

# Comportamiento térmico espacial-temporal de un tubo de calor (heat pipe)



Adrián Corona Cruz y J. Ramón Villanueva Valencia

FCFM, BUAP, Apartado Postal 1152, 72001 Puebla, México.

E-mail: acorona@fcfm.buap.mx

(Recibido el 3 de Septiembre de 2011; aceptado el 10 de Diciembre de 2011)

## Resumen

El tubo de calor (TC), inicialmente desarrollado en la NASA para resolver problemas relacionados con el enfriamiento de dispositivos espaciales, es un sistema térmicamente complejo de evaporación-condensación que rápidamente transporta gran cantidad de calor. Actualmente se le han dado varias aplicaciones tecnológicas relacionadas con la transferencia de energía, como su uso en el enfriamiento de procesadores de computadoras personales. En esta investigación, el estudiante exploró experimentalmente el comportamiento espacial y temporal de la conducción de calor a lo largo del tubo TC, con diferentes líquidos como medios de transferencia convectiva del calor. También, se muestra el comportamiento térmico de un TC comercial utilizado en calentadores solares.

**Palabras clave:** Tubo de calor, convección, enfriamiento, calentados solar.

## Abstract

The heat pipe (TC), initially developed at NASA to solve problems related to space cooling devices, is a complex thermal evaporation-condensation that rapidly transports large amount of heat. Today it have several technological applications related to the transfer of energy, as its use in the cooling of processors for personal computers. In this research, the student explored experimentally the spatial and temporal behavior of the heat conduction along the tube CT with different liquids as a means of convective heat transfer. It also shows the thermal behavior of a commercial TC used in solar water heaters.

**Key words:** Head Pipe, convection, cooling, solar heated.

**PACS:** 47.55.pb, 44.27.+g, 88.05.Sv

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUCCIÓN

Estudiar el transporte de energía térmica mediante procesos conductivo-convectivos en fluidos (vapor) es uno de los temas de enseñanza tratados en el laboratorio de termodinámica de la FCFM. La conducción térmica en un tubo cerrado conteniendo un líquido fue desarrollado, en los laboratorios de la NASA en los años 60, para resolver una serie de problemas de enfriamiento en los sistemas espaciales, los científicos desarrollaron la tecnología de tubos de calor (TC). Actualmente, sin ellos, serían inconcebibles las PC personales y los teléfonos celulares [1, 2].

Los TC se conocen como “superconductores de calor”, cuentan con una capacidad calorífica muy baja y una conductividad muy superior a la del mejor conductor sólido de la misma dimensión. Un TC es un dispositivo de transferencia de calor de un fuerte acoplamiento termodinámico, que crea un campo de flujo que transporta energía calorífica por medio de la convección de vapor, está construido con un tubo metálico con un fluido en su interior y en algunos casos, una capa capilar adherida a la pared interna del tubo [3, 4], tema abierto de investigación [5].

Funciona calentando parte o uno de sus extremos y cediendo energía por el otro. Dentro del tubo, el líquido contenido, moja la pared interna del tubo, y al aplicar calor éste es evaporado; el líquido absorbe una cantidad de energía equivalente a su calor latente de vaporización. El vapor llena el tubo, condensándose en los lugares fríos, cediendo su energía. El líquido de trabajo contenido en el tubo es de un alto calor latente de vaporización; por ejemplo, para el rango de temperaturas de 25 a 130°C, se puede usar acetona, éter, etanol o metanol. Se reporta que el agua, tiene propiedades óptimas en el rango de temperatura entre 25 y 270°C, rango de trabajo idóneo para muchas funciones [6]. Para aplicaciones a baja temperatura (-20 a 5°C) se usa dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) [7]. Actualmente los TC, son ampliamente usados como componentes principales de calentadores solares [8].

La transferencia de calor en un TC, implica procesos de mezclas de dos fases, conducción por convención de vapor, conducción por el contenedor, efectos gravitacionales, etc., procesos que violan en gran medida las condiciones para establecer y en su caso resolver, las ecuaciones que describen la transmisión del calor en fluidos [9]. Por lo que el desarrollo de los TC se ha hecho utilizando métodos

empíricos o modelos simplificados, aplicables sólo a los procesos de estado estacionario, por ejemplo: la influencia de la geometría en el proceso de intercambio de calor; el rendimiento con respecto a la gravedad; a partir de aproximaciones basadas en observaciones empíricas, se predice la capacidad de intercambio de calor y la resistencia térmica; a través de ecuaciones diferenciales, estiman la capacidad de transporte de calor y los gradientes de temperatura a lo largo del tubo, en función del flujo de calor, etc. [1].

