

Título del trabajo/ Title of paper

Refrigeración de LED's mediante "Heat Pipes".

Autor/es/ Author/s

Francisco J Bugallo Siegel<sup>1</sup>  
Carlos A. Lozano Arribas<sup>2</sup>  
Santiago Pindado Carrión<sup>3</sup>

Afiliación/es del autor/es/ Affiliation/s of the author/s

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio  
Universidad Politécnica de Madrid

Dirección principal/ Mail adress

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio  
Departamento de Infraestructura, Sistemas Aeroespaciales y Aeropuertos  
Plaza del Cardenal Cisneros, 3 – 28040 Madrid

Teléfono, fax, e-mail de la persona de contacto/  
Phone, fax number and e-mail adress of the contact person

<sup>(1)</sup> f.bugallo@upm.es, 913366315, 913366321  
<sup>(2)</sup> carlosalfonso.lozano@upm.es, 913367498, 913366321  
<sup>(3)</sup> santiago.pindado@upm.es, 913367498, 913366321

Tema:

3.- Científico y Formación.

- |   |   |
|---|---|
| 1. Alumbrado interior y Luz natural     | 10. Iluminación y Señalización para el transporte |
| 2. Aspectos generales de la iluminación | 11. Imagen  |
| 3. Científico y Formación               | 12. Informática                                   |
| 4. Divulgación                          | 13. Investigación y Desarrollo                    |
| 5. Economía de la iluminación           | 14. Los LEDs y sus aplicaciones                   |
| 6. Eficiencia Energética                | 15. Luz y Salud                                   |
| 7. Fotobiología, Fotoquímica y UV       | 16. Normativa y Legislación                       |
| 8. Fotometría y Luminotecnia            | 17. Novedades                                     |
| 9. Fuentes de luz                       | 18. Realizaciones                                 |
|   | 19. Visión y color                                |

Resumen texto, con principales resultados/  
Summary of text with principal results

El enfriamiento tradicional de los LEDs, mediante disipadores térmicos, se ve muchas veces comprometido al tener que disponer estos elementos refrigeradores justo en el punto de generación de la luz.

Para evitar, en la medida de lo posible, este hecho, se presenta como una de las posibles alternativas el empleo de los “Heat Pipes”. Los Heat Pipes son unos dispositivos autónomos, que permiten refrigerar los focos calientes, trasladando el calor generado por ellos a disipadores térmicos situados en zonas más accesibles y menos comprometidas.

Los “Heat Pipe”, basados en técnicas termodinámicas, tienen un uso muy extendido en la tecnología aeroespacial. Son actualmente la solución ideal en aplicaciones de bombeo de calor y refrigeración de componentes eléctricos y electrónicos. Con tamaños reducidos, pueden alcanzar flujos de refrigeración de 300 – 400 W/cm<sup>2</sup>.

En esta comunicación se presenta y analiza este tipo de refrigeración aplicada a LED’s utilizados en iluminación y alumbrado.

La refrigeración de LEDs propuesta está compuesta por el Heat Pipe adosado por un extremo a la cara posterior del diodo LED, y por el otro, a una cierta distancia, al disipador térmico. La temperatura alcanzada por el LED dependerá del tipo y características del Heat Pipe así como de las cualidades del disipador térmico utilizado. También se utilizan en combinación con refrigeradores termoeléctricos (células de Peltier) cuando se desea controlar la temperatura de los dispositivos por debajo de la temperatura ambiental.

## Introducción.

El Heat Pipe, o Heat Pin, (“tubo de calor o alfiler de calor”) es un dispositivo simple que puede transferir calor rápidamente desde un punto a otro. A veces se les compara con superconductores de calor debido a que poseen una capacidad extraordinaria de transferir calor sin apenas pérdidas.

La idea de los tubos de calor fue sugerida por primera vez por Richard S. Gaugler en 1942, introduciendo la estructura porosa de absorción o mecha. Pero no fue sino hasta 1962 cuando G. M. Grover publicó sus investigaciones en las que denominó al dispositivo "Heat Pipe".

