

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN CON TECNOLOGÍA
LED CONTROLANDO SU INTENSIDAD LUMINOSA DE MANERA REMOTA**

**FABIÁN RICARDO HERRERA SILVA
KARIM LEONARDO CAMARGO RIVERA
LEONARDO BONILLA SUAREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2012**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN CON TECNOLOGÍA
LED CONTROLANDO SU INTENSIDAD LUMINOSA DE MANERA REMOTA**

**FABIÁN RICARDO HERRERA SILVA
KARIM LEONARDO CAMARGO RIVERA
LEONARDO BONILLA SUAREZ**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de ingeniero electrónico

Director:

Mpe. JAIME G. BARRERO P.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2012

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	15
II. CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED CONTROLADO	16
A. Fuente de alimentación	16
B. Micro-controlador	17
C. Sensores	17
Sensor de movimiento	17
Sensor de luz ambiente	18
D. Triac dimmer (ciclo de trabajo)	19
E. Driver	19
F. LEDs	20
G. Comunicación inalámbrica	21
H. Interfaz	21
III. DESARROLLO DEL TRABAJO	21
A. Selección luminaria	21
B. Selección LEDs	22
C. Distribución de los LEDs en la luminaria	23
D. Consumo y eficiencia	24
E. Control	24
IV. RESULTADOS	25
V. CONCLUSIONES	26
VI. RECOMENDACIONES	27
VII. BIBLIOGRAFIA	27
ANEXOS	28



LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características eléctricas de la fuente de alimentación	16
Tabla 2. LEDs preseleccionados y sus características	22
Tabla 3. Resultados de la medición de iluminancia de los LEDs seleccionados	22
Tabla 4. Parámetros de la luminaria	24
Tabla 5. Presupuesto del prototipo desarrollado	25
Tabla 6. Características de la luminaria encontrada en el mercado y el desarrollo del proyecto	26
Tabla 7. Comparación aproximada costo beneficio de las dos luminarias	26

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de bloques del sistema implementado	16
Figura 2. Esquema conversor AC-DC (Fuente Flyback).	16
Figura 3. Diagrama de flujo general de la programación	17
Figura 4. Zonas de detección del sensor de movimiento	17
Figura 5. Modo de operación del sensor de movimiento	18
Figura 6. Circuito de aplicación típico para el APDS-9005	18
Figura 7. Salida típica de tensión según la cantidad de iluminancia	18
Figura 8. Respuesta espectral del sensor normalizada	19
Figura 9. Controlador de fase básico “Dimmer Triac”	19
Figura 10. Onda de tensión ciclo útil completo y menor al 100%	19
Figura 11. Esquema de circuito para el LM3445	20
Figura 12. Esquema de un LED blanco y sección transversal de un chip LED	20
Figura 13. Protocolo de transmisión	21
Figura 14. Panel frontal de la interfaz de control	21
Figura 15. Luminaria modelo AL64 de Dinalux	22
Figura 16. Tarjeta de LEDs configurable	23
Figura 17. Posibles configuraciones para la cadena de LEDs	23
Figura 18. Configuración de los LEDs en la luminaria	23
Figura 19. Mapeo de niveles de Iluminancia de las luminarias	23
Figura 20. Mapeo de niveles de Iluminancia de las luminarias dispuestas en un espacio de 10 m lineales	24
Figura 21. Modelo No.: FKLED-01	25
Figura 22. Mapas de los niveles de iluminancia en el plano x-y	25



ANEXOS

Pág.

Anexo A. Medición de la iluminancia proporcionada por la luminaria “Danilux” modelo No.: AL64	28
Anexo B. Comportamiento en funcionamiento de tres distintas referencias de LEDs	28
Anexo C. Selección de la configuración de LEDs	29
Anexo D. Mapa de niveles de iluminancia de los dos modelos de luminarias en uno de los escenarios menos favorables	30

RESUMEN

TITULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN CON TECNOLOGÍA LED CONTROLANDO SU INTENSIDAD LUMINOSA DE MANERA REMOTA¹

AUTORES: Fabián Ricardo Herrera Silva, Leonardo Bonilla Suarez, Karim Leonardo Camargo Rivera²

PALABRAS CLAVES: Iluminación LED, Control inalámbrico de iluminación, Iluminación Eficiente

En el presente artículo se muestran los resultados de una investigación realizada por estudiantes de ingeniería electrónica pertenecientes al grupo CEMOS de la UIS, que presenta una alternativa más eficiente para la iluminación en las áreas generales de las edificaciones. Para esto, se muestra la implementación de un modelo de sistema de iluminación (Luminaria) con tecnología *LED*, con control de intensidad luminosa, que tiene como objetivo reemplazar una luminaria existente en el mercado, mejorando sus prestaciones.

Para lograr este resultado, se diseñó un sistema de iluminación que tiene la capacidad de auto-regular su intensidad luminosa, ya que cuenta con sensores de luz ambiente y de movimiento. Este sistema, es controlado desde un computador personal por medio de una interfaz desarrollada en *LabView*, desde donde se envía una señal de control de manera inalámbrica utilizando un módulo *Xbee* que va conectado al puerto *USB*; la cual es recibida por otro módulo *Xbee* ubicado en cada luminaria. Este último, entrega la información a un micro-controlador encargado de activar un circuito de disparo de un triac, el cual modifica el ciclo de trabajo de la onda senoidal obtenida de la red de alimentación eléctrica, que es lo que permite obtener distintos valores eficaces de onda que a su vez permite lograr los diferentes niveles de iluminación. Todo lo anterior con el fin de hacer un breve análisis que exponga la viabilidad de sustituir la tecnología de las lámparas fluorescentes y fluorescentes compactas (*CFL*) por *LEDs* de alto brillo (*HB-LEDs* por sus siglas en inglés).

¹Proyecto de grado desarrollado en la modalidad de investigación

²Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica Electrónica y telecomunicaciones
Director: Mpe. Jaime Guillermo Barrero Pérez

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A LIGHTING LED SYSTEM CONTROLLING ITS INTENSITY LIGHT OF WIRELESSLY¹

AUTHORS: Fabián Ricardo Herrera Silva, Leonardo Bonilla Suarez, Karim Leonardo Camargo Rivera²

KEYWORDS: LED Lighting, Wireless Control of Lighting, Efficient Lighting.

