

## **Empleo del concepto del tubo de calor en sistemas solares de refrigeración.**

A lo largo de los últimos dos siglos, el desarrollo humano, con sus industrias, comercios y sociedades consumidoras, ha estado basado en la utilización de recursos energéticos no renovables. Sin embargo, con la satisfacción de las necesidades básicas se han creado nuevas inquietudes para el mejoramiento de la calidad de vida de la especie humana, que en la actualidad puede sobrevivir con comodidad incluso en las condiciones más adversas. Este crecimiento de las necesidades por satisfacer ha traído consigo que en los últimos años el dispendio de los recursos energéticos se haya vuelto indiscriminado.

Existen muchas alternativas para la satisfacción de las demandas energéticas actuales. La energía nuclear, la energía geotérmica y la energía gravitacional contenida en las mareas son algunos ejemplos de fuentes no convencionales de producción energética que varían en cuanto a su factibilidad y costos iniciales de capital requeridos para su implementación. Otra alternativa es el empleo de la energía solar en todas sus formas.

La energía solar comprende a todos los tipos de manifestaciones derivadas en forma directa o indirecta de la continua acción de transformación materia-energía que se lleva a cabo por medio del proceso de fusión nuclear que ocurre en el sol. Entre éstos se tiene a la energía de los vientos, producida por el calentamiento diferenciado de las diversas capas de aire de la atmósfera; la energía almacenada en los seres vivos, aprovechable en una forma conocida como biomasa; la energía fotovoltaica, susceptible de ser transformada (mediante el uso del efecto fotoeléctrico) en energía eléctrica; el calor solar, que puede ser aprovechable como una fuente térmica de alta calidad, y otras.

Las aplicaciones de la energía solar en la solución de la problemática energética son variadas. Con ella se pueden solucionar los conflictos de producción de energía eléctrica (con todas las ventajas que este tipo de producción significa para el transporte, las comunicaciones, etcétera), los problemas asociados con la refrigeración y el acondicionamiento de aire para edificios y otras aplicaciones, que en muchos casos contribuyen a mejorar la calidad de vida de las personas involucradas. Una de las aplicaciones de energía solar térmica más especializadas es la relacionada con el aprovechamiento de las propiedades conductoras de energía térmica de los denominados tubos de calor (Leavitt, 2000) y su aplicación en sistemas de refrigeración.

## **El sistema de refrigeración solar**

El acondicionamiento de aire en climas cálidos y húmedos es un problema de consumo energético al que se enfrentan tanto las empresas como los grupos familiares y centros comerciales establecidos en una zona de comportamiento climático como el descrito. Es muy común que los conceptos de refrigeración y/o acondicionamiento de aire ocupen un gran porcentaje del total de la energía consumida en un medio cualquiera, lo cual tiene implicaciones de costo, desperdicio de energía de alta calidad y contaminación ambiental (Berbari, 1998). La energía solar es una fuente potencial de aprovechamiento energético en el campo de acondicionamiento de aire. Existen muchas formas de aprovechar el calor solar para acondicionar térmicamente un recinto, de las cuales la más viable en términos de costo de operación y ahorro de energía es la constituida por el sistema de refrigeración por absorción. La diferencia fundamental existente entre un sistema de refrigeración por absorción y uno de compresión mecánica, que es el encontrado en la mayoría de los hogares como equipo de aire acondicionado de ventana, radica en la fuente de energía que ambos requieren para operar. En el caso del refrigerador de absorción, la energía eléctrica requerida en el sistema de compresión se ha suplantado por una adición de calor, el cual puede provenir de cualquier fuente, posibilitando el uso de energía solar para ello. En el sistema de refrigeración por absorción solar, los tubos de calor son los encargados de captar la energía proveniente del sol, operando como colectores al vacío (Dumais, 1999).

## **El tubo de calor como colector solar al vacío**

Los tubos de calor son dispositivos que pueden ser utilizados para transferir calor de una zona de alta a una de baja temperatura. En su forma más simple, un tubo de calor se compone de una estructura sellada en cuyo interior se ha logrado un vacío parcial y se ha introducido una cierta cantidad de refrigerante o fluido de trabajo, previamente a la implantación de los sellos.

