

Citar este artículo como: Marte, E. & Then, R. (2018). Caracterización de disipadores térmicos con material desconocido para protección de dispositivos electrónicos. *Revista Utesiana de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería*, 3(3), 42-53.

CARACTERIZACIÓN DE DISIPADORES TÉRMICOS CON MATERIAL DESCONOCIDO PARA PROTECCIÓN DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

Edwin Marte⁸

Universidad Tecnológica de Santiago

Reymi Then⁹

Universidad Tecnológica de Santiago

RESUMEN: En el desarrollo, tanto de componentes electrónicos como de circuitos electrónicos, es responsabilidad del diseñador, proteger estos dispositivos y mantenerlos dentro de un rango de operación aceptable. Uno de los parámetros más críticos es disipar el calor que se genera en su interior. Para disipar el calentamiento se pueden colocar materiales que funcionen como disipadores de calor. En República Dominicana, en las aulas, se puede teorizar con mucha eficacia los cálculos para el disipador de calor óptimo. En la práctica se dificulta conseguir disipadores con parámetros conocidos que cumplan con los requerimientos de diseño, quedando al diseñador solo la opción de importar disipadores con datos conocidos de un fabricante externo. El presente trabajo presenta la base teórica para modelar y obtener de un material de parámetros térmicos desconocidos, por medio de mediciones experimentales, la data necesaria para así poder proteger correctamente los dispositivos bajo prueba.

Palabras clave: electrónica, potencia, disipador, temperatura, resistencia, modelado.

ABSTRACT: In the development of both electronic components and electronic circuits it is the responsibility of the designer to protect these devices and keep them within an acceptable range of operation. One of the most critical parameters is to dissipate the heat that is generated inside them. To dissipate

⁸ Profesor de la Universidad Tecnológica de Santiago. Investigador del Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Avanzadas y Control Inteligente (GITECI-UTESA). Autor para correspondencia: edwinmarte@docente.utesa.edu

⁹ Profesor de la Universidad Tecnológica de Santiago e investigador del Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Avanzadas y Control Inteligente (GITECI-UTESA).

the heating, materials can be used so they can work as heat sinks. In the Dominican Republic, in the classrooms, we can theorize with great efficiency the calculations for the optimal heat sink. In practice it is difficult to get heatsinks with known parameters that meet the design requirements, leaving the designer only the option to import heatsinks with known data from an external manufacturer. This paper presents the theoretical basis of how to model and obtain from a material of unknown thermal parameters, by means of experimental measurements, the necessary data to be able to protect correctly the devices under test.

Key words: electronics, power, heatsink, temperature, resistance, modeling.

INTRODUCCIÓN

El estudio térmico de los dispositivos de potencia es fundamental para un rendimiento óptimo de los mismos. Esto es debido a que, en todo semiconductor, el flujo de la corriente eléctrica produce una pérdida de energía que se transforma en calor. Debido al tamaño, relativamente reducido de los transistores y otros semiconductores de potencia, en general no son capaces de disipar toda la potencia que producen sin calentarse excesivamente, con el consiguiente riesgo de destrucción. Por este motivo es necesario acompañarlos de algún elemento que facilite la eliminación de esa potencia. Tal es la función del disipador (*heat sink*).

El disipador de calor, en los circuitos electrónicos, es una pieza clave, sobre todo, si se trata de electrónica de potencia, donde las elevadas corrientes por los semiconductores pueden causar su destrucción. Tanto así, que, en muchas aplicaciones, la potencia máxima de un circuito de potencia está limitada por el diseño térmico del Sistema.

Es por ello que la evacuación del calor generado en el semiconductor es una cuestión de gran importancia para asegurar el correcto funcionamiento y duración del dispositivo. Hay una gran variedad de disipadores de calor en cuanto a su geometría. Dependiendo de las prestaciones que se le exijan, puede estar formado por un solo metal o una aleación de varios de ellos, aunque, en general, los más comunes son de aluminio, por su elevada conductividad, facilidad de fabricación y un coste relativamente bajo.

