limpieza y desinfección. Esta demanda puede ser cubierta por las bombas de calor.

Dentro del amplio terreno de las bombas de calor para el uso residencial, son sistemas de comodidad para todo el año. En el verano extraen el calor de su casa para mantenerla fresca; en invierno, atraen el calor de afuera para mantenerla caliente.

En el mercado se dispone de cuatro sistemas de calentamiento: de piscinas, las bombas de calor, la energía solar, calefacción, gasoil o propano y calefacción con resistencia eléctrica.

Sin embargo, hay muchas diferencias entre los sistemas, especialmente en lo relativo a costos y rendimiento.

La bomba de calor puede ser una excelente opción para suplir cualquier sistema de calentamiento, ya que su costo es menor, así como su mantenimiento. Otro factor a su favor es su menor contribución de emisiones contaminantes.

Hace más de un siglo, Lord Kelvin introdujo el principio de la bomba de calor, solo desde la segunda guerra mundial la bomba de calor ha recibido amplia aplicación en los Estados Unidos.

A causa del agotamiento de las reservas de combustible fósiles, se presta atención creciente durante los últimos años a otras fuentes de energía.

Considerando lo anterior, es necesario hacer un estudio más profundo relacionado con las bombas de calor, tema principal de esta tesis, en la cual se analizan los siguientes puntos.

En el capítulo I, se abordan los diferentes tipos de bombas de calor y la manera de clasificarlas, sus componentes y las principales bombas de calor para aplicaciones industriales.

En el capítulo II, se abordan las aplicaciones industriales de las bombas de calor y los diferentes sectores donde se pueden aplicar.

En el capítulo III, se refiere a la clasificación de las bombas de calor para el acondicionamiento térmico.

En el capítulo IV, se aborda el desempeño de una bomba de calor para un caso práctico de aplicación.

CAPÍTULO I:

FUNDAMENTOS DE LA BOMBA DE CALOR

1.1.- BOMBA DE CALOR

Denominamos bomba de calor a una máquina térmica capaz de transferir calor de una fuente fría a otra más caliente. Podríamos definirlo como un equipo de aire acondicionado, que en invierno toma calor del aire exterior, a baja temperatura y lo transporta al interior del local que se ha de calentar.

La bomba de calor es un sistema que opera bajo un ciclo termodinámico de refrigeración convencional tipo Ranking. Con este dispositivo se lleva energía térmica de una fuente fría a una caliente, es decir, de mayor nivel térmico, lo cual permite elevar su calidad de energía de alta calidad.

El calor fluye de forma natural de una temperatura más alta a una más baja, la bomba de calor puede forzar el flujo de calor en la otra dirección, para lo cual emplea una cantidad relativamente pequeña de energía de calidad elevada (electricidad, combustible o calor de desechos de alta temperatura). Así puede transferir calor del aire, tierra o agua, o de las fuentes de calor de desperdicio artificiales, hacia un edificio o una aplicación industrial.

Concretamente, la bomba de calor es un aparato capaz de extraer el calor de una fuente energética natural, aire, agua, etc., y transmitirlo a otro lugar para su utilización. De ahí el nombre de "bomba de calor" por su comparación al bombeo de energía de un lugar a otro.

La energía utilizada para el funcionamiento propio de la bomba de calor es la electricidad (un motor eléctrico mueve a un compresor), pero tiene la particularidad sobre los sistemas convencionales de que por cada kilovatio consumido por la bomba de calor se obtiene el equivalente a 2.580 Kcal., aproximadamente. La razón de este elevado rendimiento es precisamente el aprovechamiento de la energía del medio ambiente.

Las bombas de calor también pueden usarse para el enfriamiento; el calor se transfiere entonces en la dirección opuesta, desde la aplicación que se encuentra fría hacia los ambientes a una temperatura más alta.

La mayoría de las bombas de calor utiliza el ciclo de compresión de vapor, en este ciclo el fluido térmico, llamado comúnmente refrigerante, circula físicamente separado de la fuente de calor de desecho y de la del usuario en un ciclo cerrado. En una bomba de calor se llevan acabo los siguientes procesos.

- a) El fluido refrigerante se comprime, elevando su presión y temperatura (C-D).
- b) El calor ganado por el fluido es transferido al fluido de proceso mediante un intercambiador de calor (condensador, D-E).
- c) La presión del fluido refrigerante o fluido de trabajo, se reduce con una válvula de expansión (E-A).

d) En el evaporador el calor se extrae de la fuente térmica y evapora la sustancia de trabajo (A-C).

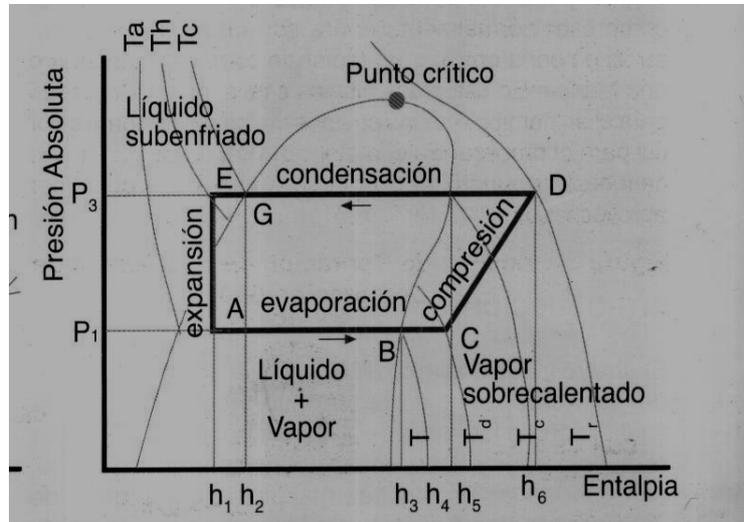


Diagrama de Molieré del Principio de Operación de una Bomba de Calor.

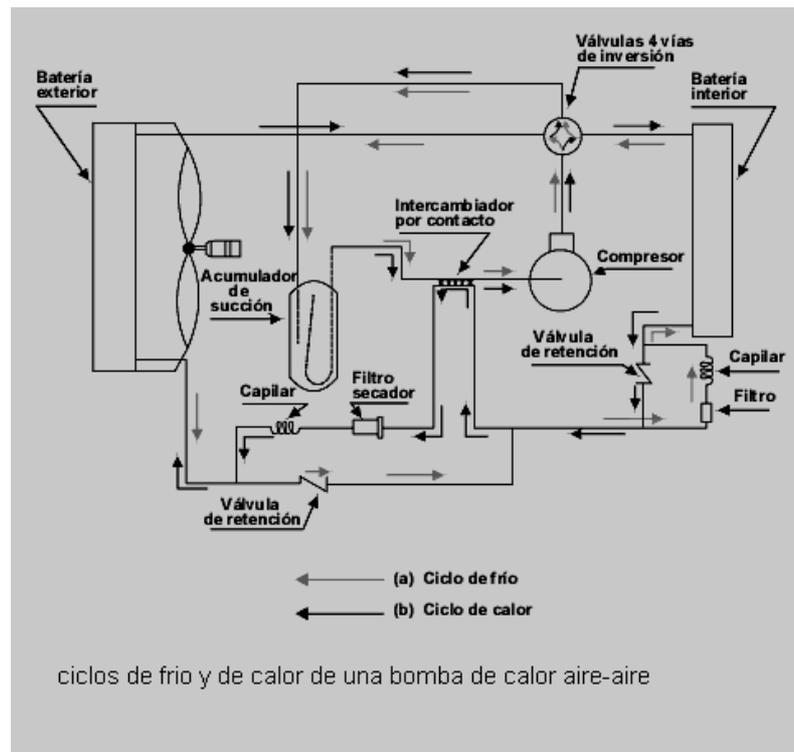
1.2.- TIPOS DE BOMBAS DE CALOR

Los diferentes tipos de bombas de calor se pueden clasificar de distintas maneras:

- a) Según el tipo de procesos.
 - Bombas de calor, cuyo compresor está impulsado mecánicamente por un motor eléctrico, de gas, diesel o de otro tipo.
 - Bombas de calor de accionamiento térmico (bombas de calor de absorción), en las que el ciclo se impulsa mediante calor a temperaturas elevadas.
 - Bombas de calor electrotérmicas, que funcionan según el efecto Peltier.
- b) Según el medio de origen y el destino de la energía.

Esta clasificación es la más utilizada. La Bomba de Calor se denomina mediante dos palabras. La primera corresponde al medio del que absorbe el calor (foco frío) y la segunda, al medio receptor (foco caliente). Medio del que Medio al que se extrae la energía cede la energía.
- c) Según medio de origen y AIRE-AIRE de destino de la energía AIRE-AGUA, AGUA-AIRE, AGUA-AGUA, TIERRA-AIRE, TIERRA-AGUA.
 - Las bombas de calor aire-aire: son las que más se usan, sobre todo en climatización.
 - Bombas de calor aire-agua: se utilizan para producir agua fría para refrigeración o agua caliente para calefacción y agua sanitaria.

- Bombas de calor agua-aire: Permiten aprovechar la energía contenida en el agua de los ríos, mares, aguas residuales, etc. Producen unos rendimientos energéticos mejores que las que utilizan aire exterior.
- Bombas de calor agua-agua: son bastante parecidas a las anteriores.
- Bombas de calor tierra-aire y tierra-agua: Aprovechan el calor contenido en el terreno. Son instalaciones muy raras, por su costo y la gran superficie de terreno requerido.



d) Según construcción

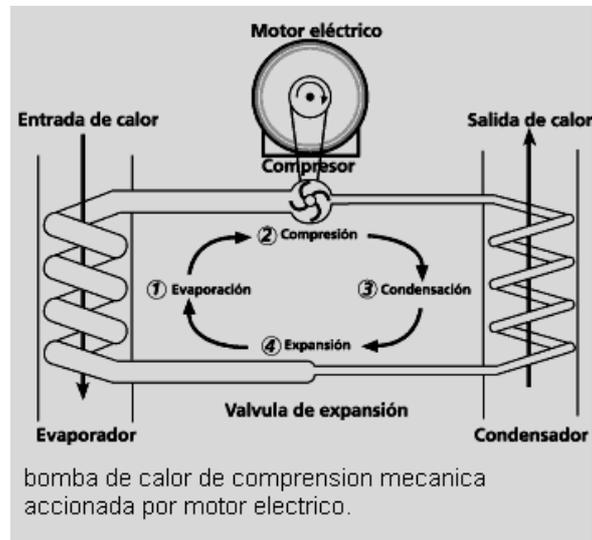
- Compacta: Todos los elementos que constituyen la Bomba de Calor se encuentran alojados dentro de una misma carcasa.
- Split o partidas: Están constituidas por dos unidades separadas. Una exterior donde se aloja el compresor y la válvula de expansión y una unidad interior. De esta manera se evitan los ruidos en el interior local.
- Multi-split: Están constituidas por una unidad exterior y varias unidades interiores.

e) Según funcionamiento

- Reversibles: Pueden funcionar tanto en ciclo de calefacción como en ciclo de refrigeración invirtiendo el sentido de flujo del fluido.
- No reversibles: Únicamente funcionan en ciclo de calefacción.
- Termofrigobombas: Producen simultáneamente frío y calor.

