

TRABAJO PROFESIONAL

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

QUE PRESENTA:

ADRIANA VILCHIS OVANDO

CON EL TEMA:

**“ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN UNA
LÁMPARA TIPO LED”**

MEDIANTE:

**OPCION X
(MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL)**

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

ABRIL 2016

INDICE GENERAL

1. Introducción.....	3
2. Justificación.....	5
3. Objetivos.....	6
4. Problemática a resolver.....	7
5. Fundamento teórico.....	8
5.1 Conceptos básicos de la transferencia de calor	
5.1.1 Calor	
5.2 Mecanismo de transferencia de calor.....	9
5.2.1 Conducción	
5.2.2 Convección	
5.2.3 Radiación	
5.3 Propiedades Termofísicas.....	15
5.3.1 Calor específico	
5.3.2 Difusividad	
5.3.3 Ecuación de difusión de calor	
6. Lámpara LED.....	17
6.1 Definición y característica de un LED.....	18
6.2 Análisis comparativo de eficiencia de lámparas incandescentes, fluorescentes y LED.....	19
6.2.1 Lámparas incandescentes	
6.2.2 Lámparas fluorescentes compactas LFC.....	20
6.2.3 Lámparas LED.....	23
6.2.4 Principio de funcionamiento de un LED.....	26
7. Disipadores de calor.....	27
7.1 Propagación de calor	
7.2 La importancia de la disipación del calor en una lámpara LED	
8. Programa de diseño Solid-Works.....	33
9. Programa de simulación de procesos térmicos COMSOL.....	34
9.1 Reseña histórica	
9.2 Descripción	
9.3 Simulación Multifísica	
9.4 Procesos de simulación	
10. Metodología.....	39
10.1 Diseño conceptual de la lámpara.....	41
11. Resultados.....	43
12. Conclusión.....	46
13. Referencias.....	47

Índice de figuras

5.2.1 Transferencia de calor por conducción.....	10
5.2.1.1 Conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor.....	11
5.2.2 Transferencia de calor por convección.....	13
5.2.3 Transferencia de calor por radiación.....	14
5.3.3 Volumen de control.....	16
6.2.1 Estructura de una lámpara incandescente.....	20
6.2.1.1 Distintos tipos de lámparas incandescentes.	
6.2.2 Estructura de una lámpara LFC.....	21
6.2.2.1 Distintos tipos de lámpara LFC.....	22
6.2.3 Representación simbólica del diodo LED.....	24
6.2.3.1 Material dopado con impurezas tipo P y N.....	25
6.2.3.2 Formación de la unión P-N.....	26
6.2.4 Polarización directa del diodo.	
7.2 Vida útil de una luminaria LED en función de la corriente inyectada.....	30
7.2.1 Distintos modelos de lámpara LED y sus disipadores de calor.....	32
9.4 Mallado de un dominio con elementos triangulares.....	38
10. Panel circular de LEDs y el sistema iluminación en funcionamiento.....	40
10.1 Diseños de disipadores de calor analizados para el sistema de iluminación LED.....	41
11. Perfil de temperatura obtenido para los diseños analizados.....	44
11.1 Superficie de respuesta de la temperatura del circuito en función de las condiciones ambientales obtenida para el diseño B.....	45

RESUMEN

En este trabajo se presentan la simulación del transporte de calor por conducción y convección de una lámpara tipo LED con distintos disipadores de calor. Para el análisis de conducción en el disipador de calor se utiliza la segunda ley de Fourier, con una condición de frontera mediante la cual es estimado el coeficiente de convección a distintas condiciones ambientales. Se probaron diversas condiciones considerando flujo de aire y temperatura ambiente. Los resultados muestran los perfiles de temperatura en el disipador, mostrando la eficiencia de cada sistema de disipación de calor y el efecto que tienen las condiciones ambientales sobre la transferencia de calor.

Por lo que el objetivo de este trabajo es analizar la transferencia simultanea de calor por conducción (LEDs-disipador) y convección (disipador-ambiente). El sistema es una lámpara construida en su totalidad de Aluminio, esta se encuentra compuesta por el sistema de LEDs, el disipador y el soporte de la misma. En la Figura 1 se muestra el panel de LEDs y el sistema de iluminación en funcionamiento constituido por 12 paneles, cada panel requiere una potencia de 5W para su funcionamiento.

1. INTRODUCCIÓN

Se considera que actualmente existen 30 billones de lámparas en uso en el planeta, consumiendo cerca de 2,650 TWh, esto es cerca del 20% de la energía eléctrica producida a nivel mundial, de ahí la importancia de continuar con los esfuerzos de hacer más eficientes este tipo de dispositivos. En iluminación es posible agrupar las lámparas o bulbos básicamente dentro de tres grandes grupos, de acuerdo a su principio de operación: incandescencia, descarga eléctrica y estado sólido (diodos emisores de luz o por su acrónimo en inglés: LED).

Actualmente las dos primeras tecnologías dominan el mercado, con eficiencias máximas de 100-110 lm/W (caso de tecnología de descargas eléctricas). Por otro lado, las fuentes de iluminación de estado sólido son una alternativa para el uso eficiente de la energía, aunque actualmente las lámpara LED tienen eficiencias de alrededor de 40 lm/W, se espera que para el año 2025 los LEDs puedan alcanzar eficiencias que rondan los 200 lm/W, representando una verdadera alternativa de reemplazo de lámparas fluorescentes y contribuir a la solución del problema energético mundial, ya que se considera que si todas las necesidades de iluminación actuales de la humanidad fuesen satisfechas a través de LEDs solamente se consumiría el 4% del total de la energía eléctrica producida a nivel mundial, lo que representa un ahorro anual de energía estimado de un billón de barriles de petróleo o la energía eléctrica producida por 250 plantas nucleares de gran tamaño, además se evitaría la producción anual de 250 millones de toneladas de gases de efecto invernadero.

Los LEDs ofrecen decisivas ventajas gracias a su avanzada tecnología, que los convierte en una alternativa real a las lámparas convencionales en muchas aplicaciones. Los diodos que emiten luz son semiconductores compuestos que convierten la corriente eléctrica directamente en luz. Los diodos luminosos permiten muchos diseños creativos para conseguir soluciones luminosas innovadoras con la variedad de colores de los LEDs, su reducido tamaño y la flexibilidad de los módulos.

El efecto de producir luz con un diodo semiconductor se observó por primera vez en 1907, pero como la luz que proporcionaba era muy pequeña nadie le dio

ninguna importancia. Se tuvo que esperar hasta 1962 a que Nick Holonyak, en aquel momento investigador de General Electric, redescubriera que los cristales semiconductores podían emitir luz roja (se consiguió una frecuencia de emisión de unos 650 nm con una intensidad relativamente baja, aproximadamente 10mcd @20mA). Los siguientes desarrollos, ya entrada la década del 70, introdujeron nuevos colores al espectro, así se consiguieron colores verde, ámbar y naranja. También se desarrollaron leds infrarrojos, los cuales se hicieron rápidamente populares en los controles remotos de los televisores y otros artefactos del hogar. Ya en la década de los 90 se usaron nuevos materiales para producir leds (como por ejemplo: AlInGaP, mezcla de Aluminio, Indio, Galio y Fósforo; GaN, Galio – Nitrógeno) y así se pudo conseguir una gran gama de colores del espectro visible, cambiando la proporción de los materiales que lo componen; su vida útil también aumento hasta alrededor de 100 000 horas.

2. JUSTIFICACIÓN

Cualquier dispositivo electrónico genera una pequeña pérdida de energía eléctrica a energía térmica, teniendo así un efecto de calentamiento en el dispositivo reduciendo su eficiencia y generando problemas de desempeño del dispositivo en sí mismo.

Como todo componente electrónico los LEDs tienen una resistencia eléctrica y generan cierta cantidad de calor que necesita ser removida (Steinberg, 1991), esta disipación de calor es uno de aspectos más críticos durante el diseño de componentes electrónicos, cabe señalar que la generación de calor es un proceso irreversible y debe ser removido durante la operación continua de estos componentes (Kim y Lee, 1996).

El desempeño de un componente electrónico frente al aumento de calor es diferente para cada dispositivo, por lo que se debe diseñar un sistema de disipación de calor "ad hoc" para cada componente, aunque generalmente mientras más bajo y estable sea el cambio de temperatura con respecto del tiempo el componente tendrá un mejor desempeño. Con objeto de no dañar a los paneles de LEDs se utilizan disipadores de calor, con estos se logra mantener la temperatura uniforme y lo más baja posible, evitando daños irreparables al LED.

Los factores considerados para mejorar el desempeño de un disipador, en otras investigaciones, fueron el aumento de la longitud, el ancho, la altura, el espesor y el número de aletas (Manivannan et al., 2010), y sus autores confirman que las dimensiones que tienen mayor influencia en la transferencia de calor son la variación de la longitud (21,87%), de la altura (27,58%) y del ancho (27,53%), para un disipador rectangular compacto con aletas rectangulares rectas de sección uniforme.

Se puede utilizar un paquete de simulación para reproducir la operación de un disipador en su operación tradicional y servir también para proponer nuevas configuraciones. Por ejemplo, una nueva configuración puede considerar más aletas y diferentes formas. Estas configuraciones se pueden evaluar de forma preliminar para elegir la más prometedora, con la que se puede pasar a la etapa de construcción de un prototipo.

3. OBJETIVOS

Objetivo General:

- Estudiar la transferencia de calor en una lámpara tipo LED.

Objetivos Específicos:

- Diseño conceptual de la lámpara de tipo LED con programas de diseño.
- Realizar el análisis de la transferencia de calor de un disipador en una lámpara de tipo LED con programas de simulación de procesos térmicos.
- Realizar pruebas experimentales para obtener el perfil de temperaturas en la lámpara.

4. PROBLEMÁTICA A RESOLVER

Se conoce, que el flujo de electrones formado de una corriente eléctrica, a través de un conductor, produce una disipación de energía en forma de calor. Esta es la manifestación calorífica, llamada “efecto joule”.

