



# Uso de las bombas de calor de alta temperatura como alternativa para el uso racional de energía en la industria

Mauricio Toro López<sup>1</sup>, Cesar Alejandro Isaza Roldán<sup>2</sup> y Farid Chejne Janna<sup>3</sup>

*Use of high temperature heat bombs as an alternative for the rational use of energy in industries*

## RESUMEN

Las bombas de calor se han utilizado ampliamente para la calefacción de ambientes. Sin embargo, cuando éstas se utilizan a altas temperaturas se convierten en una excelente alternativa para la recuperación de calor de desecho en todo tipo de industrias. En este artículo se pretende presentar las bondades de las bombas de calor de alta temperatura como alternativa para el uso racional de energía, además de mostrar una breve evaluación de posibles aplicaciones en procesos reales de la industria nacional.

**Palabras clave:** Bomba de calor. Uso racional de energía. Aplicación industrial. Calefacción.

## ABSTRACT

Heat bombs have been widely used to provide warmth to diverse environments. Nevertheless, when used at high temperatures they become an excellent alternative to recover waste heat in all kinds of industries. This work aims to expose the benefits of using high temperature bombs as an alternative for the rational use of energy, and also show a brief evaluation of possible applications in real processes from the national industries.

**Key words:** Heat bomb. Rational use of energy. Industrial application. Heating.

<sup>1</sup> Ingeniero Mecánico de la Universidad Pontificia Bolivariana. Instituto de Energía y Termodinámica de la Universidad Pontificia Bolivariana/ <sup>2</sup>Ingeniero Mecánico. Especialista en Gases Combustibles y candidato a Doctor a Doctor en Ingeniería Térmica. Instituto de Energía y Termodinámica de la Universidad Pontificia Bolivariana/ <sup>3</sup> Ingeniero Mecánico, PhD en Ingeniería Industrial-Sistema Energético. Director del Grupo de Estudios en Energía. Escuela de Procesos y Energía - Instituto de Energía, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

## INTRODUCCIÓN

Las bombas de calor corresponden a una de las tecnologías más aptas para recuperar la energía desechada de baja calidad y que, en muchos casos, se pierde en el ambiente sin su aprovechamiento, generando impacto nocivo al entorno y altos consumos de energía.

A pesar de su conocido buen desempeño a escala residencial y comercial, no ha sido posible expandir la tecnología de las bombas de calor a escala industrial como se quisiera en nuestro país, por razones tanto económicas como técnicas. Por consiguiente, se busca superar las principales dificultades para introducir esta tecnología en la industria colombiana.

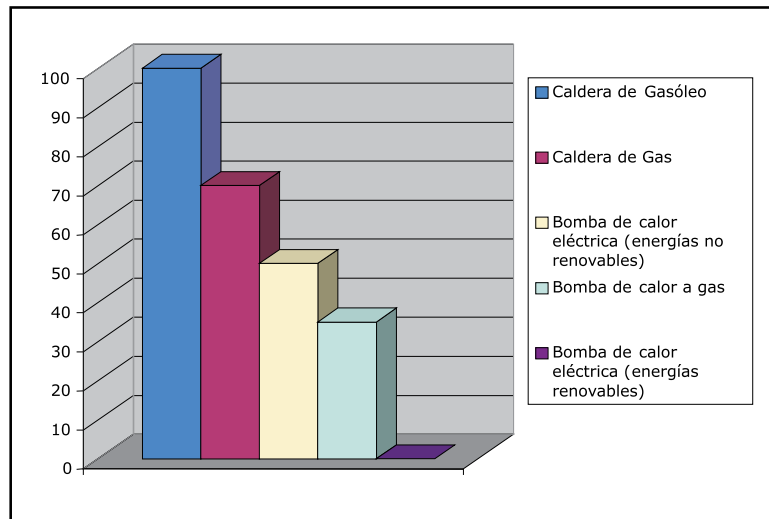
En muchos procesos industriales se requieren condiciones de temperatura entre 80°C y 90°C, que actualmente se obtienen con vapor generado en calderas que usan combustibles fósiles a un alto costo, tanto económico como de degradación del ambiente.

Los desechos de energía presentes en vertimientos residuales a baja temperatura (inferior a 40 °C en algunos casos) de muchos procesos industriales son difíciles de recuperar y de aprovechar de nuevo en el proceso, constituyéndose en una fuente de energía constante no reutilizable y contaminante. Además, dependiendo de su magnitud, puede afectar considerablemente el rendimiento energético del proceso.

Debido a que se trata de un residuo con contenido energético de baja calidad, como consecuencia de su baja temperatura y baja presión, se requiere de una tecnología que tome la energía desechada y la convierta en una fuente energética de alta temperatura para su adecuada reutilización en el proceso. Las bombas de calor son sistemas capaces de proporcionar energía térmica para ciertos procesos a partir de los vertimientos residuales mencionados anteriormente. Para algunos casos la bomba de calor funcionará como fuente de calor y como refrigerador, ya que absorberá el calor residual de algunos vertimientos que son fuente de contaminación térmica en lagos y ríos.

Para tener una idea de las ventajas de las bombas de calor en el contexto ambiental, se tiene información de La EHPA (European Heat Pump Association), la cual dice que cerca de 3,8 millones de hogares en la UE tienen instaladas bombas de calor para la calefacción o el calentamiento de agua. Estas instalaciones producen más de 41 TW-h de energía térmica, ahorrando alrededor de 29 TW-h de energía primaria en comparación con los métodos de calentamiento convencionales. Además, las 3,8 millones de instalaciones de bombas de calor reducen las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> en cerca de 9,8 millones de toneladas<sup>1</sup>. En la Figura 1 se muestra una comparación de los niveles de CO<sub>2</sub> generados por diferentes sistemas de generación de calor.<sup>2</sup>

**Figura I. Comparación en los niveles de generación de CO<sub>2</sub> para diferentes sistemas de generación de calor**



En Colombia, las Bombas de calor a nivel industrial poseen un gran potencial de aprovechamiento de los calores residuales de proceso para la utilización como calor útil dichas bombas. Este potencial, al igual que en la UE, también representa una oportunidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, con su consabido efecto sobre el calentamiento global de la tierra.