1.3.- BOMBA DE CALOR DE COMPRESIÓN MECÁNICA ACCIONADA MOTOR ELÉCTRICO

La mayor parte de las Bombas de Calor existentes trabajan con el ciclo de compresión de un fluido condensable.



Etapas del ciclo:

1.- En el evaporador, la temperatura del fluido refrigerante se mantiene por debajo de la temperatura de la fuente de calor (foco frío), de esta manera el calor fluye de la fuente al fluido refrigerante propiciando la evaporación de éste.

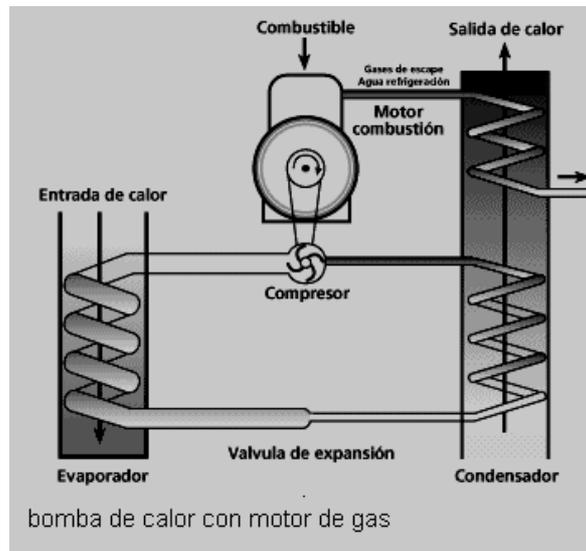
2.- En el compresor, el vapor que sale del evaporador es comprimido, elevando su presión y temperatura.

3.- El vapor caliente accede al condensador. En este cambiador, el fluido cede el calor de condensación al medio.

4.- Finalmente, el líquido a alta presión obtenido a la salida del condensador se expande mediante la válvula de expansión hasta alcanzar la presión y temperatura del evaporador. En este punto el fluido comienza de nuevo el ciclo.

Accediendo al evaporador: El compresor puede ser accionado por un motor eléctrico o por un motor térmico.

- Bombas de calor eléctricas: En este tipo de bombas el compresor es accionado por un motor eléctrico (como la imagen del dibujo anterior).
- Bomba de calor con motor térmico: El compresor es accionado mediante un motor de combustión, alimentado con gas o con un combustible líquido. Las más extendidas son las Bombas de Calor con motor de gas (como el dibujo siguiente).



1.4.- BOMBA DE CALOR CON MOTOR DE GAS

Ciertos tipos de Bombas de Calor (reversibles) son capaces de proporcionar calefacción y refrigeración. Las Bombas de Calor reversibles incorporan una válvula de 4 vías que permite la inversión de circulación del fluido frigorífico. De esta forma se consigue:

- Que se bombee calor del exterior hacia el interior en el ciclo de calefacción.
- Que se bombee calor del interior hacia el exterior en el ciclo de refrigeración.

1.5.- BOMBAS DE CALOR DE ABSORCIÓN

Las Bombas de Calor de absorción son accionadas térmicamente, esto quiere decir que la energía aportada al ciclo es térmica en vez de mecánica, como en el caso del ciclo de compresión. El sistema de absorción se basa en la capacidad de ciertas sales y líquidos de absorber fluido refrigerante. Las parejas de fluidos más utilizadas actualmente son: agua como fluido refrigerante en combinación con bromuro de litio como absorbente, o bien, el amoníaco como refrigerante utilizando agua como absorbente.

Los ciclos de absorción son análogos a los de compresión, únicamente se sustituye el compresor por un circuito de disoluciones que realiza la misma función que éste, es decir, eleva la presión y temperatura del fluido frigorífico en estado de vapor. El circuito de disoluciones, denominado 2 en el dibujo, consiste en un absorbedor, una bomba que impulsa la disolución, un generador y una válvula de expansión.

Se obtiene energía térmica a media temperatura en el condensador y en el absorbedor. En el generador se consume energía térmica a alta temperatura y, en la bomba, energía mecánica.

Focos de la bomba de calor: La Bomba de Calor extrae energía de un medio. Mediante el trabajo externo aportado, esta energía es cedida a otro. El medio del que se extrae la energía se llama foco frío y el medio al que se cede se llama foco caliente.

1.6.- COMPONENTES DE LA BOMBA DE CALOR

COMPRESOR

Eleva la presión del vapor refrigerante desde una presión de entrada a una presión de salida más alta. Se pueden clasificar en dos grandes grupos: compresores volumétricos o de desplazamiento positivo, que pueden ser alternativos o rotativos, y compresores centrífugos.

En cuanto al acoplamiento motor-compresor pueden ser:

- **Abiertos:** El motor y el compresor son independientes. Los ejes se acoplan en el montaje asegurándose la estanqueidad en el paso del eje.
- **Semiherméticos:** El compresor y el motor comparten el eje. Parte del calor generado en el motor se recupera en el fluido refrigerante, con lo que el rendimiento es superior al de los abiertos.
- **Herméticos:** El motor y el compresor, además de compartir el eje, se alojan en la misma envolvente, con lo que la recuperación del calor generada en el motor es mayor.

En las Bombas de Calor eléctricas se utilizan compresores herméticos para potencias inferiores a 60-70 Kw., para potencias superiores, (normalmente Bombas de Calor aire-agua) se utilizan compresores Semiherméticos.

Únicamente se utilizan compresores abiertos en aplicaciones aisladas y nunca en equipos de serie.

En las Bombas de Calor accionadas mediante motor de gas, el compresor es abierto. El compresor lleva incorporado un embrague electromagnético que permite la regulación de la potencia en función de la demanda térmica.

Las bombas de calor de gas suelen disponer de un motor de cuatro tiempos con un compresor alternativo abierto.

Compresores Alternativos: Estos pueden ser húmedos o secos.

Los **alternativos húmedos** están compuestos por un número variable de cilindros en el interior, de los cuales se desplazan pistones que comprimen el fluido. Los cilindros se suelen disponer en posición radial. El fluido entra y sale de ellos por válvulas accionadas por la presión diferencial entre ellos. Disponen de un sistema de lubricación mediante aceite a presión. Este circuito de aceite actúa también como refrigerante. La refrigeración mediante aceite presenta problemas de ensuciamiento del fluido refrigerante con aceite que puede penetrar en el interior del cilindro.

Los **alternativos secos** consiguen presiones de salida más elevadas que en los anteriores, ya que la compresión tiene lugar en varias etapas. Se extrae el calor generado en la compresión mediante circuitos de agua en las etapas entre compresiones.

La estanqueidad entre cilindro y pistón se logra mediante segmentos muy resistentes que no requieren refrigeración, a base de materiales como el politetrafluoro etileno.

Este tipo de compresores tiene un costo más elevado y desarrollan mayores potencias.

Compresores Rotativos

El **compresor de tornillo seco** consiste en dos rodillos con un perfil helicoidal, uno macho y otro hembra que giran con sus ejes paralelos. Al girar, el espacio entre ellos primero aumenta, generando una depresión mediante la que se aspira el fluido, y posteriormente se reduce comprimiendo el fluido. Al no existir contacto entre los rotores no es preciso lubricar con aceite, sin embargo, sí es necesaria una refrigeración auxiliar.

En el caso del **compresor de tornillo húmedo**, se inyecta aceite a presión entre los rotores para conseguir lubricación y refrigeración. Los compresores de tornillo se utilizan en generación de potencias térmicas muy elevadas a partir de 500 Kw. y suelen ser Semiherméticos.

Espiral o scroll: Los compresores de espiral o scroll se utilizan para potencias térmicas de hasta 30 Kw. El refrigerante se comprime por la variación del volumen causada por una espiral giratoria. Son herméticos y permiten la aspiración y descarga simultánea del refrigerante sin necesidad de una válvula. La reducción de partes móviles mejora el desgaste y, en consecuencia, la duración de estos equipos.

Swing: Los compresores swing se utilizan en equipos de baja potencia térmica (hasta 6 Kw.). Son rotativos herméticos y consiguen la variación del volumen mediante un pistón rodante.

Centrífugos: Suelen tener varias etapas, de manera que consiguen grandes saltos de presión y se destinan a equipos de gran potencia.

CONDENSADOR

Se pueden clasificar en:

- Condensadores que ceden el calor del fluido refrigerante al aire: Estos condensadores suelen ser de tubos de cobre con aletas de aluminio que incrementan la transmisión de calor. Adicionalmente estas baterías disponen de ventiladores que inducen la circulación del aire a calentar entre las aletas del condensador.

EVAPORADOR

-Según el estado del vapor de refrigerante a la salida del evaporador, éstos se clasifican en:

- **De expansión seca:** El vapor que se introduce en el compresor está ligeramente sobrecalentado y hay ausencia total de líquido. Estos evaporadores se emplean con compresores centrífugos donde dada la elevada velocidad, la presencia de gotas de líquido dañarían los alabes.
- **Inundados:** El vapor que entra en el compresor se encuentra saturado y puede incluso contener gotas de líquido.

-Según el fluido del que extraiga el calor, los evaporadores pueden ser:

- **Evaporadores de aire:** Las baterías evaporadoras son similares a las condensadoras. Disponen de una serie de tubos por los que circula el fluido refrigerante y una carcasa donde se alojan estos tubos y donde se fuerza la corriente de aire desde el exterior con la ayuda de unos ventiladores. Estos ventiladores pueden ser axiales o centrífugos. Los centrífugos son capaces de impulsar mayores caudales de aire y presentan menores niveles sonoros. Cuando la temperatura en la superficie de los tubos del evaporador disminuye por debajo del punto de rocío del aire se produce el fenómeno de la condensación y si se reduce aún más la temperatura, el escarchado. El escarchado incide negativamente en los rendimientos por dos motivos: pérdida en la superficie de intercambio y pérdida de carga en el flujo de aire a través del conjunto de tubos. Por esta razón las Bombas de Calor disponen de dispositivos de descarche incorporando resistencias en el evaporador o invirtiendo el ciclo durante periodos reducidos de tiempo.

Ventilador Axial y Ventilador Centrífugo

- **Evaporadores de agua:** Pueden ser coaxiales en contracorriente o bien multitubulares.

DISPOSITIVOS DE EXPANSIÓN

Son los dispositivos mediante los que se realiza la reducción de presión isoentálpica (es decir, con variación de entalpía igual a 0) desde la presión de condensación hasta la de evaporación.

Los elementos utilizados son:

- Tubo capilar para máquinas de potencia reducida y constante.
- Válvula de expansión: Las válvulas de expansión tienen una sección variable. Esta sección puede ser variada automáticamente de forma que el sobrecalentamiento tras la evaporación se mantenga constante y no accedan gotas de líquido al compresor. En este caso, la válvula recibe el nombre de termostática.

DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD Y CONTROL

Los dispositivos de seguridad y control paran el compresor en aquellos casos en que se esté trabajando fuera de las condiciones permitidas. Estos elementos de control son:

- **Presostato de alta presión:** Detiene el compresor cuando se alcanza una presión de condensación elevada.
- **Presostato de baja presión:** Detiene el funcionamiento del compresor cuando la presión de aspiración es demasiado baja.
- **Presostato de aceite:** Detiene el compresor cuando baja la presión del aceite del circuito de refrigeración y lubricación de aceite.
- **Termostato de descarga:** Desactiva el compresor cuando la temperatura de descarga es demasiado elevada.

DISPOSITIVOS AUXILIARES

- **Válvulas de 4 vías:** Invierten el ciclo. Son utilizadas en Bombas de Calor reversibles, y en funcionamiento para desescarche.
- **Válvulas solenoides:** Cuando el compresor se detiene, impiden el paso del fluido al evaporador evitando que se inunde.
- **Depósito:** A la salida del condensador y antes de la válvula de expansión se sitúa un depósito (acumulador) donde queda el excedente de fluido refrigerante. Antes del acumulador se dispone un filtro con el que se limpia el refrigerante de impurezas de tal manera que no dañe el compresor.

REFRIGERANTES DE LA BOMBA DE CALOR

Los fluidos refrigerantes deben tener ciertas propiedades termodinámicas de tal manera que condensen y evaporen a las temperaturas adecuadas, para lograr su objetivo. Un fluido puede evaporar a mayor temperatura cuando se eleva su presión, pero los compresores no pueden alcanzar cualquier presión y los evaporadores y condensadores no deben trabajar a sobre presiones ni depresiones elevadas, respectivamente.

Por otra parte, los fluidos refrigerantes no deben ser tóxicos, ni inflamables, ni reaccionar con los materiales que constituyen la máquina.

Los fluidos halogenados presentan las mejores propiedades, ya que trabajan en las temperaturas y presiones adecuadas para esta aplicación y no son tóxicos ni inflamables. No obstante, pueden contribuir a la destrucción de la capa de ozono. Si al final de su vida útil se liberan en el ambiente, la incidencia de rayos ultravioleta sobre estas sustancias hace que se fotodisocien, quedando libres radicales de cloro, que acaban siendo transportados a la estratosfera, donde reaccionan con el ozono, destruyéndolo. Por estas razones, la utilización de estos refrigerantes está restringida por ley.

Actualmente el fluido con el que funcionan (en la práctica) la totalidad de las Bombas de Calor en España es el R-22, (HCFC-22), cuya fórmula química es CHClF_2 . El R-22 únicamente tiene un átomo de cloro y, por tanto, resulta menos perjudicial para la capa de ozono que los CFC's.

1.7.- LOS PRINCIPALES TIPOS DE BOMBAS DE CALOR PARA APLICACIONES INDUSTRIALES

BOMBAS DE CALOR EN CICLO DE COMPRESIÓN CERRADO.

La temperatura máxima obtenida por los fluidos refrigerantes actuales está en torno a los 120° C. Este es el tipo de bombas más extendido en la industria

Sistemas de recompresión mecánica del vapor (MVR): En estas bombas el fluido que evoluciona es el propio fluido de proceso en un ciclo abierto. Se clasifican en sistemas abiertos y semiabiertos.

En un sistema abierto, el vapor de un proceso industrial es comprimido. Al elevar su presión se eleva su temperatura, y condensado en el mismo proceso cede su calor.

En los sistemas semi-abiertos, el calor del vapor es cedido al proceso mediante un cambiador de calor. Se eliminan uno (semiabierto) o dos (abierto) cambiadores de calor (evaporador y/o condensador) y el salto de temperaturas conseguido con la bomba es pequeño por esta razón. La eficacia de utilización es elevada y se obtienen COP«s de 10 a 30.

Los sistemas actuales MVR trabajan con temperaturas de foco frío de 70 a 80° C y ceden el calor a temperaturas entre 110 y 150° C. En algunos casos pueden llegar a los 200° C. El agua es el fluido de trabajo más usual, aunque también se pueden utilizar otros vapores de procesos.

BOMBAS DE CALOR DE ABSORCIÓN DE SIMPLE EFECTO

En Suecia y Dinamarca se han utilizado para recuperar calor de incineradoras de residuos. Los sistemas actuales con agua/bromuro de litio alcanzan una temperatura de salida de 100°C y un salto térmico de hasta 65° C, con un COP que oscila entre 1.2 y 1.4. La nueva generación de Bombas de Calor de absorción avanzadas alcanzará temperaturas de salida de 260° C y saltos térmicos superiores a los mencionados.

BOMBAS DE CALOR DE ABSORCIÓN DE DOBLE EFECTO

También se les denomina transformadores de calor. Se aplican a fluidos que tienen un calor residual y una temperatura intermedia por encima de la del ambiente, pero por debajo de la utilizable. Mediante el evaporador y el generador, el fluido alcanza una temperatura adecuada para su utilización. En el absorbedor se cede el calor al proceso. Todos los sistemas de este tipo en la actualidad, utilizan bromuro de litio y agua como fluidos refrigerantes. Estos transformadores pueden alcanzar temperaturas de hasta 150° C, con un salto de temperatura de 50° C. Los COP«s en estas condiciones están comprendidos entre 0.45 y 0.48.

CICLO DE BRYTON REVERSO

Con este ciclo se recuperan las sustancias disueltas en gases en varios procesos. El aire saturado se comprime y expande. El aire se enfría en la expansión, y las sustancias disueltas se condensan y son recuperadas. La expansión tiene lugar en una turbina que acciona un compresor.

CAPITULO II:

APLICACIONES INDUSTRIALES

2.1. CALENTAMIENTO DE AGUA

Relativamente son escasas las Bombas de Calor instaladas actualmente en la industria, sin embargo, cuando las reglamentaciones ambientales son muy estrictas, esta tecnología puede participar de manera importante en la reducción de emisiones, gracias a su elevada eficiencia y pueden disminuir además el uso de agua de enfriamiento de los equipos.

Para asegurar una aplicación adecuada de las bombas de calor en la industria, se debe ante todo optimizar e integrar los procesos para lograr una eficiencia energética elevada.

En la industria se presentan en muchas ocasiones, necesidades simultáneas de agua fría y caliente, en el rango de temperaturas de 40° C a 90° C, para lavandería, limpieza y desinfección. Esta demanda puede ser cubierta por Bombas de Calor. Las bombas instaladas en este campo son principalmente de compresión con motor eléctrico.

2.2.- SECADO DE PRODUCTOS

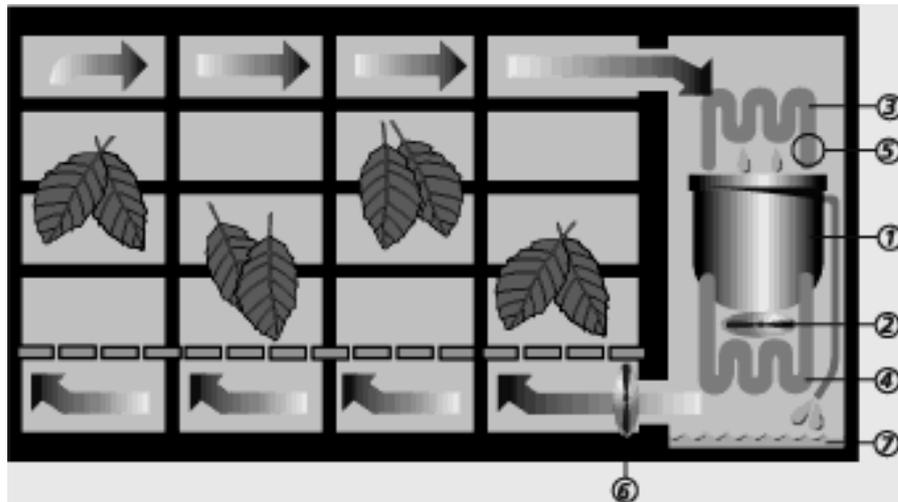
Las Bombas de Calor se usan extensivamente en la deshumidificación industrial y secado a temperaturas bajas y moderadas. Esta es una aplicación muy desarrollada en España. Para secar un producto se utiliza la propiedad que tiene el aire para cargarse de humedad. La cantidad de humedad absorbida por el aire es mayor, cuanto más alta sea la temperatura. El proceso consiste en impulsar al local aire caliente y seco, que robará humedad al producto a secar. Posteriormente este aire húmedo pasa por el evaporador de la Bomba de Calor, en el que se enfría y deshumidifica. La Bomba de Calor está especialmente indicada para aquellos procesos que requieren un secado lento y sensible a altas temperaturas.

Algunos ejemplos son:

a) Secado y curado de embutidos: en el caso del secado y curado de embutidos el proceso se realiza en dos fases:

- **Calentadores:** Con una duración de entre 30 y 75 horas. Primero se busca una desecación inicial rápida con aire seco a unos 28°C. Después se baja la temperatura a 22-24°C y se incrementa la humedad relativa.
- **Curado:** Con una duración en torno a 20 días se mantienen temperaturas bajas de 12 a 15° C con humedades relativas en torno al 75 %.

b) Secado de tabaco: En la figura se observa el esquema del proceso de secado de tabaco.



1. Compresor / 2. Ventilador de circulación de aire en el interior del equipo / 3. Evaporador, enfría el aire caliente y húmedo condensándose el agua / 4. Condensador, donde se calienta aire frío y seco / 5. Válvula de expansión / 6. Ventilador para la circulación del aire en secadero / 7. Salida del agua extraída

FIGURA QUE MUESTRA EL PROCESO DE SECADO DE TABACO

c) Secado de lodos de plantas depuradoras de aguas residuales: También se utilizan en el secado de lodos provenientes de las depuradoras de aguas residuales, como se observa en la figura, que corresponde a un esquema de principio de un túnel de deshidratación de lodos mediante Bomba de Calor.