El funcionamiento del tubo es simple: una vez que se ha colocado uno de sus extremos en la fuente y el otro en el receptor de calor, el fluido de trabajo se evapora, viaja del extremo de mayor al de menor temperatura y se condensa en él, liberando la energía térmica que había recibido. Posteriormente, el ciclo se completa por gravedad o capilaridad al regresar el fluido en estado líquido a su punto de partida. El proceso continúa mientras exista la diferencia de temperaturas entre las zonas en cuestión, sin que se requiera la mediación de bomba, soplador o compresor alguno (Berbari, 1999).

De la descripción anterior, se tiene que el tubo de calor puede ser empleado como un receptor y al mismo tiempo como un transmisor de energía térmica. La energía recibida y puesta en movimiento por el tubo de calor puede muy bien provenir del sol. Al emplearlo de esta manera, se obtiene lo que se conoce como colector solar al vacío, idea presentada originalmente en 1976 por Wolf y Bienert (Abogderah, 1998).

El funcionamiento del colector solar al vacío es simple: la energía térmica proveniente del sol incide en el evaporador (zona de entrada de calor) del tubo de calor, evapora el fluido presente en éste y es transportada con pérdidas pequeñas hasta el condensador (zona de salida de calor). La energía térmica así recolectada se almacena por medio de un tanque aislado y puede posteriormente ser empleada en el refrigerador de absorción. Un sistema como el descrito es el que se bosqueja en la Figura 1.

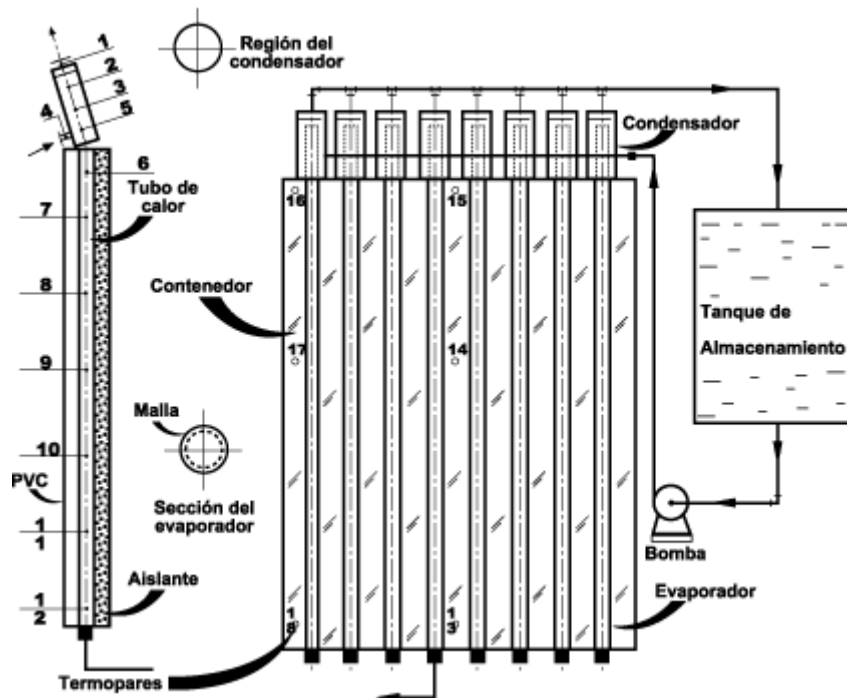


Figura 1. Sistema de funcionamiento del tubo de calor como colector solar al vacío

## **Objetivos de la investigación**

El comportamiento de un tubo de calor se evalúa, para propósitos de refrigeración solar, por el valor que presenten la temperatura en el evaporador y la potencia térmica transferida, cantidades estrechamente relacionadas. Ambas cantidades definen por completo el comportamiento real del dispositivo como medio de transmisión de calor, pero es preciso aclarar que existe una multitud de factores que intervienen en la determinación de estas variables de desempeño, tales como la cantidad y especie del fluido refrigerante contenido en el interior del tubo, su inclinación respecto a la dirección de los rayos solares, las propiedades ópticas de las superficies asociadas a los materiales utilizados en su manufactura, la conductividad térmica de los metales empleados, la magnitud del vacío parcial logrado en la parte interna del dispositivo, la insolación presente en el medio de ubicación del mismo y otras (Hussein, 1999). Sin embargo, aunque se sabe que todos los factores mencionados influyen en cierta medida en las variables de interés, se desconoce la relación cuantitativa real entre cada uno de ellos y las variables especificadas, situación que disminuye la capacidad de la industria de hacer uso de este concepto de transferencia de calor en refrigeradores de absorción o en cualquier otra aplicación relevante. Por este motivo, el objetivo del trabajo de investigación reseñado en este artículo fue el de ampliar el conocimiento que se tiene en el campo de energía solar en México investigando sobre el diseño, la construcción y las características de funcionamiento de un tubo de calor.