En las bombas de calor convencionales, si la temperatura de la fuente de calor es superior a los 40 °C, el compresor debe operar con una relación de compresión demasiado alta, provocando por tanto una temperatura de salida del compresor elevada y un rápido desgaste del equipo. Los compresores herméticos, que son los comúnmente utilizados, no son aptos mecánicamente para presiones elevadas en aplicaciones industriales. De otro lado, también se presentan problemás con el fluido refrigerante, el cual es poco estable y susceptible de disociarse a temperaturas de compresión elevadas o de provocar disociaciones en aceites. Por lo tanto debe seleccionarse un refrigerante apto para las presiones y temperaturas de trabajo.

Con los intercambiadores de calor (evaporador y condensador), también existen dificultades por estar sometidos a condiciones ambientalmente más agresivas (ambientes corrosivos, contaminados y a temperaturas elevadas), requiriéndose por lo tanto dotar estas piezas con materiales más resistentes.

En el país actualmente no se cuenta con soluciones técnicas y económicamente viables para la aplicación de bombas de calor a nivel industrial. Una solución de este tipo permitiría recuperar la energía, que en este momento simplemente se desperdicia al final del proceso. Sin embargo, el desconocimiento de la tecnología es una barrera importante para la penetración de las Bombas de calor en el sector industrial. Con el desarrollo de prototipos la industria tendrá la posibilidad de verlos funcionando o probarlos para sus propios procesos.

En otros países, especialmente en Europa y Norteamérica, las bombas de calor han ganado mucho terreno a nivel industrial. Este creciente interés industrial por las bombas de calor se debe principalmente al potencial de ahorro energético y a la legislación ambiental. La necesidad de reducir emisiones de CO<sub>2</sub> utilizando una fuente de energía económica ha contribuido al crecimiento de las bombas de calor.

Hasta hace poco tiempo, en el mundo, los estudios y desarrollos de bombas de calor se habían limitado a las bombas de calor de ciclo cerrado por absorción o por compresión mecánica de un refrigerante. Un ejemplo de ello son los proyectos ejecutados por la red CORDIS en los años ochentas y noventas, entre los cuales podemos enumerar los siguientes: “Desarrollo de una bomba de calor de absorción de alta temperatura para la utilización de calor de desecho industrial y producir calor en procesos a temperaturas entre los 100 y 130°C” y “Desarrollo de una bomba de calor de absorción para aplicaciones industriales”.<sup>3</sup>

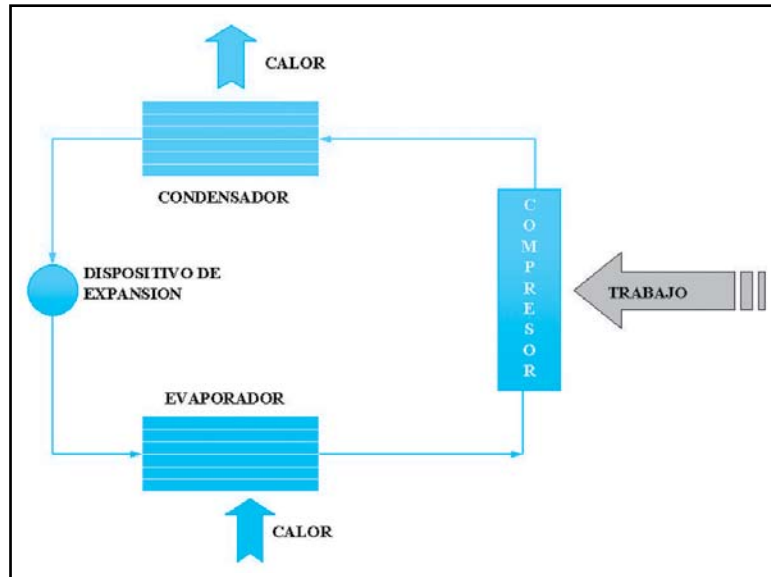
Sin embargo, en algunos países las bombas de calor de ciclo abierto han proporcionado una buena solución a ciertas necesidades. El ejemplo típico de un ciclo abierto es la recompresión mecánica de vapor (MVR). Este sistema es muy utilizado en las torres de destilación con el fin de reemplazar el vapor de agua como fuente de energía.

Uno de los motivos por los cuales las bombas de calor han alcanzado un importante desarrollo en los países industrializados, es la existencia de instituciones y asociaciones encargadas de la difusión y apoyo de los proyectos de investigación acerca de esta tecnología. Algunas de estas son: ENEBC, IEA (International Energy Agency) y EHPA (European Heat Pump Assosiation). Además, algunas universidades se han encargado del desarrollo y ejecución de estos proyectos, mostrando un importante interés por lograr un excelente desarrollo de las bombas de calor. Algunas de las universidades que han ejecutado proyectos acerca de bombas de calor son: la Universidad Católica de Leuven (Bélgica) y el Politécnico Rovaniemi (Finlandia).<sup>4</sup> En Colombia el panorama es diferente, los estudios y utilización de bombas de calor se han limitado a aplicaciones residenciales y comerciales. En el sector industrial no es común encontrar bombas de calor, y las pocas que se pueden encontrar trabajan en procesos con temperaturas cercanas a los 60°C, dejando relegados otros procesos en los cuales se necesiten temperaturas más elevadas (80 – 100°C).

En conclusión, la bomba de calor es una tecnología ampliamente utilizada en el mundo, pero poco conocida en Colombia. Por ello es importante comenzar a realizar estudios y desarrollos que permitan el acceso de esta tecnología en todos los sectores y comenzar a disfrutar de sus beneficios.

### Conceptos básicos

Una bomba de calor es un sistema que permite la obtención de calor a partir de un foco frío por medio de la utilización de un ciclo de refrigeración. El principio de funcionamiento de una bomba de calor es el mismo de un ciclo de refrigeración. En la Figura 2 se presenta un diagrama del ciclo básico de refrigeración.

**Figura 2. Esquema general de un ciclo de refrigeración**

El principio de funcionamiento de una bomba de calor es el siguiente:

Primero, el fluido de trabajo de la bomba de calor (refrigerante), absorbe calor de un medio a bajas temperaturas por medio de un intercambiador de calor. Éste recibe el nombre de evaporador, ya que en este lugar el refrigerante se evapora al absorber el calor.

Luego de realizar esta absorción de calor, el refrigerante en forma de vapor ingresa al compresor. Éste se encarga de aumentar su temperatura y presión, además de provocar el movimiento del fluido a través del ciclo. Al compresor debe aportársele un trabajo externo para su funcionamiento, el cual implica el único gasto energético de una bomba de calor.