Para que la lámpara LED funcione correctamente y su vida útil sea la máxima posible es fundamental evacuar eficientemente el calor que se acumula en el chip. El exceso de temperatura puede llegar a reducir considerablemente la vida de una luminaria LED y puede afectar también a la calidad de la luz emitida (color, intensidad, etc.).

Los LEDs siempre funcionan mejor a temperaturas bajas. A mayor temperatura, menor rendimiento.

En los dispositivos electrónicos siempre se presentan problemas de calentamiento y conforme se van utilizando, este efecto provoca que su eficiencia se reduzca y tenga una vida útil más corta.

Al hacer un análisis de la transferencia de calor producida en la lámpara podemos tener datos que indican en promedio el calentamiento que tiene esta misma.

5. FUNDAMENTO TEÓRICO

5.1 Conceptos Básicos de la Transferencia de Calor.

La transferencia de calor es la ciencia que trata de predecir el intercambio de energía que se presenta entre dos cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura entre ellos. La termodinámica enseña que esta transferencia de energía se define como calor. La ciencia de la transferencia de calor pretende no sólo explicar cómo la energía térmica puede transferirse, sino también predecir la rapidez con la que, bajo ciertas condiciones específicas, tendrá lugar esa transferencia. El hecho de que el objetivo deseado del análisis sea la rapidez de la transferencia de calor, señala la diferencia entre la transferencia de calor y la termodinámica.

5.1.1 Calor.

El calor se define como la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas (o un sistema y sus alrededores) debido a una diferencia de temperatura. Una interacción de energía es calor sólo si ocurre debido a una diferencia de temperatura. De ello se deduce que no hay ninguna transferencia de calor entre dos sistemas que se encuentran a la misma temperatura, es decir el calor es energía en transición, que se reconoce sólo cuando cruza la frontera de un sistema.

El calor es la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura. Un análisis termodinámico se interesa en la cantidad de transferencia de calor, trabajo y masa conforme un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro. La ciencia que trata de la determinación de las velocidades de esa transferencia de energía en forma de calor es la *transferencia de calor*. La transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de la

temperatura más baja, y la transferencia de calor se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura.

El calor se puede transferir en tres modos diferentes: *conducción*, *convección* y *radiación*. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de la temperatura más baja. Enseguida se da una breve descripción de cada modo.

5.2 Mecanismos de transferencia de calor

5.2.1 Conducción

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción térmica puede ser entendida como un proceso microscópico de difusión de calor de los sólidos y de los fluidos en reposo. Es un proceso donde la energía térmica, en el caso de los sólidos, es mayormente transportados vía fonones, el cuanto de las vibraciones de red, por cargas libres. En el caso de los fluidos (i.e líquidos y gases) este proceso ocurre a través del movimiento de átomos y moléculas en una forma más complicada debido a la presencia de otros efectos hidrodinámicos, tales como la convección.

La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los líquidos y gases la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las

vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres.

La velocidad de conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de este, su espesor y el material del que este hecho, así como la diferencia de temperaturas a través de este.

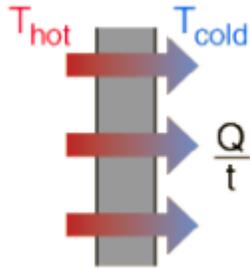


Figura 5.2.1 Transferencia de calor por conducción.

Ley de Fourier

Esta relaciona linealmente la densidad de flujo de calor con el gradiente de temperatura local, es decir relaciona la densidad de flujo de calor con el campo de temperatura cumpliendo con el postulado de la segunda ley de la termodinámica.

Enunciado

La cantidad de calor que atraviesa desde el interior hacia el exterior de una superficie isotérmica por unidad de área por unidad de tiempo en un punto es proporcional al gradiente de temperatura.

$$\vec{q} = -k\nabla T$$

Donde K es la conductividad térmica:

Es decir, la variación de la temperatura con respecto a una dirección espacial generara un flujo de calor en la misma dirección. El signo negativo indica que el flujo de calor toma lugar en la dirección opuesta del gradiente de temperatura.

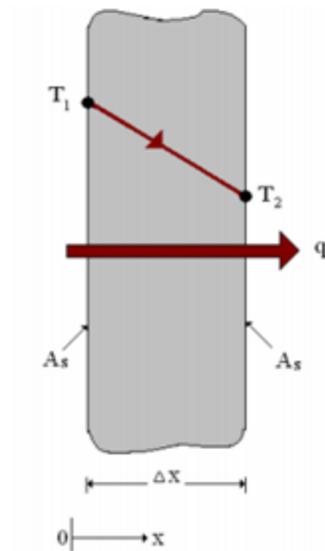


Figura 5.2.1.1 Conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor Δx y área Δs

Para una mejor apreciación, considere la conducción de calor en estado estacionario a través de una pared plana grande de espesor $\Delta x = L$ y área A , como se muestra en la **figura**. La diferencia de temperatura en las paredes es $\Delta T = T_2 - T_1$. Los experimentos han demostrado que la velocidad de la transferencia de calor, q , a través de la pared se duplica cuando se duplica la diferencia de temperatura ΔT de uno a otro lado de ella, o bien, se duplica el área A , perpendicular a la dirección del flujo de calor, pero se reduce a la mitad cuando se duplica el espesor L . Por tanto, se concluye que la velocidad de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y el área de transferencia de calor, es inversamente proporcional al espesor de esa capa; es decir:

$$q_{cond} = kA_s \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad (1.1)$$

$$q_{cond} = -kA_s \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1.2)$$

En donde la constante de proporcionalidad es la conductividad térmica k del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. en el caso límite de $\Delta X \rightarrow 0$, la ecuación (1.2) se reduce a la forma diferencial,

$$q_{cond} = -kA_s \frac{dT}{dx} \quad (1.3)$$

Y se conoce como Ley de Fourier de la conducción de calor, donde indica que la velocidad de conducción de calor en una dirección es proporcional al gradiente de temperatura en esa dirección. El calor es conducido en la dirección de la temperatura decreciente y el gradiente de temperatura se vuelve negativo cuando esta última decrece al crecer x . EL signo negativo en la ecuación (1.3) garantiza que la transferencia de calor en la dirección x sea una cantidad positiva.

5.2.2 Convección

Es la transferencia de calor desde un sólido a un fluido cercano a la frontera cuando el fluido está en movimiento volumétrico relativo al sólido. La combinación del movimiento volumétrico, conocido como advección, con el movimiento aleatorio de las moléculas del fluido es la clave de la convección. Si el movimiento del fluido es inducido por una bomba, un soplador, un ventilador o algún dispositivo similar, el proceso es llamado convección forzada. Si el movimiento del fluido ocurre como resultado de la diferencia de densidades producida por una diferencia de temperatura, el proceso es llamado convección natural.

Una inspección detallada del proceso de transferencia de calor en estos casos revela que, aunque la mayor parte del movimiento del fluido da aumento a la transferencia de calor, el mecanismo básico de la transferencia de calor es la conducción, i.e., la energía transferida es en forma de calor transferido por conducción dentro del fluido móvil.

La convección toma lugar por el promedio del movimiento macroscópico de un fluido. Este puede depender por una fuente externa (convección forzada) o por la variación de densidad dependiente de la temperatura de un fluido (convección

natural o libre). En general, el análisis matemático de la transferencia de calor por convección es extremadamente complejo. Estos problemas pueden ser resueltos a veces solo numéricamente o gráficamente. Pero el flujo de calor en su forma más simple, i.e., la transferencia de calor desde el área A de la superficie expuesta al medio y temperatura T_2 , hacia un fluido con temperatura $T_1 < T_2$, y para una diferencia de temperatura pequeña $\Delta T = T_2 - T_1$, está dada por la ley de enfriamiento de Newton.

$$\Phi_{conv} = h_{conv}A(T_2 - T_1) = h_{conv}A\Delta T$$

Ecuación Ley de Newton.

El coeficiente de transferencia de calor $h_{conv} (Wm^{-2}K^{-1})$ es función de varios parámetros de diferente tipo pero independientemente de ΔT .

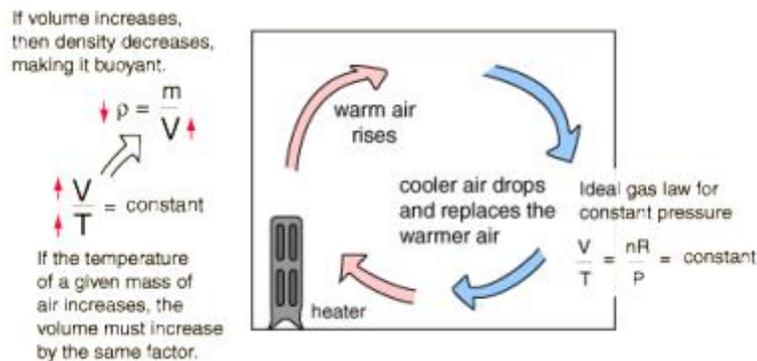


Figura 5.2.2 Transferencia de calor por convección.

5.2.3 Radiación

Es la energía emitida por la materia mediante ondas electromagnéticas (o fotones), como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y de la convección, la transferencia de energía por radiación no requiere la presencia de un medio entre el sistema y sus alrededores. En este mecanismo la razón neta de flujo de calor q_{rad} radio por un cuerpo rodeado por un medio a temperatura T_1 esta dada por la ley de Stefan-Boltzmann

$$\Phi_{rad} = \sigma A \varepsilon (T_2^4 - T_1^4)$$

Ecuación Ley de Stefan-Boltz-mann

Donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann, A es el área de la superficie del objeto irradiado y ε es la emisividad de la superficie teniendo una temperatura absoluta T_2 .

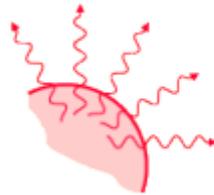


Figura 5.2.3 Transferencia de calor por radiación.