Un tubo de calor está formado por un tubo recipiente, normalmente de aluminio o cobre, en cuya superficie interior se dispone de un material poroso de absorción.

Tiene la capacidad de transportar calor en contra de la gravedad, a través de un ciclo de evaporación-condensación, con la ayuda de los capilares del material poroso que conforma la mecha. Ésta proporciona la fuerza capilar impulsora para devolver el líquido condensado al evaporador. La calidad y tipo de mecha determina el rendimiento del tubo de calor, siendo por ello el corazón del dispositivo. El tipo de mecha que se utiliza depende del tipo de aplicación en la que se aplica el tubo de calor.

## Consideraciones sobre el diseño.

Los tres componentes básicos de un tubo de calor son:

- 1.- El contenedor o recipiente.
- 2.- El fluido de trabajo.
- 3.- La estructura capilar del material de absorción o mecha.

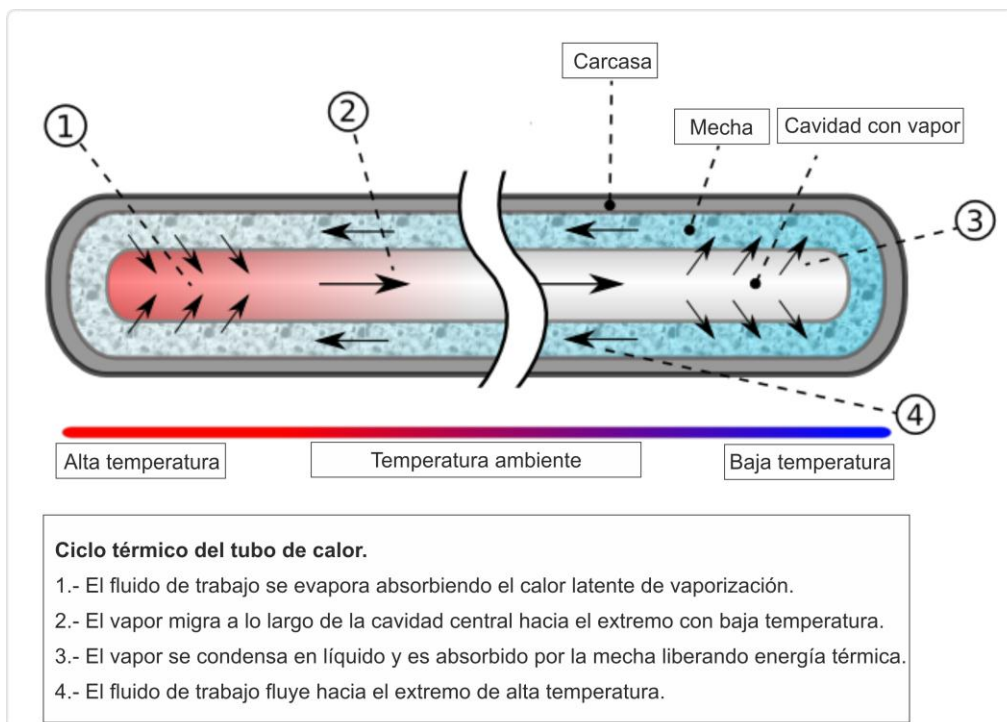


Figura 1.- Esquema de un tubo de calor (Heat Pipe).

### Recipiente.

La función del recipiente, o carcasa, es la de aislar el fluido de trabajo del ambiente exterior. Ha de ser estanco, mantener la diferencia de presiones a través de sus paredes y permitir que la transferencia de calor se lleve a cabo desde el exterior hacia el fluido de trabajo en el evaporador, y desde el fluido de trabajo hacia el exterior en el condensador. La selección del material del recipiente depende de muchos factores entre los que destacan:

- Compatibilidad, con el fluido de trabajo y con el medio ambiente externo.
- Relación resistencia-peso.
- Conductividad térmica.
- Características mecánicas: ductilidad, mecanizado, soldadura. Facilidad de fabricación.
- Porosidad.
- Mojabilidad.