Al aumentar la presión, la temperatura de saturación del refrigerante también aumenta. Por lo tanto éste será capaz de condensarse a una temperatura más alta. Aprovechando esta nueva temperatura de saturación, el fluido se lleva a otro intercambiador; donde se condensa cediendo el calor. Éste recibe el nombre de condensador, por el fenómeno que le ocurre al refrigerante en este componente. El calor cedido es, teóricamente, el calor absorbido más el trabajo externo aportado.

Finalmente, se disminuye nuevamente la presión del refrigerante por medio de un dispositivo de expansión, para retornar nuevamente al evaporador.

### Componentes básicos de una bomba de calor

En este capítulo se describirán los principales componentes de un sistema de bombas de calor, con el objeto de comprender las ventajas y desventajas que ca-

racterizan un sistema de esta naturaleza. Se mencionarán brevemente las características que poseen elementos como el compresor, el evaporador, el condensador y los dispositivos de expansión.

El compresor en una bomba de calor se encarga de aumentar la presión del refrigerante con el fin de otorgar a éste la capacidad de ceder calor a temperaturas más elevadas. Estos equipos se clasifican en compresores alternativos, centrífugos y de tornillo. De acuerdo con la forma como se acopla el compresor con el motor eléctrico, se caracterizan los equipos en abiertos, semiabiertos y herméticos.

En el tipo abierto, el motor y el compresor se encuentran separados. En este tipo de conjuntos es importante e indispensable un cierre de estanqueidad en el paso del eje con el fin de evitar fugas de refrigerante. La desventaja de este tipo de conjunto radica en la imposibilidad de recuperar el calor perdido en el motor, lo cual disminuye el rendimiento.<sup>1</sup>

En el tipo semiabierto, el motor se encuentra acoplado al compresor y es refrigerado por el mismo fluido refrigerante, lo cual aumenta el rendimiento del equipo. Por último, en el tipo hermético, el conjunto se encuentra totalmente cerrado y no es desmontable. Esto permite recuperar el calor perdido en el motor casi en su totalidad. Su principal desventaja es la dificultad de su mantenimiento.

Con respecto al condensador, es un equipo de intercambio de calor entre el refrigerante y otro fluido al cual se desea aumentar su temperatura para utilizarlo en un proceso industrial. Los condensadores se pueden clasificar en:<sup>1</sup>

#### **Condensadores de aire**

El aire es impulsado por ventiladores a través de un conjunto de tubos aleteados por el cual circula el fluido refrigerante.

#### **Condensadores de agua**

Los condensadores de agua pueden ser de doble tubo a contracorriente. En estos el agua circula por el tubo interior y el refrigerante se condensa en el espacio intermedio. El otro tipo de condensador es el multitubular horizontal. Este es un intercambiador de coraza y tubos en el cual el refrigerante circula por los tubos y el agua circula por el exterior de éstos.

El evaporador también es otro intercambiador de calor donde se produce la absorción de calor del foco frío o fuente de recuperación de calor. Los evaporadores más utilizados en bombas de calor pueden ser de dos tipos: los evaporadores de expansión seca, en los cuales todo el líquido admitido es vaporizado y sale del evaporador un poco sobrecalentado. El otro tipo de evaporadores es de tipo inundado, el cual se encuentra casi totalmente lleno de líquido y los vapores que salen son saturados o inclusive pueden ser mezcla de líquido - vapor. Este tipo de evaporadores sólo se utiliza en bombas de calor con potencias muy elevadas<sup>1</sup>.

Los evaporadores también se pueden clasificar en evaporadores de aire y agua. Su funcionamiento es igual al de los condensadores.

Los dispositivos de expansión son elementos que se encargan de reducir la presión del refrigerante, desde la presión de condensación hasta la presión de evaporación. La válvula de expansión no produce intercambio de calor ni produce trabajo, por lo tanto la entalpía del fluido refrigerante permanece constante durante el proceso de expansión. Además de su función de expansión, este elemento se encarga también de regular la alimentación del líquido al evaporador.

### Clasificación de las bombas de calor

Las bombas de calor se pueden clasificar teniendo en cuenta la naturaleza de las fuentes y el ciclo termodinámico. De acuerdo con la naturaleza de los fluidos las bombas de calor pueden ser de aprovechamiento de aire caliente, de agua y geotérmicas, que aprovechan el calor presente en el interior de la tierra.

Las bombas de calor para aplicaciones industriales se pueden clasificar en: bombas de calor en ciclo de compresión cerrado, sistemas de Recompresión Mecánica del Vapor (MVR), bombas de calor de absorción de simple efecto, bombas de calor de absorción de doble efecto y ciclo Bryton inverso.<sup>5</sup>

En los sistemas MVR el fluido de trabajo es el mismo fluido del proceso en un ciclo abierto. Estos sistemas se clasifican en abiertos y semiabiertos<sup>5</sup>. En un sistema abierto, el vapor de un proceso industrial es comprimido. Al elevar su presión aumenta su temperatura, y al ser condensado en el mismo proceso cede su calor. En los sistemas semi-abiertos, el calor del vapor recomprimido es cedido mediante un intercambiador de calor. En estos equipos se eliminan uno o los dos intercambiadores de calor y el salto de temperatura por esta razón es muy pequeño. Debido a este salto pequeño de temperatura, su eficacia es elevada y se obtienen COP's de 10 a 30.<sup>5</sup>

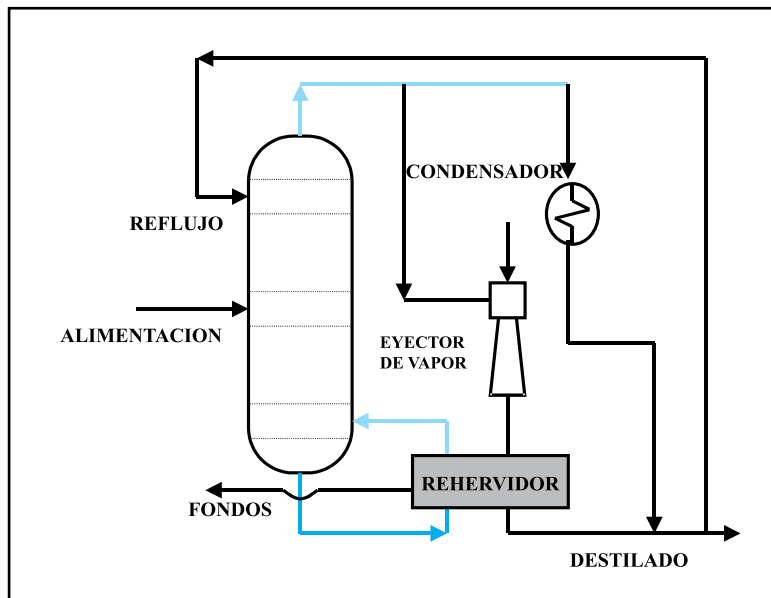
Con los sistemas de MVR se pueden alcanzar temperaturas más altas, además son muy utilizados en procesos de destilación. La Figura 3 se muestra el esquema de un sistema de recompresión de vapor utilizado en la industria química para reemplazar el calentamiento con vapor en una torre de destilación.