5.3 Propiedades Termo físicas

La conductividad térmica, k , es expresada como la cantidad de calor transmitido por unidad de tiempo, t , por unidad de área, A , y por unidad de $\nabla T = \partial T / \partial r$.
gradiente de temperatura La conductividad térmica es una medida de la habilidad de un material para conducir el calor. Aunque la conductividad térmica depende de la temperatura y la presión.

En el caso de materiales isotrópicos (conductividad térmica similar en todas las direcciones espaciales), el valor de la conductividad es la misma en todas direcciones, por lo cual podemos considerarla como constante, solo si además el medio es homogéneo, y para materiales anisotrópicos k es un tensor simétrico de segundo rango, en el cual cada componente k_{ij} , que puede ser una función de la temperatura, produce la influencia de un gradiente de temperatura en la dirección de j y una intensidad de flujo de calor en la dirección i . Estas componentes conforman la matriz de conductividad.

Matemáticamente la conductividad se describe por la siguiente expresión

$$k = - \frac{\bar{q} \nabla T}{\|\nabla T\|^2}$$

Donde $\bar{q} \nabla T$ simboliza el producto diádico.

5.3.1 Calor específico

El calor específico se define como la energía requerida para elevar la temperatura de una unidad de masa de una sustancia en un grado.

El calor específico a volumen constante C_v se puede definir como la energía requerida para elevar la temperatura de una cantidad de masa de una sustancia en un grado mientras el volumen se mantiene constante.

El calor específico a presión constante C_p se puede definir como la energía requerida para elevar la temperatura de una unidad de masa de una sustancia en un grado mientras la presión se mantiene constante.

Los calores específicos son propiedades de un sistema en el estado de equilibrio. El calor específico a volumen constante (C_v) y el calor específico a presión constante (C_p) se definen como

Procesos a volumen $Q = \frac{dU}{dt} = mC_v \frac{dT}{dt}$ constante:

Procesos a presión $Q = \frac{dH}{dt} = mC_p \frac{dT}{dt}$ constante:

Donde $H = U + pV$ es la entalpia y C_v y C_p son el calor específico a volumen constante y a presión constantes respectivamente.

Cuando las sustancia sometida al proceso es incomprensible (es decir que V es constante para cualquier variación de presión) los dos calores específicos son iguales.

$$C_v = C_p = C$$

El producto pC normalmente denominado *capacidad calorífica volumétrica*, mide la capacidad de un material para almacenar calor por unidad de temperatura y volumen.

5.3.2 Difusividad

Es la razón de la conductividad térmica y la capacidad calorífica volumétrica pC . La difusividad representa la velocidad a la cual el calor es distribuido en un material y esta razón depende no solo de la conductividad térmica, sino también de la razón a la cual la energía puede ser almacenada.

$$\alpha = \frac{k}{pC}$$

5.3.3 La ecuación de difusión de calor.

Si se considera que la temperatura varía con el tiempo y en el que pueden existir fuentes y sumideros de calor en un sólido, entonces mediante un balance de energía podemos obtener la ecuación de difusión de calor.

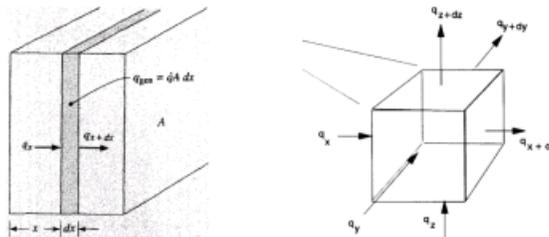


Figura 5.3.3 Volumen de control.

Balance de energía que entra por conducción a través de la cara izquierda más el calor generado en el interior del elemento es igual a la variación de la energía interna más la energía que sale por conducción a través de la cara derecha.

$$-kA \frac{\partial T}{\partial x} + \dot{q}A dx = \rho c A \frac{\partial T}{\partial \tau} dx - A \left[k \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \right]$$

$$-k \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial \tau}$$

Esta es la ecuación de la conducción de calor unidimensional. Para tratar el flujo de calor no solo unidimensionalmente, solo se precisa considerar el calor introducido y extraído por conducción por unidad de volumen en las direcciones de las tres coordenadas.

$$q_x + q_y + q_z + q_{gen} = q_{x+dx} + q_{y+dy} + q_{z+dz} + \frac{dE}{d\tau}$$

De modo que la ecuación general de la conducción de calor tridimensional es:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial \tau}$$

$$\nabla \cdot (k \nabla T) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial \tau}$$

6. LÁMPARAS LED

Los focos ahorradores son lámparas fluorescentes compactas autobalastadas que proporcionan un flujo luminoso igual al de los focos tradicionales pero con un menor consumo de energía. A diferencia que los focos incandescentes, los focos ahorradores funcionan por medio de un gas que ioniza y provoca la iluminación en conjunto con la pintura blanca especial que tienen las paredes interiores del tubo. (Voltech domina la energía, 2013) En los últimos años la tecnología de iluminación con Leds ha tenido grandes avances que han ayudado a mejorar sus costos y aumentar sus aplicaciones, además que puede ser adquirida mejor por el público en general. (Lámparas de LED, 2013) Los LEDs son componentes eléctricos semiconductores (diodos) que son capaces de emitir luz al ser atravesados por una corriente pequeña. Las siglas "LED" provienen del acrónimo

en inglés “Light Emitting Diode” o lo que traducido al español sería “Diodo Emisor de Luz”. (Leds Internacional L.L.C., 2013) Algunas de las ventajas que tiene la iluminación con Leds son: Alta eficiencia (rendimiento) en iluminación. Las lámparas o focos de led consumen aproximadamente un 80% menos energía eléctrica con un foco común. El flujo de la luz en las lámparas LED permite dirigirla al área que se desee sin perder energía en haces de luz que van en otras direcciones (como es el caso de los focos comunes) así se incrementa la uniformidad lumínica y reduciendo la pérdida de iluminación entre fuentes de luz.

6.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE UN LED

Un LED, es un diodo emisor de luz, esto es, un dispositivo semiconductor que emite luz cuando circula por la corriente eléctrica. Su gran ventaja frente a las tradicionales bombillas de filamento de tungsteno, e incluso frente a las bombillas de bajo consumo, radica en su eficiencia energética:

- Los LEDs no poseen un filamento de Tungsteno como las bombillas. Por ello, son más resistentes a los golpes y su duración es mayor ya que no dependen de que el filamento se termine quemando (Cuando las bombillas se funden).
- La eficiencia de los LEDs es mucho mayor. Mientras el rendimiento energético de una bombilla es del 10% (Sólo una décima parte de la energía consumida genera luz), los diodos LED aprovechan hasta el 90%.
- El equivalente a una bombilla se puede construir con aproximadamente una decena de LEDs. Si alguno se rompe es incluso posible sustituirlo.

Ventajas en la iluminación basada en LED:

- **Alta eficiencia:** La iluminación LED consume un 80-90% menos electricidad que una bombilla corriente de similares características. Esto significa un 90% de ahorro en la factura eléctrica.

- **Larga vida:** La vida media de una lámpara LED es de 50.000 horas, frente a las 2.000 de una bombilla estándar. Esto son 17 años a 8 horas diarias de utilización.
- **Ecológicas:** No contienen tungsteno como las bombillas normales, ni mercurio como la iluminación fluorescente, son reciclables y cumplen con la normativa europea de sustancias contaminantes.
- **Poco mantenimiento:** Al tener una vida larga, los productos LED no necesitan ningún mantenimiento. Esto es especialmente importante en entornos en el que es difícil o complicado cambiar bombillas o llevar a cabo mantenimiento.

6.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE EFICIENCIA DE LÁMPARAS INCANDESCENTES, FLUORESCENTES Y LED

6.2.1 Lámparas Incandescentes

: Están formadas por una ampolla o bulbo de vidrio, que contiene un gas inerte (normalmente kriptón) y un filamento muy fino (0,043 mm de diámetro) y frágil de wolframio (también llamado tungsteno) de alta resistencia, el cual al ser excitado por una corriente eléctrica se calienta para generar luz. En dicho proceso, el 85% a 90% de la energía eléctrica consumida se transforma en calor, y el 10% a 15 % restante en luz. Son las de mayor consumo eléctrico, las más baratas y las de menor duración (aprox.1.000 horas), en la Figura 7.2 se muestra la estructura de una lámpara incandescente.

La cantidad de luz que emite una lámpara incandescente depende fundamentalmente de la potencia de esta. Mientras que la longitud del filamento, el tamaño y forma de la ampolla o bulbo de cristal dependen directamente de la potencia de la lámpara, ya que la temperatura del filamento es proporcional a la potencia, el desprendimiento de calor aumenta, por lo

tanto es necesario aumentar la superficie de enfriamiento. En la Figura 7.3 se muestran distintos tipos de lámparas incandescentes.

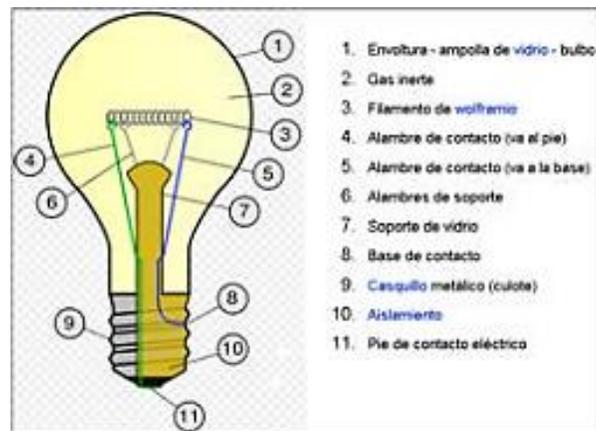


Figura 6.2.1 Estructura de una lámpara incandescente



Figura 6.2.1.1 Distintos tipos de lámparas incandescentes

6.2.2 Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC)

Corresponden a una versión mejorada de las lámparas de tubos rectos fluorescentes, los cuales utilizan balastos electromagnéticos o electrónicos para su encendido, diferenciándose de ellas en su forma y dimensiones. La

ventaja de las LFC frente a las lámparas incandescentes es la eficiencia de conversión de la energía.