En su uso aeroespacial es muy importante un valor elevado de la relación resistencia-peso. El material no debe ser poroso para evitar la difusión al exterior del vapor interior. Una elevada conductividad térmica asegura el descenso de la temperatura mínima entre la fuente de calor y el material de absorción.

### Fluido de trabajo.

La primera consideración, a la hora de seleccionar el fluido de trabajo, es el rango de temperaturas de trabajo del vapor. Dentro de la banda aproximada de temperaturas, existen muchos fluidos posibles de trabajo, debiéndose examinar una variedad de características para determinar el fluido más aconsejable para la aplicación considerada.

Las características principales que se deben analizar son:

- Compatibilidad con los materiales de la mecha y la pared.
- Buena estabilidad térmica.
- Capacidad de humectación con los materiales de la mecha y de la pared.
- Presión de vapor muy alta o muy baja en todo el rango de temperaturas de funcionamiento.
- Elevado calor latente.
- Alta conductividad térmica.
- Baja viscosidad del líquido y del vapor.
- Elevada tensión superficial.
- Congelación aceptable o punto de fluidez.

La selección del fluido de trabajo debe estar basada en consideraciones termodinámicas, que imponen ciertas limitaciones al flujo de calor que se verifica en el interior del tubo de calor, tales como la viscosidad, velocidad del sonido, arrastre capilar y la ebullición nucleada (aparición de burbujas de vapor sobre puntos de nucleación de una superficie).

En el diseño de los tubos de calor se busca un elevado valor de la tensión superficial con el fin de que el dispositivo genere una gran fuerza de conducción capilar que pueda actuar contra la gravedad. Además es necesario que el fluido de trabajo moje la mecha y el material contenedor, es decir, que el ángulo de contacto debe ser cero o muy pequeño. La presión de vapor, en el rango de temperaturas de trabajo, debe ser lo suficientemente grande para evitar elevadas velocidades del vapor que tienden a configurar elevados gradientes de temperatura generando inestabilidades en el flujo.

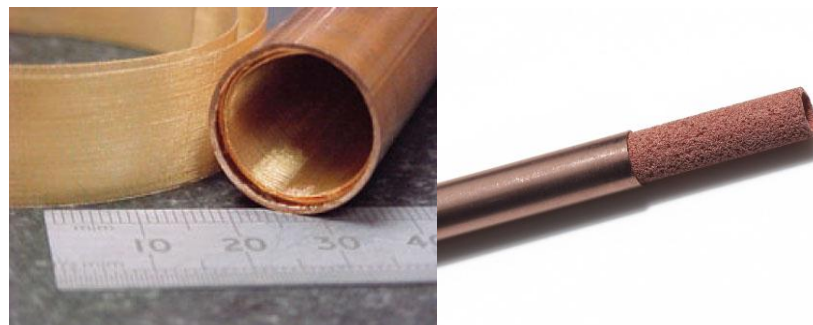
Es deseable un elevado calor latente de vaporización para transferir grandes cantidades de calor con el mínimo flujo de fluido, manteniendo, por lo tanto, bajas caídas de presión dentro del tubo de calor. La conductividad térmica del fluido de trabajo debe ser preferentemente elevada con el fin de minimizar el gradiente radial de temperatura y para reducir la posibilidad de ebullición nucleada en la mecha o en la superficie de la pared. La resistencia al flujo del fluido se reducirá al mínimo mediante la elección de líquidos con bajos valores de viscosidad y presión de vapor.

En el cuadro siguiente se muestran algunos medios con sus rangos de temperatura útiles de trabajo.