En este trabajo se realiza un experimento para caracterizar los disipadores de calor y su resistencia térmica bajo condiciones de convección natural. Se han utilizado pedazos de perfiles de aluminio de diferentes longitudes que se consiguen fácilmente en tiendas y ferreterías. Por medio del experimento, se consiguió, a la vez de identificar características de semiconductores de potencia, avalar el funcionamiento térmico de los semiconductores de potencia.

MARCO TEÓRICO

La capacidad de evacuación del calor al medio ambiente podrá variar según el tipo de cápsula, pero en cualquier caso será demasiado pequeña, por lo que necesita una ayuda adicional para transferir el calor disipado mediante un dispositivo de mayor volumen y superficie, conocido como disipador de calor, el cuál hace de puente para evacuar el calor de la cápsula al medio ambiente.

En electrónica de potencia, la refrigeración juega un papel muy importante en la optimización del funcionamiento y vida útil del semiconductor de potencia. La experiencia demuestra que el calor producido por un foco calorífico se propaga por todo el espacio que lo rodea. Esta transmisión del calor puede producirse de tres formas (Martínez, 2014; Roldán, 2016):

- **Conducción:** es el principal medio de transferencia de calor. Se realiza por la transferencia de energía cinética entre moléculas, es decir, se transmite por el interior del cuerpo estableciéndose una circulación de calor. La máxima cantidad de calor que atravesará dicho cuerpo será aquella para la cuál se consigue una temperatura estable en todos los puntos del cuerpo.
- **Convección:** el calor de un sólido se transmite mediante la circulación de un fluido que le rodea y este lo transporta a otro lugar; a este proceso se le llama convección natural. Si la circulación del fluido está provocada por un medio externo, se denomina convección forzada.
- **Radiación:** el calor se transfiere mediante emisiones electromagnéticas que son irradiadas por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor a cero grados Kelvin. El estado de la superficie influye en gran medida en la cantidad de calor radiado. Las superficies mates son más favorables que las pulidas y los cuerpos negros son los de mayor poder de radiación. Por este motivo, se efectúa un ennegrecimiento de la superficie radiante. La transferencia de calor por radiación no se tiene en cuenta puesto que a las temperaturas a que se trabaja, ésta es despreciable.

Varios estudios se han realizado en el área con diferentes aplicaciones como el de Saldaña *et al.* (2017), donde midieron la transferencia de calor enfriando con líquidos. Comprobaron que, en el estado más crítico, siendo el caso de un disipador de calor sin aletas, sometidos a condiciones máximas de flujo de calor, es capaz de mantener condiciones de trabajo por debajo de las permisibles. Esto, en un disipador de calor por aire, no será posible ya que en éstos, el fluido refrigerante tiene una capacidad de absorción de calor mil veces menor a la del agua.

También se puede mencionar el trabajo de Cahue y Camacho (2014), donde se diseñó un disipador de calor para aplicaciones de iluminación LED. Se desarrolló y se resolvió numéricamente un modelo matemático para

representar, lo más general posible, todos los fenómenos de transporte que ocurren en lámparas LED de bulbo durante su operación. Se utilizó el método de Ashby para seleccionar los materiales óptimos para constituir el disipador de calor. Se demostró que el modelo matemático es predictivo al comparar los resultados teóricos con resultados experimentales y puede ser utilizado como una herramienta útil en el diseño y análisis de nuevas fuentes de iluminación de estado sólido, reduciendo de este modo el trabajo de ensayo y error, muy utilizado hoy en día en el diseño de este tipo de dispositivos.

En el caso de Saavedra *et al.* (2015), realizaron un estudio donde se muestra la realización de un modelo matemático que permite determinar la eficiencia de un disipador de calor formado por aletas que, aunque es una propuesta más compleja y diferente a la presentada en esta investigación, utiliza la misma base teórica.

Lo más importante a resaltar de todos los trabajos e investigaciones, que tienen que ver con disipación aplicados a la generación o consumo de potencia, es que en los dispositivos electrónicos, el paso de la corriente eléctrica produce un aumento de la temperatura de la unión (T_j). Si ésta se quiere mantener a un nivel seguro, se debe evacuar al exterior la energía calorífica generada por la unión. Para que se produzca un flujo de energía calorífica de un punto a otro, debe existir una diferencia de temperatura. El calor pasará del punto más caliente al más frío, pero aparecen factores que dificultan este paso. A estos factores se les denomina resistencias térmicas. Para que un semiconductor disipe la potencia adecuada, se debe mantener la temperatura de la unión por debajo del máximo indicado por el fabricante.

