

# ANÁLISIS TÉRMICO DE GEOMETRÍA NOVEDOSA PARA LAMPARAS LED

Guillen-Mosqueda A. Emanuel (1), Gallardo-Gutierrez Ana L. (2), Hernández-Guerrero Abel (3)

1 [Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [ae.guillenmosqueda@outlook.com]

2 [Maestría en Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [anilugagu@gmail.com]

3 [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [abel@ugto.mx]

## Resumen

En este trabajo se presenta el análisis termo-fluido-dinámico de un disipador de calor para sistemas de iluminación en LED de estado sólido de alta potencia. El objetivo es proponer un modelo capaz de predecir el comportamiento térmico y los parámetros de operación de un dispositivo de disipación de calor implementado en una disposición de luces LED de alta potencia. Las ecuaciones de transporte presentes en el fenómeno (continuidad, momento y energía) se resuelven numéricamente, sometiendo el arreglo a flujos de calor de 300, 700 y 1100 [W/m<sup>2</sup>], para obtener los perfiles de temperatura y la gráfica de resistencia térmica. Finalmente se varió el número de aletas para obtener el arreglo que tenga el mayor régimen de disipación de calor.

## Abstract

In this work the thermo-fluid-dynamic analysis of a heat sink for high-power solid-state LED lighting systems is presented. The objective is to propose a model capable of predicting the thermal behavior and operating parameters of a heat dissipation device implemented in a high-power LED light arrangement. The governing transport equations (continuity, momentum and energy) are solved numerically for the heat sink under heat fluxes of 300, 700 and 1100 [W/m<sup>2</sup>]; to obtain the temperature and thermal resistance graph. Finally, the number of fins was varied to obtain the arrangement that provides the highest heat dissipation.

## Palabras Clave

Convección Natural; LED; Disipación de Calor; CFD; Flujo.

## INTRODUCCIÓN

### Disipadores para Lámparas LED

Varios estudios han demostrado que un alto porcentaje de la energía eléctrica que se produce se consume en equipos de iluminación. La Agencia Internacional de Energía (AIE) ha estimado que la iluminación global es responsable de las emisiones anuales de aproximadamente 1.900 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), equivalentes al 70% de las emisiones globales de vehículos ligeros de pasajeros [1]. En consecuencia, el desarrollo de sistemas de iluminación más eficientes es necesario para reducir el uso de dichos combustibles y para utilizar la energía eléctrica producida de una manera más eficiente.

Un diodo emisor de luz (LED) es un tipo de dispositivo semiconductor de estado sólido que convierte directamente la energía eléctrica en luz. Las lámparas LED han jugado un papel importante para satisfacer las necesidades de iluminación, ya que han demostrado grandes beneficios en comparación con otros dispositivos de iluminación; Una de las principales atracciones de este tipo de dispositivos es que utilizan hasta un 75% menos de energía que las lámparas incandescentes convencionales, como las lámparas halógenas y las incandescentes [2].

Es bien sabido que los LED ofrecen las siguientes ventajas: ahorro de energía, larga vida útil, respetuosos con el medio ambiente y una puesta en marcha rápida. Sobre la base de estas ventajas y su mayor eficiencia energética, la cuota de mercado de la iluminación LED está creciendo rápidamente, y el dominio del mercado ahora incluye productos LED de alta potencia [3-4].

Incluso con las muchas ventajas que estos sistemas de iluminación pueden proporcionar, uno de los principales problemas que surgen en los dispositivos LED es la alta producción de calor. Aumentar la producción de luz y tener una mayor entrada de energía da como resultado el aumento de la temperatura local en un chip LED. El aumento de la temperatura es indeseable, ya que limita la estabilidad, la fiabilidad, la vida útil y afecta la calidad de la luz LED.

Los disipadores de calor para lámparas LED pueden funcionar con convección natural o forzada, prefiriéndose el primero para disipar el calor generado en los diodos emisores de luz, ya que no se requieren ventiladores ni consumo eléctrico adicional. Por otro lado, los disipadores de calor de convección natural son generalmente menos eficientes porque los caudales de convección naturales son comúnmente más pequeños que los asociados con la convección forzada, lo que genera una menor transferencia de calor por los que se someten a convección natural. Por lo tanto, se requiere un diseño más cuidadoso para lograr el rendimiento térmico requerido, para tener una temperatura de trabajo que no perjudique la vida útil del dispositivo.