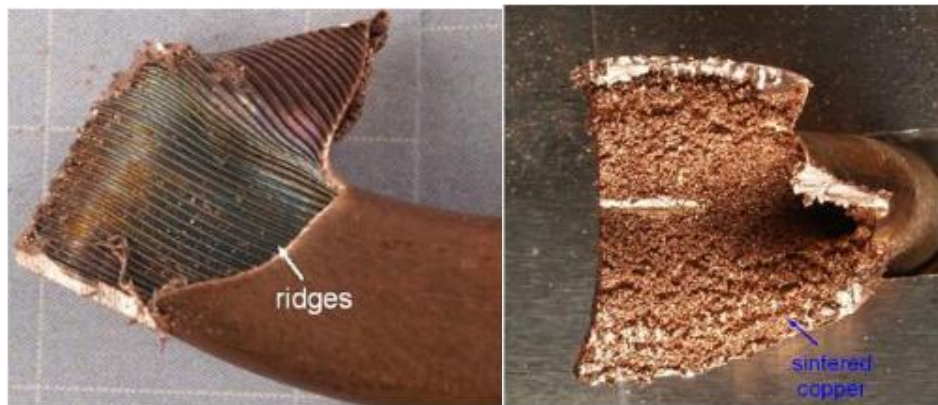
Medio	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)	Rango de temperaturas de trabajo (°C)
Helio	- 271	- 261	-271 to -269
Nitrógeno	- 210	- 196	-203 to -160
Amoniaco	- 78	- 33	-60 to 100
Acetona	- 95	57	0 to 120
Metanol	- 98	64	10 to 130
Flutec PP2	- 50	76	10 to 160
Etanol	- 112	78	0 to 130
Agua	0	100	30 to 200
Tolueno	- 95	110	50 to 200
Mercurio	- 39	361	250 to 650
Sodio	98	892	600 to 1200
Litio	179	1340	1000 to 1800
Plata	960	2212	1800 to 2300

#### Mecha o estructura capilar.

La mecha es una estructura porosa confeccionada con materiales como el acero, aluminio, níquel o cobre, con diversidad de tamaños de poros. Se fabrican con espumas metálicas, y más concretamente como fieltros o aglomerados. Variando la presión y sentido en que se ejerce durante el montaje, se pueden producir diversos tamaños de poro. También se puede moldear una estructura arterial en el aglomerado durante el proceso de fabricación. Los materiales fibrosos, como la cerámica, han sido utilizados profusamente ya que en general tiene poros más pequeños. Su principal desventajas es que son muy rígidos y necesitan un apoyo continuo mediante una malla metálica. Mientras que la fibra en sí puede ser químicamente compatible con los fluidos de trabajo, los materiales de apoyo pueden causar problemas.



**Figura 3 .-** Sección de un tubo de calor.



**Figura 4.-** Mecha en surcos y mecha de cobre sinterizado.

En la actualidad, se ha volcado el interés en las fibras de carbono como material para confeccionar la mecha. Los filamentos de fibra de carbono tienen muchos surcos finos longitudinales en su superficie, producen una elevada presión capilar y son químicamente estables. Se han probado tubos de calor con mechas confeccionadas con fibra de carbono que han mostrado una mayor capacidad de transporte de calor.

El fin primordial de la mecha es la generación de la presión capilar necesaria para transportar el fluido de trabajo desde el condensador al evaporador. También ha de ser capaz de distribuir el líquido alrededor de la sección del evaporador, en particular a cualquier área donde se reciba el calor. A menudo estas dos funciones requieren mechas de formas diferentes. Por ello, la selección de la mecha de un tubo de calor depende de muchos factores, algunos de los cuales están íntimamente vinculados con las propiedades del fluido de trabajo.

La altura máxima del capilar generado por una mecha aumenta con la disminución del tamaño de los poros, pero la permeabilidad de la mecha aumenta con el incremento en el tamaño de los poros. La capacidad de transporte de calor por el tubo de calor se incrementa al aumentar el grosor de la mecha. La resistencia térmica global en el evaporador también depende de la conductividad del fluido de trabajo en la mecha. Otras propiedades que se han de buscar en la mecha son la compatibilidad con el fluido de trabajo y la capacidad de humectación de este.

Los tipos más comunes de mecha que se utilizan actualmente son:

Polvo sinterizado. Mediante este tipo de mecha se proporciona mayor transferencia de calor, gradientes de temperatura más bajos y fuerzas de capilaridad anti-gravedad mayores. Es la más común y difundida en el mercado por su utilización en la refrigeración de componentes electrónicos, en particular en los ordenadores.