La estructura posee entre uno y tres tubos, de 10 a 16 mm de diámetro, conectados eléctricamente en serie por medio de filamentos y doblados en forma de U invertida, su estructura es mostrada en la Figura 6.2.2 los tubos pueden estar a la vista, o incluirse dentro de una ampolla o bulbo de vidrio, similar al de las lámparas incandescentes, también existen en forma de espiral, según muestra la figura 6.2.2.1

Es posible elegir entre lámparas de temperatura de color frío con tono azulado, o cálidas semejante a las lámparas incandescentes. Su funcionamiento se basa en una corriente eléctrica alterna que fluye a través del balasto electrónico, donde un puente rectificador de onda completa se encarga de rectificarla y convertirla en corriente continua y mejorar, a su vez, el factor de potencia de la lámpara. Luego se convierte en corriente alterna mediante un circuito oscilador, compuesto fundamentalmente por transistores que cumplen la función de amplificar la corriente, un transformador y un condensador se encargan de subir la frecuencia a valores entre 20 mil y 60 mil Hertz.

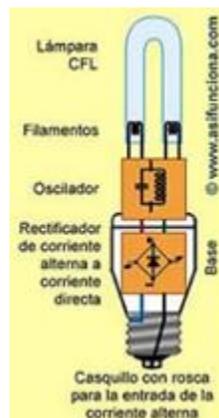


Figura 6.2.2 Estructura de una lámpara LFC.



Figura 6.2.2.1 Distintos tipos de lámparas LFC

Por otro lado, a pesar de los beneficios entregados por las lámparas LFC, estas presentan una serie de inconvenientes descritos a continuación:

- **Contaminación:** las lámparas LFC contienen mercurio, compuesto muy contaminante que obliga a extremar las precauciones de reciclado, ya que la rotura de estas puede generar complicaciones a la salud y contaminación del medio ambiente expuesto. Los fabricantes redujeron la cantidad de mercurio en las lámparas, el cual es menor al de un tubo fluorescente normal y mil veces menor al que contiene un termómetro.
- **Vida útil:** Los ciclos de encendido y apagado de algunas lámparas LFC afectan la duración de su vida útil, de manera que las lámparas sometidas a frecuentes encendidos y apagados pueden disminuir su vida útil, es por esto que no se recomienda utilizarlas en sectores donde se expongan a constantes ciclos de encendido y apagado. No obstante, hoy en día, son mucho menos vulnerables a estos cambios de estado, habiendo incluso lámparas que prácticamente cubren toda su vida teórica en estas condiciones.
- **Lentitud de respuesta:** existen algunas lámparas que demoran alrededor de un segundo en arrancar y que tardan hasta 2 minutos en alcanzar su máxima luminosidad. Hoy en día, suelen iluminar intensamente desde el primer instante, aumentando su luminosidad en forma proporcional a su temperatura interna. En el caso de un arranque a muy baja temperatura, por ejemplo en invierno y en recinto frío, puede ocurrir que emita menos luz los primeros dos minutos mientras se calienta el gas en su interior.

- Zumbido: es frecuente que con el tiempo algunas lámparas comiencen a emitir un zumbido, aunque casi imperceptible. Hoy en día es muy poco frecuente, dado que los balastos electrónicos reducen ese problema. Si una lámpara con balasto electromagnético zumba, se recomienda su reemplazo lo antes posible, por un modelo electrónico, que es mucho más eficiente y mucho más confiable.
- Parpadeo: Algunas lámparas de bajo consumo pueden presentar parpadeos, especialmente las que usan transformador o balasto electromagnéticos, este parpadeo se debe a que trabajan a una frecuencia de 50 Hertz, la cual es baja para este tipo de dispositivos. En cambio las lámparas con balasto electrónico, las que corresponden al 99% de las actuales, trabajan a altas frecuencias, por lo cual no sufren este problema.

6.2.3 LÁMPARAS LED

Los LED (diodo emisor de luz) en un comienzo solo eran utilizados como señales visuales, para representar un estado u otro tipo de señal en dispositivos electrónicos. Esto se debió a la baja intensidad luminosa con la que contaban. Hoy los LED han avanzado de forma impresionante, logrando alcanzar una categoría de iluminación totalmente nueva, aportando sentido y simplicidad a nuestra iluminación diaria.

La iluminación LED ha revolucionado el mundo de la iluminación, esto por su eficacia, durabilidad, respeto con el medio ambiente y controlable, permitiendo aplicaciones novedosas y tradicionales.

Comparándolos con ampollitas incandescentes y LFC, los LED poseen muchas ventajas. Alcanzan elevados niveles de eficiencia, no generan calor, han mejorado

enormemente su nivel lumínico, no generan residuos tóxicos, poseen mayor durabilidad (hasta 100000 horas), bajo consumo energético, entre otras. Diodo Led (Light Emitting Diode - diodo emisor de luz): es un dispositivo semiconductor que emite luz monocromática cuando por él circula una corriente eléctrica al ser polarizado en forma directa. El color depende del material semiconductor del que está construido el Led, ya que de acuerdo al material que se utilice será la longitud de onda de la luz emitida. Esta puede variar desde el ultravioleta, pasando por todo el espectro de luz visible, hasta el infrarrojo, éstos últimos reciben la denominación de diodos IRED (Infra-Red Emitting Diode). La Figura 6.2.3 muestra el símbolo que representa a un diodo Led.

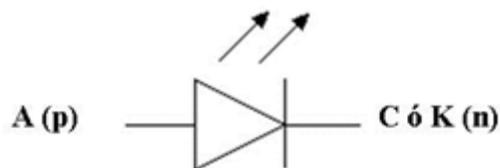


Figura 6.2.3 Representación simbólica del diodo LED

Unión P-N:

El Led, al igual que otros tipos de diodos (rectificador, zener, etc.), basa su funcionamiento en la unión de materiales semiconductores dopados con impurezas, generalmente Silicio, existiendo también otros materiales como: Germanio (Ge), Fosfuro Arseniuro de Galio (GaAsP), fosfuro de Galio (GaP), etc. El dopado consiste en inyectar impurezas al material semiconductor del tipo P (rico en huecos) y N (rico en electrones) provenientes de otro material, de esta forma el material dopado con impurezas tipo P tendrá un exceso de huecos (iones positivos), lo cual se puede conseguir inyectando átomos del grupo III en la red cristalina, por ejemplo: boro, mientras que el material tipo N dispondrá de un exceso de electrones, provenientes de átomos del grupo V,

como el fósforo por ejemplo. En ambos casos se tienen también portadores de signo contrario, aunque en una concentración varios órdenes de magnitud inferior (portadores minoritarios). Los cristales P y N, por separado representan cristales eléctricamente neutros (carga eléctrica igual a 0), ya que por cada electrón existe un Ion positivo y por cada hueco existe un Ion negativo, por lo que no existen distribuciones de carga neta, ni campos eléctricos internos. La **Figura** muestra la unión de dos cristales dopados, uno con rico en huecos y otro rico en electrones.

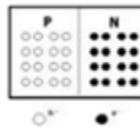


Figura 6.2.3.1 Material dopado con impurezas tipo P y N

Al crear dos zonas de diferente concentración de portadores, comienza el proceso de difusión, el cual consiste en la combinación de huecos y electrones cercanos a la unión de uno a otro lado de la barrera. Esto quiere decir que los electrones de la zona N pasan a la zona P y los huecos de la zona P pasan a la zona N. En este proceso el electrón que pasa la unión se recombina con un hueco, apareciendo de esta forma una carga negativa, ya que antes de que llegara el electrón la carga total era nula.

Por otro lado al pasar un hueco de la zona P a la zona N, provoca un defecto de carga positiva en la zona P, con lo que también aparece una carga negativa. El mismo efecto sucede en la zona N, aunque con signos distintos.

En consecuencia, a ambos lados de la unión se crea una zona de carga, que es positiva en la zona N y negativa en la zona P, esto es mostrada en la Figura. 6.2.3.2.

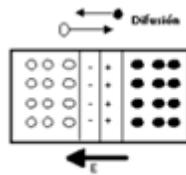


Figura 6.2.3.2 Formación de la unión P-N.

6.2.4 Principio de Funcionamiento del Led

El diodo entra en funcionamiento al polarizar directamente la unión P-N (**Figura**), es decir, que el polo positivo de la fuente se conecte al ánodo del diodo y el polo negativo se debe conectar cátodo del diodo, esto genera una corriente eléctrica, provocando una recombinación de huecos y electrones (al paso de la corriente). Esta recombinación requiere que la energía que posee un electrón libre no ligado se transfiera a otro estado. En todas las uniones P-N una parte de esta energía se convierte en calor y otro tanto en fotones. En el Si y el Ge el mayor porcentaje de la energía se transforma en calor, mientras que la luz emitida es insignificante. Por esta razón se utiliza otro tipo de materiales para fabricarlos, como por ejemplo: Fosfuro Arseniuro de Galio (GaAsP) o fosfuro de Galio (GaP).

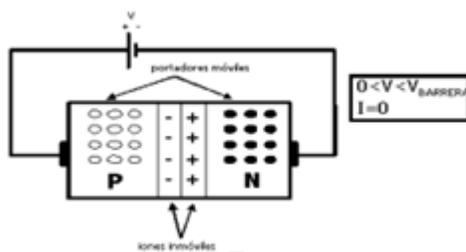


Figura 6.2.4 Polarización directa del diodo.

7. DISIPADORES DE CALOR

Un disipador es un componente metálico generalmente de aluminio que se utilizan para aumentar la evacuación de calor del componente al que se le coloque hacia el aire que lo rodea. Esto trae como consecuencia que se reduce la temperatura de trabajo del componente. y así, evita que algunos dispositivos electrónicos como, transistores bipolares, reguladores, circuitos integrados etc. se calienten y se dañen.

