

## Caracterización de una lámpara LED

RAMÍREZ-GASCA, Humberto\*†, SALAZAR-VILLANUEVA, Fernando, GALLEGOS-ARELLANO, Eloisa y JURADO-PÁRAMO, Alejandro

*Universidad Tecnológica de Salamanca, Av. Universidad Tecnológica #200 Col. Ciudad Bajío, C.P. 36766, Salamanca, Gto*

Recibido Abril 13, 2017; Aceptado Junio 7, 2017

### Resumen

La presente investigación muestra el modelo matemático de una lámpara led, que opera con una señal PWM de la manera más fiable posible, considerando aspectos como las frecuencias típicas de uso y su funcionamiento en distintos ciclos de trabajo. Se consideran aspectos como el entorno donde se realizan las pruebas para tener más fiabilidad de las muestras, diseño y programación de la interfaz gráfica para la adquisición de datos a través del puerto serial, instrumentación necesaria para la modulación por ancho de pulso (PWM) y la aplicación de un dispositivo semiconductor CCR para suministrar la corriente constante a la lámpara LED. Esta lámpara tiene mejores resultados en sistemas de iluminación directa. Los coeficientes de variación cercanos a uno obtenidos de la ecuación de línea de tendencia de la graficas de ciclo de trabajo de la señal PWM vs Lux indican que la ecuación obtenida es considerada óptima para describir el comportamiento de la lámpara.

### Lámpara LED, PWM, iluminación

**Citación:** RAMÍREZ-GASCA, Humberto, SALAZAR-VILLANUEVA, Fernando, GALLEGOS-ARELLANO, Eloisa y JURADO-PÁRAMO, Alejandro. Caracterización de una lámpara LED. Revista de Investigación y Desarrollo 2017, 3-8: 35-40

### Abstract

The present research shows the mathematical model of a led lamp, it works with a PWM signal in the most reliable way possible; it was considered typical frequencies and their work with diferent duty cycles. They are considered aspect as the environment where the tests are performed to have more reliability of the samples, design and the programming of the graphical interface for the acquisition of data through the serial port, the instrumentation necessary for the pulse-width modulation (PWM) and the semiconductor device CCR to supply the constant current to the LED lamp. This lamp has better results in direct lighting systems. The coefficients of variation close to one are obtained from the trend line equation graphs of the duty cyle PWM signal versus Lux, they indicate us that it is considered optimal to describe the lamp behavior.

### LED lamp, PWM, Illuminance

\* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: hramirez@utsalamanca.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Actualmente la tecnología LED (*light-emitting diode, diodo emisor de luz*) está ocupando un gran número de aplicaciones, dentro de las más demandadas, es en el ramo de la iluminación residencial, industrial y pública. Esto debido a su extrema flexibilidad, controlabilidad y su capacidad de generar diversas atmósferas de iluminación (de acuerdo a la actividad a desarrollar).

El presente trabajo muestra el diseño y caracterización de una lámpara LED. Dicha investigación permite determinar una relación entre la cantidad de iluminación proporcionada por esta y el ciclo de trabajo de una señal PWM (*pulse-width modulation, modulación por ancho de pulso*) para regular este parámetro.

## Justificación

Actualmente el consumo de energía diaria en sistemas de iluminación es de suma importancia tanto en el aspecto económico como en el ambiental.

La tecnología LED ha cobrado mayor auge en el mercado ya que al no contener vidrio o filamento es resistente a altos impactos y vibraciones. En comparación con los focos de bajo consumo, los LED's ahorran hasta 3 veces más. Por lo cual los diodos LED's permiten un mayor ahorro, durabilidad y flexibilidad.

Aunque el diodo LED presenta menor consumo de energía comparación con otros sistemas de iluminación, aún es posible reducir el consumo de energía.

## Problema

El consumo de energía eléctrica por parte de los elementos generadores de luz artificial es máximo, debido a que no se aprovecha la luz natural durante el proceso en el cual el sol comienza a ocultarse.

La caracterización de luminarias a controlar es de suma importancia para conocer el comportamiento de estos cuando son sometidos a ciertas entradas de excitación.

## Hipótesis

La intensidad luminosa de una lámpara LED regulada a través de señal PWM varía de forma no lineal debido a las características propias del semiconductor.

## Objetivos

### Objetivo General

Identificar las características de respuesta de una lámpara LED por medio de la medición experimental de la iluminación.