Con el objetivo de reproducir el comportamiento del tubo de calor TC, usado para implementar calentadores solares [10] se usó un tubo de cobre similar de 7mm de diámetro y  $l = 1.6\text{m}$  de longitud preparado con diferentes líquidos. Se le colocaron sensores de temperatura a su largo, (cada 20cm), fue térmicamente aislado con espuma de poliestireno y envuelto con cinta de asbesto uno de sus extremos, fue colocado en un baño térmico a temperatura  $T_a=120^\circ\text{C}$ ; se prepararon cinco tubos colocándoles respectivamente 10 mililitros de: a) acetona ( $T_{eb} = 57^\circ\text{C}$ ); b) éter, ( $T_{eb} = 24^\circ\text{C}$ ), c) Alcohol Etilico ( $T_{eb} = 78^\circ\text{C}$ ); y d) agua ( $T_{eb} = 100^\circ\text{C}$ ), valores a una atmosfera de presión. Debido a la falta de equipo para vaciar de aire el tubo, los vapores obtenidos realmente corresponden a una mezcla que afecta la condensación en las paredes internas del tubo [11]. El tubo, fue sellado por medio de soldadura de latón.

## II. RESULTADOS

Como se puede observar en las Figs. 1 y 2, en el caso del tubo TC y el tubo con éter, muestran un comportamiento térmico y espacial similar; desde que el extremo del tubo es colocado en el baño, el líquido contenido súbitamente se evapora llenando el volumen interior del tubo, estableciendo un proceso de transición de vapor y condensación del mismo, haciendo que cada punto a lo largo del tubo se caliente con la “misma” rapidez. Ajustando por medio de una función exponencial, se encontraron los coeficientes de la función exponencial (TC  $10 \times 10^{-3}\text{s}$  y  $7 \times 10^{-3}\text{s}$  para el éter).

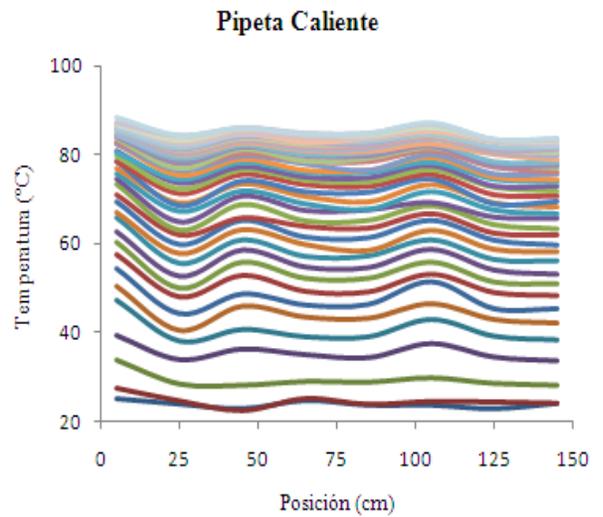
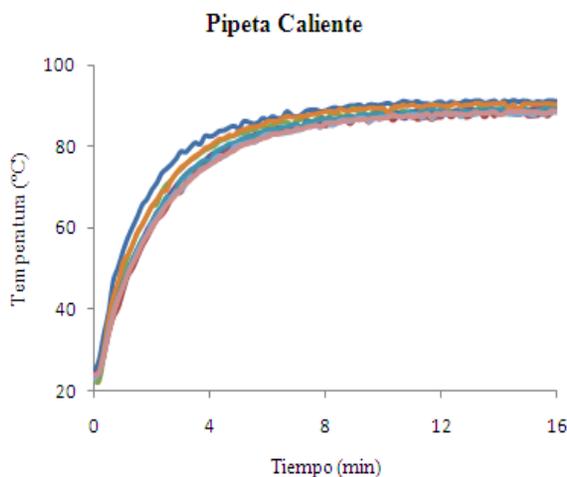


FIGURA 1. Gráficas T vs t, y T vs x de un TC (heat pipe).

