

CARACTERIZACIÓN DE DISIPADORES TÉRMICOS MEDIANTE EL USO DE CÉLULAS PELTIER BAJO CONDICIONES DE CONVECCIÓN Y RADIACIÓN

VALERA LABORDA, Josué⁽¹⁾; MARTÍNEZ NICOLÁS, Iván⁽²⁾

ALARCÓN GARCÍA, Mariano⁽¹⁾; LUNA-ABAD Juan Pedro⁽²⁾;

e-mail: jp.lunaabad@upct.es

⁽¹⁾Universidad de Murcia, Facultad de Química, Área de Máquinas y Motores Térmicos

⁽²⁾Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería Térmica y Fluidos

RESUMEN

El desarrollo de los componentes electrónicos depende en cierta medida de la capacidad de disipar el calor que se genera en su interior. Para disipar este calor se pueden colocar matrices o sistemas de aletas y espines con diferentes geometrías, “heatsinks”, en la literatura especializada. En este trabajo se describe la puesta en marcha de un dispositivo experimental para caracterizar dichos disipadores y las células Peltier usadas para simular los componentes electrónicos. Para ello se ha confeccionado una caja aislada del exterior en cuyo interior se sitúan los disipadores sobre los que se ha colocado termopares tipo T. Para simular el comportamiento del componente electrónico se han usado células Peltier, las cuales han sido previamente caracterizadas para conocer su comportamiento ante variaciones de tensión e intensidad. La transferencia de calor tiene lugar en estos sistemas en las tres formas conocidas, conducción, a lo ancho y largo de la base y de las aletas; desde la base y aletas, el calor se disipa por convección natural o forzada, dependiendo si hay o no ventiladores colocados en la parte superior de las aletas; y por radiación térmica hacia el ambiente. La radiación transferida al ambiente es determinada mediante el uso de una cámara termográfica. Se ha observado que la temperatura es uniforme a lo largo de la aleta cuando la convección es libre, aleta isoterma, no siendo así bajo condiciones de convección forzada. Como consecuencia de lo anterior el coeficiente de convección alcanza valores más altos en convección forzada frente a libre.

Palabras clave: Peltier, disipador, convección.

1. Introducción

Numerosos estudios han sido realizados sobre los disipadores de calor, gran parte de ellos recopilados en textos como Kraus y Bar-Cohen [1], en el que se recogen gran cantidad de trabajos relacionados con la transferencia de calor en aletas y superficies extendidas bajo muy diversas condiciones. Estudios más recientes como Dogan y Sivrioglu [2] miden la transferencia de calor en aletas para diversas alturas y haciendo hincapié en la importancia del espacio entre aletas. Fahiminia et al. [3] realizan un estudio para optimizar la transferencia de calor por convección natural concluyendo que la eliminación de aletas en la zona de incidencia central mejoraba disipación de calor. Yu et al. [4] investigan los efectos sobre el rendimiento térmico de la convección natural y la radiación, concluyendo que el efecto de la radiación sobre la transferencia de calor total es mayor que el efecto de la convección natural. En referencia a células Peltier, tienen la característica de convertir una diferencia de potencial en un gradiente de temperatura y viceversa, mediante efectos termoeléctricos como el efecto Peltier, Seebeck y Thompson, [5, 6], el trabajo de Brestovic et al. [7] centra su estudio en la construcción de gráficas para determinar el COP de estos dispositivos usando un calorímetro, Sarkar y Mahapatra [8] emplean disipadores de calor sobre las TEC con la finalidad de mantener constante la temperatura del lado caliente y así poder construir gráficas en las que se delimitan los rangos de operación de las mismas según la intensidad suministrada.