Las bombas de calor de absorción son accionadas térmicamente, es decir, la energía aportada al ciclo es térmica y no mecánica, como en los sistemas compresión en ciclo cerrado. Un sistema de absorción se basa en la capacidad de ciertas sales y líquidos de absorber fluido refrigerante. La sustancia más utilizada es agua con bromuro de litio.<sup>6</sup>

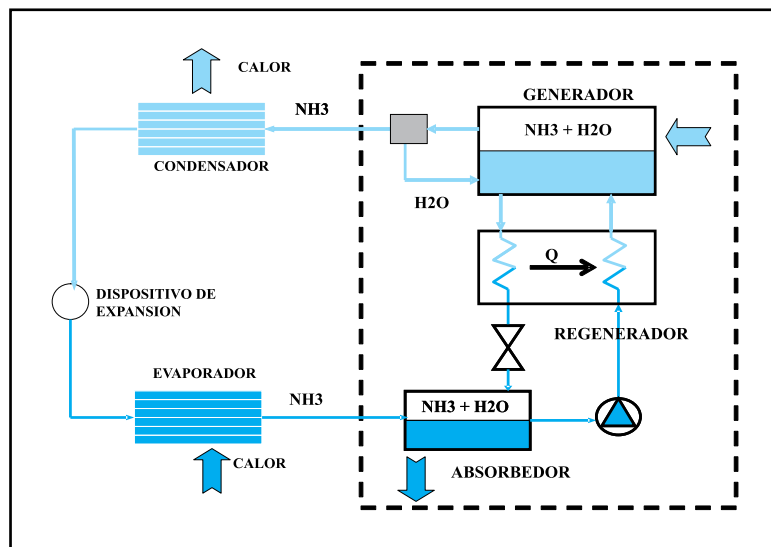
Los ciclos de absorción son análogos a los de compresión, únicamente se sustituye el compresor por un ciclo de disoluciones que realiza la misma función: elevar la presión y la temperatura del fluido refrigerante en estado de vapor (Figura 4).

En Suecia y Dinamarca estas bombas de calor se han utilizado para recuperar calor de incineradoras de residuos. Los sistemas actuales alcanzan temperaturas de salida de 100°C y saltos de temperatura de hasta 65°C, con un COP que puede oscilar entre 1,2 y 1,4.<sup>5</sup>

**Figura 3. Esquema de un sistema de recompresión de vapor en una torre de destilación**



**Figura 4. Bomba de calor por absorción**





A las bombas de calor de absorción de doble efecto también se les denomina transformadores de calor. Se aplican a fluidos que tienen temperaturas más elevadas que las ambientales y menores que las utilizables. Estos sistemas pueden alcanzar temperaturas de hasta 150°C, con saltos de temperatura de 50°C. Los COP de estos sistemas oscilan entre 0,45 y 0,48.<sup>5</sup>

Con el ciclo Bryton reverso se recuperan las sustancias disueltas en gases en varios procesos. Su funcionamiento consiste en la compresión y expansión de un gas saturado. Durante la expansión, el gas se enfría y las sustancias que están disueltas en él se condensan y pueden ser recuperadas. La expansión tiene lugar en una turbina que acciona a su vez a un compresor.<sup>5</sup>

## Aplicaciones

Las aplicaciones de las bombas de calor se podrían dividir en residenciales/comerciales y aplicaciones industriales, siendo las primeras principalmente para calefacción de ambientes y agua.

Las aplicaciones industriales se basan en la utilización de calores residuales como focos fríos. Estas fuentes de calor residual son generalmente agua y aire con temperaturas entre 40°C y 60°C, provenientes de diferentes procesos.

Algunas aplicaciones específicas de las bombas de calor incluyen el secado de productos, el calentamiento de aguas, la destilación y obtención de concentrados, entre otros.

En el secado de productos se busca deshumidificar el aire que sale de los secaderos, utilizando esta energía para precalentar el aire que ingresa al mismo. Secado de malta, madera, productos cerámicos, papel. Por su parte, en el calentamiento de agua las bombas de calor se podrían utilizar para el calentamiento de agua necesaria para procesos de lavandería, limpieza y desinfección, siendo de gran importancia para lavanderías y el sector de alimentos. Finalmente, en la destilación y obtención de concentrados se podría utilizar el calor cedido por los vapores del proceso durante la condensación final como foco de recuperación de calor. Los procesos de destilación son frecuentes en la industria química y de alimentos.

Como puede verse, las bombas de calor son de gran utilidad en la industria, especialmente en el campo del ahorro energético, ya que éstas permiten reutilizar energía en forma de calor, que anteriormente se desechaba enviándolo al ambiente.

Durante la “Conferencia Mundial Sobre Cambios en la atmósfera”, celebrada en Toronto en el año de 1988, se dictaminó que se debía aumentar la eficacia energética en un 10% para el año 2005, con el fin de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.<sup>1</sup>

Las bombas de calor juegan un papel muy importante en este aspecto, debido a que su objetivo principal es la recuperación de calor, lo cual está estrechamente relacionado con la eficiencia energética. De este modo, las bombas de calor juga-

rían un papel muy importante en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Además pueden llegar a representar grandes beneficios desde el punto de vista económico.

## Evaluación de aplicaciones en la industria

En la industria existen un sinnúmero de posibles aplicaciones para las bombas de calor; debido a que en la mayoría de las plantas se desecha aire o agua a temperaturas cercanas a los 50°C, por ser fuentes de calor de baja calidad.