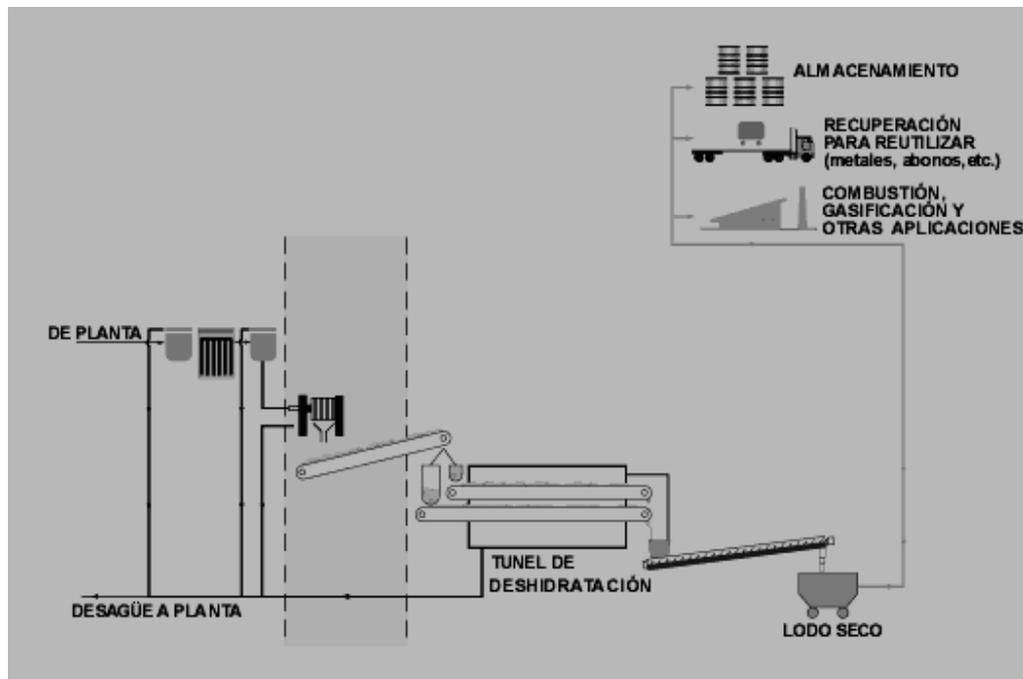


FIGURA QUE MUESTRA UN TÚNEL DE DESHIDRATACIÓN DE LODOS.

Otros ejemplos de aplicaciones de secado, con su rango de temperaturas, son:

TIPOS DE SECADO.	RANGO DE TEMPERATURA
SECADO DE CUERO Y PIELES.	45 a 60 °C
SECADO DE LADRILLOS.	65 °C
SECADO DE MADERAS.	35 °C
SECADO DE LA MALTA DE CERVEZA.	60 a 85 °C
SECADO DE LANA Y FIBRAS TEXTILES.	105 a 110°C

2.3.- DESTILACIÓN Y OBTENCIÓN DE CONCENTRADOS

Aún a pesar de que la evaporación y la destilación son procesos intensivos de energía, la Bomba de Calor se utiliza con este fin en la industria química y alimentaria. En la destilación se está produciendo una evaporación que requiere calor y una condensación donde sobra calor. La Bomba de Calor puede funcionar cediendo calor en su condensador y absorbiéndolo en el evaporador.

En los procesos de concentración se aplican sistemas MVR abiertos o semiabiertos, aunque también se utilizan bombas de ciclo de compresión. La utilización es muy efectiva con COP's entre 6 y 30, cuando son necesarios pequeños saltos de temperatura.

Una aplicación es la concentración en la industria alimentaria (lácteos, zumos, etc.).

CALEFACCION EN INVERNADEROS

En los invernaderos las plantas absorben humedad y nutrientes por sus raíces, devolviendo parte de la humedad al aire ambiente a través de las hojas, aumentando los niveles de humedad dentro del invernadero. La Bomba de Calor permite reducir el nivel de humedad dentro del invernadero, sin desperdiciar el calor.

2.4.- CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO DE AGUA EN PISCIFACTORIAS

En las piscifactorías es necesaria la producción de agua caliente y fría de forma simultánea, pues las condiciones de temperatura requeridas para la cría y engorde son distintas a las necesidades para la fecundación de huevos y el crecimiento de los alevines. El principal inconveniente es que normalmente la demanda de frío y calor no coincide. En la figura se muestra un esquema de esta aplicación.

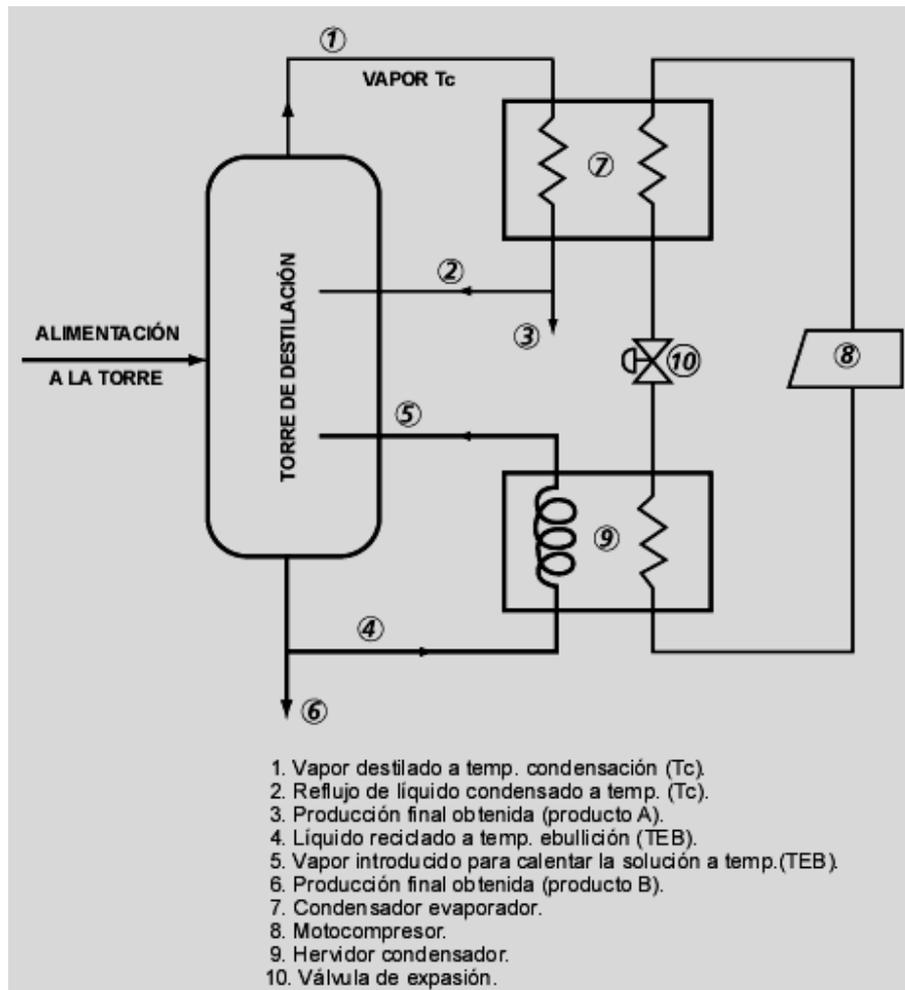


FIGURA QUE MUESTRA LA DESTILACIÓN

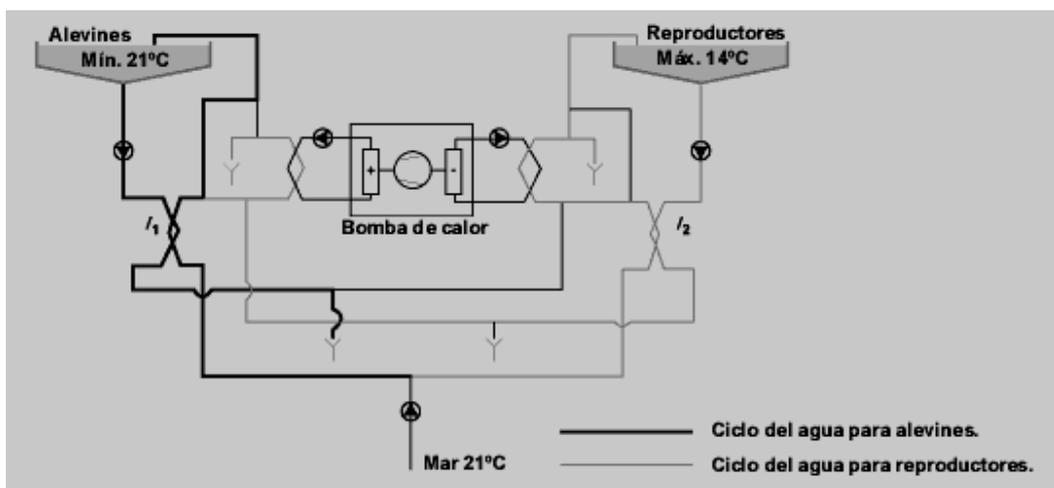


FIGURA DE UNA PISCIFACTORIA

2.5.- FERMENTACION DEL PAN

En este proceso los azúcares contenidos en la masa se transforman en alcohol y anhídrido carbónico. Este proceso debe desarrollarse a una temperatura en el entorno de los 22/30°C. Las especiales condiciones de la mayor parte de los obradores de panadería obligan a calentar en invierno y refrigerar en verano si no queremos tener desviaciones importantes con respecto a las temperaturas citadas. Las bombas utilizadas en esta aplicación son de compresión mecánica aire-aire reversible. En la figura se presenta un esquema de utilización de la Bomba de Calor en este proceso.

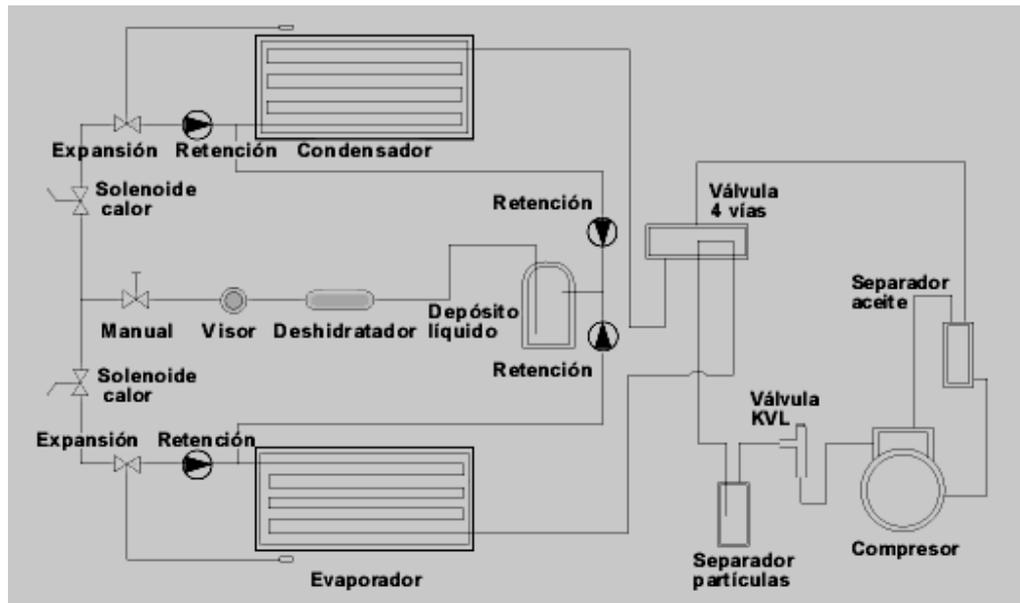


FIGURA MOSTRANDO EL PROCESO DE FERMENTACIÓN DEL PAN

2.6.- OTROS SECTORES INDUSTRIALES DONDE LA BOMBA DE CALOR ES DE APLICACIÓN

- a) **Sector vinícola:** Enfriamiento del vino y producción de agua caliente para el lavado de botellas.
- b) **Industria textil:** Calefacción de los baños de tinte.
- c) **Industrias del papel y de la pulpa de madera:** proceso de evaporación, calefacción y secado.
- d) **Industrias plásticas:** Diversos procesos como refrigeración de las cabezas de extrusión e inyección, con recuperación del calor para la calefacción de locales.
- e) **Industria del caucho:** Calefacción de las soluciones de separación.

f) Sector Lácteo: Pasteurización de los productos lácteos, evaporación, concentración y esterilización, y procesos de limpieza.

g) Industria alimentaria: Procesos de cocción en el sector de conservas, charcuterías, azucareras, etc.

h) Industrias siderometalúrgicas: Desengrase, lavado, galvanizado, preparación de pinturas secado. Industria cerámica: Secado.