Actualmente, cualquier tecnología que requiera el procesado de información, tal como ordenadores, controladores de procesos, servidores informáticos, etc., están compuestos por elementos electrónicos cuya actividad genera un elevado calor en su interior. Para extraer dicho calor, se disponen intercambiadores de calor comúnmente conocidos como disipadores de calor, fabricados en general con aleaciones de aluminio extruido, entre otros metales. Este trabajo se dedica a la caracterización de disipadores de calor y células Peltier que hacen las veces del componente electrónico a enfriar. Para la medición de temperaturas se ha recurrido a la termometría de contacto, termopares tipo T, y termometría sin contacto, cámara termográfica. Los disipadores han sido estudiados bajo diferentes condiciones, tales han sido añadirles o no un ventilador y modificar, a su vez, el funcionamiento de las células Peltier. Para la correcta medición de temperaturas se llevó a cabo la construcción de un entorno adiabático, consistente en una caja aislada, que permite la realización de termografías y medidas de temperatura en dichos disipadores sin la intervención del ambiente. Por otro lado se utilizaron como bombas de calor las células Peltier que simulan el comportamiento de los componentes electrónicos. Las células Peltier, en inglés TEC (thermoelectriccells/cooler), son dispositivos compuestos por aleaciones de metales y semiconductores tipo n-p, generalmente de Bi_2Te_3 , conectadas en serie y paralelo.

2. Materiales y métodos

Para llevar a cabo la caracterización de los disipadores y de las TEC se ha dividido la tarea en tres fases que se presentan a continuación:

- Elaboración de un entorno adiabático en el que se puedan tomar medidas de temperaturas de forma fiable y estable.
- Caracterización de las células Peltier y utilización de las mismas como fuente de calor que proporcionen una temperatura constante en la base del disipador. El calor disipado por las TEC es proporcionado a partir de la potencia eléctrica suministrada por una fuente de alimentación.
- A partir de la medición de temperaturas y haciendo uso de las correlaciones que parecen en la bibliografía especializada se ha estimado del flujo de calor por convección, natural y forzada, y radiación.

2.1. Caracterización de los disipadores.

Para la medición de temperaturas a través de termopares y termografías, se diseñó un entorno que cumpliera con la función de aislar los disipadores del exterior y para ello se construyó una caja convenientemente aislada. En dicha caja se practicaron dos huecos cuadrados de 50x50 mm, uno en la parte superior (para renovación de aire) y otro en la inferior (que contendrá la TEC), además de otros

huecos para la colocación de dos ventiladores, el paso del cableado y fijado de los disipadores. Durante los experimentos se llegaron a emplear hasta cuatro ventiladores a la vez, tal como se aprecia en la Fig. 1. Dos de ellos se dispusieron sobre los disipadores, uno fijo sobre el disipador en contacto con la cara caliente de la TEC, Fig.1a, para mantener una temperatura estable en la misma y poder observar mejor el incremento de temperatura que se produce con la cara caliente. El segundo ventilador Fig.1b, se dispone sobre el disipador en contacto con la cara fría y se emplea únicamente para los experimentos de convección forzada.

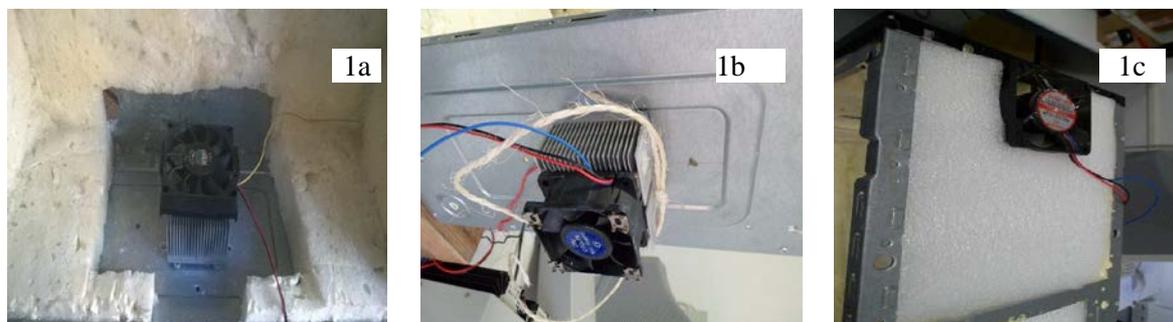


Fig. 1: Disposición de los ventiladores empleados. 1a) Lado caliente. 1b) Lado frío. 1c) Lateral