## **Justificación del trabajo de investigación**

La importancia que adquirirán las cuestiones de aprovechamiento de energía en el futuro, cuando la provisión de recursos fósiles se haya visto tan menguada que seguir aprovechándola genere mayores costos que beneficios, no puede ser discutida. Dentro de los aspectos de protección al ambiente se hace también necesaria la implantación de procesos de generación y uso de energía más eficientes y que generen menores problemas de contaminación a las reservas naturales. Las dos cuestiones planteadas permiten suponer que será necesario encontrar formas de satisfacer las necesidades energéticas del ser humano que cumplan al menos con estas dos características: ser renovables y producir el mínimo de subproductos contaminantes.

El tema de la refrigeración es un apartado sumamente importante en lo que a preservación de alimentos y acondicionamiento de aire se refiere. Ambos aspectos son de gran relevancia en el sostenimiento de la calidad de vida de la especie humana, pues le garantizan

sobreponerse a condiciones climáticas adversas y conservar los alimentos por mayores períodos de tiempo.

Es por esta razón que la utilización de tubos de calor como fuentes de energía térmica para la operación de ciclos de refrigeración por absorción es una alternativa de gran relevancia en el contexto actual, y lo será con mayor medida en el futuro no lejano.

## **Resultados del proyecto de investigación**

Una vez concluido el proyecto de investigación antes descrito se obtuvo la influencia de las variables de diseño en el comportamiento del tubo de calor y en el desempeño general del ciclo de refrigeración por absorción. Los resultados más importantes son los relacionados con la determinación de las zonas de temperatura máxima de operación y la conductividad térmica equivalente del tubo, parámetros muy importantes en su caracterización y desempeño.

Los resultados descritos en el párrafo anterior se repitieron para más de veinte fluidos de trabajo distintos, incluyéndose compuestos inorgánicos, metales líquidos, hidrocarburos aromáticos, alcoholes y fluidos térmicos industriales. Como ejemplos se presentan dos gráficos relacionados con lo anterior, para el agua como fluido de trabajo, en las Figuras 2 y 3 (cfr. Fernández, 2001).

Finalmente, se obtuvieron también resultados relacionados con la obtención de los límites teóricos del tubo de calor en cuanto a potencia térmica transferible y con una comparación entre la ventaja relativa que presentan los fluidos considerados para ser empleados o no en un tubo de calor (cfr. Fernández, 2001).