CAPITULO III:

CLASIFICACIÓN DE BOMBAS DE CALOR

3.1. BOMBAS DE CALOR PARA ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO

Este tipo de bombas de calor también conocidas como bombas unitarias, son las que vienen prefabricadas, diseñadas por el fabricante.

Estos equipos se pueden clasificar en:

- a) Residenciales (hasta 65000 Btu/h, (5.4 TR) generalmente monobásicas).
- b) Comercial liviano (hasta 135000 Btu/h, (11.3 TR) generalmente trifásicas).
- c) Comercial pesado (más de 135000 BTU/H).
- d) Split: Éstas son cuando el equipo viene dividido en varias unidades (por ejemplo, interior y exterior). Cubren un rango aproximado de 1.5 a 30 TR, la cantidad de energía en forma de calor que se puede obtener varía de 2 a 4 veces la consumida.

En el caso de aire acondicionado, para un mejor confort, antes que sobredimensionar la bomba, es mejor alguna fuente complementaria de calor o bombas de capacidad variable (incluyendo compresores movidos por motores de combustión interna, etc.).

BOMBAS DE CALOR RESIDENCIALES

Las bombas de calor para uso residencial son sistemas de comodidad para el año entero. En el verano extraen el calor de su casa para mantenerla fresca y en invierno atraen el calor de afuera para mantenerla caliente. Muchas instalaciones de bombas de calor tienen una resistencia eléctrica reforzada que automáticamente proporcionan el calor del exterior. La temperatura exterior siempre cuenta con calor aun en temperaturas muy bajas.

El potencial actual que tienen las Bombas de Calor para reducir las emisiones de CO₂ del globo se estiman en un 6%, lo que equivaldría a una reducción de 1200 millones de toneladas de CO₂ al año, repartidas así:

- 1000 millones de toneladas de las emisiones de CO₂, como consecuencia de los procesos de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria en los sectores residenciales y servicios, ascienden anualmente en el país de España a 28 millones de toneladas de CO₂.

3.2. TIPOS DE BOMBAS DE CALOR

Los equipos pueden ser compactos y partidos. Los primeros constan de una sola unidad, mientras que los partidos están formados por dos o más unidades.

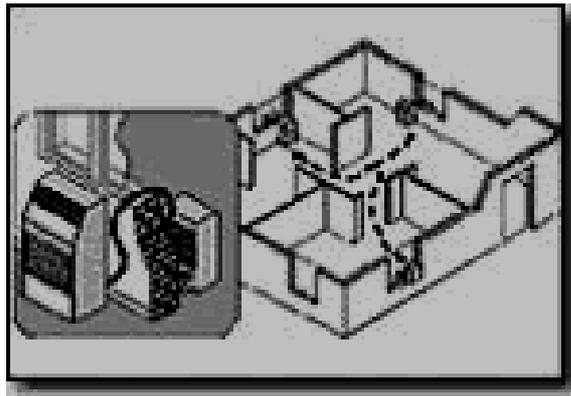
En cuanto al servicio que prestan, los equipos se denominan:

-Unitarios, cuando se trata de equipos independientes en cada dependencia con descarga directa de frío o calor.

-Individuales, cuando un solo equipo atiende al conjunto del local con descarga indirecta a través de una red de conductos de aire.

La mayor parte de los modelos que se indican, se fabrican con o sin incorporación de bomba de calor.

Acondicionador portátil.- Es un equipo unitario, compacto o partido, de descarga directa y transportable de un lugar a otro.



Para su instalación sólo requiere una sencilla abertura en el marco o el cristal de la ventana o balcón.

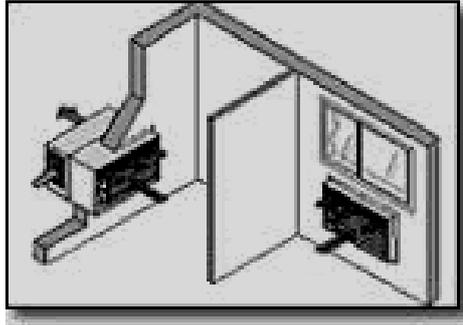
Resuelve de forma adecuada las necesidades mínimas de acondicionamiento, generalmente frío, en pequeñas estancias.

Su gama de potencias es:

Refrigeración: 1600-3800 W (potencia eléctrica: 700-1700 W).

Calefacción: 2500-3500 W (potencia eléctrica: 1000 -1300 W).

Acondicionador de ventana.- Es un equipo unitario, compacto y de descarga directa. Normalmente se coloca uno en cada dependencia, o si el domicilio o local es de gran superficie, se colocan varios, según las necesidades.



La instalación se realiza en ventana o muro. La sección exterior requiere toma de aire y expulsión a través del hueco practicado. La dimensión del hueco ha de ajustarse a las dimensiones del aparato.

Generalmente, estos equipos sólo proporcionan refrigeración. Su gama de potencias es de 2000 -7000 W, con una potencia eléctrica demandada de 900-3000 W.

Consola.- Equipo unitario, compacto y de descarga directa.



Se coloca una consola o varias en cada dependencia, según las necesidades.

La instalación requiere una toma de aire exterior, mediante un hueco practicado en el muro, de dimensiones similares a las de la consola. Ésta se puede colocar apoyada en el suelo o colgada del muro.

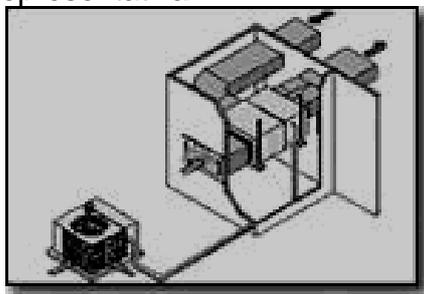
EQUIPO PARTIDO INIVIDUAL

Es también un equipo de descarga indirecta, mediante red de conductos y emisión de aire a través de rejillas en pared o difusores en techo.

Al igual que los equipos partidos unitarios, está formado por dos unidades: el compresor y el condensador se sitúan en la unidad exterior, mientras que la unidad evaporadora se instala en el interior, conectada a la red de conductos.

Ambas unidades se conectan mediante las líneas de refrigerante.

Como en el caso anterior, se suele instalar un equipo para toda la vivienda o local. El control es individual por equipo y se realiza de acuerdo con las condiciones de confort de la dependencia más representativa.



Para asegurar una correcta ventilación de los espacios acondicionados, la unidad interior precisa una toma de aire exterior. Esta unidad suele ser, en general, de tipo horizontal, para facilitar su colocación oculta por un falso techo.

Su gama de potencias es similar al caso anterior.

La siguiente tabla resume las características nominales de refrigeración y calefacción, así como la potencia eléctrica demandada en cada caso, para todos los tipos de aparatos que se han descrito.

Tipo de aparato	Refrigeración	Calefacción	Potencia calorífica (W)	Potencia eléctrica (W)
	Potencia frigorífica (W)	Potencia eléctrica (W)		
Acondicionador portátil	1.600 - 3.800	700 - 1.700	2.500 - 3.500	1.000 - 1.300
Acondicionador ventana	2.000 - 7.000	900 - 3.000	-	-
Consola	2.000 - 7.000	900 - 3.000	-	-
Partidos	2.300 - 7.500	1.000 - 3.000	2.500 - 8.000	1.000 - 2.900
Compacto individual	7.000 - 17.000	3.000 - 7.000	7.500 - 18.000	3.000 - 6.500
Partido individual	7.000 - 17.000	3.000 - 7.000	7.500 - 18.000	3.000 - 6.500

3.3. BOMBAS DE CALOR PARA CALENTAMIENTO DE PISCINAS

En el mercado se dispone de cuatro sistemas de calentamiento para piscinas: las bombas de calor, la energía solar, calefacción a gasoil o propano, y la calefacción con resistencia eléctrica. Sin embargo, hay muchas diferencias entre los diferentes sistemas, especialmente en lo relativo a costos y rendimientos.

La Energía Solar es el método con el costo más reducido. No obstante, debido a que el agua sólo puede incrementarse a una temperatura no superior a los 6° C por encima de la temperatura ambiente, muchas instalaciones solares básicas no consiguen mantener una temperatura agradable durante todo el año. La razón es la siguiente: la superficie de paneles utilizada es menor a la necesaria. Además, en invierno, la temperatura no se suele incrementar más de 4 o 5° C.

La Calefacción por Gas o Gasóleo, ofrece una aportación rápida de calor a la piscina, pero en contra tiene un costo muy elevado. Además, requiere el almacenamiento de grandes depósitos inflamables, con el consiguiente deterioro para el medio ambiente, debido a la polución que generan. Los calentadores a gas o gasóleo son más caros que la bomba de calor y no permiten la opción de enfriar el agua.

Las Resistencias Eléctricas son el método más caro para el calentamiento de las piscinas y probablemente uno de los métodos con una menor efectividad. De hecho, y dependiendo de las tarifas eléctricas locales, calentar una piscina con resistencia eléctrica puede suponer un costo entre un 200-600% superior a otros sistemas. Tampoco dispone de la opción de enfriamiento de agua.

BOMBAS DE CALOR TECNOPOOL

Éstas utilizan una tecnología innovadora para extraer grandes cantidades de calor de exterior y transferirlas al agua de la piscina utilizando una mínima cantidad de electricidad.

El 80% del calor producido por la bomba de calor proviene del aire exterior, gratuito y siempre disponible. Esta bomba de calor es el sistema más limpio, eficiente y con el costo más económico para mantener caliente la piscina todo el año.

De hecho, comparado con la calefacción a gasóleo, el ahorro oscilaría entre 30-75% menos. Es además el único sistema que también permite enfriar el agua de la piscina (opcional).