Los dos restantes se colocan en la parte superior de los laterales, Fig.1c, cuya función es la de remover el aire interior para que no se produzca estancamiento del aire. La distancia entre estos ventiladores y el disipador sobre la cara caliente de la TEC es lo suficientemente grande para evitar que se produzca la convección forzada durante los experimentos en convección natural. Los cuatro ventiladores trabajan en paralelo y se conectan a una fuente de alimentación secundaria regulable. La TEC se coloca en la base de la caja, colocándose un disipador en cada cara. Antes de colocar los disipadores, se les practicó en las bases una ranura hasta su centro. En estas ranuras, tanto en el disipador en contacto con la cara fría como en el disipador en contacto con la cara caliente de la TEC, se colocó un termopar para registrar las temperaturas y poder compararlas con la temperatura de la base en el lado de las aletas de los disipadores. Estas ranuras permiten un buen contacto entre las caras de la TEC y las bases de los disipadores. Para mejorar aún más el contacto y la transferencia de calor generado en la TEC, se puso pasta térmica especial para componentes electrónicos.

Los termopares se situaron en once puntos distintos, uno en la superficie de contacto con la TEC, otro en la base interior del disipador y los restantes en la colocaron en la superficies laterales de las aletas Fig. 2. Se reservó uno de ellos para tomar la temperatura ambiente dentro de la caja.

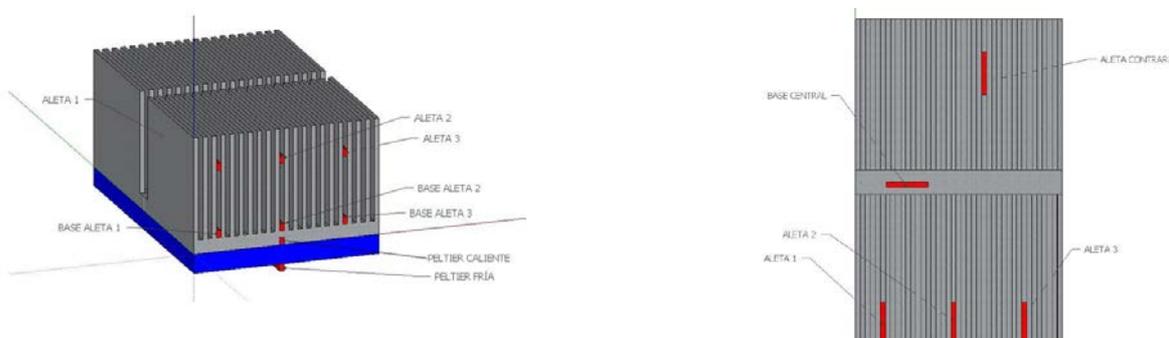


Figura. 2. Localización de los termopares en el disipador.

Para las termografías se empleó una cámara termográfica Flir-Systems B. Para evitar reflexiones dentro de la caja se colocaron láminas de color negro mate recubriendo el aislamiento de las distintas superficies. Además, las termografías se realizaron a una distancia lo suficientemente corta para

reducir lo máximo posible el efecto de la radiación externa. El proceso de recogida de temperaturas se hace partiendo de termopares tipo T, conectados en una placa multiplexora que a su vez, se introduce en un registrador de datos. Este dispositivo envía los datos a un ordenador mediante un cable RS-232. El ordenador tiene instalado el software que permite traducir las señales, de los diferentes canales, en temperaturas y mostrarlos por pantalla, Fig. 3.



Figura 3. Esquema de los equipos y cadena de medida, caja con los disipadores, fuente de alimentación, dispositivo de recogida de datos y ordenador.

2.2. Caracterización de Células Peltier

En este trabajo han sido usados dos modelos de TEC, TEC1-12706 y TEC1-12715, Fig. 4a y 4b. Los voltajes a las que fueron sometidas fueron: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 y 16V. Se realizaron 3 ensayos para cada tipo de TEC y con dos tipos de disipadores distintos, disipador 1 y 2, Fig 4, estos disipadores se ensayaron bajo condiciones de convección natural forzada y teniendo en cuenta la radiación.