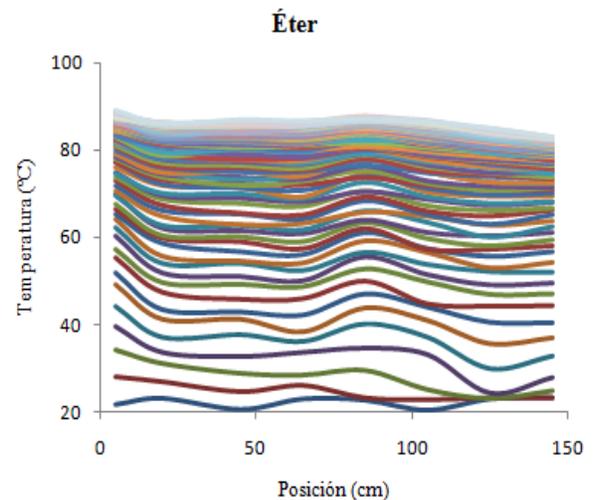
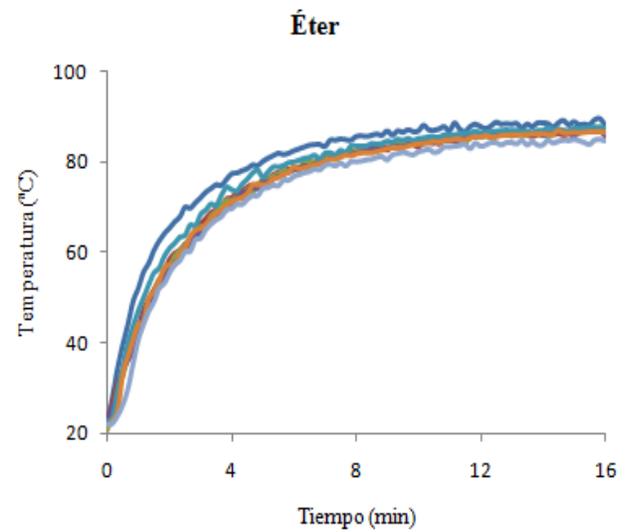


FIGURA 2. Gráficas T vs t, y T vs x de un tubo con 10ml de éter.

Para los casos de la acetona, etanol y agua mostrados en las Figs. 3-5, del comportamiento de la temperatura, se deduce que el vapor generado, sube condensándose y re-evaporándose en la pared interior del tubo. Se puede suponer que a lo largo del tubo hay regiones “frías y calientes”, hasta que la temperatura del mismo llega a estar a la temperatura de evaporación del líquido presionado por su propio vapor y el aire. Se ve cómo la temperatura de equilibrio, es función de la presión de vapor sobre calentado del líquido contenido.

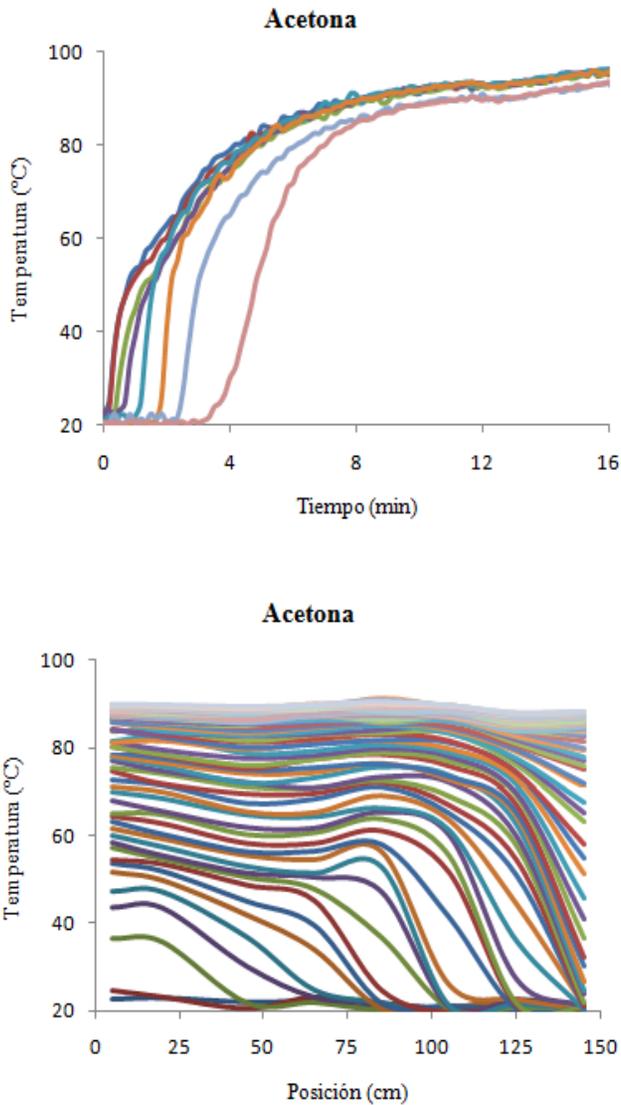


FIGURA 3. Gráficas T vs t, y T vs x de un tubo con 10ml de acetona.