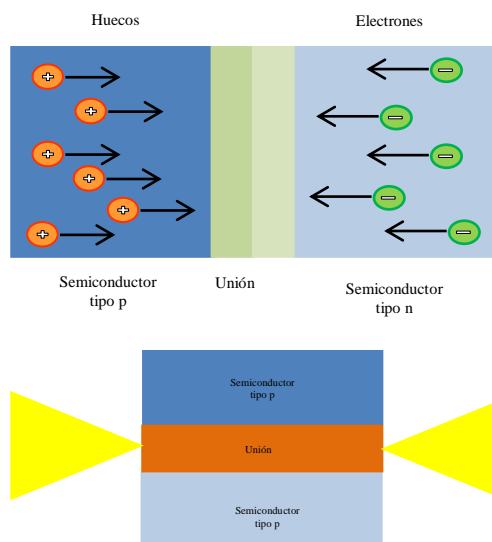
### Objetivos específicos

- Diseñar y elaborar una lámpara LED
- Instrumentar un sistema de regulación de intensidad luminosa a través de una señal PWM generada con un microcontrolador PIC (*Programmable Interrupt Controller*).
- Realizar una interfaz visual para la adquisición de los datos experimentales mediante LabVIEW.
- Realizar un modelo matemático que exprese el comportamiento de la luminosidad en función con el ciclo de trabajo de una señal PWM.

## Marco Teórico

Un LED (Light Emitting Diode) es un diodo que permite el flujo de corriente en una sola dirección. Está formado por dos materiales semiconductores llamados tipo "n" y "p". Estos semiconductores al ser sometidos a un voltaje y estar polarizados de forma directa permiten el paso de corriente mediante la recombinación de huecos y electrones.

Todos los diodos liberan fotones, pero solo algunos emiten luz. El material en un LED se selecciona de modo que la longitud de onda de los fotones liberados caiga dentro de la porción visible del espectro de luz. Diferentes materiales producen fotones a diferentes longitudes de onda, que aparecen como luz de diferentes colores. (*Kinetics, 2016*)



**Figura 1** Diodo emisor de luz

Fuente: Philips Color kinetics, 2016

Con el rápido desarrollo de la tecnología de los diodos emisores de luz en los últimos años, diversos LEDs han sido montados en paneles para obtener potencias capaces de proporcionar la iluminación necesaria en ciertos espacios. Es por eso que es importante considerar la distribución de los LEDs para conseguir una iluminación uniforme. (*Moreno Ivan, 2006*) muestra un análisis de la distribución de irradiancia de LEDs de 5mm, obteniendo un espaciamiento óptimo entre LEDs para diferentes configuraciones (matriz de dos LEDs, red circular, red circular con un LED en el centro, matriz lineal, matriz cuadrada y una matriz triangular) y de esta forma una iluminación uniforme en un plano paralelo a la superficie del arreglo.

Sin embargo (*Tan Jiajie, 2011*) muestra un novedoso algoritmo para mejorar el diseño de arreglo de LEDs de acuerdo a las necesidades de iluminación en una habitación, este permite calcular la cantidad de LEDs necesarios para las exigencias requeridas de acuerdo a las dimensiones del lugar.

Al desarrollar cualquier sistema es necesario tener un punto de comparación y de esta forma determinar las ventajas o desventajas de un con respecto al otro.

Es por ello que (*Gururaj S. Punekar, 2012*) realizan un estudio para determinar la configuración óptima de la distancia entre tres LEDs de 1W colocados en forma triangular de tal forma que permita generar una iluminación más uniforme en una región de 1 m de diámetro, visto desde el punto de vista de usuario final (luxes medidos) en comparación con una lámpara CFL de 5 Watts, mostrando un mejor desempeño con los LEDs.

Una de las formas de reducir el consumo eléctrico de luminarias es a través de la atenuación de estas. La forma de conseguir la atenuación de los LEDs es a través de dos métodos: atenuación analógica y por PWM. La atenuación analógica se consigue disminuyendo o incrementando el valor de la corriente que circula por el LED, mientras que a través de PWM el flujo de corriente es interrumpido a una frecuencia establecida por dicha modulación; ambas atenuación resultan en la modificación del brillo proporcionado por el semiconductor. (*A. Villamarín, 2012*) muestra que al realizar una variación en la corriente que circula por un LED de alta luminosidad (10 – 80 mA) la irradiancia relativa cae 0.07 de su valor normalizado al cabo de 3000 segundos para después mantenerse constante, la longitud de onda de la luz emitida se ve desplazada aproximadamente 3nm; sin embargo existe un rango en el cual se mantiene constante (50 mA – 80 mA).