This article shows the results of an investigation conducted by Electrical Engineering students belonging to the CEMOS Research Group from UIS. The contribution is aimed at solving the problem of luminous efficiency of the general areas of the buildings, through the implementation of a lighting system model (luminaire) with HB-LEDs technology, with control of luminous intensity which aims at replacing an existing market of luminaire, equaling or improving its features.

To achieve this result, we designed a lighting system that has the ability to auto-regulate its luminous intensity as it has two sensors, one of ambient light and another of movement, as well as being able to be controlled from a personal computer through an interface developed in LabView that sends a wireless control signal using a Xbee module which is connected to the USB port. This signal is received by another Xbee module located in each luminaire, which gives information to a micro-controller that activates the triggering signal by a triac, which modifies the duty cycle of the sine wave obtained from the electric power network which allows to obtain different average wavelength values, that, in turn, create different levels of lighting. We look for making a brief analysis of the feasibility of replacing the compact fluorescent and fluorescent lamps (CFL) technology by high brightness LEDs or HB-LEDs for its acronym in English.

¹Degree's Project developed for investigation purposes

²Physical-Mechanical Faculty, Electric, Electronic and Telecommunications department,
Director: Mpe. Jaime Guillermo Barrero Pérez

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN CON TECNOLOGÍA LED CONTROLANDO SU INTENSIDAD LUMINOSA DE MANERA REMOTA

Fabián Ricardo Herrera, Karim Leonardo Camargo Rivera, Leonardo Bonilla Suarez **Estudiantes**

Director: Jaime Guillermo Barrero Pérez **Profesor Titular**

Escuela de Ingenierías eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Universidad Industrial de Santander

Febrero de 2012, Bucaramanga, Colombia

Resumen — En el presente artículo se muestran los resultados de una investigación realizada por estudiantes de ingeniería electrónica pertenecientes al grupo CEMOS de la UIS, que presenta una alternativa más eficiente para la iluminación en las áreas generales de las edificaciones. Para esto, se muestra la implementación de un modelo de sistema de iluminación (Luminaria) con tecnología LED, con control de intensidad luminosa, que tiene como objetivo reemplazar una luminaria existente en el mercado, mejorando sus prestaciones.

Para lograr este resultado, se diseñó un sistema de iluminación que tiene la capacidad de auto-regular su intensidad luminosa, ya que cuenta con sensores de luz ambiente y de movimiento. Este sistema, es controlado desde un computador personal por medio de una interfaz desarrollada en LabView, desde donde se envía una señal de control de manera inalámbrica utilizando un módulo Xbee que va conectado al puerto USB; la cual es recibida por otro módulo Xbee ubicado en cada luminaria. Este último, entrega la información a un micro-controlador encargado de activar un circuito de disparo de un triac, el cual modifica el ciclo de trabajo de la onda senoidal obtenida de la red de alimentación eléctrica, que es lo que permite obtener distintos valores eficaces de onda que a su vez permite lograr los diferentes niveles de iluminación. Todo lo anterior con el fin de hacer un breve análisis que exponga la viabilidad de sustituir la tecnología de las lámparas fluorescentes y fluorescentes compactas (CFL) por LEDs de alto brillo (HB-LEDs por sus siglas en inglés).

Palabras Claves – Iluminación LED, Control inalámbrico de iluminación, Iluminación Eficiente

Abstract — This article shows the results of an investigation conducted by Electrical Engineering students belonging to the CEMOS Research Group from UIS. The contribution is aimed at solving the problem of luminous efficiency of the general areas of the buildings, through the implementation of a lighting system model (luminaire) with HB-LEDs technology, with control of

luminous intensity which aims at replacing an existing market of luminaire, equaling or improving its features.

To achieve this result, we designed a lighting system that has the ability to auto-regulate its luminous intensity as it has two sensors, one of ambient light and another of movement, as well as being able to be controlled from a personal computer through an interface developed in LabView that sends a wireless control signal using a Xbee module which is connected to the USB port. This signal is received by another Xbee module located in each luminaire, which gives information to a micro-controller that activates the triggering signal by a triac, which modifies the duty cycle of the sine wave obtained from the electric power network which allows to obtain different average wavelength values, that, in turn, create different levels of lighting. We look for making a brief analysis of the feasibility of replacing the compact fluorescent and fluorescent lamps (CFL) technology by high brightness LEDs or HB-LEDs for its acronym in English.

Key words - LED lighting, Wireless Control of lighting, efficient lighting

I. INTRODUCCIÓN

En abril de 1879 Thomas Alva Edison abordó el problema de encontrar un material capaz de mantener una bombilla encendida largo tiempo para hacerla comercialmente exitosa. Encontrando la solución en el filamento de bambú carbonizado el cual fue reemplazado por el osmio metálico que duplicaba su eficiencia, luego el tántalo y por último el tungsteno con un alto punto de fusión; el cual consumía sólo una tercera parte de la energía requerida por la lámpara de carbón, para alcanzar la misma luminosidad haciéndola más eficiente y mejorando enormemente la estabilidad de este tipo de luminarias.

A partir de ese momento y hasta la fecha, los esfuerzos se han concentrado en crear otros tipos de luminarias, que con el desarrollo de diversas tecnologías han permitido obtener diferentes dispositivos que tienen mejores prestaciones en cuanto a eficiencia e iluminación, en busca de minimizar el

consumo energético. A sabiendas de que la iluminación artificial es imprescindible en hogares, lugares de trabajo, centros educativos, centros comerciales, centros de recreación, alumbrado público, entre otros; además su uso inadecuado genera un alto porcentaje del consumo de energía [1-2] y que éste puede ser reducido si se apropian tecnologías ya desarrolladas como lo son los Diodos Emisores de Luz o “LED” (light-emitting diodes por sus siglas en inglés).