METODOLOGÍA

Para obtener los resultados se ha diseñado un experimento de tres partes:

- Caracterización de parámetros térmicos de un regulador de voltaje lineal.
- Caracterización de un disipador de un material de características térmicas desconocida.
- Prueba y predicción de resultados en otro disipador de dimensiones diferentes.

Caracterización de parámetros térmicos de un regulador de voltaje lineal

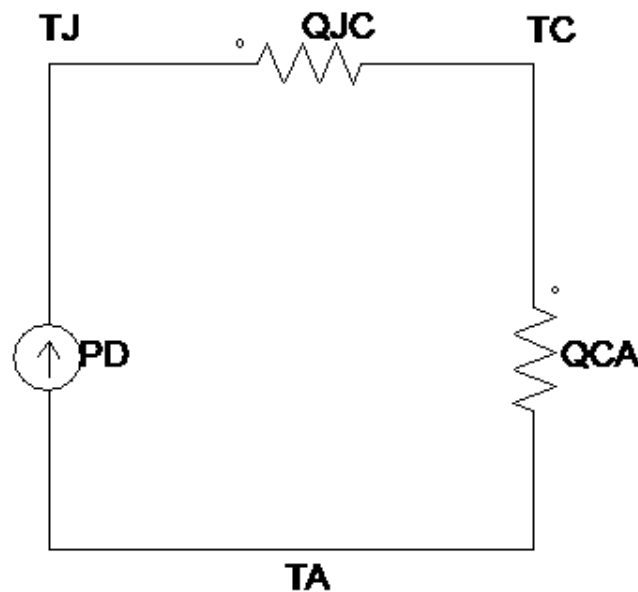
En esta parte se diseña un circuito electrónico que disipa una cantidad de potencia conocida y controlada que, además, produce una cantidad de calor específica bajo las condiciones de medida. En este experimento no se utiliza ningún tipo de disipador de calor. Este circuito bajo prueba se utiliza para caracterizar de forma experimental los parámetros térmicos del dispositivo bajo prueba, que son relevantes para las pruebas posteriores.

El circuito diseñado, por su facilidad, es un regulador de voltaje lineal con circuito integrado 7812. El 7812 es un circuito integrado regulador de 12V y de corriente máxima de 1Amp a su salida. El encapsulado es del tipo TO220. A este circuito se le ha colocado una carga resistiva de 25 ohm fija. En las hojas de datos genéricas se han obtenido los parámetros de resistencias térmica para realizar los cálculos iniciales y comparar con los experimentales.

Este circuito es medido sin disipador y se puede modelar como el circuito de la figura 1 y figura 2, que son los que modelan los parámetros térmicos básicos suministrados por los fabricantes. De estas figuras se puede inferir los siguientes parámetros:

- T_J = Temperatura de la unión del Dispositivo
- T_A = Temperatura ambiente
- T_C = Temperatura de Encapsulado
- θ_{JC} = Resistencia Térmica Unión Encapsulado
- θ_{JA} = Resistencia Térmica Unión Ambiente
- θ_{CA} = Resistencia Térmica Encapsulado Ambiente

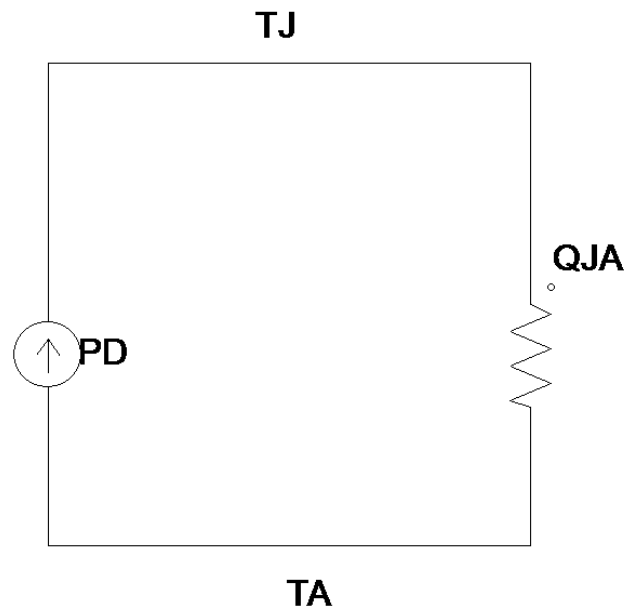
Figura 1. Modelo de Circuito térmico sin disipador