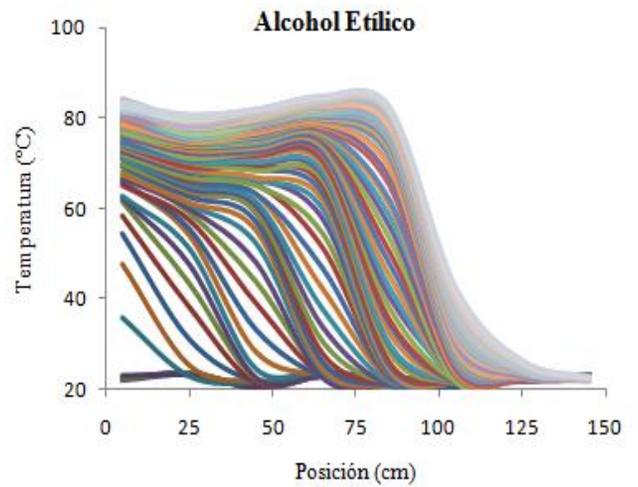
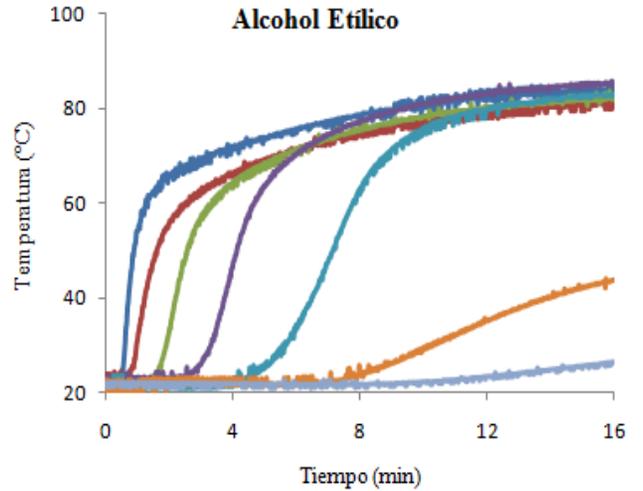
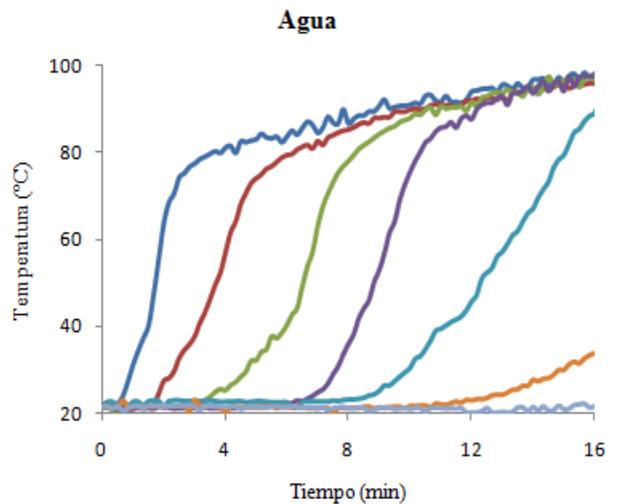
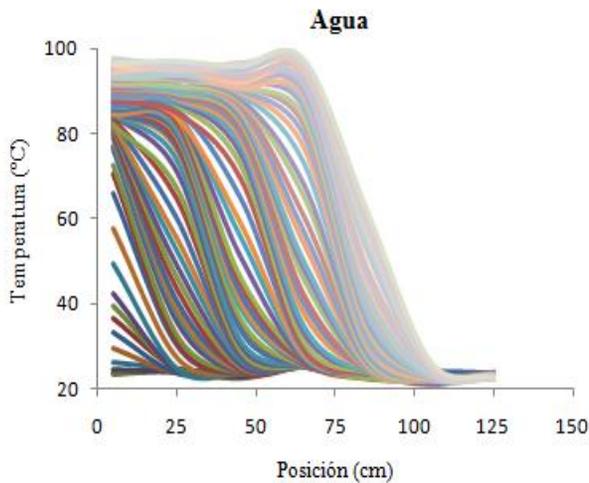


FIGURA 4. Gráficas T vs t, y T vs x de un tubo con 10ml de Alcohol Etilico.