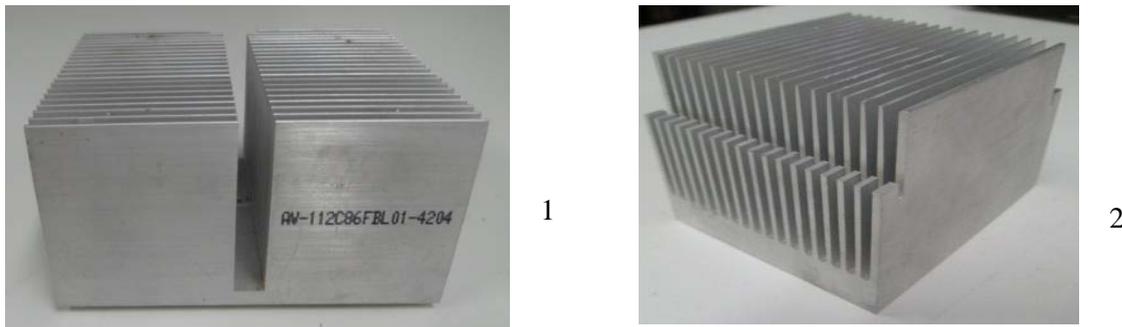


Figura 4. Disipadores de calor usados.

Para la caracterización de los disipadores de calor se utilizaron placas Peltier, cuya función era aportar calor, y proporcionar un valor de temperatura constante en la base de los disipadores. En Fig. 5 se exponen las células Peltier que se caracterizaron. A lo largo de esta sección se describirán las características básicas sobre estos dispositivos electrónicos.



Figura 5. 5a) Célula Peltier TEC1-12706. 5b). Célula Peltier TEC1-12715

Los semiconductores más utilizados para su fabricación de éstas son el telurio de bismuto, de selenio y antimonio. La célula Peltier se basa en el uso de materiales semiconductores, y se componen principalmente de dos piezas: una del tipo N (cargas libres) y otra del tipo P (hueco libres), unidas por

los extremos. Si se conectan dos metales diferentes en lazo y se hace circular por ellos una corriente eléctrica en sus uniones se genera o se absorbe calor (dependiendo del sentido de esa corriente). Este efecto es conocido como efecto Peltier, el cual queda representado en la Fig.6.

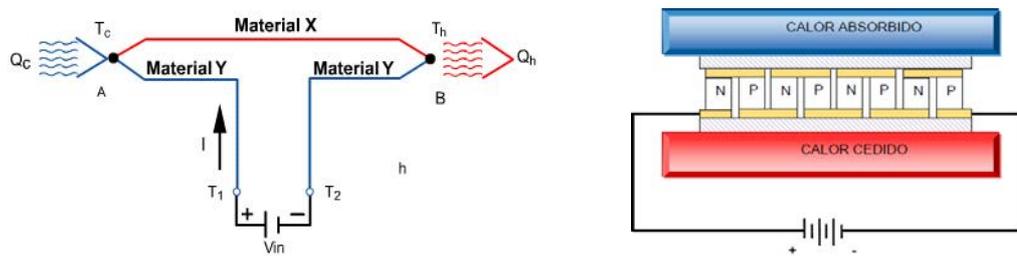


Figura 6. Efecto y esquema de célula Peltier.

Si polarizamos la célula Peltier como se muestra en Fig. 6 la corriente de electrones pasan del semiconductor tipo P (nivel de energía bajo) al semiconductor tipo N (nivel de energía alto). Para que esto ocurra los electrones necesitan ganar energía, la cual la obtienen absorbiéndola del entorno, por lo que esta cara se enfriará.

Si por el contrario invertimos la polaridad, la corriente pasará desde el nivel alto de energía (tipo N) al estado de menor energía (tipo P). La energía se cederá en forma de calor por lo que en este caso la cara superior sería la caliente. Otros efectos termoeléctricos relacionados son los efectos Thomson y Seebeck. El efecto Seebeck es el inverso al efecto Peltier, es decir, se producirá corriente eléctrica a partir de una diferencia de temperatura en las uniones de los metales (Ej: Funcionamiento de un termopar). El efecto Thomson describe el calentamiento o enfriamiento de un conductor portador de corriente con un gradiente de temperatura. Los extremos del conductor, al estar sometidos a una diferencia de temperatura, emitirán o absorberán calor. Para caracterizar estos dispositivos electrónicos, se realizaron mediciones de temperaturas, tanto de la cara caliente como de la fría, usando termopares y contrastando la medida con termografía. Para llevar a cabo esta tarea, se sometió la Peltier a diferentes voltajes, recogiendo las temperaturas de ambos lados. En la Fig. 7 se muestra el grado de uniformidad de temperaturas que hay en la superficie de la TEC, observándose como los bordes y esquinas aparecen más fríos.