Fuente: Elaboración propia.

Aplicando teoría de circuitos fácilmente se puede obtener las relaciones entre los diferentes parámetros y, a la vez, encontrar el valor de la temperatura máxima de la unión del dispositivo bajo prueba, como se indica en las ecuaciones 1, 2 y 3 (Miyara, 2006; Pérez, 2014).

Figura 2. Modelo de Circuito térmico sin disipador



Fuente: Elaboración propia.

- $T_J = PD (\theta_{JC} + \theta_{JA}) + T_A$ (1)

- $T_J = PD \theta_{JC} + T_C$ (2)

- $T_J = PD \theta_{JA} + T_A$ (3)

Esto genera un sistema de tres ecuaciones con varias variables, y resolviendo se obtiene el resultado en la ecuación 4, que es un valor fiable de la temperatura de la unión actual del dispositivo bajo prueba dependiente de todos los parámetros térmicos del circuito.

- $T_J = (2 \theta_{JC} + \theta_{CA} + \theta_{JA}) PD/3 + 2/3 T_A + 1/3 T_C$ (4)

- $\theta_{JA} = (T_J - T_A) / PD$ (5)

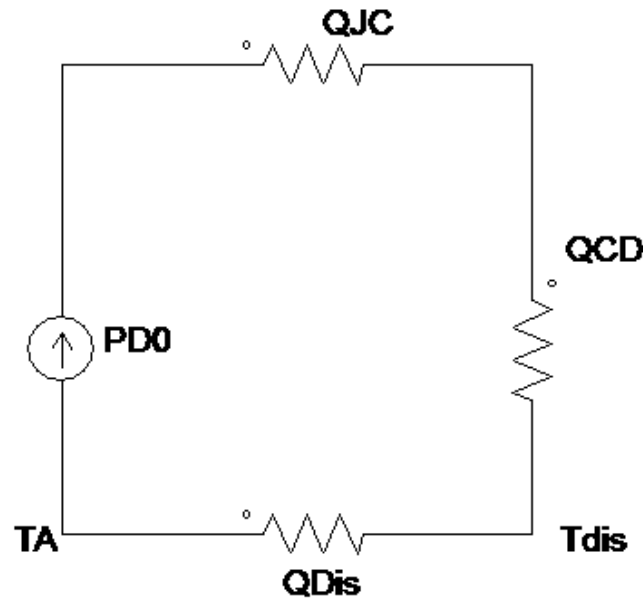
- $\theta_{JC} = (T_J - T_C) / PD$ (6)

- $\theta_{CA} = (T_C - T_A) / PD$ (7)

Caracterización de un disipador de un material de características térmicas desconocida

En esta fase del experimento se coloca el dispositivo en el circuito de la primera parte, en las mismas condiciones de prueba, con un trozo de material o disipador desconocido. Aquí, se comparan los resultados de la primera parte utilizando los valores de caracterización del dispositivo y esto sirve para caracterizar el material utilizado como disipador.

Figura 3. Modelo de Circuito térmico con disipador



Fuente: Elaboración propia.