Estos LEDs, son parte del diario vivir pues se encuentran en señales de tránsito, pantallas publicitarias, luces de prevención en los automóviles y ahora se está incursionando en su implementación en la iluminación en interiores y exteriores [3]; ya que actualmente se encuentran en el mercado Diodos Emisores de Luz de alta luminosidad (High Brightness (HB-LEDs), los cuales son mucho más eficientes que los tipos de lámparas utilizados en la actualidad [4]. Además de su versatilidad y aportes al embellecimiento arquitectónico, con estos junto a los sistemas de control se pueden obtener modelos que hagan una gran contribución con el uso racional de la energía –URE que a su vez sean comercialmente rentables.

Las necesidades de un proyecto de iluminación actual van desde mantener niveles adecuados de alto rendimiento visual y confort, hasta utilizar los recursos energéticos de manera más eficiente, haciendo uso de sistemas de fácil operación y control de la iluminación, que es una de las formas de ahorrar costos de energía y minimizar el impacto ecológico y ambiental; todo esto enmarcado dentro de costos razonables, que no solo deben incluir las inversiones iniciales sino también los gastos de explotación y mantenimiento.

El sistema de iluminación controlado, está formado por una etapa principal de control, la cual es alimentada desde una etapa de rectificación conectada a la red; ésta etapa de control interactúa directamente con los sensores, el módulo de comunicación inalámbrica (que a su vez envía y recibe información tanto del micro-controlador como de la interfaz de control realizada en el computador), y la etapa que modifica el ciclo de trabajo de la onda de la red de acuerdo a las señales de disparo que son enviadas desde el micro-controlador al triac. Por último, se implementó un “driver” de corriente, el cual se encarga de manejar la corriente que finalmente es entregada a los LEDs manteniéndola constante para cada nivel de iluminación, ver Figura 1.

II. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED CONTROLADO

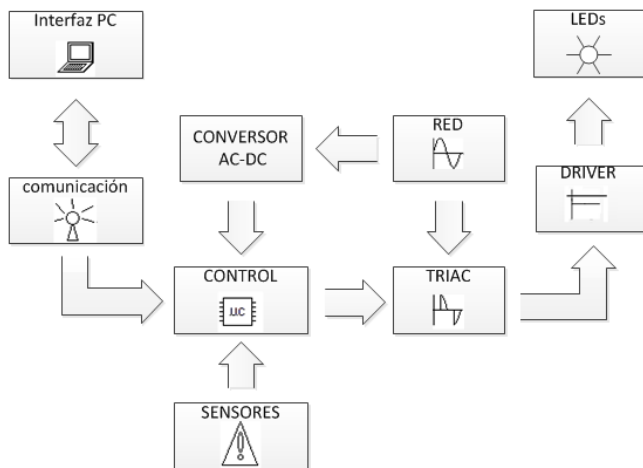


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema implementado.
Fuente: autores.

A. Fuente de alimentación

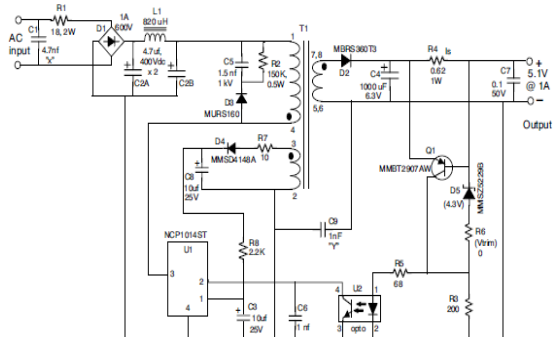


Figura 2. Esquema convertidor AC-DC (Fuente Flyback).
Fuente: TND329/D, © Semiconductor Components Industries, LLC, 2008

Para esta etapa se implementó el esquema convertidor AC-DC “Flyback” propuesto por ON Semiconductor (Ver Figura 2). La razón principal de su selección se debe a que está diseñado de tal manera que su consumo de energía en modo de espera (sin carga) es muy bajo, además de que proporciona limitación de picos de corriente en el suministro inicial de encendido, un simple pero efectivo filtro de red EMI por sus siglas en inglés (ElectroMagnetic Interference) y las características que se resumen a continuación en la Tabla 1 [5].

Parámetros	Valor
Entrada	90-270 Vac
Salida	5 Vdc ±2%, 1.0 A, 5W
Regulación de tensión	< 2% línea y carga combinados
Regulación de corriente	< 10% I _{IN} y carga combinados
Rizado	Menos de 100 mVp/p
Eficiencia media	Aprox. 63.5%
Potencia consumida en standby	< 300 mW
Temperatura de operación	0-50°C

Tabla 1. Características eléctricas de la fuente de alimentación.

B. Micro-controlador

Fuente: autores.

El micro-controlador usado para este sistema es el MC9S08QE96 de la familia HCS08 de Freescale, el micro-controlador está encargado de ejecutar los módulos KBI1(Key Board Interface) que detecta el cruce por cero y activa el RTC (*Modulo contador binario o decimal*) para generar un retardo de la activación del módulo TPM1 que genera una señal PWM (*Pulse-Width Modulation*) de 120 Hz sincronizada con la señal de 60 Hz de la red de alimentación y mediante la cual se varia el ciclo útil de la misma para de esta forma variar los niveles de iluminación emitidos por la luminaria.

El puerto PTD0 y el moduloTPM3 se encargan de gestionar el sensor de movimiento. La salida digital del sensor está conectada al puerto PTD0, el cual es consultado periódicamente: en caso de que el valor de éste sea cero, se reinicia la cuenta de tiempo del módulo TPM3; si esta cuenta no es reiniciada entonces TPM3 genera una interrupción la cual lleva a la luminaria a un nivel mínimo de iluminación (standby) establecido desde la interfaz de usuario y que llega al micro-controlador por medio de un módulo de comunicación serial SCI que comunica con el módulo inalámbrico.