Bomba de calor TECNOPOOL



MODELO	CONSUMO MÁXIMO (Kw.)	RENDIMIENTO A 15° AIRE (Kw.)	Kcal.	C.O.P. AIRE/AGUA 15°	VOLTAJE	CAUDAL AIRE m ³ /h	ALTO, ANCHO, FONDO	PESO Kg.
I I I - 2 2 0	2.9	14.7	12.642	5.1	220-150	5.097	88*88*82	137
V I - 2 2 0	3.4	18.2	15.652	5.3	220-150	5.097	88*88*94	147
V I - 3 8 0	3.4	18.2	15.652	5.3	380-350	5.097	88*88*94	147
V I I I - 3 8 0	5	30.3	26.058	6.06	380-350	5.097	88*88*94	170
SILVER220	2.3	12.2	10.492	6.8	220-150		86*84*96	140
SILVER380	2.3	12.2	10.492	6.8	380-350		86*84*96	140
GOLD220	2.8	14.4	12.384	6.5	220-150		91*84*93	147
GOLD380	2.8	14.4	12.384	6.5	380-350		91*84*93	147
PLATINUM220	3.4	17.8	15.308	6.5	220-150		91*84*93	190
PLATINUM380	4.0	22.1	19.006	6.7	380-350		91*84*96	190
COMERCIAL	6.0	34.5	29.670	7.0	380-350		1.25*84*93	325

BOMBA DE CALOR AQUACAL

La bomba de calor AQUACAL TROPICAL es la solución ideal para calentar las piscinas al aire libre hasta **75 m³**. Compacta y silenciosa, la bomba de calor AQUACAL TROPICAL se adapta fácilmente a su entorno. Gracias a su termostato digital y a su manómetro del caudal del agua, usted controla su funcionamiento y la temperatura de su piscina. Equipado de un controlador del caudal, se pone en marcha y se para automáticamente al mismo tiempo que la filtración. Sus características principales son:

-Condensador refrigerado por agua, en titanio contra la corrosión, conforme a las normas europeas CE.

-Fluido refrigerante R407C (conforme a la legislación sobre los refrigerantes).

-Compresor Scroll muy silencioso, con manómetro para el ajuste del caudal del agua.

-Termostato digital de regulación con interruptor on/off e indicador luminoso.

-Conexión hidráulica en PVC Ø 50 realizada a través de un by - pass en el circuito de filtración; dos uniones PVC 1/2 unión Ø 50 suministrados.



AQUA CAL TROPICAL

COMPRESOR	SCROLL
POTENCIA RESTITUIDA (Kw.)	14.4
POTENCIA ABSORBIDA (Kw.)	2.8
COP.	5.2
ALIMENTACION ELÉCTRICA	230 v.
NIVEL SONORO A 30 m.	52
PESO Kg.	113
DIMENSIONES	91.5*76.2*88.9



Bomba de calor especial para piscinas, instalación obligatoria en el exterior próxima del local técnico de la piscina. Utilización a partir de una temperatura del aire exterior de 5°C. Para calentar el agua de su piscina **de un máximo de 100 m³**.

BOMBA DE CALOR HEATWAVE H110

La bomba de calor HEATWAVE H100 es la solución ideal para calentar las piscinas al aire libre hasta **110 m³**.

HEATWAVE H100

COMPRESOR	SCROLL
POTENCIA RESTITUIDA (Kw.)	19.1
POTENCIA ABSORBIDA (Kw.)	3.3
COP.	5.8
ALIMENTACION ELÉCTRICA.	230 V/400 V, (SEGÚN EL MODELO)
NIVEL SONORO A 3m.	55
PESO (Kg.)	136
DIMENSIONES.	77.5*86.4*91.5



Bomba de calor especial para piscinas, instalación obligatoria en el exterior próxima al local técnico de la piscina. Utilización a partir de una temperatura del aire exterior de 5°C. Para calentar el agua de su piscina de hasta 110 m³ como máximo.

BOMBA DE CALOR HEATWAVE H120

La bomba de calor HEATWAVE H120 es la solución ideal para calentar las piscinas al aire libre hasta **160 m³**.

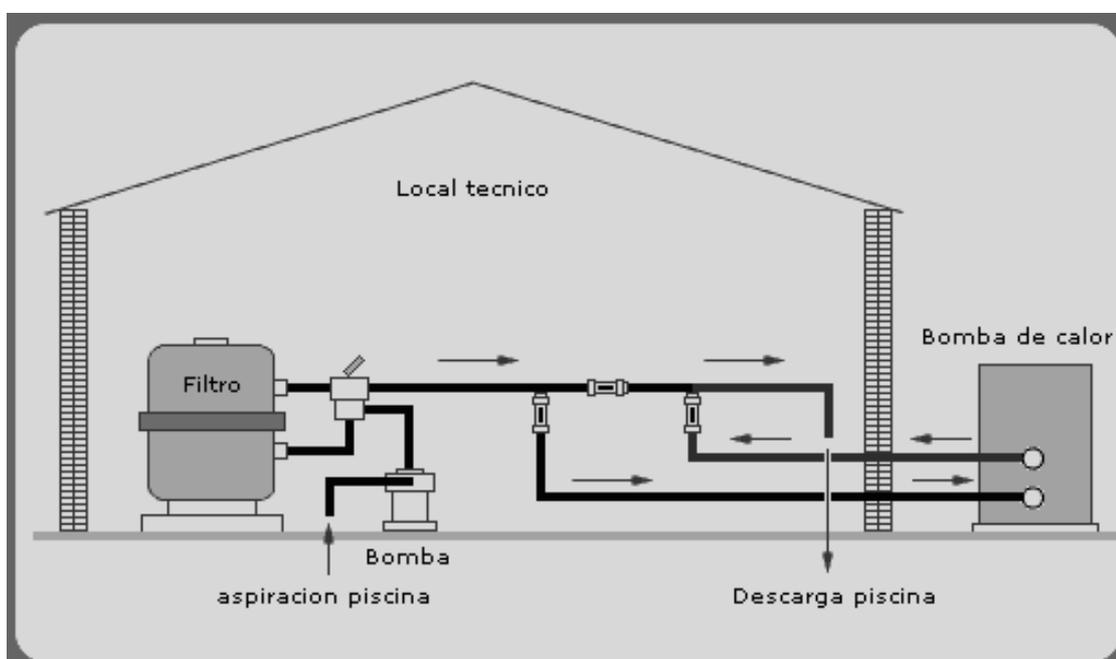
HEATWAVE H120

COMPRESOR	SCROLL
POTENCIA RESTITUIDA (Kw.)	24.3
POTENCIA ABSORBIDA (Kw.)	4.3
COP.	5.6
ALIMENTACION ELÉCTRICA.	230 V/ 400 V (SEGÚN EL MODELO)
NIVEL SONORO A 3 m.	57
PESO (Kg.)	147
DIMENSIONES.	77.5*86.4*91.5



Bomba de calor especial para piscinas, instalación obligatoria en el exterior próxima al local técnico de la piscina. Utilización a partir de una temperatura exterior de 5° C. Para calentar el agua de su piscina **de hasta un máximo de 200 m³**.

En el siguiente plano se muestra la instalación correspondiente de las bombas de calor en las piscinas, anteriormente descritas.



BOMBA DE CALOR T155

La Bomba de Calor T155 de descorche y reversible es ideal para calentar las piscinas al aire libre hasta 200m³.

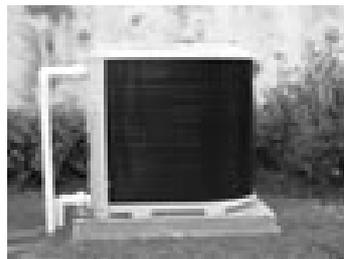
TROPICAL T155 FUNCION DE DESCARCHE.

COMPRESOR	SCROLL
POTENCIA RESTITUIDA. (Kw.).	31.2
POTENCIA ABSORBIDA (Kw.).	5.5
COP.	5.7
ALIMENTACION ELÉCTRICA.	400 V
PESO (Kg.)	195
DIMENSIONES	91.5*81.2*109.2



BOMBA DE CALOR HEAT SIPHON. MODELO SX5HP.

COMPRESOR	SCROLL.
DIMENSIONES. (m.).	1.5*.94*1.5
PESO (Kg.)	134
CAPACIDAD BTU / hr.	109,000



3.4. BOMBAS DE CALOR GEOCALOR

La tierra recibe cada año del Sol una energía equivalente a 10000 veces la energía que consumen sus habitantes. El terreno capta esa energía solar y la acumula. Sólo con cavar a un metro de profundidad, ya encontramos temperaturas entre 5 y 15° C en cualquier estación del año.

Gracias a las nuevas tecnologías de la termodinámica, elevan el nivel de la temperatura de la fuente exterior hasta obtener el nivel de confort deseado para la calefacción de la vivienda. La energía solar almacenada por la tierra es así recuperada mediante:

- Un captador de tipo "**red de superficie**", formado por una red de tubos enterrados en el jardín.
- Un captador de tipo "**piquetas de profundidad**", con una perforación específica.
- Un sistema de tipo "**capa de agua**", mediante la utilización de aguas superficiales como las que representan los pozos abiertos, los arroyos, los estanques, etc.
- Un "**captador atmosférico**", tomando energía directamente de la radiación solar incidente o del calor de la atmósfera ambiente.

Los sistemas de generación de calor en el sector residencial deben ser productivos y eficaces, tanto para las necesidades de calefacción como de agua caliente sanitaria.

Ahora bien, el rendimiento de las bombas de calor y, en consecuencia, el ahorro que proporcionan con su utilización, es máximo cuando la diferencia de temperaturas entre la captación y la de las necesidades de utilización es lo más pequeña posible. Por ejemplo, con 0° C de temperatura de captación y 35° C de temperatura de utilización.

La bomba de calor **GEOCALOR** funciona principalmente para las necesidades de calefacción y los sistemas de almacenamiento.

-Puede darse prioridad a la producción abundante de agua caliente sanitaria con la inclusión de 1 a 3 captadores solares.

-La inversión inicial es del mismo orden que la de una antigua instalación de calefacción central, pero con **unos ahorros de funcionamiento incomparables** (hasta 80% de ahorro).

-Bajo costo de mantenimiento.

-No precisa chimeneas de evacuación de humos.

-El confort del servicio de calefacción está asegurado preferentemente con un sistema de suelo radiante o de radiadores de baja temperatura, que proporcionan un calor suave, agradable y uniforme de abajo a arriba.

Las bombas de calor **GEOCALOR** tienen una potencia calorífica de **4 a 20 Kw.** en diferentes versiones, permitiendo equipar tipo de vivienda individual de 80 a 500m, pequeños edificios colectivos o del sector terciario.