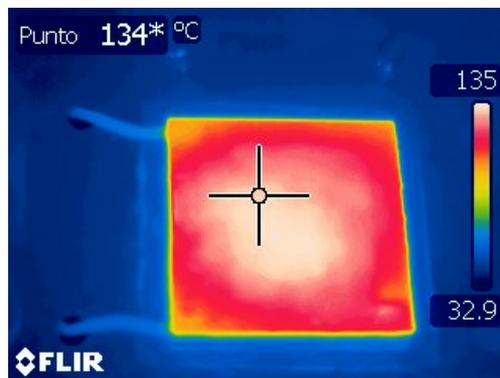


Figura 7. Termografía lado caliente Peltier.

3. Resultados

En primer lugar se expondrán los resultados correspondientes a la caracterización de las Células Peltier, y posteriormente se mostrarán los acontecidos a los disipadores de calor. Para predecir el comportamiento de la TEC se ha usado una fuente de alimentación de 24 V, que permite controlar la tensión e intensidad suministrada a la TEC y así poder elaborar curvas para predecir este comportamiento. Las curvas resultantes, Fig. 8, permiten conocer a que voltaje se ha de someter a la TEC para obtener una determinada temperatura en la cara caliente.

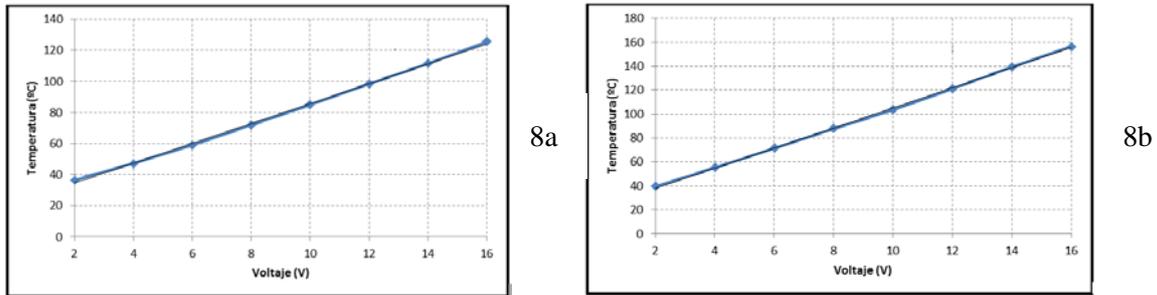


Figura 8. Curvas de comportamiento de la TEC frente a variaciones de la tensión de entrada. 8a), TEC1-12706 y 9b), TEC1-12715.

Para la elaboración de estas curvas se realizaron medidas a diferentes voltajes; en cada voltaje se midió la temperatura de la cara caliente mediante un termopar. Todos los datos se representaron en un diagrama de dispersión y se dibujó la curva. Tal como se observa el comportamiento es prácticamente lineal. Se aprecia como la temperatura alcanzada para TEC1-12715 es mayor para una misma entrada de tensión. En las termografías realizadas sobre los disipadores acoplados a la TEC1-12715 se aprecia la diferencia de temperaturas a cada uno de los lados para una tensión de 12 V, Fig 9. Las temperaturas alcanzadas en la cara caliente son en torno a 102 °C mientras que en la cara fría son del orden de 29 °C.

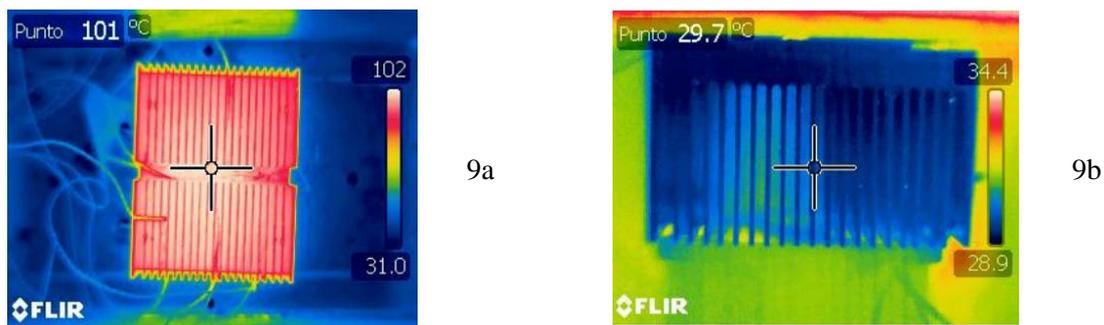


Figura 9. Termografías de los disipadores en los lados a cada uno de los lados de la TEC1-12715 para un valor de tensión de 12V. a) Caliente. b) Frío