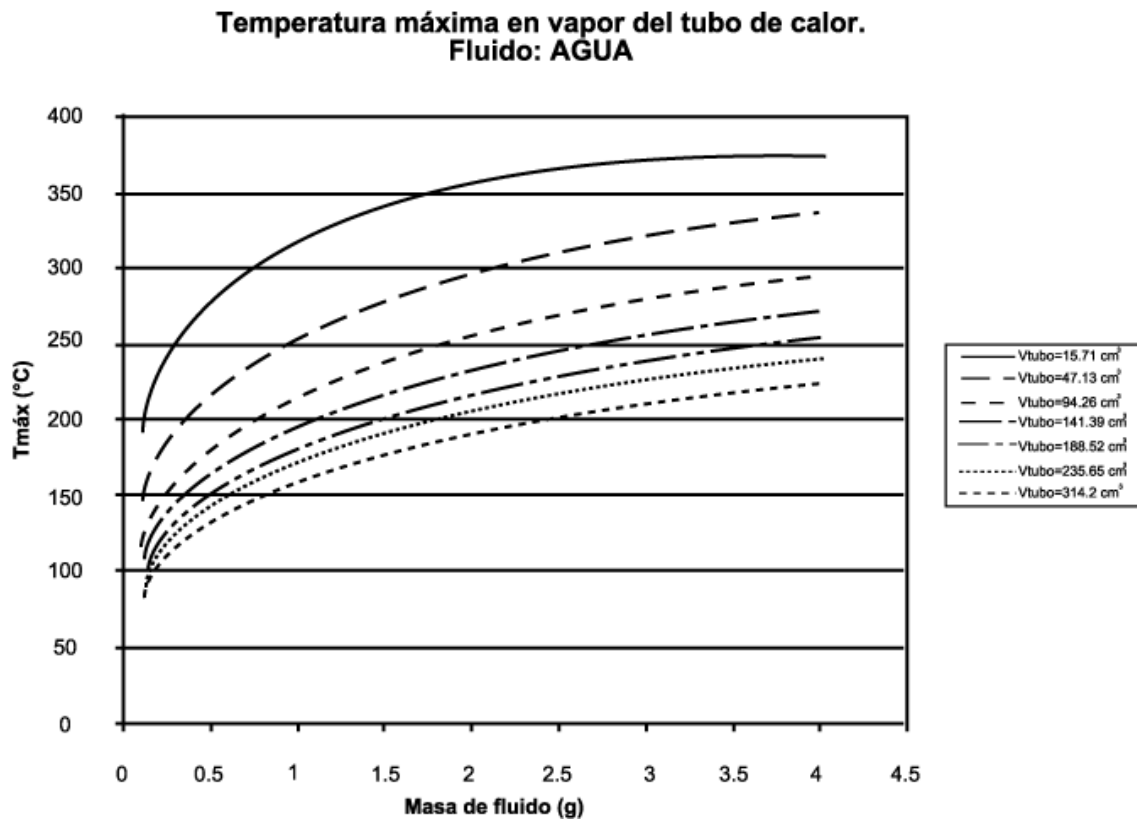


Figura 2. Resultados del sistema: Desempeño de Temperatura Máxima

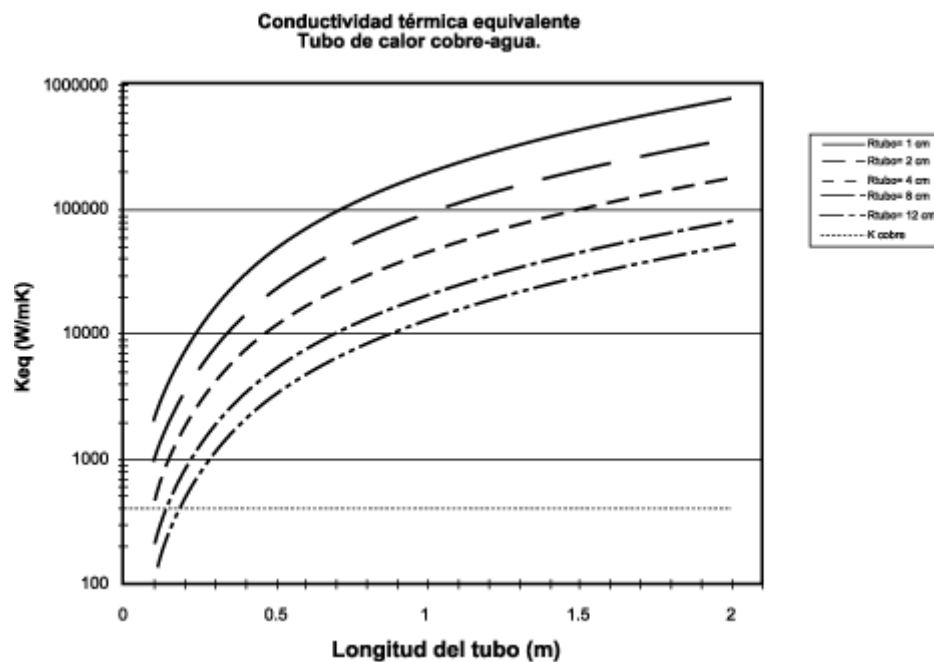


Figura 3. Resultados del sistema: Desempeño de Conductividad Térmica

## **Conclusiones**

De los fluidos considerados, los más apropiados para el empleo dentro de un sistema de refrigeración solar fueron el vapor de agua y el Therminol-FR-1. De entre ambos se prefiere al vapor de agua, por ser prácticamente inocuo y provenir de fuentes naturales, además de presentar un mejor comportamiento en general. Otros fluidos de aplicación relevante fueron los metales líquidos, requeridos en sistemas y aplicaciones de altas temperaturas (mayores a los 500°C).

En cuanto a capacidad de remoción de calor, los fluidos de aplicación más pertinente son el vapor de agua, el amoníaco, el Therminol-FR-0 y la plata líquida, entre otros.

Los patrones de conductividad térmica equivalente obtenidos para diversos tipos de tubos de calor demostraron que la aplicación de este dispositivo es mejor que cualquiera otra alternativa en zonas que requieran de una distancia amplia entre las zonas de temperatura consideradas, o que impliquen poco espacio en cuanto a sección de área transversal en el tubo.