Para la posterior evaluación real de la viabilidad y desempeño de una bomba de calor de alta temperatura es muy importante construir prototipos, de acuerdo con los flujos de calor residual reales de las empresas. Para ello se debe realizar un proceso de caracterización y evaluación de dichos flujos de calor.

Este proceso de caracterización y evaluación requiere de una etapa previa en la cual se presenta la idea a diferentes empresas, las cuales serán quienes provean la información real de las posibles aplicaciones y permitirán la medición de los flujos de calor. Luego de visitar estas empresas y definir las posibles aplicaciones en las mismas, es importante conocer a fondo el proceso en el cual se buscará la aplicación, ya que un buen conocimiento de estos procesos permitirá una mejor evaluación de los flujos de calor. Finalmente, después de desarrollar esta etapa previa, se procede a la toma de mediciones con los equipos adecuados, y posteriormente a la caracterización y evaluación de los flujos de calor.

Para la elaboración de esta evaluación se visitaron empresas de diferentes sectores productivos y se seleccionaron procesos en los cuales se podría aplicar una bomba de calor de alta temperatura. A continuación se presenta una descripción del proceso en el cual se desea realizar la aplicación.

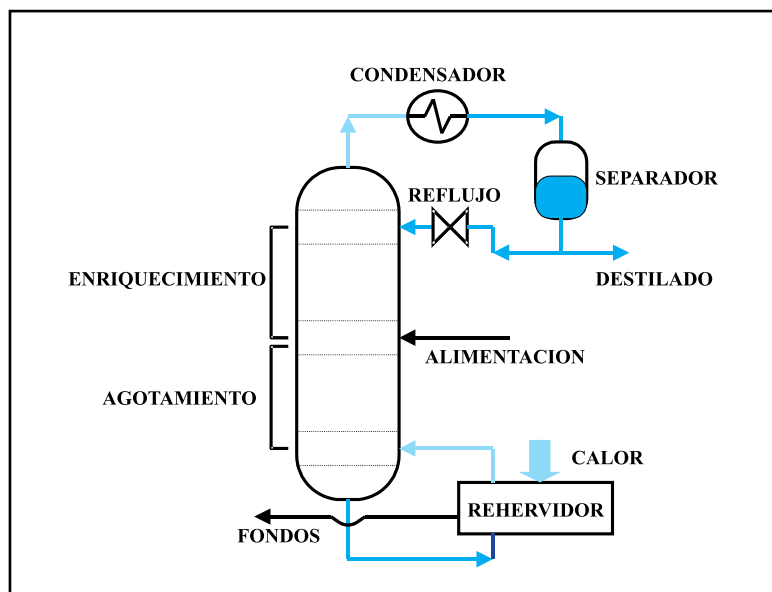
**Industria química.** El proceso a analizar en esta empresa es la destilación de metanol de baja pureza proveniente del sistema de purificación de CMC. Esta purificación se hace mediante un lavado con soluciones hidroalcohólicas. El número de lavados depende del grado de refinación que se desea dar al CMC. El metanol es destilado con el fin de reutilizarlo en el proceso de purificación. Esta destilación se realiza en dos torres de destilación que utilizan vapor como fuente de energía.<sup>7-9</sup>

La destilación es un método utilizado para separar los componentes de una solución. Este proceso depende de la distribución de las sustancias entre una fase gaseosa y una líquida, y se aplica a casos en que todos los componentes están presentes en las dos fases. En lugar de introducir una nueva sustancia en la mezcla con el fin de obtener una segunda fase, como se hace en los procesos de absorción o desorción de gases, la nueva fase se crea por evaporación o condensación a partir de la solución original. Este proceso se lleva a cabo en una torre de destilación<sup>10</sup>.

Las torres de destilación tienen distintos componentes, cada uno de ellos dedicado a la transferencia de calor o la transferencia de masa. Una torre de destilación

esta compuesta principalmente de una estructura en forma de tanque vertical, donde se lleva a cabo la separación de las fases de la solución. Unos separadores internos, llamados platos, que permiten una mejor separación de las fases en el interior de la estructura principal; un rehervidor, que provee la energía térmica necesaria para la vaporización en el proceso de destilación; un condensador, que enfría y condensa los vapores que escapan por la parte superior de la torre, y, finalmente, un tanque separador que mantiene el vapor en el tope de la torre, permitiendo la separación de condensados y el envío de reflujos al interior de ella.<sup>11,12</sup> La Figura 5 muestra un esquema típico de una torre de destilación con sus componentes básicos.

**Figura 5. Esquema típico de una torre de destilación**



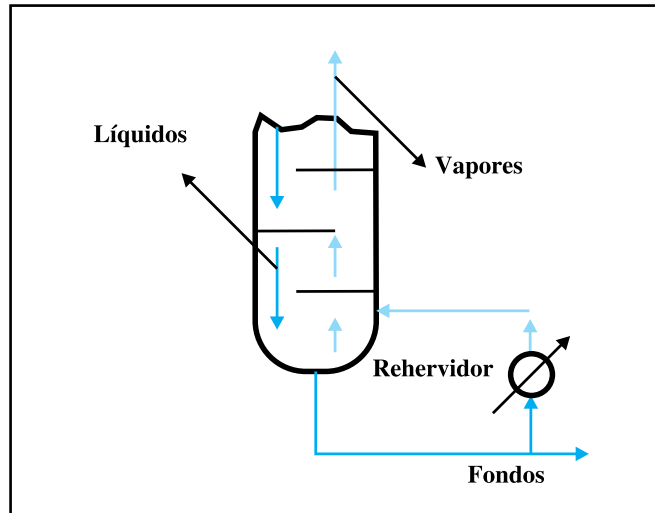
La solución que se desea destilar es conocida como la alimentación, y es introducida usualmente en algún lugar cerca al centro de la torre, en un plato conocido como plato de alimentación. El plato de alimentación divide la torre en dos secciones: La sección de enriquecimiento o rectificación en la parte superior, y la sección de agotamiento en la parte inferior. La alimentación fluye hacia abajo en la columna y es recolectada en el fondo por el rehervidor.