Los disipadores se estudiaron bajo condiciones de convección natural y forzada. Para el caso de convección natural fueron colocados en dos posiciones diferentes, vertical y horizontal. En Fig. 10 se muestra la evolución de la temperatura con el tiempo para el disipador 1 y TEC1-12715, para un valor de tensión constante, 12 V y posición horizontal.

Las curvas 1 y 4 hacen referencia a las caras de la TEC (caliente y fría respectivamente). Se observa que la cara caliente se va incrementando hasta obtener un valor prácticamente constante, mientras que la cara fría va disminuyendo su temperatura hasta que empieza a subir de nuevo, esto se debe a que al existir una diferencia de temperaturas entre las caras se produce un flujo de calor por el interior de la TEC, La curva 2 indica la diferencia de temperaturas entre la cara caliente y la cara fría, la curva 3 proporcionará la temperatura del aire interior de la caja, el resto de termopares indican la temperatura de diferentes zonas del disipador; en convección libre el disipador prácticamente es isotermo en toda su superficie, mientras que en convección forzada presenta entre 5 y 7 °C de diferencia temperaturas. Utilizando temperaturas medias de las paredes del disipador y mediante el uso de correlaciones empíricas podemos determinar el coeficiente de convección, tanto para convección libre como para forzada.

Haciendo uso de las temperaturas medidas en las paredes del disipador y aplicando las correlaciones empíricas que aparecen en los textos clásicos de transferencia de calor, [9, 10] es posible determinar el coeficiente de convección, tanto para convección libre como para forzada, Tabla 1. Se observa que el flujo de calor (W/m^2), mayor en el disipador 1. Todo esto hay que mirarlo de una forma inversa si lo

que se pretende es conocer qué disipador es más eficiente. El disipador 2 se alcanza menores temperaturas que el 1 siendo el flujo de calor aplicado en la base de la TEC el mismo en ambos casos, tensión permanece a 12 V.

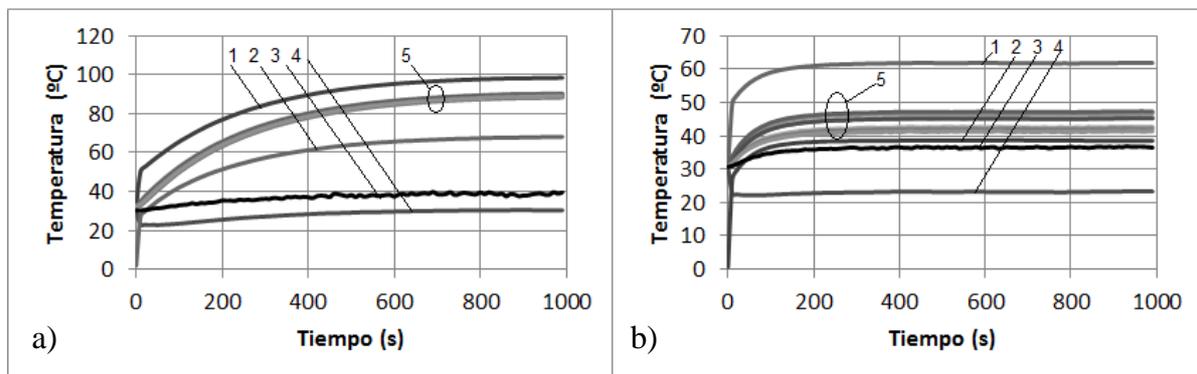


Figura 10. Evolución de la temperatura: a) convección libre, b) convección forzada. Curva (1): Peltier lado caliente, curva (2): diferencia de temperatura entre las caras de la TEC, curva (3): Temperatura ambiente, curva (4): Peltier lado frío, conjunto curvas (5): temperaturas en las aletas del disipador