El modelo que representa este circuito se presenta en la figura 3, donde:

- θ_{CD} Resistencia Térmica entre Encapsulado y Disipador
- θ_{dis} Resistencia térmica del Disipador
- $\theta_{CA} = (TC - TA) / PD$

Reorganizando las ecuaciones del modelo eléctrico de la figura 3, luego de medidos los diferentes parámetros, se puede encontrar la resistencia térmica del disipador que se ha utilizado en este experimento, para la longitud dada en 8 (Miyara, 2006).

$$\bullet \theta_{dis} = [(TC - TA) / PD] - \theta_{CD} \quad (8)$$

Prueba y predicción de resultados en otro disipador de dimensiones diferentes

Aquí se utiliza un pedazo del mismo material, de una longitud diferente a la utilizada en la segunda parte. Este último experimento repite las condiciones de laboratorio y de polarización anteriores, con la diferencia que ahora realizamos los cálculos para predecir los valores de temperatura del dispositivo utilizando este nuevo disipador. Se comparan los resultados por mediciones prácticas.

$$\bullet \theta_{dis} (\text{Nuevo}) = (\theta_{dis} L_{ref}) / L_{nuevo} \quad (9)$$

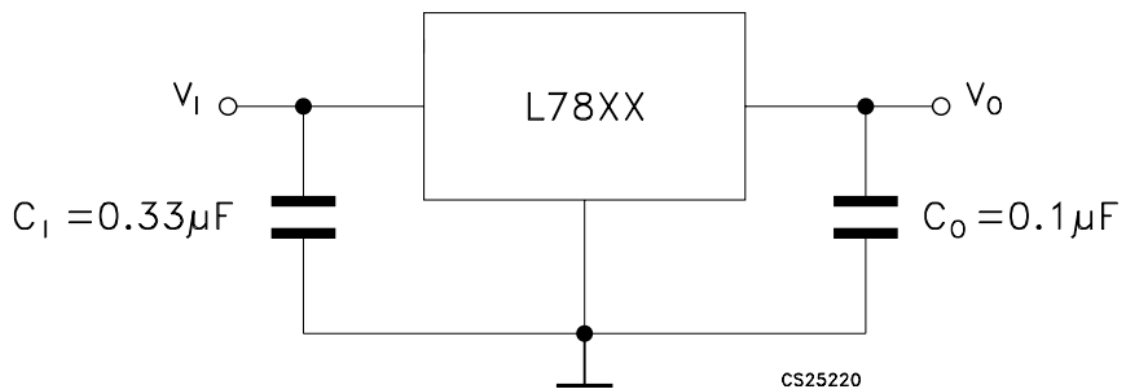
Para comparar los resultados, lo primero que se debe realizar es estimar los parámetros de resistencia térmica del disipador nuevo, como en 9, donde se utilizará el valor encontrado en 8 y los valores de longitudes del disipador caracterizado previamente (L_{ref}) y el del nuevo (L_{nuevo}).

RESULTADOS

Pruebas de dispositivo sin disipador

Se diseñó el regulador de voltaje lineal con circuito integrado 7812 con una carga resistiva de 25 ohm fija. Se obtienen parámetros de resistencias térmicas de hoja de datos (STMicroelectronics, 2003), para realizar los cálculos iniciales y comparar con los experimentales.

Figura 4. Circuito básico de conexión de reguladores lineales



Fuente: Hoja de Datos del Fabricante ST

El circuito ensamblado se asemeja al de la figura 4. Los valores de la hoja de datos para θ_{JC} y θ_{JA} son de 50 °C/W y 3 °C/W respectivamente (STMicroelectronics, 2003). Las condiciones de prueba del circuito son V_i es 15V, la Resistencia de carga R , 25 Ohm y la temperatura ambiente T_A , 22 °C.

Se obtuvo el valor de potencia de disipación del dispositivo (PD), luego de haber medido todos los parámetros de forma experimental, en 1.25 W y se midió la temperatura del encapsulado (T_C) en 70 °C.

Luego, utilizando las ecuaciones 4, 5 y 6, se puede obtener los parámetros de operación y resistencias térmicas del dispositivo:

- $T_J = 77.3$ °C
- $\theta_{JA} = 44.27$ °C/W
- $\theta_{JC} = 5.86$ °C/W

Para comprobar estos valores de la figura 3, se puede obtener la ecuación 10, donde se puede encontrar el valor de temperatura del encapsulado y contrastar con el medido.

- $T_C = T_J - PD \theta_{JC}$ (10)

Utilizando la ecuación 9, $T_C = 77.3 - 1.25 (5.86) = 70$ °C, que nos genera un valor igual al medido de forma experimental.