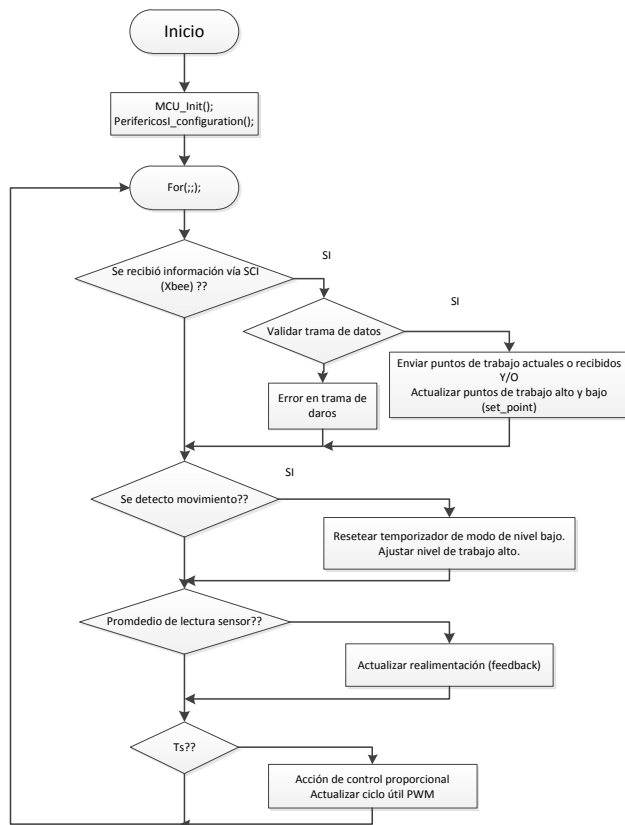


Figura 3. Diagrama de flujo general de la programación.

Por otro lado a través del módulo de conversión de datos (ADC) se obtiene la lectura del sensor de luz, el cual es el lazo de realimentación en el sistema de control. En la figura 3 se muestra el diagrama de flujo que describe el algoritmo usado para implementar la estrategia de control diseñada.

C. Sensores

Como se mencionó anteriormente, la luminaria cuenta con un par de sensores, uno de movimiento y otro de luz ambiente, elementos que pueden llegar a ser determinantes en la eficiencia del sistema. Las señales provenientes de estos sensores, van a la etapa de control para que allí se tome una decisión de acuerdo al valor presentado por cada una de ellas. A continuación se ilustra el funcionamiento de cada uno de los sensores.

1) Sensor de movimiento y/o presencia

El sensor de movimiento usado es un sensor de infrarrojos de tipo pasivo, para este caso el MP Motion Sensor 'N a P I O n' de PANASONIC fue seleccionado debido a que está diseñado para cubrir un área amplia de 10m con un ángulo de apertura de 110° en el eje X y 93° en el eje Y, además de sus 80 zonas de detección como se muestra en la Figura 4.

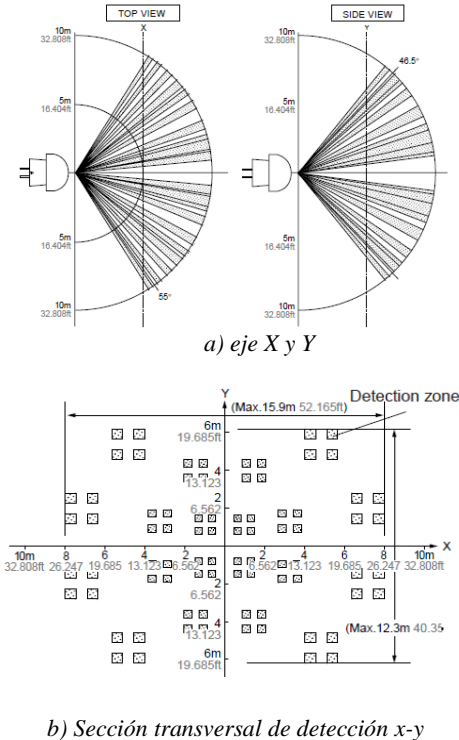


Figura 4. Zonas de detección del sensor de movimiento
 Fuente: Sensor de Movimiento AMN Design Manual

2) Sensor de nivel de luz ambiente

El sensor tiene un funcionamiento muy simple, el cual incorpora un comparador y un circuito amplificador; al detectar un nivel de energía infrarrojo, se produce un alto en la señal digital a la salida, este nivel de infrarrojo se produce por la diferencia de temperatura que se da entre la persona y el medio que lo rodea. Esta característica lo hace adecuado para la detección de humanos debido a que la presencia no es un acto que implique necesariamente movimientos extensos.

En general, desde el punto de vista de la capacidad de detección, la resistencia al ruido, las causas de detecciones falsas y la rentabilidad, el tipo infrarrojo pasivo es una de las formas más prácticas de detectar el cuerpo humano sin contacto.

Todos los objetos en la tierra emiten luz de acuerdo con su temperatura y características de la superficie. Naturalmente, la luz (radiación infrarroja) también es emitida a partir de los cuerpos de las personas (esta radiación es emitida desde la superficie del cuerpo y gira en torno a una longitud de onda de $10\mu\text{m}$). Estos sensores detectan el cuerpo humano mediante la detección del cambio en la radiación incidente infrarroja.

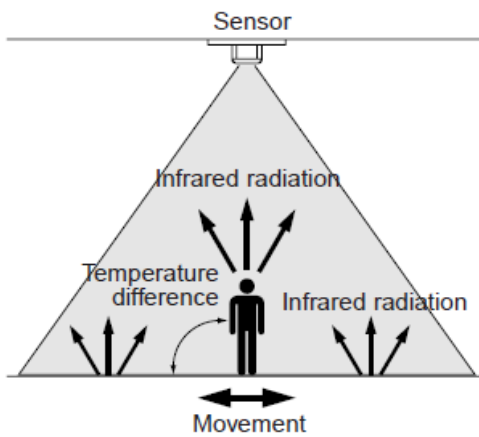


Figura 5. Modo de operación del sensor de movimiento
 Fuente: Sensor de Movimiento AMN Design Manual
 Panasonic

En otras palabras, el sensor se activa cuando una persona entra en el área de detección, por la diferencia de temperatura entre el cuerpo humano (que es una fuente de calor) y el piso, paredes y otros objetos que se encuentran a su alrededor (Ver Figura 5). [6]

Al hablar de sensores de luz se encuentran varios tipos entre ellos foto-resistencias los cuales presentan histéresis, lenta respuesta de alrededor de 100 ms, sensible a la Luz Infra-Rojo (IR), Visible (V) y Ultra Violeta (UV); otro tipo de estos son los foto transistores más sensibles y de respuesta más veloz que las fotos resistencias.