Tabla 1: Convección natural

Caso	h (W/Km ²)	Q (W)	Q/A (W/m ²)
Disipador 1 colocado en posición vertical	8,267	16,606	469,644
Disipador 1 colocado en posición horizontal	9,402	14,216	434,015
Disipador 2 colocado en posición vertical	7,223	12,6	301,634
Disipador 2 colocado en posición horizontal	7,618	10,903	274,863

Se puede decir que el disipador 2 transfiere mejor el calor. Otra forma de interpretarlo es observando que las temperaturas de las aletas del disipador 2 son menores que del disipador 1, debido a que el disipador 2 transmite el calor al ambiente con mayor facilidad. En la Tabla 1 también puede observar que en la posición vertical el coeficiente de convección es menor que en posición horizontal, sin embargo, el flujo de calor es mayor en posición vertical. En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos para el coeficiente de convección bajo condiciones de convección forzada.

Tabla 2: Convección forzada

Caso	Re	Nu	h (W/Km ²)	Q/A (W/m ²)
Disipador 1	67817,368	150,509	505,955	3693,471
Disipador 2	83542,123	177,827	315,238	2364,287

4. Conclusiones

- i. En este trabajo se ha realizado la construcción de un sistema adiabático versátil y funcional que permite generar un entorno aislado del exterior en el que realizar la caracterización de disipadores de calor y TEC empleadas como fuente de calor.
- ii. A través del uso de termografía infrarroja se observa que las TEC mantienen en la mayoría de su superficie una temperatura uniforme, por tanto es un buen dispositivo en la caracterización de los disipadores de calor.
- iii. Bajo condiciones de convección libre, el análisis de las termografías realizadas sobre los disipadores y los resultados obtenidos con los termopares permiten deducir el comportamiento isotermo de las aletas que los forman. En condiciones de convección forzada si se aprecian

diferencias de temperaturas entre las aletas centrales y periféricas debido al enfriamiento producido por el efecto del ventilador. En este caso el flujo de calor llega a ser hasta 8 veces mayor que en convección libre.

- iv. En condiciones de convección forzada el coeficiente de convección es mucho más elevado que en convección libre.

5. Agradecimientos

Al Área de Máquinas y Motores Térmicos de la UMU, al Departamento de Ingeniería Térmica y Fluidos de la UPCT y al SAIT (UPCT).

6. Referencias

- [1] ALLAN D. KRAUS, AVRAM BAR-COHEN, *Design and Analysis Of Heat Sinks*, New York John Wiley and Sons, 1995. 291 p. (Ed. J.W. & S.).
- [2] M. DOGAN & M. SIVRIOGLU. *Experimental investigation of mixed convection heat transfer from longitudinal fins in a horizontal rectangular channel*. ELSEVIER, Energy Conversion and management 50 (2009) 2513-252.
- [3] MAHDI FAHIMINIA, ET AL (2011). Investigation of Natural Convection Heat Transfer Coefficient on Extended Vertical Base Plates.
- [4] SEUNG-HWAN YU, DAESEOK JANG & KWAN-SOO LEE. *Effect of radiation in a radial heat sink under natural convection*. International Journal of Heat and Mass Transfer 55 (2012) 505-509.
- [5] PÉREZ-APARICIO J.L, R. PALMA & R.L. TAYLOR. *Finite element analysis and material sensitivity of Peltier thermoelectric cells coolers*. Int. Journal Heat and Mass Transfer 55 (2012) 1363–1374.
- [6] GARCÍA E., VALERA A. *Sistemas de control de temperatura de una célula Peltier*. Jornadas de Automática (1998).
- [7] BRESTOVIC T, ET AL. *Measuring of thermal characteristics for Peltier thermopile using calorimetric method*. Measurement 53 (2014) 40–48.
- [8] ANJAN SARKAR & SWARUP K. MAHAPATRA. *Role of surface radiation on the functionality of thermoelectric cooler with heat sink*. Applied Thermal Engineering 69 (2014) 39-45.
- [9] Incropera, F. P. y De Witt, D. P. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 5th Ed. John Wiley & Sons. New York, 2006, cap 3.
- [10] Chapman, A. J. (1984). *Heat Transfer*, 4^a ed. Macmillan Publishing Company, New York, 1984. cap 3.