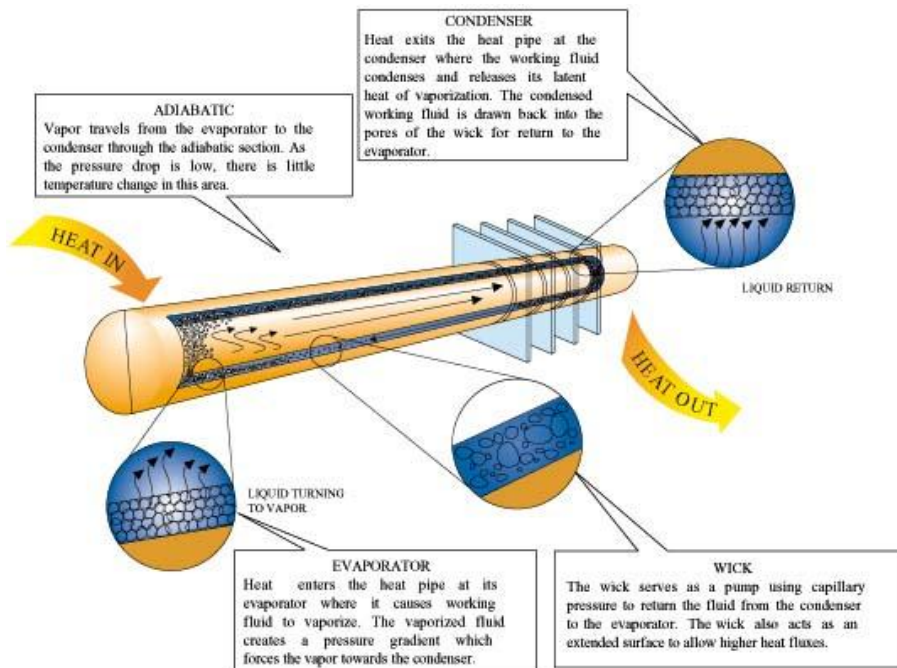
Tubería ranurada. La pequeña fuerza de conducción capilar generada por las ranuras axiales es adecuada para tubos de calor de baja potencia, cuando se opera horizontalmente, o con ayuda de la gravedad. El tubo se puede doblar fácilmente sin provocar desperfectos en la mecha. Cuando se utiliza en conjunción con la malla el rendimiento puede ser considerablemente mayor. Los tubos de calor con este tipo de mecha se utilizan generalmente en aplicaciones espaciales.

Pantalla de malla. Proporciona características fácilmente variables en cuanto a transporte de energía y sensibilidad a la orientación del tubo en función del número de capas y mallas utilizadas. Está convirtiéndose en la opción más atractiva para ciertas aplicaciones militares y médicas – analíticas, con requerimientos de transferencia de mayor potencia calorífica y reducido espacio.



## Funcionamiento.

En el interior del recipiente contenedor se encuentra un líquido bajo su propia presión de vapor, que se introduce en los poros del material capilar humedeciendo todas las superficies internas. La aplicación de calor en un extremo de la superficie del tubo de calor hace que el líquido entre en ebullición en ese punto y pase a estado de vapor. Durante ese proceso, el líquido absorbe su calor latente de vaporización. El gas que adquiere una mayor presión se mueve, en el interior del recipiente hermetico, hacia la zona fría donde se condensa, cediendo el calor latente de vaporización.



**Figura 5.-** Principio de funcionamiento del tubo de calor.

Los tubos de calor tienen una conductividad térmica efectiva de varios miles de veces la del cobre ( $\lambda = 372,1 - 385,2 \text{ W/(K.m)}$ ). La transferencia de calor o capacidad de transporte de un tubo de calor se especifica por su "potencia nominal axial" (APR), que es la energía calorífica que se mueve axialmente a lo largo del tubo. Cuanto mayor sea el diámetro del tubo de calor mayor es la APR. De la misma manera, cuanto más largo es el tubo menor es la APR.

Los tubos de calor se pueden confeccionar casi de cualquier tamaño y forma.

## Costo-efectividad de los tubos de calor.

El costo de los tubos de calor diseñados para su uso en electrónica es muy competitivo en comparación con otras alternativas. Se compensa y justifica por su fiabilidad de actuación y por el incremento de la vida media de los elementos electrónicos, gracias a su menor temperatura de trabajo durante su funcionamiento.