El trabajo eléctrico (desplazar una carga eléctrica desde un potencial a otro) se manifiesta en forma de calor, dicho efecto es de gran importancia cuando se trabaja con LEDs de potencia debido a que estos reducen su tiempo de vida de manera exponencial debido al calor generado en la unión “pn” de los semiconductores extrínsecos (N. Narendran, 2005). (Teth Azrael Cortes Aguilar, 2016) realizan un prototipo que permite la regulación de temperatura de doce LEDs de 5W a través de una señal PWM como una alternativa de diseño viable respecto a otros sistemas de enfriamiento. Por otro lado (Anders, 2011) propone y valida para la caracterización de una luminaria LED a través de ecuación cuadrática, la cual permite relacionar la temperatura y corriente (atenuación analógica). (González Ventura José Arnulfo, 2016), realiza un sistema capaz de regular la luminosidad de los LEDs a través de una técnica de PWM, modulación por ancho de pulso sinusoidal, comúnmente utilizada en la industria por su baja distorsión armónica. (D. Rand, 2007) propone y valida el diseño de un circuito para regular la intensidad de los LEDs a través de controladores de potencia comerciales (control por ángulo de disparo del TRIAC)

### Metodología de Investigación

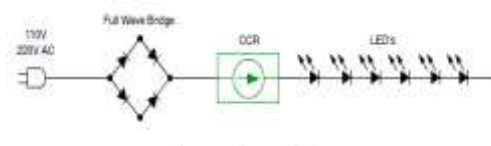
El desarrollo de la investigación se basa en tres aspectos principales:

1. Elaboración de la lámpara LED
2. Instrumentación del sistema de regulación de intensidad.
3. Sistema de adquisición de datos

### Lámpara LED

El diseño de la lámpara consta de 4 ramas de 35 leds de 5 mm cada una, con un consumo de corriente de 60 mA (15 mA por cada rama, por cuestiones de seguridad de acuerdo al fabricante).

Para mantener la corriente constante se utiliza el controlador del tipo CCR NSI45020AT1G, el cual nos permite trabajar directamente con la línea eléctricamente rectificada, como se muestra en la Figura 2 de su aplicación típica. Permiten la posibilidad de trabajarlos en paralelo cuando se requiera mayor corriente y la posibilidad de regularlos mediante señales PWM.



**Figura 2** Aplicación básica del CCR en AC

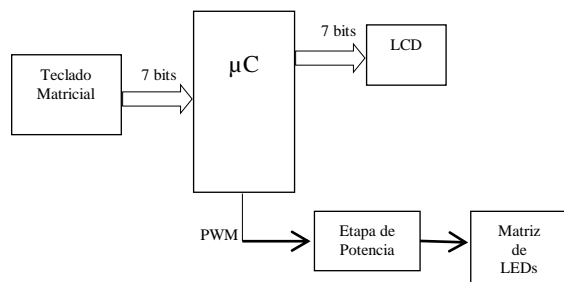
Fuente: Hoja de datos NSI45020AT1G

Debido a su coeficiente de temperatura negativo se determinó mediante pruebas que el CCR debía de operar entre valores arriba de 4.5V y menores de 15V, con lo cual se reducía su potencia de disipación y la corriente no se viera tan fluctuada con la temperatura que este obtenía.

### Instrumentación del sistema de regulación de intensidad

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, el ajuste de intensidad lumionosa de la lámpara LED se realizó a través de una señal PWM; esto con la finalidad de evitar la degradación de la vida útil de los mismos debido al calentamiento producido cuando es sometido a un aumento de corriente. La figura 3 muestra un diagrama a bloques del sistema implementado para tal efecto. La programación del PWM fue implementada en un microcontrolador PIC15F45K50 a través del módulo CCP (comparador, captura y PWM).

Las frecuencias de operación se seleccionaron en base a la hoja de datos del CCR, la cual menciona que las frecuencias típicas de operación en luminaria (100Hz - 100k-hz), sin embargo de 10Hz a 20kHz emite ruido audible, por lo que se decidió trabajar con frecuencias de 20kHz a 100kHz y ciclos de trabajo de 0 a 100%.



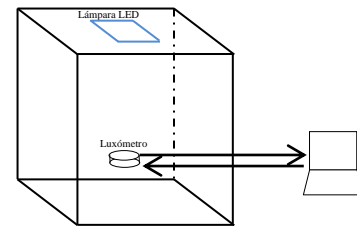
**Figura 3** Diagrama a bloques del sistema de regulación de intensidad

*Fuente: Elaboración propia*

En la etapa de potencia se utilizó un mosfet y un arreglo Tóte pole, el cual permite disminuir el tiempo de activación y desactivación del mosfet, aumentando el voltaje y la corriente en la puerta del gate lo que beneficia a pasar el voltaje de umbral de los mosfet con lo cual se asegura que no esté operando en la zona óhmica y que se genere el canal donde pueda circular la corriente con la que se requiere operar.