En el rehervidor se transfiere calor al fluido con el fin de generar vapor. El vapor obtenido en el rehervidor es introducido nuevamente en el fondo de la torre. El líquido removido del rehervidor es conocido como "fondos". (Ver Figura 6)

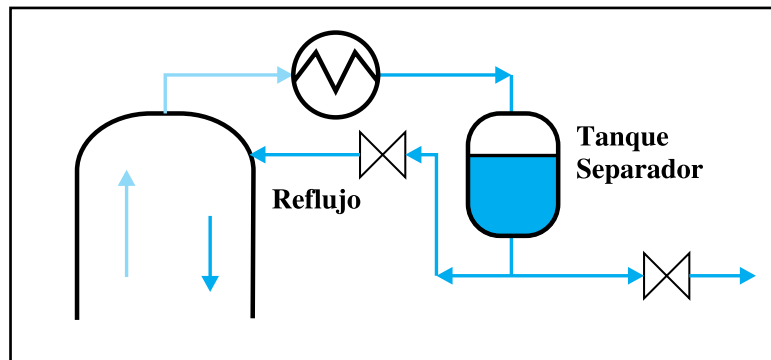
El vapor en el interior de la torre se mueve hacia arriba y los vapores que logran salir por la parte superior son enfriados por un condensador. El condensado pro-

ducido es almacenado en un tanque separador. Parte de los líquidos condensados son reciclados de vuelta a la torre y son conocidos como reflujo (ver Figura 7). El líquido retirado del sistema es conocido como destilado.

**Figura 6. Esquema de un rehervidor**



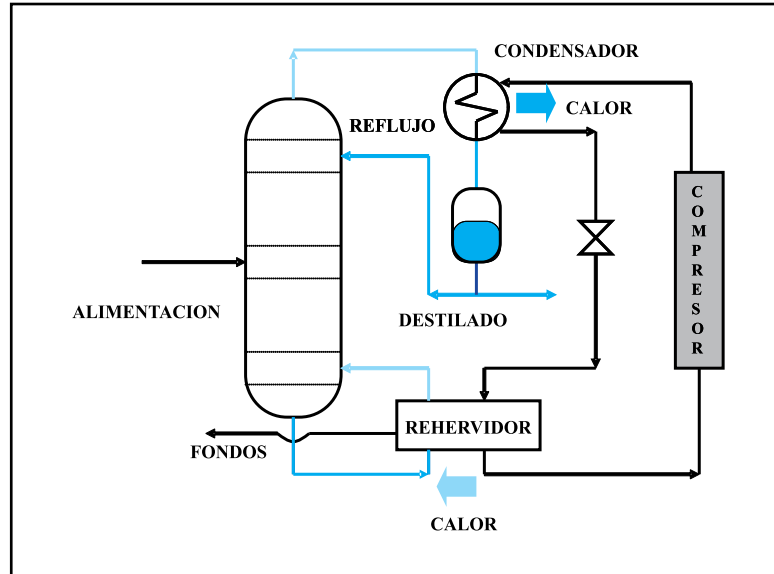
**Figura 7. Esquema del sistema de reflujo**



En un proceso de destilación, una bomba de calor podría enfriar los vapores de salida de la torre mediante la absorción de calor en el evaporador, para luego entregarla en éste junto con la energía aportada por el compresor en el rehervidor de la torre, mediante el aporte de calor en el condensador. (Figura 8)

Esta aplicación tiene varias ventajas, ya que además de disminuir el consumo de vapor en el rehervidor de la torre, se disminuye también el consumo de agua de enfriamiento para condensar los vapores de ésta, además de disminuir la temperatura de salida de esta agua, disminuyendo la necesidad de energía en la torre de enfriamiento para lograr el efecto deseado.

**Figura 8. Aprovechamiento de calor en una torre de destilación**



**Industria de alimentos.** Uno de los éxitos de la industria de alimentos ha sido el poder elaborar productos con largos periodos de durabilidad sin necesidad de ser refrigerados. Estos productos son principalmente los enlatados y otros productos especiales.

Durante el proceso de elaboración de estos productos se realiza una cocción en unos sistemas llamados autoclaves. Son sistemas herméticos que permiten mantener una alta temperatura constante a presiones altas durante un tiempo determinado. Esta temperatura se obtiene utilizando vapor o agua caliente. En el caso específico de la empresa ZENÚ, se utilizan los dos procesos. Para los productos enlatados se utiliza vapor y para otros productos especiales se utiliza agua caliente.

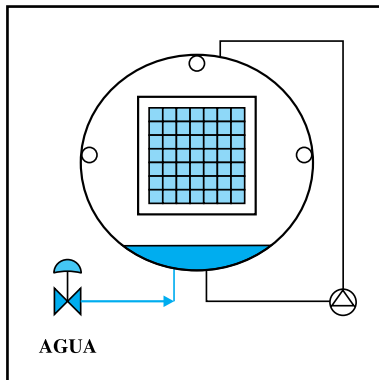
Inicialmente, en el funcionamiento de las autoclaves se realiza un llenado con agua, el cual puede ser parcial o total según el proceso requerido. Esta agua permanece en la autoclave durante ciclos sucesivos.<sup>13</sup> Opcionalmente esta agua puede precalentarse antes de ser recirculada por la bomba. (ver Figura 9)

Cuando el agua llega a un nivel requerido se abre la válvula de vapor, el cual se proyecta de la parte superior y las partes laterales de la autoclave produciendo unas corrientes de gran turbulencia, permitiendo que la temperatura en el interior de la autoclave se homogenice rápidamente. (Ver Figura 10)

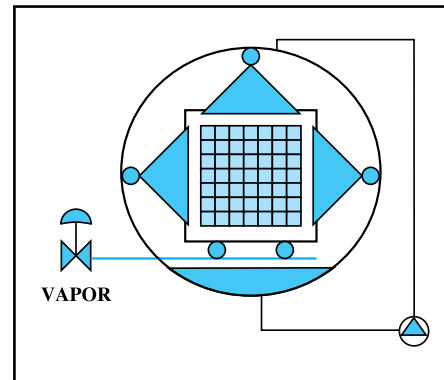
Cuando se logra alcanzar la temperatura deseada, ésta se mantiene durante un tiempo programada con oscilaciones mínimas de temperatura y presión. Lo anterior permite una completa cocción del producto. (Ver Figura 11)

Terminada el proceso, se inyecta agua fría en la autoclave de forma controlada, evitando un choque térmico. Al alcanzar cierta temperatura, se aumenta el flujo de agua fría para enfriar completamente el producto. (Ver Figura 12)