El estudio presentado por Jeong *et al.* [6] muestra una mejora en el rendimiento general de un disipador de calor de aleta recta en un módulo de LED al reducir la resistencia térmica y aumentar la circulación de aire por medio de perforaciones y aberturas en la base rectangular de las aletas, así como también muestra el efecto que produce el cambio de la orientación del disipador de calor a 0° y 180°.

Yu *et al.* [8-9] presentan estudios numéricos y experimentales de convección natural en un disipador de calor radial, que consiste en una base circular horizontal y aletas rectangulares. El patrón de flujo generado fue el de una chimenea, el aire que estaba a temperatura ambiente cuando ingresa al disipador de calor se calentó al pasar a través del disipador de calor; cuando llegó al centro, la densidad del aire ha disminuido por el cambio de temperatura. La diferencia de densidad con las otras partículas de aire da lugar a fuerzas de flotación que generan el movimiento del fluido hacia la parte superior. Además de lo anterior, se realizaron estudios paramétricos del número de aletas, longitud de las aletas, altura de las aletas y variaciones del flujo de calor.

Para obtener un disipador de calor más ligero, y con la misma eficiencia que el disipador de calor reportado en estudios previos [9-10], Jang *et al.* [10-11] comparó varios disipadores de calor con una altura de ala uniforme y luego analizó estos disipadores de calor cambiando la altura de las aletas.

En el presente trabajo se propone un nuevo arreglo para disipadores para las lámparas LED en el cual solo se propone variar el número de aletas, ya que este parámetro es uno de los más importantes que se reportan en investigaciones recientes, como: en el trabajo de Costa y Lopes [10]. Ellos presentan un estudio numérico sobre un disipador de calor para lámparas LED FORTIMO (lámparas comerciales fabricadas por Philips®). La geometría básica del disipador de calor es radial y funciona en condiciones de convección natural. Los parámetros geométricos que analizan son el número de aletas, el grosor de las aletas, la longitud de las aletas y la altura de las aletas. En este análisis [10], el principal objetivo del disipador de calor es que la temperatura máxima de funcionamiento de la lámpara sea inferior a la temperatura crítica del fabricante ( $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  a temperatura ambiente). Costa y Lopes realizaron simulaciones numéricas en estado estable para la convección natural obteniendo una temperatura máxima de  $65.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Este valor de temperatura se logró aumentando el número de aletas, aumentando la altura de las aletas y reduciendo el grosor de las aletas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo con Gallardo-Gutierrez [11], en su trabajo de tesis buscó en distintos documentos las dimensiones adecuadas para cada uno de los distintos tipos de disipadores, por lo que para este estudio se utilizarán las medidas que presenta, para la geometría del disipador que se propone, como se puede ver en la Figura 1 y en la Tabla 1. En este modelo se propone un arreglo radial de elipses, en el que se estará variando únicamente los parámetros correspondientes al número de aletas ( $n$ ) y el ángulo ( $\theta$ ).

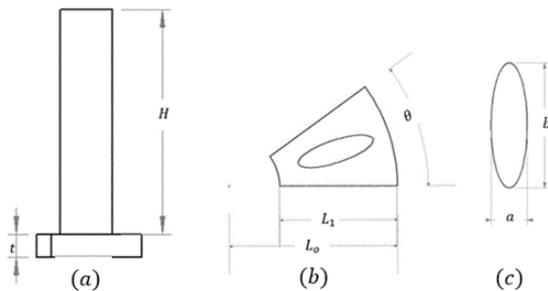


Figura 1: Parámetros del disipador: (a) vista lateral; (b) vista superior; (c) elipse.

Tabla 1: Parámetros del disipador de calor.

Parámetro	Medida [mm]
$H$	50
$t$	2
$L_0$	30
$L_1$	21
$a$	4
$b$	14
$n$	10,12,14,15,16
$\theta$	$36^{\circ}, 30^{\circ}, 25.7^{\circ}, 24^{\circ}, 22.5^{\circ}$

El dominio computacional incluido para el análisis del funcionamiento del disipador de calor propuesto en este trabajo se utiliza una altura de  $2H$  para el canal del fluido. Este mismo puede observarse en la Figura 2 con sus respectivas condiciones de entrada y salida de presión, entrada del flujo de calor y las condiciones de simetría.

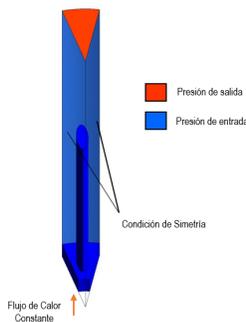


Figura 2: Condiciones del dominio computacional.