La función del disipador de calor se basa en la segunda ley de la termodinámica también conocida como principio de “entropía” (Establece que todo proceso es “degenerativo” esto es, que si el resultado del proceso es una degradación de la energía, en cuanto a su capacidad de hacer trabajo, el proceso ocurrirá) en este caso transfiriendo el calor de la parte caliente que se desea disipar al aire.

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.

El calor produce un incremento de la temperatura del dispositivo. Si este incremento es excesivo e incontrolado, inicialmente provocará una reducción de la vida útil del elemento y en el peor de los casos lo destruirá.

7.1 Propagación del calor

En todo semiconductor el flujo de la corriente eléctrica produce una pérdida de energía que se transforma en calor. Esto es debido al movimiento desordenado en la estructura interna de la unión. El calor elevará la energía cinética de las moléculas dando lugar a un aumento de temperatura en el dispositivo; si este

aumento es excesivo e incontrolado provocará una reducción de la vida útil del dispositivo y en el peor de los casos su destrucción.

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.

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 cual hace de puente para evacuar el calor de la cápsula al medio ambiente.

Los disipadores son elementos claves cuando se manejan niveles de potencia relativamente altos. Ellos permiten que el calor generado por los semiconductores sea evacuado rápida y eficientemente, evitando así posibles daños por alta temperatura.

La temperatura es una consideración muy importante en el diseño o análisis de los sistemas electrónicos. Esta afectará virtualmente todas las características de un dispositivo semiconductor. Un componente semiconductor de cualquier tipo (diodos, transistores, tiristores, etc.) que es atravesado por una determinada corriente eléctrica, necesita entregar al ambiente una cantidad de potencia en forma de calor.

Cuando se trata de dispositivos que manejan pequeñas señales, la cantidad de calor producido no es demasiado elevado del dispositivo a través de su envoltura. Sin embargo, cuando los dispositivos semiconductores deben manejar grandes potencias, como en los transistores de salida de los aparatos amplificadores, la potencia disipada se eleva considerablemente y con ella el calor generado por el dispositivo. A medida que la disipación de potencia de un componente, llega a ser tan elevada como para producir daños internos a su estructura, es necesario montarlo sobre un disipador de calor adecuado que facilite la refrigeración, evitando que se alcance una temperatura peligrosa.

7.2 La importancia de la disipación del calor en una lámpara LED

La gestión térmica, o lo que es lo mismo, una buena disipación del calor, es esencial para garantizar la duración y el correcto funcionamiento de una lámpara LED.

Se dice que la luz generada por un LED es una “luz fría”, ya que no emite calor. De hecho, podemos tocar una bombilla LED encendida con los dedos sin temor a quemarnos durante el tiempo que queramos y sin importar la intensidad de la luz.

Sin embargo, hay que aclarar que el chip LED sí que emite calor, aunque lo hace de una forma diferente a una bombilla incandescente o fluorescente. La diferencia fundamental es que el calor se proyecta en dirección contraria a la luz. Por eso la luz es fría, pero ciertas partes de la luminaria pueden llegar a acumular mucho calor.

Calor emitido por un LED

El calor en un LED se genera por el llamado “[efecto Joule](#)”. Un LED funciona con corriente continua, por este motivo para que funcione en cualquier instalación eléctrica necesita un convertidor o driver que convierta la corriente alterna en corriente continua. En este proceso, la corriente de salida se vierte en la parte trasera del chip LED, concretamente en el punto de unión (la llamada unión T o T Junction).

La temperatura del punto de unión (T_j) es clave a la hora de determinar la eficacia lumínica de un LED. Para que la lámpara LED funcione correctamente y su vida útil sea la máxima posible es fundamental evacuar eficientemente el calor que se acumula en el chip. El exceso de temperatura puede llegar a reducir considerablemente la vida de una luminaria LED y puede afectar también a la calidad de la luz emitida (color, intensidad, etc.).

Los LEDs siempre funcionan mejor a temperaturas bajas. A mayor temperatura, menor rendimiento.

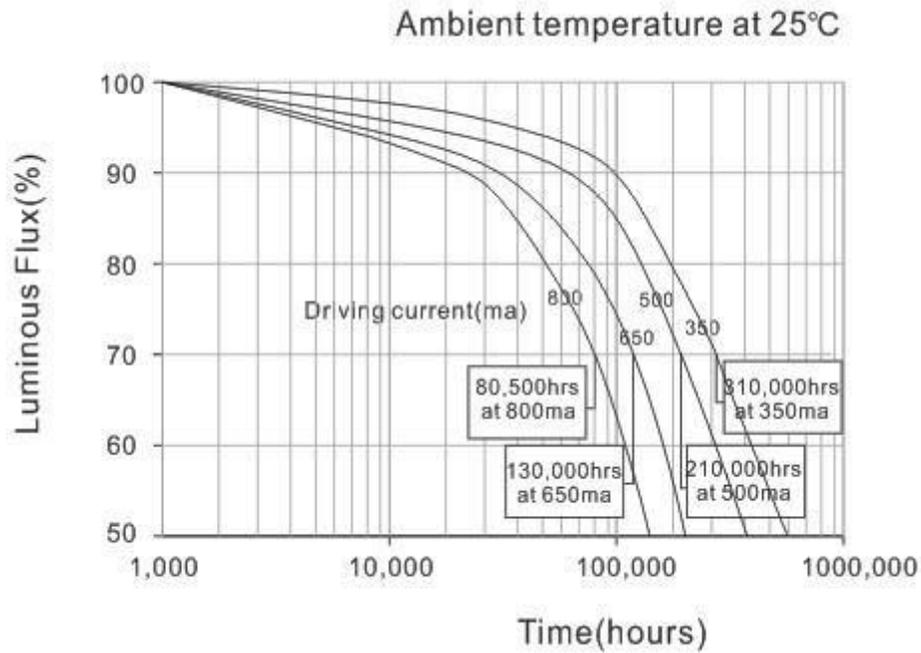


Figura 7.2 Vida útil de una luminaria LED en función de la corriente inyectada.

Una correcta gestión térmica es esencial, ya que el exceso de calor:

- Degrada el fósforo y reduce la vida de la lámpara
- Reduce el rango de temperatura ambiental a la que puede funcionar
- Influye en el funcionamiento del driver
- Altera los colores
- Reduce la intensidad de la luz

Condiciones que debe cumplir un disipador para conseguir una óptima transferencia desde el dispositivo hacia el medio ambiente:

1.- El tamaño del disipador depende de la cantidad de calor que debe ser radiada, e la temperatura ambiente y de la corriente por medio a través del elemento. Pero la superficie de radiación no es el único punto a considerar cuando se diseñan disipadores de calor. Debe tenerse en cuenta además el material del cual está construido, el acabado de su superficie y la manera como el elemento que produce el calor se encuentre acoplado al disipador.

2. Para una óptima conducción de calor, el material debe tener una alta conductividad térmica y una gran sección transversal. La temperatura ambiente debe ser mantenida tan baja como sea posible.

3.- Los dos materiales más comunes para la construcción de disipadores son el cobre y el aluminio. El cobre tiene una conductividad térmica cuatro veces superior a la del aluminio pero, debido a su alto costo, es el aluminio el que se utiliza con más frecuencia. En ciertas ocasiones, se utilizan otros materiales especiales, tales como el magnesio o el óxido de berilio.

4.- Para aumentar la transferencia de calor por convección se dota al radiador de aletas en su contorno de manera que se aumente su superficie externa.

La completa efectividad del disipador de calor depende de la mayor extensión del contacto entre el elemento a ser enfriado y la superficie del disipador. La calidad del contacto depende del grado de conformidad entre las dos superficies y la cantidad de presión con la cual se mantienen unidas.

El objetivo de un disipador de calor es mantener la temperatura del dispositivo a niveles definidos (e.g. por el fabricante de LEDs), disipando el calor a los alrededores (medio ambiente) o a un sumidero de calor.



Figura 7.2.1 Distintos modelos de lámparas LED y disipadores de calor.

La eficiencia de un disipador de calor depende de:

- Material del disipador
- Del diseño del disipador
- De las temperaturas de operación.

La disipación de calor en cuatro etapas:

La disipación del calor de un LED se realiza en cuatro etapas sucesivas:

- El calor generado por el flujo de corriente se acumula en el punto de unión del chip.
- Desde el punto de unión se traslada a la placa base o circuito impreso
- Desde la placa base se transmite al disipador de calor
- Del disipador de calor se libera al ambiente

Las características de un disipador no solo dependen de su tamaño:

- Un determinado perfil de estrucción puede generar bajas resistencias térmicas “disipador ambiente” sin utilizar mucho aluminio. La resistencia térmica es en realidad función de la superficie del disipador y no de la masa de aluminio. Y la forma afecta enormemente a la relación entre la masa y la superficie exterior. De allí que los disipadores tengan aletas.

- Pero no es el único factor a tener en cuenta ya que un disipador disipa no solo por convección. También existe la radiación térmica (ya que el calor puede considerarse como una onda electromagnética infrarroja) y el color de la superficie afecta la radiación. De allí que los disipadores siempre son de aluminio anodizado negro.

8. Programa de diseño Solid Works

SolidWorks es un programa de diseño mecánico en 3D que utiliza un entorno gráfico basado en Microsoft® Windows, intuitivo y fácil de manejar. Su filosofía de trabajo permite plasmar sus ideas de forma rápida sin necesidad de realizar operaciones complejas y lentas.

Las principales características que hace de SolidWorks una herramienta versátil y precisa es su capacidad de ser asociativo, variacional y paramétrico de forma bidireccional con todas sus aplicaciones. Además utiliza el gestor de diseño (FeatureManager) que facilita enormemente la modificación rápida de operaciones tridimensionales y de croquis de operación sin tener que rehacer los diseños ya plasmados en el resto de sus documentos asociados

Junto con las herramientas de diseño de pieza, ensamblajes y dibujo, SolidWorks incluye herramientas de productividad, de gestión de proyectos, de presentación y de análisis y simulación que lo hacen uno de los estándares de diseño mecánico más competitivo del mercado.