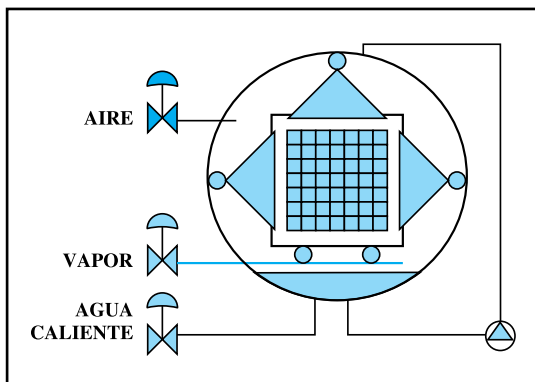
**Figura 9. Llenado de una autoclave**



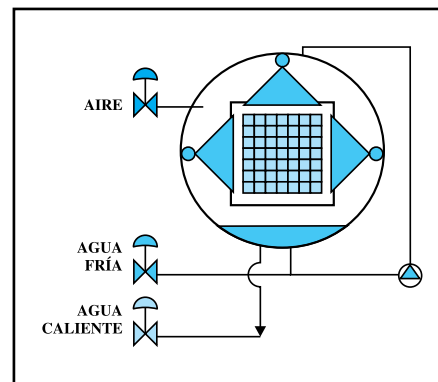
**Figura 10. Calentamiento de una autoclave**



**Figura 11. Esterilización en una autoclave**



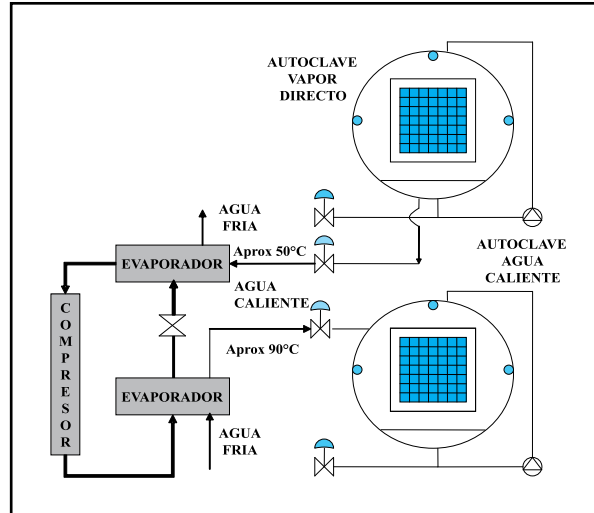
**Figura 12. Enfriamiento en una autoclave**



Finalmente se descarga la presión y se disminuye el nivel de agua para poder retirar el producto.

El ahorro energético con la utilización de bombas de calor se puede apreciar analizando si el agua de descarga de las autoclaves de vapor directo se encuentra aproximadamente a 50°C. A esta agua se le puede extraer calor, con la finalidad de entregarlo al agua de ingreso a las autoclaves de productos especiales, incrementando su temperatura hasta niveles cercanos a los 90°C. Con lo anterior, no sería necesario utilizar vapor para calentar el agua desde la temperatura ambiente hasta la de proceso (120°C), sino que únicamente es necesario calentar el agua con vapor para incrementar su temperatura desde 90°C hasta 120°C, produciendo un importante ahorro energético. (Figura 13)

**Figura 13. Aprovechamiento de calor en autoclaves**



**Industria textil.** Esta empresa está dedicada a la elaboración de hilos con una extensa gama de especificaciones, siendo los principales productos Hilados, Bakra y Texturizados. Los hilos utilizados para labores de bordado necesitan de unas propiedades de brillo y acabado especiales, lo cual se logra con un proceso de mercerizado.

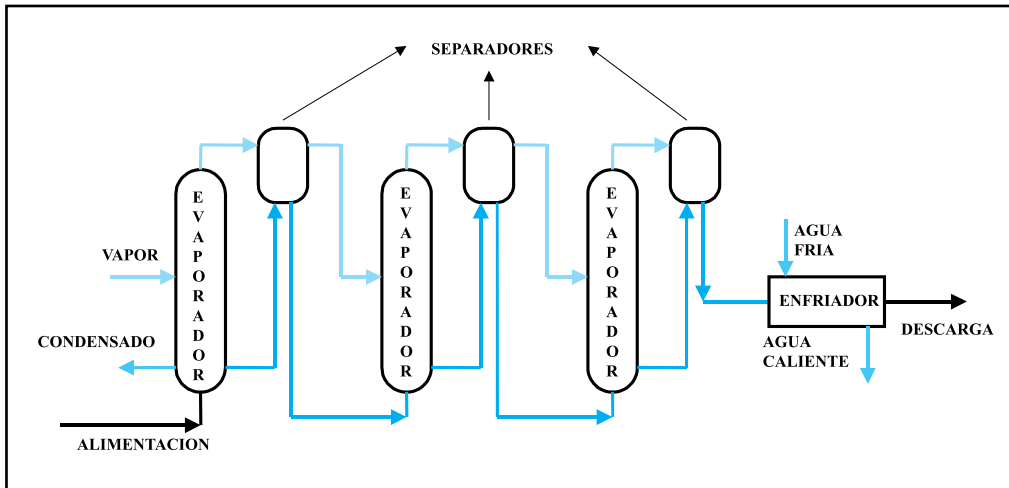
El mercerizado se realiza en una máquina especial para dicho proceso. En esta máquina, inicialmente se colocan las madejas de hilo. Las madejas son luego puestas en contacto con un baño de una solución de soda cáustica. Estando inmersas las madejas en dicha solución, la máquina comienza a tensionar el hilo. Finalmente las madejas se bañan con agua caliente y agua fría, terminando así el proceso.