También están los foto-diodos categoría a la cual pertenece el APDS-9005, que es un foto-sensor de luz ambiente de bajo costo, con salida analógica o digital que se alimenta con una tensión entre 1,8 y 5,5 V, tiene una temperatura de trabajo recomendada entre -40°C y 85°C , baja sensibilidad a la variación de distintas fuentes de luz y curvas de trabajo con rangos lineales que dependen de la resistencia de carga que se asigne para modificar el rango en el que se desea trabajar (Ver Figura 7). Las características presentadas anteriormente se ajustan al sistema a implementar y su diagrama de conexión se muestra a continuación en la Figura 6. [7]

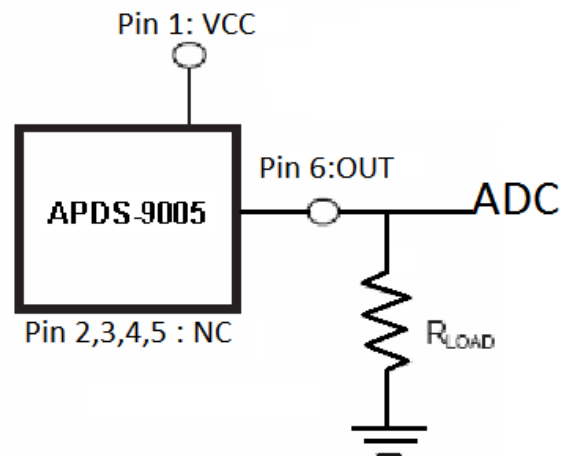


Figura 6. Circuito de aplicación típico para el APDS-9005
 Fuente: Datasheet APDS9005Avago Technologies

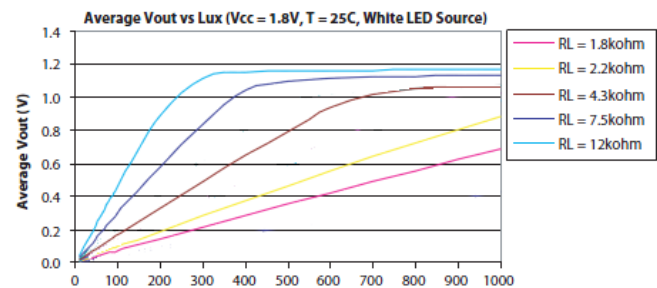


Figura 7. Salida típica de tensión según la cantidad de iluminancia detectada por el APDS-9005
 Fuente: Datasheet APDS9005Avago Technologies

La respuesta espectral del dispositivo se acerca al estándar de la visión fotópica, que dicho de otra manera es la percepción visual que se produce con niveles de iluminación diurnos, la cual posibilita la correcta interpretación del color por el ojo humano. Según la CIE (Comisión Internationale de L'Éclairage), como se muestra en la Figura 8.

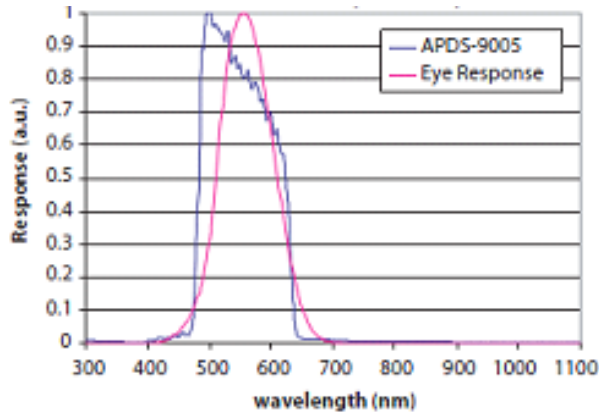


Figura 8. Respuesta espectral del sensor normalizada.
 Fuente: Datasheet APDS9005 Avago Technologies

D. Triac dimmer (Ciclo de trabajo)

El circuito básico de un *dimmer triac* convencional se muestra en la Figura 9, el cual se encarga de modificar el ángulo de disparo del *triac*, de acuerdo a la señal de control que es enviada al opto-acoplador y de allí al *triac*, lo que hace que el ancho de la onda de alimentación obtenida sea modificado siendo esta la forma de variar la potencia entregada a la carga.

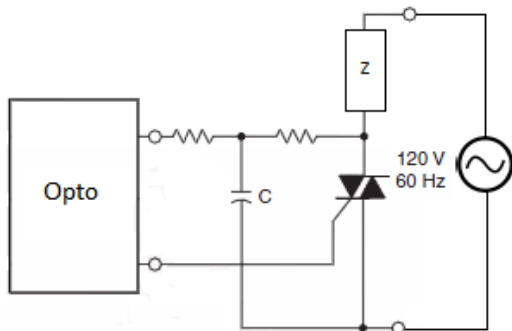


Figura 9. Controlador de fase básico "Dimmer Triac"
 Fuente: Hoja de datos LM3445 © 2010 National Semiconductor Corporation

De esta manera se reduce la potencia media entregada a la carga. Algunas formas de onda de tensión de un triac dimmer se muestran en la figura 10. La figura 10a, muestra la senoidal completa (tensión de entrada). Cuando se establece en el brillo completo, pocos dimmers se encuentran al 100% de tiempo de encendido, es decir, la senoide completa.

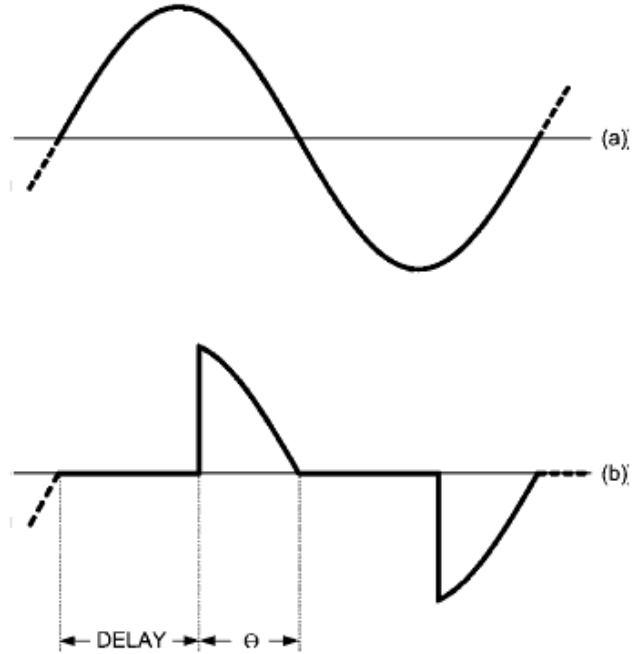


Figura 10. Onda de tensión ciclo útil completo y menor al 100%
 Fuente: Hoja de datos LM3445 © 2010 National Semiconductor Corporation

La Figura 10b muestra una forma de onda teórica de un dimmer. El tiempo de encendido se refiere a menudo como el "ángulo de conducción" y puede ser indicado en grados o radianes. El tiempo de apagado representa el retraso causado por el circuito RC de alimentación del triac. El tiempo de apagado se conoce como el "ángulo de disparo", y no es más que $180^\circ - \theta$.