**FIGURA 5.** Gráficas T vs t, y T vs x de un tubo con 10ml de agua.

Se observa que el vapor juega un papel relevante en el proceso de transferencia de energía, objetivo principal de este sistema. El comportamiento de conducción térmica, es varias veces mejorado por la acción del vapor, éste hace que el TC, con un fluido de baja temperatura de ebullición como el éter, se comporte como una barra con una alta conductividad. Y su comportamiento, como es de esperar, es descrito como un sistema “conductor”, con propiedades térmicas, que corresponden a modelos que llamamos “cuasi sólidos”.

Los resultados obtenidos para los casos de la acetona, alcohol etílico y agua, muestran que la propagación de calor en el tubo involucra cada una de las cinco ecuaciones diferenciales no lineales citadas en la Ref. [9] y su complicación al implicar una mezcla de líquido-vapor.

### III. CONCLUSIONES

La descripción termo-dinámica del TC, es compleja, ejemplo de la mayoría de los sistemas clásicos usados para construir conjuntos termodinámicos que sólo son empíricamente optimizados.

Como se pudo observar, hay varios temas de estudio e investigación relacionados con la transferencia de energía por conducción-convección, cómo la variación con la gravedad, el diámetro del tubo, el líquido y sus mezclas, etc., variables a ser estudiadas en los próximos cursos. Respecto a la aplicación y eficiencia del TC, en sistemas de calentamiento, está siendo investigada.

### AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado de la BUAP, por el apoyo económico al proyecto, “Termo-

Hidrodinámica de un Tubo de Calor (heat pipe)” y al alumno, Joseph Xelhua Corona Pérez, de la Facultad de Ciencias de la Computación de la BUAP, que diseñó e implementó el sistema de adquisición de datos en el programa de servicio social.

### REFERENCIAS

- [1] Machado, H. A., *3-D transient simulation of a flat capillary heat pipe via an interface tracking method*, *Engenharia Térmica (Thermal Engineering)* **5**, 72-81 (2006).
- [2] Korn, F., *Heat pipes and its applications*, Project Report (2008) MVK160 *Heat and Mass Transport*, Dept. of Energy Sciences, University Sweden, [http://www.lth.se/fileadmin/ht/Kurser/MVK160/Project\\_08/Fabian\\_Korn.pdf](http://www.lth.se/fileadmin/ht/Kurser/MVK160/Project_08/Fabian_Korn.pdf), Consultado el 14 de Mayo de (2011).
- [3] Stern, T. and Anderson, W. G., *High Temperature Lightweight Heat Pipe Panel Technology Development*, Proceedings of the Space Nuclear Conference San Diego, California (2005), <http://1-act.com/htlhptd.pdf>, Consultado el 20 de Marzo de (2011).
- [4] Karimi, G., Culham, J. R., *Review And Assessment Of Pulsating Heat Pipe Mechanism For High Heat Flux Electronic Cooling*, NASA Center for Aerospace Information, National Technical (2004), Available electronically at <http://gltrs.grc.nasa.gov>, Consultado el 21 de Julio de (2011).
- [5] Vasiliev, L. L., *Heat pipes in modern heat exchangers*, *Applied Thermal Engineering* **25**, 1–19 (2005), Available electronically at <http://www.sciencedirect.com>, Consultado el 30 de Marzo de (2011).
- [6] Devarakonda, A. and Xiong, D. and Beach, D. E., *Intermediate Temperature Water Heat Pipe Tests*, NASA Center for Aerospace Information, National Technical, Available electronically at <http://gltrs.grc.nasa.gov>, Consultado el 11 de Marzo de (2011).
- [7] Andrey, S. de S. F. and Almeida, D. J. F., S. C., *An experimental investigation of a CO<sub>2</sub> pulsating heat pipe*, 14<sup>th</sup> International Heat Pipe Conference (14<sup>th</sup> IHPC), Florianópolis, Brazil, Abril 22-27 (2007).
- [8] diracdeltaco.uk, science & engineering encyclopedia, <http://www.diracdeltaco.uk/science/source/h/o/home/source.html> Consultado el 12 de Mayo de (2011).
- [9] Corona, C. A. y Martínez, P. G., *Conducción Térmica de una Barrilla de Cobre*, *Latin American Journal of Physics Education*, vol. 6 (1), January (2012).
- [10] Mahjouri, F., *Vacuum Tube Liquid-Vapor (Heat-Pipe) Collectors*, <http://www.thermomax.com/Downloads/Vacuum%20Tube%20Paper.pdf>, Consultado el 10 de Enero de (2011).
- [11] Perry, J. H., *Manuel del Ingeniero químico*, (Unión Tipografica Editorial Hispano-Americana (ETEHA), México, 1996), Sección 6, p. 733.