BOMBAS DE CALOR INDUSTRIALES (APLICADAS)

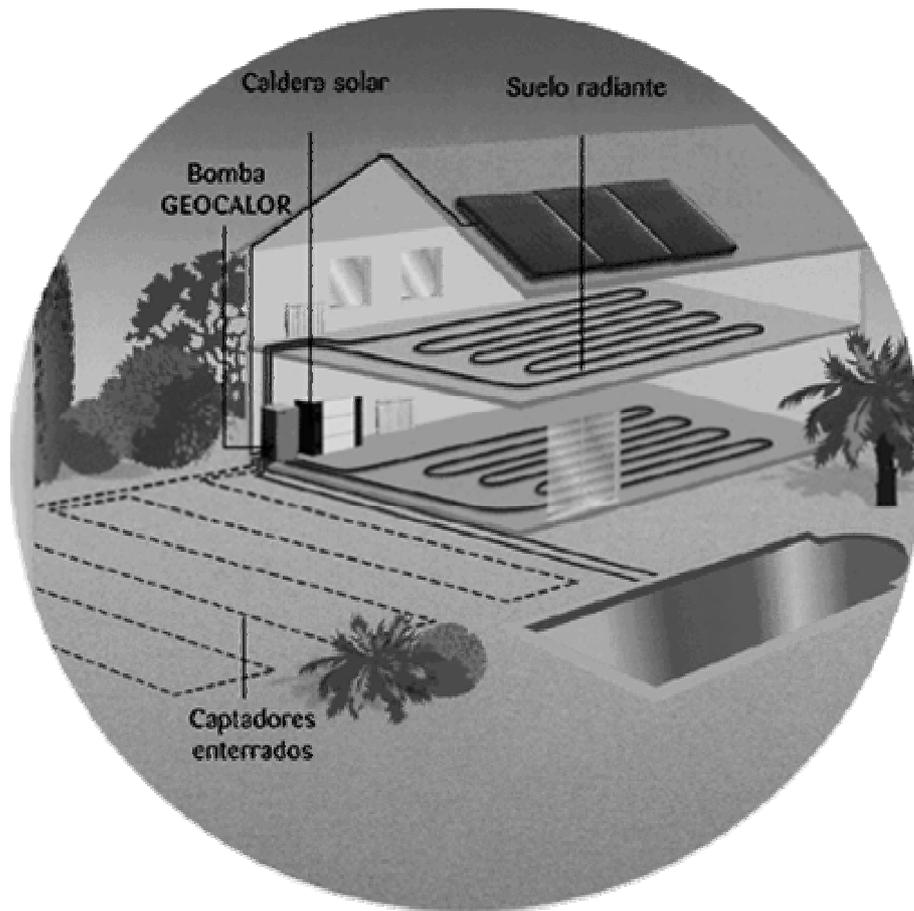
Este tipo de bombas por lo general su función es recuperar calor generado en alguna parte de un proceso, las bombas de calor industriales son menos difundidas que el uso de calor para acondicionamiento de aire, a pesar de poseer en general COPs más altos.

La función de éstas es recuperar parte del calor generado en un proceso (y que normalmente sería desperdiciado para verterlo en alguna parte del proceso o acondicionar algún ambiente).

Los tipos de bombas de calor APLICADAS: Éstas son aplicadas cuando requieren de un diseño en el lugar, de acuerdo a la aplicación específica. Por ejemplo, las aplicadas a procesos industriales.

Dentro de las bombas de calor industriales las más importantes son:

- a) Ciclo de compresión cerrado-motor eléctrico (ECCC).
- b) Ciclo de compresión cerrado-motor diesel (DCCC).
- c) Recompresión mecánica de vapor (MVR).



CAPÍTULO IV

DESEMPEÑO DE LA BOMBA DE CALOR

4.1.- DESEMPEÑO DE LA BOMBA DE CALOR

El calor teórico entregado por una bomba de calor es la suma del calor extraído de la fuente de calor y la energía requerida para el manejo del ciclo.

El desempeño en estado estacionario de una bomba de calor por compresión de vapor con un compresor eléctrico bajo ciertas condiciones de temperaturas se le llama coeficiente de operación (COP), y se define como la relación del calor entregado por la bomba y la electricidad proporcionada al compresor.

En términos generales, en un equipo que opera térmicamente, el desempeño de la bomba de calor se establece con base en la relación de energía primaria proporcionada (REP). La energía proporcionada puede ser, por ejemplo, el poder calorífico inferior del combustible (LHV). En los sistemas que operan con electricidad, la REP puede ser, multiplicando el COP por la eficiencia de generación eléctrica.

El COP o REP de una bomba de calor se relaciona estrechamente con el incremento en la temperatura, es decir, la diferencia entre la temperatura de la fuente de calor y la temperatura de salida del calor útil de la bomba de calor.

El COP como una función de la temperatura de condensación para una bomba de calor ideal, donde la temperatura de la fuente de calor es 0°C. También muestra la variación del COP acorde con varios tipos y tamaños de bombas de calor reales.

El desempeño de una bomba de calor eléctrica a lo largo de una estación, o a lo largo del año, se llama factor de desempeño estacional (FDE), y se define como la relación del calor proporcionado a lo largo de la estación y la energía eléctrica suministrada.

Se toma en cuenta la demanda variable de calefacción y/o enfriamiento, las variaciones en la temperatura de la fuente térmica y del sumidero a lo largo del año, e incluye otras demandas adicionales de energía, como la requerida para el descongelamiento del evaporador.

El desempeño de una bomba de calor se ve afectado por numerosos factores; por ejemplo, en las bombas de calor empleadas en edificios se tiene el clima, la demanda de calefacción y enfriamiento anual, los picos máximos de demanda, las temperaturas de la fuente de calor y del sistema de distribución de calor, el consumo de energía de equipos auxiliares (bombas, ventiladores, suministros adicionales de calor, etc.), el tamaño de la bomba de calor, con relación a la demanda de calor, sus características de operación y la forma de control de la bomba.

4.2.- CASO DE APLICACIÓN

1) Calentamiento de una alberca: La acción consiste en sustituir la caldera eléctrica que se emplea actualmente por una bomba de calor para reducir los costos y el consumo de energía eléctrica.

La tarifa residencial actual utilizada para el presente caso es (DAC), domésticas de alto consumo, esta tarifa se aplica a todos los servicios que destinen la energía para el uso exclusivo residencial.

Se considera de alto consumo cuando se registra un consumo mensual superior al límite de alto consumo definido en la localidad.

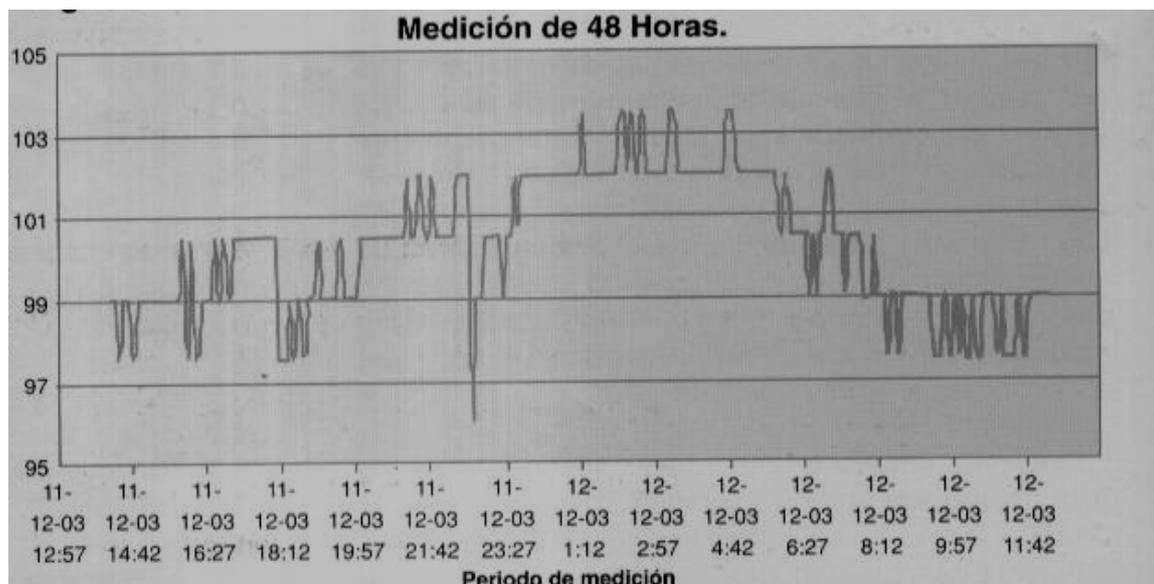
TARIFAS DOMÉSTICAS

1	1A	1B	1C	1D	1E	1F
250	300	400	850	1000	2000	2500 Kwh/ms

CARGOS FIJOS POR ZONA

ZONAS	COSTO	CARGOS POR ENERGÍA CONSUMIDA \$/Kwh
CENTRAL	63.38	2.952
NOROESTE	63.38	2.762
NORTE Y NORESTE	63.38	2.689
SUR Y PENINSULAR	63.38	2.736

En la tabla1, se presentan las características de la caldera eléctrica que se usa actualmente para el calentamiento de agua de la alberca exterior, con base en los meses de operación.



Perfil de demanda de la caldera eléctrica para un periodo de medición de 48 hrs. (Fuente www.fide.org.mx).

Se estima, de acuerdo con las mediciones realizadas, que la caldera trabaja durante 7 meses al año con una demanda de potencia de 100 Kw., cuatro meses con una demanda de 55 Kw. Y, durante un mes, no se usa.

Número de resistencias	6	
Potencia total de la caldera	165	Kw.
Potencia en pares de las resistencias	55	Kw.
Potencia total de las demandas de las resistencias	920	Kw./ año
Costos de las demandas	82,404.40	\$ / año
Consumo eléctrico	662,400.00	Kwh. / año
Costos del consumo eléctrico	470,304.00	\$ /año
Costo total anual de operación	552,708.40	\$ /año

Consumo eléctrico actual de la caldera

De la información de la caldera eléctrica se sabe que opera en pares de resistencias, por lo que, se tiene:

165 Kw.

----- = 55 Kw. par de resistencias

3 pares de resistencias

Además, de acuerdo con las mediciones mostradas en la Fig. 5, se consideró un promedio de 100 Kw. durante los meses de mayor demanda, entonces, la D_a , (demanda actual) anual de energía eléctrica, es:

$$D_a = [(100 \text{ Kw.}) \times (7 \text{ meses})] + [(55 \text{ Kw.}) \times (4 \text{ meses})] = 920 \text{ Kw. /año.}$$

Y los costos asociados a la demanda actual (CD_a), suponiendo un factor de coincidencia de demanda igual a 1 son de:

$$CD_a = (920 \text{ Kw. / año}) \times (\$ 89.57 / \text{Kw.}) = \$ 82,404.40 / \text{año.}$$

La energía eléctrica consumida actualmente (E_a), es, en base anual:

$$E_a = (100 \text{ Kw.}) \times (5040 \text{ h / año}) + (55 \text{ Kw.}) \times (2880 \text{ h / año}) = 662,400 \text{ Kwh. /año}$$

Y sus costos asociados (CE_a), ascienden a:

$$E_a = (100 \text{ Kw.}) \times (5040 \text{ h/año}) + (55 \text{ Kw.}) \times (2880 \text{ h / año}) = 662,400 \text{ Kwh. / año.}$$

Por lo que, los costos totales de electricidad actuales (CTEa), son:

$$CTEa = \$ 82,404.40 / \text{año} + 470,304.00 / \text{año} = \$ 552,708.40 / \text{año}$$

4.3. - AHORROS PREVISTOS

En la tabla 2 se resumen las características principales de las bombas de calor propuestas.