Pruebas con Disipador desconocido

En esta etapa del trabajo, se montó el mismo circuito bajo las mismas condiciones de operación anteriores, añadiéndole un trozo de metal de características térmicas desconocidas que servirá como disipador. El modelo que representa este circuito se muestra en la figura 3.

Condiciones de experimento

- T_{ref} = Trozo de Aluminio de Longitud de 6.8 cm
- $T_C = 46 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_A = 22 \text{ }^\circ\text{C}$
- $P_D = 1.25 \text{ W}$
- $\theta_{JC} = 5.86 \text{ }^\circ\text{C/W}$
- $\theta_{JA} = 44.27 \text{ }^\circ\text{C/W}$

caracterización del disipador

Utilizando las ecuaciones 7 y 8, se genera θ_{CA} y θ_{dis} , donde $\theta_{CA} = (46 - 22) / 1.25 = 38.4 \text{ }^\circ\text{C/W}$ y $\theta_{dis} = [(46-22)/1.25] - 1 = 18.2 \text{ }^\circ\text{C/W}$. El valor para θ_{CD} se ha fijado en $1 \text{ }^\circ\text{C/W}$, partiendo de la tabla en LCADABA (2008). Este valor usualmente es utilizado por los diseñadores de entre 0.5 y $1.5 \text{ }^\circ\text{C/W}$, según sea el tipo de encapsulado utilizado.

Comprobando los valores obtenidos

De la figura 3, se puede encontrar la ecuación 11 para la temperatura de la unión del dispositivo. Donde $T_J = (5.86+1+18.2)+ 22 = 53.3 \text{ }^\circ\text{C}$ y luego T_C , utilizando la ecuación 10, $T_C = 53.3 - 1.25 \cdot 5.86 = 46 \text{ }^\circ\text{C}$ que corresponde al valor medido.

$$\bullet \quad T_J = (\theta_{JC} + \theta_{CD} + \theta_{DIS}) + T_A \quad (11)$$

Prueba y predicción de resultados en otro disipador de dimensiones diferentes

Experimento con un trozo de longitud diferente del material caracterizado. En esta parte se ha utilizado un material igual que el utilizado en la segunda parte, pero ahora con una longitud de 13.1 cm (L_{nuevo}). Utilizando 9 se puede, entonces, estimar el valor de la resistencia térmica del nuevo disipador.

$$\bullet \quad \theta_{dis} (Nuevo) = (18.2 * 6.8) / 12.1 = 10.2 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Ahora, los valores calculados del sistema utilizando las ecuaciones 10 y 12 son $T_J = 1.25 (5.86 + 10.2) + 22 = 43.3 \text{ }^\circ\text{C}$ y $T_C = 43.3 - 1.25 (5.86) = 36 \text{ }^\circ\text{C}$. Este último valor es un valor de predicción teórico, al realizar el experimento el valor medido fue igual de $36 \text{ }^\circ\text{C}$.

En la tabla 1 se muestra el resumen de los experimentos con medidas y cálculos. Se puede observar que los resultados que trasciende son los de TC, que es una variable que podemos medir. Los resultados para TC, la temperatura del encapsulado, concuerdan los valores medidos y calculados para todos los casos.

Tabla 1. Resultados de medidas y cálculos: (a) Medidas sin Disipador, (b) Caracterización de Disipador, y (c) Prueba y Predicción de Resultados

	Medidos	Calculado		Medidos	Calculado		Medidos	Calculado
TA	22 °C		TA	22 °C		TA	22 °C	
TC	70 °C	70 °C	TC	46 °C	46 °C	TC	36 °C	36 °C
TJ		77.3 °C	TJ		53.3 °C	TJ		43.3.3 °C
PD	1.25 W		PD	1.25 W		PD	1.25 W	
θ_{JA}	44.27 °C/W		θ_{Dis}	18.2 °C/W		θ_{Dis}		10.2 °C/W
θ_{JC}	5.86 °C/W		Ldis	6.8 cm		Lnuevo	13.1 cm	
θ_{CA}	38.4 °C/W							

(a)
Fuente: Elaboración propia.