### Sistema de adquisición de datos

Las mediciones del nivel de iluminación (iluminancia) se realizó en una estructura de 70 x 70 cm y una altura de 2.3 mts con un soporte a 0.85 cm simulando un escritorio, esto con la finalidad de colocar el sensor (luxómetro digital Anaheim Scientific H100, Precisión de  $\pm 5\%$  y comunicación RS232 con la computadora) en el centro de la plataforma, ver Figura 4. La estructura fue forrada de color negro, se realizaron 100 mediciones de cada nivel de luminosidad a diferentes frecuencias de las señales PWM.



**Figura 4** Sistema de medición de luminosidad

*Fuente: Elaboración propia*

La adquisición de datos se realizó a través del software de lenguaje gráfico como lo es LabVIEW, los valores que se capturaron representan la luz a cierto ciclo de trabajo, para obtener la relación ciclo de trabajo-Illuminación, y conseguir la ecuación del sistema que determine la iluminación mediante la aplicación de cierto valor para el ciclo de trabajo.

### Resultados

De acuerdo a las Figuras 5 a 9 del Anexo 1 podemos observar el coeficiente de correlación de la ecuación de la línea de tendencia es cercano a uno, lo cual indica que la ecuación cuadrática es la que mejor describe el comportamiento en la curva ciclo de trabajo vs luxes.

Las ecuaciones representan la función al cambio de luz por cambio del ciclo de trabajo en frecuencias estables. Ya que la variación que existe en el cambio de frecuencia se ve afectada por la adición del 0.3% al 1.5% en el ciclo de trabajo que suministra el acoplamiento con el MOSFET (observación realizadas en el osciloscopio), su relación cambiaría a razón de otra ecuación aunque cabe la posibilidad que la adición del acoplamiento se disminuyera del ciclo para ajustar el valor, esto puede ser una optativa para generar un controlador más robusto y simple.

## Conclusiones

La investigación realizada proporcionó una ecuación matemática, que modela una lámpara LED que opera con una señal. La relación existente entre la cantidad de iluminación y el ciclo de trabajo de la señal PWM está determinada por una ecuación cuadrática siempre y cuando la frecuencia de operación sea fija.

Las ventajas de operar con una modulación de intensidad de forma digital (señales PWM) ayudan a la disipación de calor que los componentes proveen, como es el caso del CCR que mientras está operando con la señal de ancho de pulso a un ciclo no mayor del 90% este tiene una buena disipación, sin llegar a calentarse, lo que en su defecto si opera al 100% este llega a tener pérdidas de corriente por la temperatura del componente, lo que llega a afectar directamente en la iluminación de la lámpara y por consecuencia acorta la vida útil de los LEDs.

La lámpara LED diseñada es útil únicamente para sistemas de iluminación localizada, sin embargo es posible realizar un estudio para determinar el número de luminarias necesarias para cierta cantidad de luxes necesarios en una habitación, y la cual depende de la actividad a desarrollar según la Norma 025 STPS 2008 (Condiciones de iluminación en los centros de trabajo).

## Referencias

A. Villamarín, A. F. (2012). Distribución angular de la intensidad radiante espectral de LEDs blancos de alta luminosidad. *Óptica Pura y Aplicada*, 45(2), 131 – 136.

Anders, T. (2011). *Characterization, Modeling, and Optimization of Light Emitting Diode Systems*. Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark, Department Photonics Engineering, Copenhagen, Denmark.

D. Rand, B. L. (2007). Issues, Models and Solutions for Triac Modulated Phase Dimming of LED Lamps. *IEEE Power Electronics Specialist Conference*, 1398-1404.

González Ventura José Arnulfo, C. J. (2016). Instrumentación de un impulsor para lámpara de LED. Ingeniería. *Investigación y Tecnología*, XVII(4), pp. 445 – 452.

Gururaj S. Punekar, S. K. (2012). LEDs: A Study From Illuminance Perspective. *Journal of Electrical Engineering*.

Kinetics, P. C. (16 de 03 de 2016). *colorkinetics*. Recuperado el 24 de 06 de 2017, de <http://www.colorkinetics.com/Learn/What-is-an-LED/>

Moreno Ivan, A. A. (2006). Designing light-emitting diode arrays for uniform near-field irradiance. *Applied Optics*, 507 - 517.

N. Narendran, Y. G. (2005). Life of LED-based white light sources. *Journal of Display Technology*, 1(1), 167 - 171.

Tan Jiajie, Y. K. (2011). Analysis of uniform illumination system with imperfect Lambertian LEDs. *Optica Applicata*, 507 - 517.

Teth Azrael Cortes Aguilar, A. G. (2016). Prototipo de luminaria LED con regulación de temperatura por PWM. *Ingenierías*, 104 - 109.