Características de SolidWorks:

La definición de parámetros clave, la asociatividad, las funciones geométricas inteligentes y el Gestor de diseño, son las principales características de SolidWorks

Definición de parámetros clave

Los parámetros clave son las dimensiones (cotas) y las relaciones geométricas que definen un modelo tridimensional. SolidWorks asocia a cada una de las cotas de un croquis así como a las operaciones tridimensionales un nombre que permite

modificarla en cualquier momento y su actualización en el resto de documentos asociados.

Asociatividad

SolidWorks contiene tres módulos: pieza, ensamblaje y dibujo. La creación de un documento en cada uno de ellos genera un fichero con distinta extensión

Para realizar un conjunto o ensamblaje debe diseñar cada una de las piezas que lo conforman y guardar como ficheros de pieza distintos (cada uno con un nombre). El módulo de ensamblaje permite insertar cada una de las piezas y asignar relaciones geométricas de posición para definir tridimensionalmente el ensamblaje. Finalmente, puede obtener los planos las piezas o del propio ensamblaje de forma automática.

Cuando se dice que SolidWorks es asociativo quiere decir que todos los documentos (Pieza, Ensamblaje o Plano) están vinculados y que la modificación de un fichero de pieza modifica el ensamblaje y los planos asociados de forma automática, sin la participación del usuario. Los ficheros se actualizan aunque se encuentren cerrados.

9. Programa de simulación de procesos térmicos COMSOL

9.1 Reseña histórica comsol

Comsol fue fundada por estudiantes de posgrado (Svante Littmarck y Farhad Saeidi) del Profesor Germund Dahlquist basado en códigos desarrollados para un curso de posgrado en el Real Instituto de Tecnología en Estocolmo, Suecia.

Las primeras versiones de Comsol fueron llamadas FEMLAB y su kernel fue programado en el paquete matemático computacional Matlab y solo incluía la capacidad del análisis estructural. Con el desarrollo de la plataforma se fueron incluyendo más módulos de análisis, los cuales fueron aumentando las

prestaciones del paquete pero fue hasta la versión 3.0 (Noviembre de 2003)[10] que el programa dio un giro reescribiendo el kernel en C++, así al no depender de Matlab, el kernel de FEMLAB pudo utilizarse como servidor de computadora.

Con el lanzamiento de versiones subsecuentes FEMLAB fue integrando más prestaciones a su interfaz, hasta que en el 2005 [10] fue anunciado que FEMLAB sería llamado COMSOL, el cual integro una nueva herramienta llamada SCRIPT que da al usuario el poder de escribir funciones definidas por él, relacionadas a sus propios modelos.

Además COMSOL a diferencia de los programas convencionales de análisis físico permite el acoplamiento de sistemas de ecuaciones diferenciales parciales, abreviadas como PDEs por su nombre en inglés: Partial Differential Equations. Las PDEs pueden ser introducidas directamente o usando la llamada forma débil.

Algunos de los módulos que se han integrado a través del tiempo son:

-  Mecánica Estructural
-  Transferencia de Calor
-  Acústica
-  AC/DC
-  Radio Frecuencia

9.2.Descripción

COMSOL Multiphysics™ es una herramienta de modelado y análisis para prototipaje virtual de fenómenos físicos. COMSOL Multiphysics puede modelar virtualmente cualquier fenómeno físico que un ingeniero o científico pueda describir con ecuaciones diferenciales parciales (PDE), incluyendo transferencia de calor, movimiento de fluidos, electromagnetismo y mecánica estructural, soportando la integración de problemas de diferentes campos - Multifísica.

Las prestaciones de multifísica integradas en COMSOL Multiphysics capacitan al usuario para simultáneamente modelar cualquier combinación de fenómenos. A través de estas prestaciones, COMSOL Multiphysics integra las dos formas posibles de modelar (a través de aplicaciones predefinidas que permiten crear el modelo fijando las cantidades físicas que caracterizan el problema, y a través de las ecuaciones que modelan el problema) y permite combinarlas.

La estructura sobre la que COMSOL trabaja es un sistema de Ecuaciones Diferenciales Parciales (PDEs), una descripción matemática de varios fenómenos físicos basados en las leyes de la ciencia. Cualquier experto en su campo que sepa cómo crear simulaciones usando PDEs puede ampliar aquellos sistemas modelando explícitamente en términos de estos tipos de ecuaciones.

COMSOL Mph. simplifica el desarrollo de aplicaciones a través del uso de la Biblioteca de Modelos, que incorpora ejemplos de diversas áreas de aplicación. A través de ellos, los usuarios, sin necesidad de poseer profundos conocimientos en matemáticas o análisis numérico, podrán construir sus modelos.

9.3 Simulación multifísica.

La simulación multifísica es simple, después de conocer los módulos de COMSOL Multiphysics simplemente se deben realizar acoplamientos entre sus diferentes físicas, es decir, combinar las diferentes interfaces que se presentan en los módulos.

El software considera de manera global los siguientes pasos para realizar una simulación:

- ✓ Diseño de una geometría.
- ✓ La especificación de una física(s).
- ✓ Seleccionar y generar un tipo de malla.

- ✓ Elegir el tipo de estudio.
- ✓ Visualización de los resultados.

Geometría en este software se define como, la figura geométrica que se ocupará como modelo para realizar la simulación. El diseño de una geometría se puede crear desde COMSOL Multiphysics o bien, puede importarse desde otro software. El programa tiene la opción de formar una geometría en diferentes dimensiones, 1D, 2D o 3D.

La especificación de una física o bien el acoplamiento varias físicas, resulta un ventaja de este software. Cada una de las físicas que comprende el programa, están delimitadas por un sistema de ecuaciones que permiten realizar el análisis en el modelo. También se pueden modificar las ecuaciones que están definidas en el programa, de forma manual o bien con ayuda de un módulo del mismo software.

El seleccionar la malla depende del tipo de solución que se elija, el software muestra la disponibilidad de las mismas, el generar esta malla de elementos finitos puede ser uno de los pasos más postergados dentro del modelado.

9.4 Proceso de simulación.

Durante esta etapa se anexan las propiedades que terminaran por definir el modelo, dentro de ellas se encuentra; el material, el potencial y la temperatura, también se adicionan condiciones de frontera, físicas, tipos de solución y la definición de la malla. Aquí se explica cada una de estas características:

- Especificaciones del modelo.

Estas definiciones consisten en especificar el tipo de material que se agregará a la geometría con sus respectivos coeficientes, además, se formarán condicionantes en el modelo para especificar el potencial, la temperatura y algunas restricciones para el análisis.

- Adicionar Físicas al modelo.

Comprende una serie de pasos para seleccionar las físicas que se integrarán en el análisis, cada uno de las físicas contiene apartados para modificar sus coeficientes. Al inicio del proceso se eligió la física pero en esta etapa se termina por definir sus características.

- Seleccionar el tipo de estudio.

El tipo de estudio se elige de igual manera que la física, al inicio del programa, las opciones que se muestran depende de la física que se elija para el análisis.

- Mallado (Mesh)

El mallado en un proceso de simulación es la discretización del dominio, es decir la geometría se divide en n elementos de dominio los cuales se interconectan entre sí por medio de nodos. Como se puede suponer se dispone de elementos específicos cada dimensión, un ejemplo de ello se puede observar en la figura la cual discretiza el dominio con elementos triangulares.

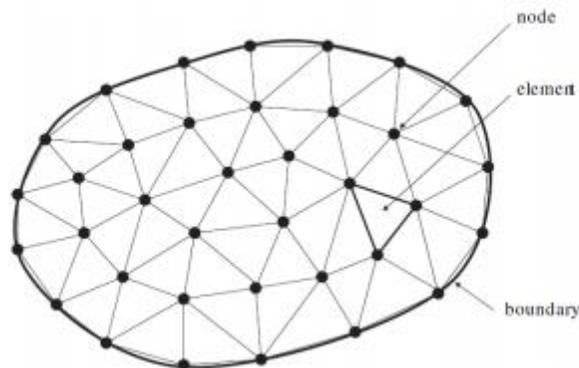


Figura 9.4 Mallado de un dominio con elementos triangulares

Un aspecto que es importante verificar cuando se malla un dominio, es el número de elementos generados ya que un mayor número de elementos requiere una mayor cantidad de cálculos, los cuales a su vez requieren de mayor procesamiento y por consecuencia de mayor espacio de memoria.

Como el proceso de mallado dependen en gran medida de la forma del dominio, el problema a solucionar y de la experiencia que se tenga en esta tarea para cada modelo.

10.METODOLOGÍA

Definición del sistema (lámpara)

Para el diseño del disipador de calor es necesario definir en primera instancia las restricciones del sistema como son:

- La cantidad de calor a remover.

Durante la etapa de diseño este parámetro se considera como fijo, y se toma como el valor máximo al cual el dispositivo aún puede funcionar sin problema. Este valor se debe a la ineficiencia del componente electrónico para usar toda la energía eléctrica para y es la diferencia entre la entrada y salida de la potencia eléctrica. En el caso de los LEDs en este trabajo se definió como 5 Watts que es la potencia utilizada por el panel de LEDs (Figura 1).

- La temperatura ambiente:

Esta define la mínima temperatura a la cual se podría enfriar el dispositivo, suponiendo que no se usa algún fluido de enfriamiento. Para disipadores con aletas está restringida a la temperatura del ambiente, aun así se desprecian los efectos de la lluvia la cual puede modificar los mecanismos de transferencia de calor, puesto que los mecanismos de vaporización/condensación del agua son complejos.

- La temperatura máxima de operación:

Está determinada por los propiedades del material eléctrico, en su mayoría debe ser menor de 100°C, excepto para aplicaciones militares. La resistencia térmica debe ser tomada en cuenta mediante la potencia de disipación, la temperatura ambiente y la máxima temperatura de operación, por ejemplo un procesador de

computadora con 40 Watts para disipar y 80°C como máxima temperatura de operación y temperatura ambiente de 30°C, necesita una resistencia térmica de 1.25 K/W. En estudios previos experimentales se determinó que la temperatura máxima alcanzada es de 45 °C.