E. Driver

El LM3445 contiene todos los circuitos necesarios para construir un *line powered* (alimentación principal) AC / DC tipo *buck* (reductor) es decir un controlador de corriente constante diseñado para ser compatible con "Dimmer" triac (Ver Figura 11). El LM3445 proporciona una corriente constante a los LEDs de alta potencia de iluminación e

incluye un *Dimmer triac*. El *Dimmer* permite una codificación del rango de 45° a 135° de la señal de alimentación para tener un rango de iluminación de 0 a 100% en la atenuación de *LEDs* utilizando *dimmers triac* convencionales.

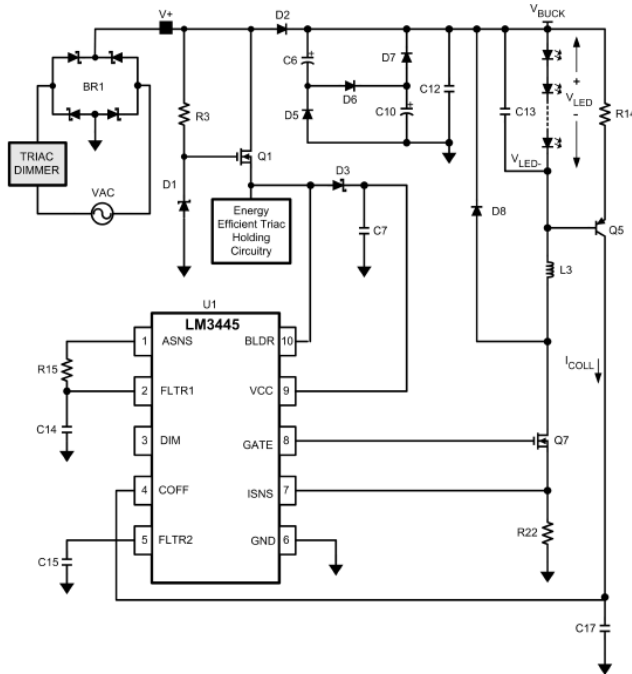


Figura 11. Esquema de circuito para el LM3445

Fuente: Hoja de datos LM3445 © 2010 National Semiconductor Corporation

El LM3445 incluye un circuito de almacenamiento para asegurar un funcionamiento adecuado del triac, permitiendo el flujo de corriente mientras que la tensión de línea es baja para permitir disparar de forma apropiada el triac. Un circuito PFC (Power factor Corrected) pasivo asegura un buen factor de potencia y proporciona una tensión positiva constante al regulador buck. Las características adicionales incluyen apagado térmico, limitación de corriente.

El LM3445 tiene un rango de entrada de 80 a 220 Vac y un manejo de corriente de hasta un 1A. La tarjeta desarrollada, está diseñada para manejar de seis a trece LEDs en serie conectados a 350 mA de corriente promedio. [8]

F. LEDs

Se dice que los HB-LEDs (Ver Figura12) están revolucionando la iluminación moderna debido a sus propiedades únicas, tales como: prolongada vida útil (alrededor de 50.000 horas que es más de 10 veces que las

lámparas CFL) [9], insensibilidad a los golpes, vibraciones o cambios bruscos de temperatura y resistencia a la constante conmutación. Esto significa una gran reducción de los costos, tiempo y esfuerzo para la sustitución de las bombillas. Además, están libres de mercurio por tanto son más amigables con el medio ambiente.

El LED es compacto y se puede instalar en las tarjetas de circuitos impresos (PCB). También, es fácil de controlar en comparación con las fuentes tradicionales. Por lo tanto, la aplicación práctica de la iluminación LED en el sector comercial y residencial es de gran interés tanto para la academia como para la misma industria. Pero lo más importante: los LEDs se encontrarán entre las fuentes de luz más eficientes en el futuro próximo. Hoy en día los LEDs son cinco veces más eficientes que las lámparas incandescentes; sin embargo, en el futuro se espera que los LEDs sean diez veces más eficientes en comparación con las bombillas incandescentes [10].

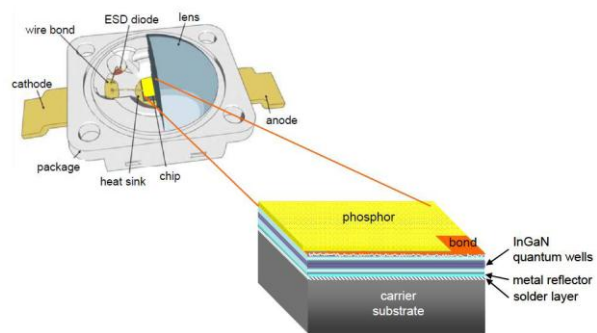


Figura 12. Esquema de un LED blanco y sección transversal de un chip LED

Fuente: Life Cycle Assessment of Illuminants A Comparison of Light Bulbs, Compact Fluorescent Lamps and LED Lamps

Con este cambio de tecnología enormes cantidades de energía se podrían ahorrar lo cual no sólo reducirá las emisiones de CO₂, sino también reducirá la factura energética de los consumidores. El Grupo Ad-hoc del conjunto Asesor de TIC para la eficiencia energética indica que teóricamente 50% de la energía eléctrica se podría ahorrar cada año en un futuro próximo con el cambio a la iluminación LED. Todo lo anterior con el fin de una nueva lámpara etiquetada como tecnología verde, Sin embargo, no basta con considerar el consumo de energía en uso, también, se debe tener en cuenta que el ciclo de vida completo cubra los gastos de inversión, la energía necesaria durante la fabricación, transporte y uso, así como el final de su vida necesita ser analizado [11].