Para el fenómeno de transferencia de calor el cual involucra el caso de interés, se resolvieron las ecuaciones de momentum (Ecuaciones (1),(2) y (3)), energía (Ecuación (4)) y continuidad (Ecuación (5)) para el dominio del fluido y la Ecuación (6) correspondiente a la ecuación de la energía para el sólido.

$$u \frac{\partial \rho u}{\partial x} + v \frac{\partial \rho u}{\partial y} + w \frac{\partial \rho u}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

$$u \frac{\partial \rho v}{\partial x} + v \frac{\partial \rho v}{\partial y} + w \frac{\partial \rho v}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$u \frac{\partial \rho w}{\partial x} + v \frac{\partial \rho w}{\partial y} + w \frac{\partial \rho w}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) - g(\rho - \rho_\infty) \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho u T}{\partial x} + \frac{\partial \rho v T}{\partial y} + \frac{\partial \rho w T}{\partial z} = \frac{k_f}{c_{pf}} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (6)$$

Para el análisis se consideró que la temperatura del aire a la entrada del canal  $T_0$  era la temperatura ambiente, el flujo en la base del disipador se estableció en 300, 700 y 1100 [W/m<sup>2</sup>]; aunado a esto, se consideró estado estacionario, flujo estable, transferencia de calor despreciable por radiación, propiedades constantes con excepción de la densidad y se utilizó la aproximación de Boussinesq, la cual consiste en suponer constante la densidad del fluido excepto en el término gravitatorio de la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento y los efectos de compresibilidad se deben a gradientes de temperatura causados por calentamiento del fluido a través de superficies sólidas con las que está en contacto.

En base a lo anterior, las condiciones de frontera a través del dominio computacional fueron impuestas para todas las variables. Por lo tanto, para el análisis se estableció:

- Interfaz periódica del dominio del sólido y del fluido: condición de simetría.
- Caras exteriores del dominio del fluido: entrada/salida de presión.
- Base de la placa circular: flujo de calor constante.
- Aire como fluido (propiedades descritas en la Tabla 2).
- Aluminio para el sólido (propiedades descritas en la Tabla 2).

**Tabla 2: Propiedades del Aire y Aluminio.**

Material	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c_p$ [J/(kgK)]	$k$ [W/(mK)]	$\mu$ [kg/(ms)]	$\beta$ [1/K]
Aire	1.166	1 005	0.0264	1.604x10 <sup>5</sup>	0.003315
Aluminio	2 719	871	202.4	----	----

Como parte del presente estudio se realizó un análisis de independencia de malla para de esta forma conocer la exactitud a los resultados. En este caso se utilizó el criterio de *skewness*, el cual es una medida de la

distorsión relativa de un elemento en comparación con su forma ideal y se escala de 0 (excelente) a 1 (inaceptable), como se puede apreciar en la Tabla 3.

**Tabla 3: Parámetros del disipador de calor.**

Valor de skewness (S)	Calidad
$0.98 \leq S \leq 1.00$	Inaceptable
$0.95 \leq S \leq 0.98$	Mala
$0.80 \leq S \leq 0.95$	aceptable
$0.50 \leq S \leq 0.80$	Buena
$0.25 \leq S \leq 0.50$	Muy buena
$0.00 \leq S \leq 0.25$	Excelente

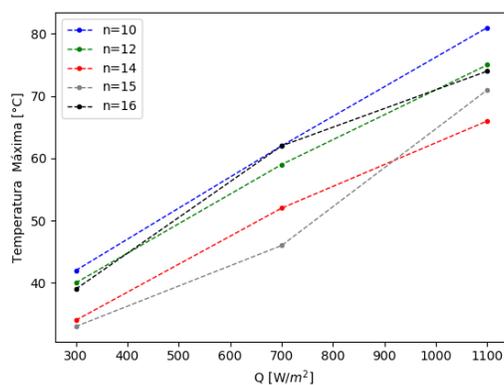
De acuerdo con el criterio mostrado en la Tabla 3, el elemento con mayor valor de *skewness* en cada modelo usado en este análisis tenía un valor aproximado de  $S=0.70$ , por lo que se tenía una malla buena.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