En particular, las lámparas basadas en LEDs han mostrado reducir el consumo de energía hasta en un 80% en comparación con las luminarias tradicionales incandescentes. Sin embargo como todo componente electrónico parte de la energía se pierde en forma de calor reduciendo la eficiencia de los LEDs por lo que es de importancia práctica estudiar el transporte de calor en este tipo de sistemas con la finalidad de mejorar su eficiencia en cuanto al consumo de energía y evitar daños en los circuitos electrónicos debido a los largos de exposición por stress térmico [2]. La disipación de calor en lámparas utilizadas en exteriores es principalmente por convección natural o por las corrientes de viento que naturalmente ocurren. Mientras que la transferencia de calor entre las secciones de LEDs al resto de la lámpara se lleva a cabo mediante un mecanismo de conducción a través del material del que esté construida la lámpara [3].

Por lo que el objetivo de este trabajo es analizar la transferencia simultanea de calor por conducción (LEDs-disipador) y convección (disipador-ambiente). El sistema es una lámpara construida en su totalidad de Aluminio, esta se encuentra compuesta por el sistema de LEDs, el disipador y el soporte de la misma. En la Figura 1 se muestra el panel de LEDs y el sistema de iluminación en funcionamiento constituido por 12 paneles, cada panel requiere una potencia de 5W para su funcionamiento.



a)



b)

Figura 10 Panel circular de LEDs y el sistema iluminación en funcionamiento.

10.1 DISEÑO CONCEPTUAL DE LA LÁMPARA

La disipación de calor en lámparas utilizadas en exteriores es principalmente por convección natural o por las corrientes de viento que naturalmente ocurren. Mientras que la transferencia de calor entre las secciones de LEDs al resto de la lámpara se lleva a cabo mediante un mecanismo de conducción a través del material del que está construida la lámpara.

En la Figura 10.1 se muestran los diseños de disipadores analizados. El diseño A de la lámpara fue previamente publicado por Uitz-Toalá y col. [4] y es basado en detalles proporcionados por los fabricantes, mientras que el diseño B es propuestos por los autores basándose en mismas especificaciones de diseño del modelo A.

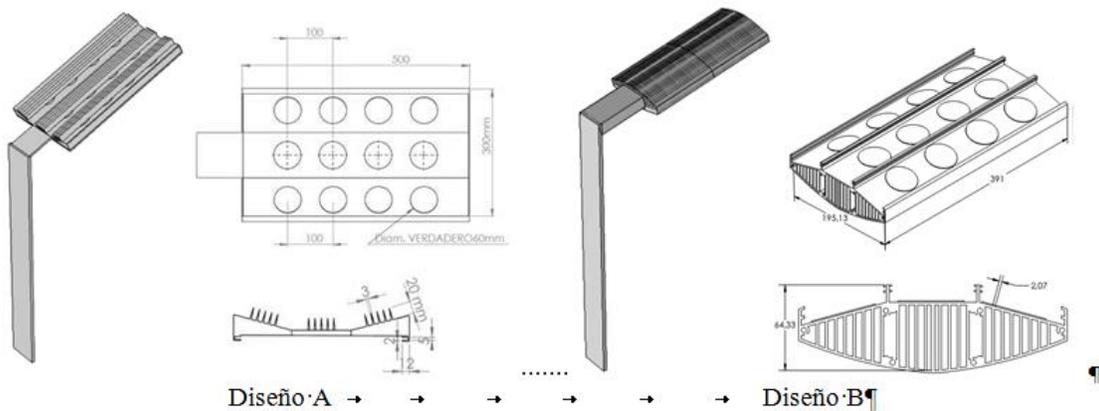


Figura 10.1. Diseños de disipadores de calor analizados para el sistema de iluminación LED.

El transporte de calor en estado no estacionario se cumple en toda la lámpara es por mecanismo de conducción lo que implica que la segunda ley de Fourier se cumple para toda la lámpara:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = -\nabla \cdot (-k \nabla T) + Q \quad (1)$$

Donde ρ es la densidad, Cp es el calor específico, k es el coeficiente de conductividad térmica del material del disipador, las cuales se tomaron con un valor de 2730 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), 893 ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) y 155 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), respectivamente (James, 1992). Del lado derecho de la ecuación Q es la pérdida o generación de calor (+5 W por panel de lámparas). En este caso las propiedades térmicas se consideraron constantes para el rango de temperaturas a alcanzar. Para el transporte de calor del área superior de la lámpara hacia el ambiente se utiliza la expresión para la ley de enfriamiento de Newton y es una condición de frontera de Newman:

$$-\mathbf{n}(-k\nabla T) = h (T_\infty - T) \quad (2)$$

Donde \mathbf{n} es el vector normal a la superficie de transporte de calor, h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, T_∞ es la temperatura del medio ambiente. Este coeficiente de transferencia de calor por convección es estimado por medio de correlaciones basadas en números adimensionales [5] para casos de convección natural ($h_{nat.}$) y convección forzada ($h_{for.}$).

$$h_{nat.} = \begin{cases} \frac{k}{L} \left(0.68 + \frac{0.67 \text{Ra}_L^{1/4}}{\left(1 + (0.492 / \text{Pr})^{9/16}\right)^{1/4}} \right) & \text{Ra}_L \leq 10^9 \\ \frac{k}{L} \left(0.825 + \frac{0.387 \text{Ra}_L^{1/6}}{\left(1 + (0.492 / \text{Pr})^{9/16}\right)^{8/27}} \right) & \text{Ra}_L > 10^9 \end{cases},$$

$$h_{for.} = \begin{cases} 2 \frac{k}{L} \frac{0.3387 \text{Pr}^{1/3} \text{Re}_L^{1/2}}{\left(1 + (0.0468 / \text{Pr})^{7/5}\right)^{1/4}} & \text{Re}_L \leq 5 \cdot 10^5 \\ 2 \frac{k}{L} \text{Pr}^{1/3} (0.037 \text{Re}_L^{4/5} - 871) & \text{Re}_L > 5 \cdot 10^5 \end{cases} \quad (3)$$

Donde $\text{Ra} = g\beta/\alpha\nu(T - T_\infty)$, $\text{Pr} = \mu cp/k$ and $\text{Re}_L = \rho U_{ext} L/\mu$. L , es la longitud característica de la placa y U_{ext} , es la velocidad exterior de aire, todas la propiedades para el aire son evaluadas a $(T + T_\infty)/2$. Por otro para el caso de la sección interna de la lámpara, la cual se encuentra llena de aire en contacto de con los LEDs y una placa de acrílico la cual tapa la cavidad, es considerada como una sección de aislamiento térmico, expresado con la siguiente ecuación, como condición frontera sobre las paredes de esta:

$$-\mathbf{n}(-k\nabla T) = 0 \quad (4)$$

Cada panel circular donde se encuentran posicionados lo LEDs, fue considerado como una fuente de calor, mediante un flux de entrada estimando mediante la

resistencia a la corriente que ofrecen los LEDs, asignando un valor de 5 W por cada sección de LEDs, según la siguiente ecuación:

$$-n(-k\nabla T) = W_{LED} \quad (5)$$

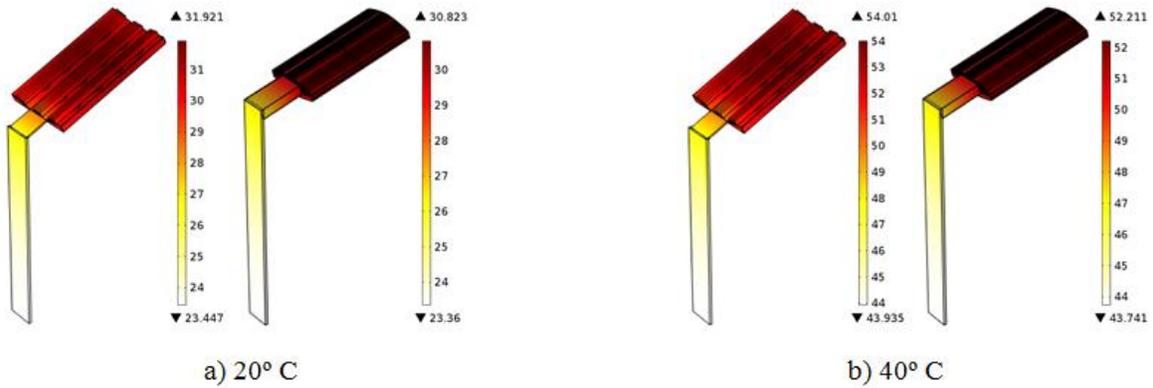
La ecuación (1) con sus condiciones frontera (2), (4) y (5), es resuelta en todo el dominio de la lámpara con su soporte metálico, mediante el método de elementos finitos, disponible en COMSOL Multiphysics 4.3. Esto empleando una malla fina compuesta de 35040 elementos tetraédricos. Como método de solución se estableció el uso de un resolvidor directo tipo PARDISO con una tolerancia relativa de $1 \cdot 10^{-4}$, obteniéndose tiempos de cómputo de aproximadamente 20 minutos, por corrida en estado estacionario. Toda las simulaciones fueron realizadas en un estación de trabajo DELL Inspiron 5057, con 8 GB de memoria RAM y un procesador Intel i7 con Windows 7 como sistema operativo.

En este estudio se consideraron las siguientes condiciones ambientales: 20° C, 25° C, 30° C, 35° C, 40° C, 0 Km·h⁻¹, 4 Km·h⁻¹, 5 Km·h⁻¹, 6 Km·h⁻¹, 7 Km·h⁻¹ y 8 Km·h⁻¹, las cuales son condiciones climáticas comunes en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México [6], para esto se efectuó un parrido paramétrico tomando todas las combinaciones posibles de estas condiciones, de las cuales 0 Km·h⁻¹ corresponde a condiciones de convección natural.