### Aplicaciones.

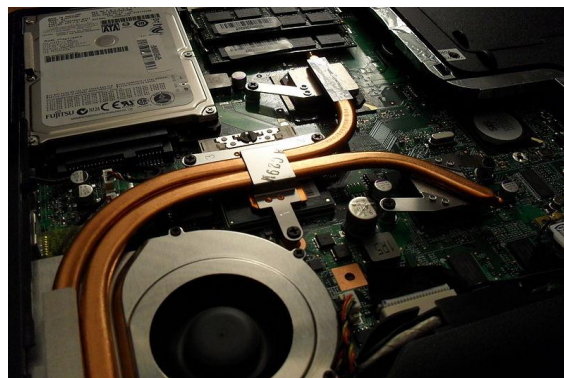
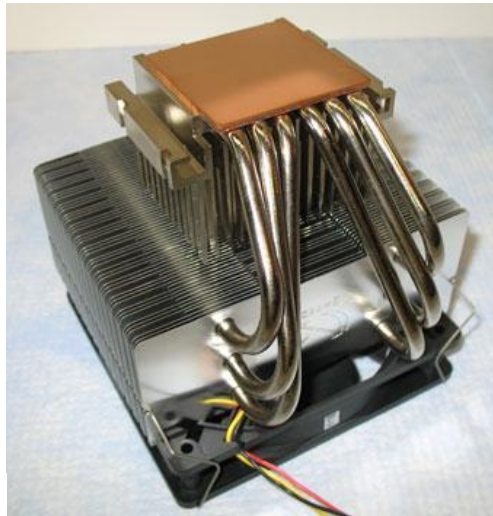
Los tubos de calor se utilizan en una multitud de aplicaciones abarcando toda la gama de temperaturas que se alcanzan en los procesos de transferencia de calor. Se emplean en productos como acondicionadores de aire, refrigeradores, intercambiadores de calor, etc. También se emplean en los ordenadores para reducir la temperatura de trabajo y mejorar la eficiencia y vida.



Minitubos de calor planos.



Tubos planos esparcidoresde calor.



**Figura 6.-** Tubos de calor para componentes electrónicos.

Su aplicación en el campo de la criogenia es muy significativo, especialmente en el desarrollo de la tecnología espacial. Este campo de aplicación se ha limitado, hasta hace poco tiempo, principalmente por los costes y la complejidad en la construcción de la mecha de los tubos de calor.

Existen aplicaciones en el campo aeroespacial tales como el control de la temperatura de las naves espaciales, como componente de los sistemas de refrigeración y control de temperatura, diseño de radiadores de los satélites; etc.

Su aplicación en los sistemas de refrigeración de componentes electrónicos está cada vez más extendida.



**Ejemplos de tubos de calor utilizados en luminarias.**

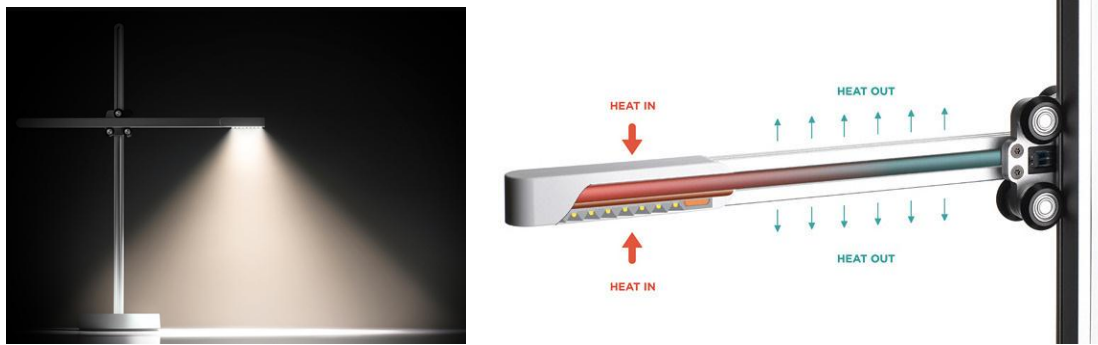
Su aplicación en luminarias es ya evidente como se muestra en los siguientes ejemplos.