(b)

(c)

CONCLUSIONES

Partiendo de una necesidad para la República Dominicana, en el área de disipación calorífica, ya sea para dispositivos electrónicos u otras aplicaciones, donde de por si es muy difícil encontrar partes o disipadores con especificaciones técnicas o resistencias térmicas conocidas, se ha desarrollado esta investigación limitando su aplicación a los disipadores de calor utilizados en dispositivos electrónicos bajo la convección natural.

Se ha desarrollado una ecuación para encontrar el valor de la temperatura de unión estimada en un dispositivo electrónico que está sometido a una corriente eléctrica, que genera calor por consumo de potencia, partiendo de un set de ecuaciones del modelo térmico del dispositivo. Esta ecuación promete ser muy útil para la utilización con otros dispositivos semiconductores, no solo los reguladores de voltaje.

Este trabajo ha sido implementado en disipadores de aluminio, pero la teoría puede ser aplicada a cualquier otro tipo de material, ya que en base al experimento se pudo demostrar que este modelo responde satisfactoriamente con valores muy próximos a los esperados. Las pruebas se generaron en un regulador de voltaje lineal sin disipador, donde se caracterizaron sus parámetros. Luego se repitió el experimento, pero utilizando un disipador con características no conocidas. Al final se utiliza un disipador

de longitud diferente, pero del mismo tipo, que ha sido caracterizado para poder comprobar los resultados. Este trabajo abre las puertas a realizar otras investigaciones con otros materiales y bajo otras circunstancias como la convección forzada.

BIBLIOGRAFÍA

Cahue Díaz, D., & Camacho Arriaga, J. C. (2014). Diseño óptimo de un disipador de calor para luminaria LED mediante moderación modelación computacional. *ReCIBE. Revista electrónica de Computación, Informática Biomédica y Electrónica*, (1).

LCADABA (2008). *Disipadores Termicos*. Recuperado de: <http://www.lcardaba.com/articles/heatsinks/heatsinks.htm> Accesible el: 15/03/2018

Martínez Nicolás, I. A. (2014). *Instrumentación y caracterización de disipadores térmicos*. Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado de: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4483/tfg367.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Accesible el: 15/03/2018

Miyara, F. (2006). *Disipación de potencia, apuntes y monografías de la catedra de electrónica III*. Argentina: Universidad Nacional de Rosario. Recuperado de: <https://www.fceia.unr.edu.ar/enica3/disipa.pdf> Accesible el: 15/03/2018

Pérez Asiain, J. (2014). *Estudio experimental de la resistencia térmica en función de la relación entre el área de módulos Peltier y el área de la base de un heat pipe*. Trabajo de Fin de grado de la Universidad Pública de Navarra (España).

Roldán Meroño, P. (2016). *Caracterización de disipadores de calor, "Heat Sinks" formados por aletas rectas rectangulares bajo condiciones de convección y radiación mediante simulación numérica*. Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado de: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/6677/pfc-rol-car.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Accesible el: 15/03/2018

Saavedra Balderas, F.A., Ortega Herrera, F. J., Torres Jiménez, J., González Ponce, M. , Lozano Luna, A., & Rodríguez Moreno, R. A., (2015). *Efecto de la sección transversal en la eficiencia de los disipadores de calor formados por aletas*. En: XII Encuentro participación de la mujer en la ciencia. Recuperado de: http://congresos.cio.mx/memorias_congreso_mujer/archivos/extensos/sesion4/S4-ING11.pdf Accesible el: 15/03/2018

Saldaña Sánchez, E. M. X., Luviano-Ortiz, J. L., & Muñoz Chávez, L. E., (2017), Medición experimental de transferencia de calor en dispositivos de enfriamiento líquido con patrón no convencional. *Jóvenes en la Ciencia*, 3(2), 2144-2148.

STMicroelectronics (2003). *Hoja de Datos del L7800*. Recuperado de: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/stmicroelectronics/2143.pdf>
Accesible el: 15/03/2018

Recibido: 19/04/2018

Reenviado: 24/04/2018

Aceptado: 26/04/2018

Sometido a evaluación de pares anónimos