G. Comunicación inalámbrica

La conectividad inalámbrica para este proyecto se hizo por medio de los módulos Xbee serie 2, los cuales están basados en el *chipset de Ember* y están diseñados para ser utilizados en aplicaciones que requieren repetidores o una red mesh; además pueden ser usados a manera de transmisores y/o receptores en un rango de 30 metros en interiores con obstáculos y hasta 100 metros con línea de vista [12].

Dichos módulos se encargan de recibir y enviar de manera serial los datos con una velocidad de transmisión de 9600 (*Baudios*) tanto al micro-controlador como al PC con un simple protocolo de comunicación que se explica a continuación en la Figura 13.

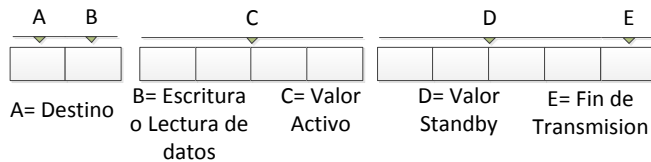


Figura 13. Protocolo de transmisión.
 Fuente: Autores

Para la elección del módulo XBee correcto se debe tener en cuenta seleccionar el tipo de antena (chip, alambre o conector SMA) y la potencia de transmisión (2mW para 100 m o 60mW para hasta 1km en línea de vista directa) que son los principales parámetros de selección.

H. Interfaz

La interfaz realizada tiene como objetivo principal dar accesibilidad para modificar de manera inalámbrica los parámetros que controlan la intensidad luminosa de la luminaria en sus dos estados (activa y “standby”), ésta modificación es realizada por medio del ajuste de dos perillas (una para cada estado), también el usuario puede conocer el punto de trabajo actual ya que el micro-controlador envía dicha información y la permite visualizar con solo pulsar uno de los botones virtuales de la interfaz; además los cambios de intensidad luminosa realizados se pueden visualizar por medio de una imagen de la luminaria que modifica su intensidad con la intención de emular los cambios realizados en ella (Ver Figura 14).



Figura 14. Panel frontal de la interfaz de control.
 Fuente: Autores

La interfaz es desarrollada en LabView, apropiado para su realización por su versatilidad, manejo de un entorno de programación gráfico similar a un diagrama de flujo lo que hace que sea muy amigable con el usuario y puede entregar un archivo para ejecutarse en cualquier computador que cumpla con algunas mínimas especificaciones.

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

A continuación se exponen algunos pasos que se llevaron a cabo en el desarrollo de la investigación que van desde la selección de los HB-LEDs hasta la descripción del funcionamiento del control que se implementó a la luminaria

A. Selección Luminaria

Como primera medida para el desarrollo de este proyecto se procedió a seleccionar una luminaria existente en el mercado la cual se reemplazaría con la tecnología LED, teniendo en cuenta que esta debía cumplir con ciertas características como iluminancia, índice de radiación cromática (CRI), temperatura del color, de acuerdo a lo especificado para las áreas comunes en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), además de estos parámetros otra característica esencial era la carcasa de dicha luminaria, ya que se hacía necesario que fuese de un material tal que a su vez sirviese de disipador para los LEDs.



Figura 15. Luminaria modelo AL64 de Dinalux
 Fuente: Autores

En este proceso se seleccionó el modelo No.: AL64 de Dinalux que se muestra en la Figura 15, con alimentación 120V a 60Hz y consumo de 40W hecho por dos lámparas fluorescentes compactas (CFL) de 20W que juntos entregan una iluminancia de 78 luxes según el experimento en el anexo A valor que cumplía con el nivel típico de iluminancia aceptados para áreas comunes según el RETIE.

B. Selección LEDs

Los parámetros que se tuvieron en cuenta para la selección de los LEDs fueron: temperatura de color mayor a 5000 K (*Kelvin*), la cual es considerada fría para una iluminancia menor o igual a 500 luxes, IRC (Índice de Radiación Cromática) menor o igual a 80, ángulo de visión entre 110° y 170°, flujo luminoso, estabilidad con respecto a temperatura y eficiencia óptica. Teniendo en cuenta esto se preseleccionaron 16 distintas referencias que se presentan en la Tabla 9 del Anexo B y de esta pre-selección se seleccionaron las referencias que se presentan en la Tabla 2.

Referencia	I de Prueba (mA)	V típico (V)	IRC
1. OVSPW1BCR4	350	3.5	80
2. LUWW5AM-LXLY-6P7R-Z	350	3.2	80
3. MCE4WT-A2-0000-000K01	700	3.2	80

Flujo Luminoso (lm)	Temperatura Del color (K)	Angulo De visión (°)	Precio USD
90	6300	120	3.52
131	6500	170	9.32-6.83
370	7500	110	19.35-14.30

Tabla 2. LEDs preseleccionados y sus características.

Con estos LEDs se realizó un experimento que tenía como objetivo observar cómo se comportan a través del tiempo y con respecto a la temperatura, además de la cantidad de luxes emitidos a cierta distancia y los resultados de este experimento se resumen en la Tabla 3, se observó que la referencia OVSPW1BCR4 es la que menos aporta iluminancia, a diferencia del MCE4WT-A2-0000-000K01 que es el que presenta mayor nivel de iluminación, pero el problema presentado por este radica en que su nivel de iluminación es variante en el tiempo ya que a los pocos segundos de ser encendido pasa de 294 a 118 luxes a pesar de que cuenta con un disipador al igual que los demás, lo que lleva a concluir que es muy sensible a la temperatura, además de su alto costo y consumo energético.

Por lo que se señaló que el LED apropiado para usar en el desarrollo de este proyecto es el LUWW5AM-LXLY-6P7R-Z ya que su nivel de iluminancia es adecuado y estable a través del tiempo, lo que demuestra que no es tan sensible a la temperatura.