Tabla 2.- Características de las Bombas de Calor a Instalar.

Modelo	Compresor	Tensión	Hz	Potencia	Fases del motor HP	Corriente	Btu/h máxima [amp]	COP
SX5 HPX	SCROLL	200/230	60	5	3	30	109,000	7.6
DIMENSIONES				105 x 94 x 105 cm	PESO		134 kg	

La potencia demandada por las bombas se evalúa con la siguiente expresión:

$$P \text{ bombas de calor} = NB \times [(PB \times NB) / \text{eficiencia} + PA]$$

Donde:

NB = número de bombas.

PB = potencia de la bomba, HP

Fc = factor de conversión, 0.745 Kw. / HP

PA = potencia de los accesorios, Kw.

h = eficiencia de la bomba

Por lo tanto:

$$P \text{ bombas de calor} = 3 \times [5 \times 0.457 / 0.8 + 0.56] = 15.65 \text{ Kw.}$$

Entonces, la demanda propuesta anual de energía eléctrica (Dp), es:

$$Dp = P \text{ bombas de calor} \times 12 \times Fda \times Fid$$

Donde:

Dp = demanda propuesta, Kw.

12 = meses del año.

Fda = factor de demanda anual, sin unidades.

Fid = factor de incidencia en la demanda pico, sin unidades.

Para el caso presente, se considera un factor de incidencia en la demanda de 1.0

$$D_p = 15.65 \text{ Kw.} \times 12 \text{ meses} / \text{año} \times 0.9166 \times 1.0 = 172.15 \text{ Kw.}$$

Y los costos asociados a la demanda propuesta (CD_p), son de:

$$CD_p = 172.15 \times 89.57 \text{ \$} / \text{Kw.} = \text{\$ } 15,419.50 / \text{año}$$

La energía eléctrica que se consumirá en la propuesta (E_p), es, en base anual:

$$E_p = D_p \times H.$$

Donde:

E_p = consumo de energía eléctrica propuesta, Kwh. / año

H = No. De horas de operación anual, h/ año

$$E_p = 15.65 \text{ Kw.} \times 7,920 \text{ h} / \text{año} = 123.948 \text{ Kwh.} / \text{año.}$$

Y sus costos asociados (CE_p), ascienden a:

$$CE_p = (123,948 \text{ Kwh.} / \text{año} \times 0.71 \text{ \$} / \text{Kwh.}) = \text{\$ } 88,003.00 / \text{año.}$$

Por lo que los costos totales de electricidad de la propuesta (CTE_p), son:

$$CTE_p = \text{\$ } 88,003.00 / \text{año} + \text{\$ } 15,419.50 / \text{año} = \text{\$ } 103,422.50 / \text{año.}$$

En la tabla 3 se presenta el resumen de la evaluación de la demanda eléctrica y del consumo de energía de las bombas de calor del sistema propuesto, así como los costos asociados.

Potencia demandadas de las bombas de calor	172.15	Kw.
Costo de la demanda	15,419.50	\\$ / año
Consumo eléctrico	123.948	Kwh./año
Costo del consumo eléctrico	88,003.00	\\$ / año
Costo total anual de operación	103,422.50	\\$ / año

Tabla # 3. Evaluación del sistema propuesto de bombas de calor.

Los ahorros estimados de demanda y energía y costos asociados debidos al reemplazo de las calderas eléctricas actuales por bombas de calor se determinan de la siguiente manera:

Ahorro de demanda de energía eléctrica (AD):

$$AD = D_a - D_p$$

$$AD = 920 \text{ Kw. / año} - 172.15 \text{ Kw. / año} = 747.85 \text{ Kw. / año}$$

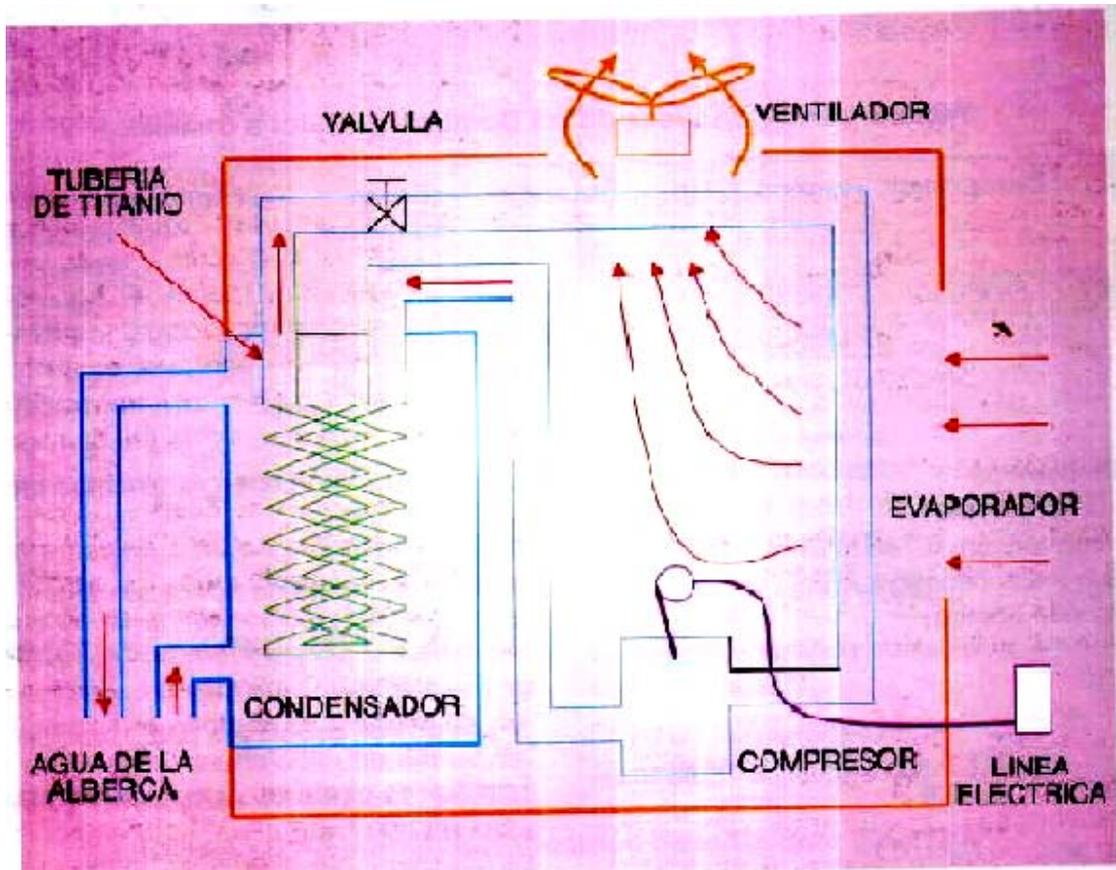


FIGURA 1.- Principio de Operación de la Bomba de Calor Propuesta.

Y el ahorro en costos debido a la reducción de demanda eléctrica (ACD), se obtienen así:

$$ACD = AD \times Cmd$$

Donde:

Cmd = costo medio anual de la demanda eléctrica, \$ / Kw.

$$ACD = 747.85 \text{ Kw. / año} \times 63.38 \text{ $ / Kw.} = \$ 47398.73 \text{ / año}$$

El ahorro den consumo de electricidad (AE), se calcula mediante:

$$AE = Ea - Ep$$

$$AE = 662,400 \text{ Kwh. / año} - 123,948 \text{ Kwh. / año} = 538,452 \text{ Kwh. / año}$$

$$ACE = AE \times Cme$$

Y el ahorro económico por el menor consumo de energía eléctrica (ACE), se obtiene así:

Donde:

Cme = costo medio anual de la energía eléctrica, \$ / Kwh.

El ahorro total de energía en costos por demanda y energía (ATCE), es:

$$ATCE = ACD + ACE$$

$$ATCE = \$ 47398.73 / \text{año} + \$ 382,301 / \text{año} = \$ 429699.73 / \text{año}.$$

Ahorro en demanda eléctrica	747.85	Kw.
Ahorro en costos de la demanda eléctrica	47,398.73	\$ / año
Ahorro en consumo eléctrico	538,452	Kwh. / año
Ahorro en el costo eléctrico	382,301.00	\$ / año
Ahorro eléctrico	429,699.73	\$ / año

Tabla # 4. Resumen de resultados de ahorro.

CONCLUSIONES

La bomba de calor es una tecnología energética que tiene una gran gama de aplicaciones; su versatilidad permite plantear múltiples aplicaciones.

Para poder llevar energía de bajo nivel a un mayor nivel requieren, para operar, la aportación de una pequeña cantidad de energía de elevada calidad, pero el beneficio que estos sistemas ofrecen es el de obtener grandes ahorros de energía.

Sin lugar a duda, la aplicación de una bomba de calor es posible en casas donde el nivel térmico de la energía requerida no es elevado. Se llega a obtener una demanda de calor a una elevada temperatura, de los 150° C, y una demanda de frío de alrededor de los -10°C.

Para cada caso, se requiere seleccionar entre los dispositivos en el mercado el que mejor se adapte según las necesidades.

Con el propósito de ahorro en energía, estos dispositivos también pueden funcionar como complemento de sistemas de cogeneración, en los que el calor remanente puede ser elevado de nivel térmico y simultáneamente disponer de una fuente fría de menor temperatura.

Los requerimientos de mantenimiento preventivo y correctivo son de bajo costo. Otro beneficio es una menor contribución de emisiones contaminantes, ya que utilizan energías renovables y no renovables: además de tener una buena viabilidad económica.

Este trabajo de bombas de calor pretende ser una herramienta que aporte los elementos necesarios para aquellas personas interesadas en el área de acondicionamiento de aire y refrigeración, con la seguridad que los datos aquí vertidos le faciliten su labor en el ámbito industrial.

BIBLIOGRAFÍA

FUNDAMENTOS DE TERMODINÁMICA TÉCNICA

M. J. Moran, H. N. Shapiro.

INGENIERÍA DEL ÁMBITO TÉRMICO

Jamesl. Threlkeld.

Edith. Dretinice / may Internacional

TERMODINÁMICA

Virgil Moring Fiares

5ta Edición

Ed. Unión Topográfica

AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN

Burges H. Jennings.

Edit. Continental

<http://www.fide.org.mx>

<http://www.cfe.gob.mx>

<http://www.fing.edu.uy>

<http://www.grupoalmont.com.mx>

<http://www.novem.com.mx>

<http://www.enebc.org>

<http://www.inelsacontrols.com>

<http://www.ecohabitar.org>

<http://bdd.unizar.es>

<http://www.imst.upv.es>

<http://www.bluprint.es>

<http://www.nbernet.es>