11.RESULTADOS

Como resultado de la solución del modelo computacional se ha obtenido una descripción de los perfiles de temperatura en todas las secciones de la lámpara, los cuales se presentan en la Figura 10.2 para los extremos de las condiciones ambientales planteadas, en ambos casos se distingue que existe un aumento de $\approx 10-11^{\circ}\text{C}$ respecto a la temperatura ambiente, en condiciones de convección natural y de 8 a 9°C a una velocidad del viento baja (4 Km·h⁻¹), sin embargo a corrientes de aire de mayor velocidad (8 Km·h⁻¹), el ΔT entre la temperatura ambiente y temperatura máxima del es de 6 a 7°C . También es posible identificar que la diseño B presenta una mejor distribución de temperatura y menor calentamiento en sección del circuito, presentándose temperaturas máximas 2°C menor respecto al diseño A.

Convección natural



Convección forzada

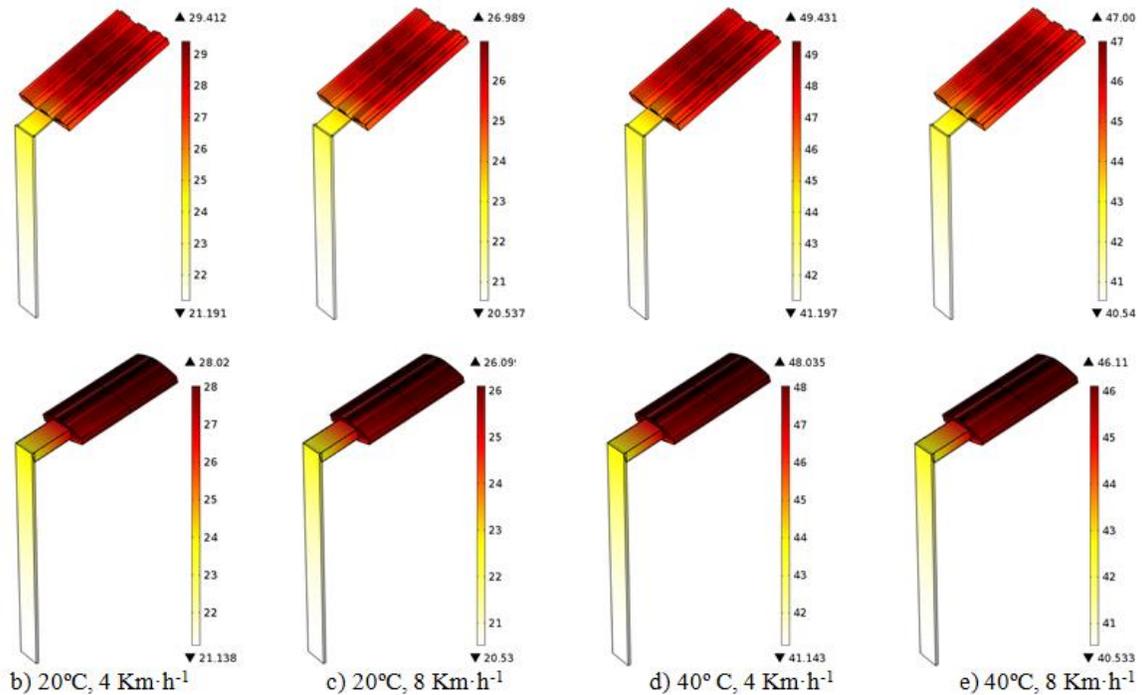


Figura 10.2 Perfil de temperatura obtenido para los diseños analizados.

Esto se debe al incremento en el área de intercambio por parte de este diseño, favoreciendo el proceso de enfriamiento por el mecanismo conductivo en lo largo de la lámpara y las aletas internas del sistema, las cuales contribuyen a mantener una mejor distribución de calor en el dispositivo.

El hecho de que el proceso conductivo sea el de mayor influencia en la remoción de calor en el sistema estudiado tiene relación en las excelentes propiedades térmicas del material de construcción de la lámpara, las cuales favorecen una adecuada transferencia de calor, a través de las aletas de enfriamiento hacia el medio ambiente.

En la Figura 4, se presenta la superficie de respuesta de las simulaciones realizadas para diseño B, en ella se distingue que el sistema de disipación de calor exhibe un comportamiento lineal ante el rango de condiciones ambientales estudiadas, en esta figura el comportamiento antes mencionado es apreciado de una mejor manera, mediante el trazo de esta superficie de respuesta fue posible la determinación de una correlación teórica para estimar la temperatura en la cercanía del circuito con mayor facilidad, estableciéndose la siguiente ecuación lineal:

$$T_C = 7.53 + 0.9609 \cdot T_{amb} - 0.3574 \cdot V \quad (6)$$

En donde T_C es la temperatura en la cercanía del circuito en $^{\circ}\text{C}$, T_{amb} es la temperatura ambiente en $^{\circ}\text{C}$ y V es la velocidad del viento en $\text{Km}\cdot\text{h}^{-1}$. Los parámetros de la ecuación (6) fueron ajustados a los datos del barrido paramétrico, mediante el método de mínimos cuadrados disponible en Mathematica 8, empleando el comando `FittedModel[-]`, con el cual se obtuvo con coeficiente de correlación (R^2) de 0.99985.

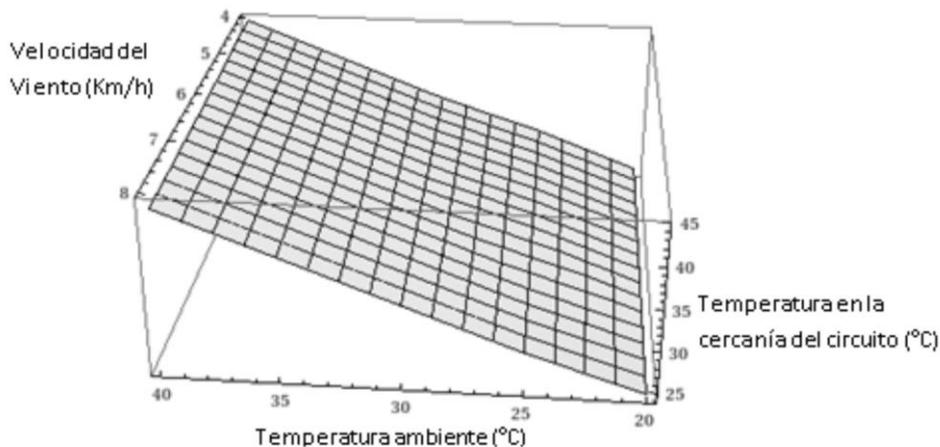


Figura 11.1. Superficie de respuesta de la temperatura del circuito en función de las condiciones ambientales, obtenida para el diseño B.

La obtención de esta correlación, nos permite estimar de una manera mucho más rápida las temperaturas alcanzadas en la cercanía del circuito y la respectiva evaluación del sistema a las condiciones que sean de interés.

12. CONCLUSIÓN

En este trabajo se realizó el análisis de transporte de calor por conducción y convección de una lámpara tipo LED evaluando dos diseños para su sistema de disipación de calor, los resultados muestran una dependencia lineal entre las condiciones ambientales y la temperatura final en la cercanía del circuito.

El diseño propuesto (B) presenta una mejor respecto al modelo conceptual (A) presentado por Uitz *et al.* [4] al incrementar el área de intercambio y mejorarla conducción con sus aletas internas empleando la misma cantidad de material de construcción.

Este tipo de análisis es gran ayuda en el diseño conceptual de los sistemas de enfriamiento como el presentado en este trabajo, siendo una herramienta rápida y de una buena precisión para evaluar previamente la eficiencia de cualquier diseño propuesto.

Se propuso el diseño de un disipador de calor para lámparas tipo LED. Para esto se definieron diversos lineamientos que deben tomarse en cuenta para posteriores diseños. Para el diseño propuesto se obtuvieron los perfiles de temperatura y flujo de calor.

El primer paso en la simulación del transporte de calor es desarrollar el mallado de la lámpara, en cada sección de la malla se cumple la ecuación 1.

La figura 11 muestra perfiles de temperatura, de donde se puede observar que la mayor disipación de calor está en las áreas cercanas a los paneles, además se presentan las isotermas, el flujo de calor es en dirección radial hacia afuera de los paneles de LEDs y los perfiles de temperatura en las aletas.

Referencias

1. Arik, M., Petroski, J. y S.Weaver "Thermal challenges in the future generation solid state lighting applications: light emitting diodes". ITherm 2002. *Eighth Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems*, 2002.
2. Chapman, R.C. "Thermal Analysis Software Picks Optimum Heat Sink Design", *IEEE*, pp. 37-42, 1997.
3. Fowler, K. "Heat Transfer and Cooling", *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 48-51, 2001.
4. Uitz-Toalá, C., Castañón-González, J.H., Torres-Robledo, W. y Rosales-Quintero A., "Diseño conceptual de un disipador de calor para una lámpara tipo LED", *Congreso Academia Journals*, Vol. 4, No. 2, 2012, 1465-1469.
5. Incropera, F.P. y D.P. DeWitt, "Fundamentos de Transferencia de Calor", Prentice Hall, 1996.
6. Servicio Meteorológico Nacional, Datos extremos. México, 2008.
7. Manivannan, S.; Prasanna, S.; Arumugam, R. & Sudharsan, N. M. (2010). Multi-objective optimization of flat plate heat sink. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 52, 739-749.
8. Lee, S. "Optimum Design and Selection of Heat Sinks", *Eleventh IEEE SEMI-THERM Symposium*, pag. 48-54, 1995
9. Rhee, J. y K. Azar, "Adjusting Temperatures for High Altitudes", *Electronics Cooling Magazine*, Vol. 5, No 3, 1999.
10. Steinberg, D.S. "Cooling Techniques for Electrical Equipment," Second Edition, John Wiley & Sons, 1991.
11. www.comsol.com