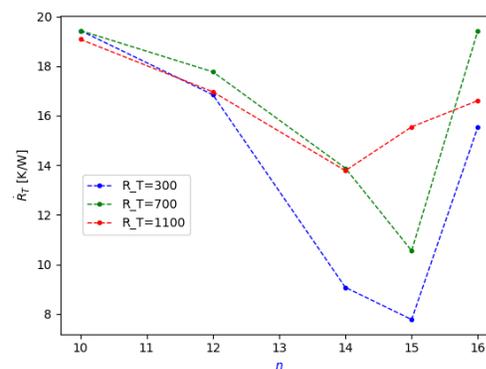
Debido a la falta de datos experimentales para valorar la calidad de los resultados numéricos obtenidos en este estudio por ANSYS Fluent®; y en un intento por disminuir incertidumbre de solución, el modelo de predicción se desarrolló tomando las mejores estrategias de solución documentadas en análisis termo-fluidodinámicos similares; las cuales van desde la conformación de una malla de alta calidad hasta la activación y configuración de modelos auxiliares.

En la Tabla 1 se aprecia que hay un total de 5 modelos, de los cuales en la Figura 3 se puede observar las temperaturas máximas registradas para cada modelo y en la Figura 4 sus resistencias bajo cada flujo de calor.

Se puede observar que aumentar el número de aletas ayuda a disminuir la temperatura máxima en cada caso, pero se vuelve perjudicial a partir de  $n=16$ , ya que de acuerdo con la Figura 4 se denota que hay un aumento de la resistencia lo que significa que la reducción del canal afecta el desempeño del disipador.



**Figura 3: Temperaturas máximas en cada modelo.**



**Figura 4: Resistencia térmica total para cada modelo.**

## CONCLUSIONES

El trabajo cumplió con el objetivo propuesto al proponer una geometría novedosa que es capaz de competir con las geometrías de disipadores comerciales. Se obtuvo un arreglo para el cual la temperatura máxima fue de 46 °C, bajo un flujo de 700 [W/m<sup>2</sup>], una temperatura mucho menor a las temperaturas que se reportan en investigaciones recientes de disipadores convencionales.

Para trabajos posteriores se buscará variar el grosor y la altura de la aleta del arreglo, para lograr una geometría con un mayor rango de disipación de calor.

## AGRADECIMIENTOS

Se extiende el agradecimiento a mis asesores por su tiempo, apoyo, sugerencias y consejos para el desarrollo del proyecto. También agradezco a la Universidad de Guanajuato por la oportunidad de participar en el Verano de Investigación Científica.

## REFERENCIAS

- [1] International Energy Agency, Light's labours lost: Policies for energy efficient lighting, support of the G8 plan of action, 2006, p. 558.
- [2] Cheng H.H., Huang D.S., Lin M.T., Heat dissipation design and analysis of high power LED array using the finite element method, *Microelectronics Reliability* 2012; 52:905–911.
- [3] Lu X.Y., Hua T. C., Wanga Y.P., Thermal analysis of high power LED package with heat pipe heat sink, *Microelectronics Journal* 2011; 42:1257–1262.
- [4] Luo X., Hu R., Liu S., Wang K., Heat and fluid flow in high-power LED packaging and applications, *Progress in Energy and Combustion Science* 2016; 56:1–32.
- [5] Jeong M.W., Jeon S.W., Kim Y., Optimal thermal design of a horizontal fin heat sink with a modified-opening model mounted on an LED module, *Applied Thermal Engineering* 2015; 91: 105-115.
- [6] Yu S.H., Lee K.S., Yook S.J., Natural convection around a radial heat sink, *International Journal of Heat Mass and Transfer* 2010; 53:2935-8.
- [7] Yu S.H., Lee K.S., Yook S.J., Optimum design of a radial heat sink under natural convection, *International Journal of Heat Mass and Transfer* 2011; 54:2499–505.
- [8] Jang D., Yu S.H., Lee K.S. Multidisciplinary optimization of a pin-fin radial heat sink for LED lighting applications, *International Journal of Heat Mass and Transfer* 2012; 55:515–21.
- [9] Jang D., Yook S.H., Lee K.S., Optimum design of a radial heat sink with a fin-height profile for high-power LED lighting applications, *Applied Energy* 2014; 116:260-268.
- [10] Costa V.A.F., Lopes A.M.G., Improved radial heat sink for led lamp cooling, *Applied Thermal Engineering* 2014; 70:131-138.
- [11] Gallardo-Gutiérrez, A. L. (2017), Diseño y análisis computacional de un disipador de calor para dispositivos LED de alta potencia. (tesis de grado), Universidad de Guanajuato.