**Figura 7.-** Propuesta de refrigeración con tubos de calor para luminarias downlight con LEDs



**Figura 7.-** Luminaria para iluminación exterior de la firma EFG.



**Figura 8.-** Prototipo de lámpara de sobremesa de la firma GIZMODO.



**Figura 9.-** Luminaria de alumbrado público de la firma LED ECONOMY.

### **Bibliografía.**

- "Heat Transfer Devices". Gaugler R.S. U.S. Patent 2,350,348, 1944.  
"Structures of Very High Thermal Conductivity". Grover G.M., Cotter T.P., and Erikson G.F. *J. Appl. Phys* (35): 1190-1191, 1964  
"Heat Pipes Theory, Design and Applications". Reay, David; Kew, Peter. Editorial BH. Fifth Edition. 2006.

### Páginas web de interés.

<http://thermal.gsfc.nasa.gov/Groups/P2/Technology/Heatpipes.html> - Technology development Group. NASA. USA.

[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/research/news/heat\\_pipes.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/heat_pipes.html) - Proyecto de la NASA para el ensayo de heat-pipes sin gravedad.

<http://tmrl.mcmaster.ca> - Información sobre investigaciones y relación de publicaciones. McMaster University Canada.

[www.astro-r.co.jp](http://www.astro-r.co.jp) - Fabricante: Astro Reserarch Corporation, Kanagawa, Japan.

[www.cast.cn/en/](http://www.cast.cn/en/) - Academia China de Teconología Espacial.

[www.deschamps.com](http://www.deschamps.com) - Fabricante: Deschamps Technologies, Natural Bridge Street, Virginia, USA.

[www.europanthermodynamics.com](http://www.europanthermodynamics.com) - Fabricante: Leicestershire, UK.

[www.fujikura.co.uk](http://www.fujikura.co.uk) - Fabricante: Fujikura, Leicestershire, UK.

[www.furukawa.co.jp](http://www.furukawa.co.jp) - Fabricante: Furukawa Electric Company, Japan.

[www.heatsink-guide.com/heatpipes.shtml](http://www.heatsink-guide.com/heatpipes.shtml) - Información y descripciones de radiadores que utilizan heat-pipes.

[www.heatpipe.com](http://www.heatpipe.com) - Fabricante: Gainesville, Florida, USA.

[www.hsmarston.co.uk](http://www.hsmarston.co.uk) - Suministrador: H.S. Marston Ltd., Wolverhampton, UK.

[www.mjm-engineering.com](http://www.mjm-engineering.com) - Consultor de diseños térmicos basados en heat pipes: MJM Engineering Co., Naperville, Illinois, USA.

[www.norenproducts.com/Heat\\_Pipe\\_Product\\_Guide.html](http://www.norenproducts.com/Heat_Pipe_Product_Guide.html) - Fabricante: Noren Products, Inc., Nenlo Park, California, USA.

[www.pr.afrl.af.mil/faacilities/pr\\_east/heat.htm](http://www.pr.afrl.af.mil/faacilities/pr_east/heat.htm) - Air Force Laboratory, USA.

[www.silverstonetek.com](http://www.silverstonetek.com) - Fabricante de heat pipes para control temperatura equipos electrónicos: SilverStone Technology Co., Ltd.

[www.spcoops.co.uk](http://www.spcoops.co.uk) - Fabricante: S&P Coil Products Ltd., Leicester, UK.

[www.swales.com](http://www.swales.com) - Fabricante: Swales Aerospace, Maryland, USA.

[www.thermacore.com](http://www.thermacore.com) - Fabricante: Thermacore, Inc., Lancaster, Pennsylvania, USA.

[www.transterm.ro](http://www.transterm.ro) - Fabricante: Transterm, 2200 Brasov, Romania.

[www.itmo.by](http://www.itmo.by) - Fabricante: P.Brovka, Minsk, Belarus.