La soda cáustica utilizada en este proceso es recuperada mediante una evaporación multi-efecto. La evaporación se utiliza para aumentar la concentración de una solución de soda cáustica, evaporando el agua o diluyente. Con el fin de ahorrar energía, se utiliza la evaporación multi-efecto. Este tipo de evaporación consiste en calentar la primera etapa del proceso con vapor, lográndose así una evaporación del agua en la solución. Los vapores producidos en esta evaporación son utilizados para calentar la siguiente etapa y así sucesivamente. A medida que aumentan las etapas, la concentración también aumentará, así en la última etapa la concentración será la mayor. (Figura 14)

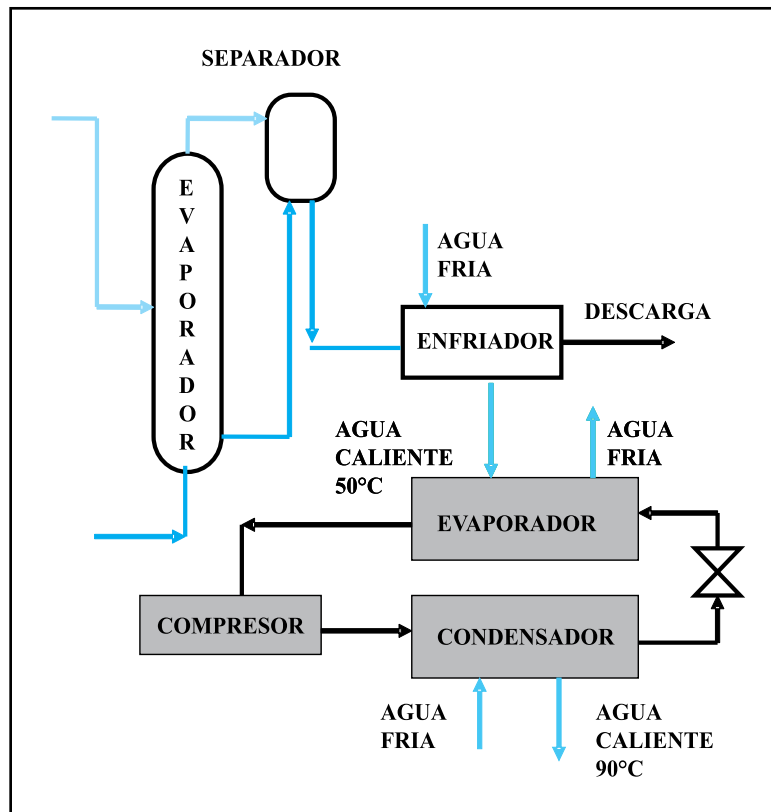
Es posible utilizar una bomba de calor para recuperar calor del proceso de evaporación, utilizándola en el calentamiento de agua para mercerizado. En la etapa final del proceso de evaporación se debe realizar un enfriamiento, el cual se hace con agua. Ésta sale del sistema de evaporación a temperaturas cercanas a los 50°C, por lo tanto es posible robarle el calor mediante, precisamente, una bomba de

calor. El calor extraído puede entregarse al agua utilizada para el lavado final en el mercerizado, la cual debe estar a una temperatura cercana a los 90°C.

**Figura I4. Esquema de evaporación Multi-Efecto**



**Figura I5. Recuperación de calor en un proceso de mercerizado**





## CONCLUSIONES

Las bombas de calor son una tecnología que permite obtener ahorros tanto energéticos como económicos en diversos sectores industriales. Todo esto debido a que pueden recuperarse energías residuales, pudiendo ser usadas luego donde sea requerido. Esta ventaja permite reducir el consumo de energéticos en los procesos en los cuales se aplique esta tecnología.

Los estudios realizados muestran que existe una importante aplicabilidad de estas tecnologías en los sectores industriales colombianos. Por ello es importante que los industriales conozcan acerca de las bombas de calor, su aplicabilidad y sus ventajas, logrando así la introducción de estos sistemas en nuestro medio.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a COLCIENCIAS por el apoyo financiero otorgado al proyecto de bombas de calor de alta temperatura, el cual ha sido pieza fundamental para la realización de importantes investigaciones en la recuperación de calores residuales industriales.

## REFERENCIAS

1. MONASTERIO, Román; HERNÁNDEZ, Pedro y SAIZ, Javier. La Bomba de Calor: Fundamentos, Técnicas y Aplicaciones. Madrid : Mc Graw Hill, 1993. p. 11-75, 135-147.
2. ENEBC. La Bomba de Calor, Bombas de Calor y Medio Ambiente [en línea]. [España]: ENEBC ,2002 [citada el 26 de Julio de 2002]. Disponible en Internet <URL: <http://www.enebc.org/Castellano/bomba/cap1/index.htm>>
3. CORDIS. Base de Datos IDT-Proyectos [en línea]. [Europa]: CORDIS, 2003 [citada el 26 de Julio de 2002]. Disponible en Internet <URL: [http://www.cordis.lu/es/src/d\\_010\\_es.htm](http://www.cordis.lu/es/src/d_010_es.htm)>
4. EHPA. EHPA: Members, Partners [en línea]. [Europa]: EHPA ,2002 [citada el 5 de Agosto de 2002]. Disponible en Internet <URL: <http://www.ehpa.org>>
5. ENEBC. La Bomba de Calor, Aplicaciones [en línea]. [España]: ENEBC ,2002 [citada el 26 de Julio de 2002]. Disponible en Internet <URL: <http://www.enebc.org/Castellano/bomba/cap1/index.htm>>
6. ENEBC, op. cit. Disponible en Internet <URL: <http://www.enebc.org/Castellano/bomba/cap1/index.htm>>
7. CENTRO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL :AREA DE ESTUDIOS ENERGÉTICOS. Análisis Energético Global Química Amtex : Informe Técnico. Medellín: CIDI, 1997. p. 9-12

8. INSTITUTO DE ENERGIA Y TERMODINÁMICA. Optimización Energética de Sistemas: Química Amtex. Medellín : IET, 2000. p. 4-32.
9. INSTITUTO DE ENERGIA Y TERMODINÁMICA. Asesoría en Implementación de Recomendaciones del Programa de Optimización Energética: Química Amtex. Medellín : IET, 2001. 50-54.
10. TRYBAL, Robert E. Operaciones de Transferencia de Masa. 2ª Edición. México: Mc Graw Hill, 1988. p. 378-528.
11. THAM, Ming. Distillation Column Design [en línea]. [Reino Unido]: University of Newcastle , 1997 [citada el 2 de Agosto de 2002]. Disponible en Internet <URL: <http://lorien.nct.ac.uk/ming/distil/distildes.htm>>.
12. THAM, Ming. Basic Distillation Equipment and Operation [en línea]. [Reino Unido]: University of Newcastle, 1997 [citada el 2 de Agosto de 2002]. Disponible en Internet <URL: <http://lorien.nct.ac.uk/ming/distil/distileqp.htm>>.
13. SURDRY. Catálogo de Autoclaves [en línea]. [Vizcaya, España]: Surdry, 2001 [citada el 2 de Agosto de 2002]. Disponible en Internet <URL: <http://www.surdry.comsp/zips/CatalogoAutoclaves.pdf>>. Disponible también en versión HTML en: <http://www.surdry.com/sp/tecnologia.htm>.