Ya seleccionado el LED con el cual se deseaba trabajar, se procedió a encontrar la configuración de LEDs que proporcionen la cantidad de iluminancia equivalente a la luminaria a reemplazar; teniendo como limitación la forma de la luminaria.

Referencia	I de Prueba (mA)	V típico (V)	Iluminancia (Luxes)
1. OVSPW1BCR4	351	3.14	30
2. LUWW5AM-LXLY-6P7R-Z	350	3.1	48
3. MCE4WT-A2-0000-000K01	1405	2.7	294-118

Tabla 3. Resultados de la medición de iluminancia de los LEDs seleccionados.

Para lograr esto, se diseñó una tarjeta impresa en la cual se dispusieron 12 LEDs de tal forma que con solo modificar la posición de algunos *switch* está permitiera tener distintas configuraciones serie-paralelo con distinta cantidad de LEDs como se muestra a continuación en la Figura 16.

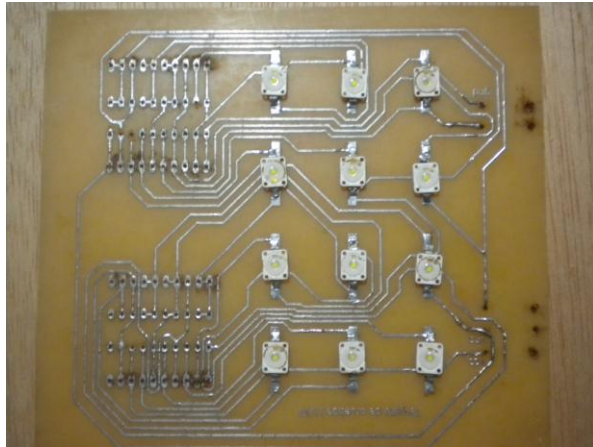


Figura 16. Tarjeta de LEDs configurable.
 Fuente: Autores

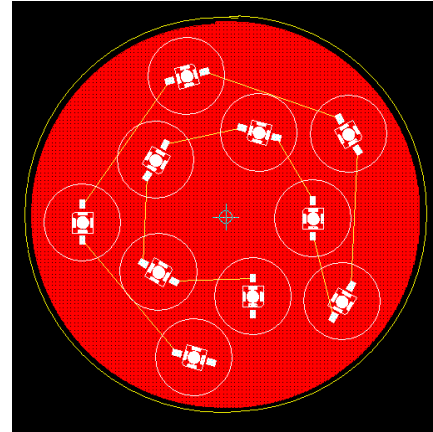


Figura 18. Configuración de los LEDs en la luminaria
 Fuente: Autores

Luego de experimentar las distintas configuraciones y de observar que los niveles de iluminación aportados por cada LED se suman linealmente, se concluyó que es necesario usar 10 LEDs en serie para obtener un valor de iluminancia que cumpla con lo establecido en el RETIE para el nivel típico de iluminancia aceptado para áreas generales en las construcciones, como lo son las áreas de circulación y corredores; Luego se procedió a conseguir la distribución de los LEDs dentro de la luminaria y determinar si la cantidad de iluminancia cambia de acuerdo a la misma.

Luego de tener la configuración de los LEDs se realizó un mapeo de los niveles de iluminancia tanto de la luminaria original como la del prototipo a una altura de 2,5m y una corriente de 350 mA observando que la distribución era similar pero que no se obtenía homogeneidad en el frente de luz para el caso de los LEDs, ya que se presentaban figuras en la superficie a iluminar debido a que son fuentes de luz puntuales y la superposición de ellas era más intensa en algunos sitios de acuerdo a la colocación de los LEDs.

C. Distribución de los LEDs en la luminaria

Para determinar dicha distribución se midió el nivel de iluminación con el luxómetro Foot Candle/Lux meter de EXTECH INSTRUMENTS en el rango de 0-2000 Luxes de las 4 distintas configuraciones de 10 LEDs 3 mm de alto brillo dispuestos de la manera más simétrica posible sobre áreas iguales como se ve en la Figura 17, llegando a la conclusión que el nivel de iluminación es independiente de la configuración de los LEDs siempre y cuando estén dispuestos simétricamente en áreas iguales, de allí se optó por la cuarta configuración de izquierda a derecha y que se puede apreciar mejor en la Figura 18.

Se hizo necesario un dispositivo que concentrara aún más la luz y a su vez la suavizara para hacerla así más homogénea, por lo que se decidió usar unos lentes que están diseñados especialmente para la línea Dragón Plus de la cual hace parte la referencia que se seleccionó; con este nuevo dispositivo en el sistema se obtuvo lo pretendido a costa de reducción en el ángulo de apertura de la lámpara como se observa en la Figura 19.



Figura 17. Posibles configuraciones para la cadena de LEDs
 Fuente: Autores

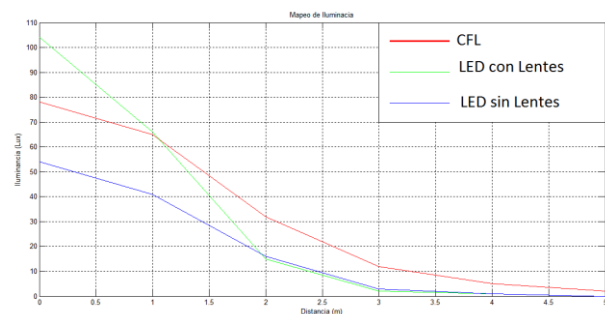
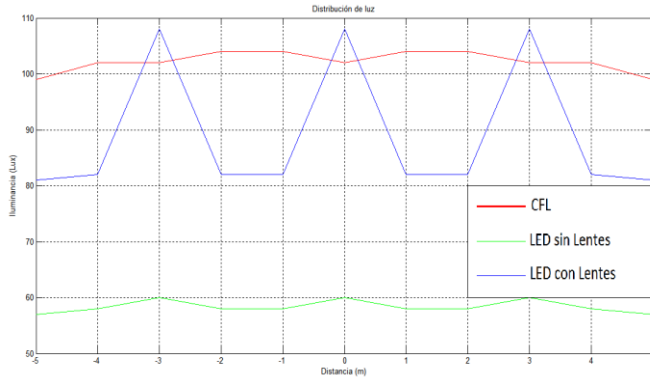
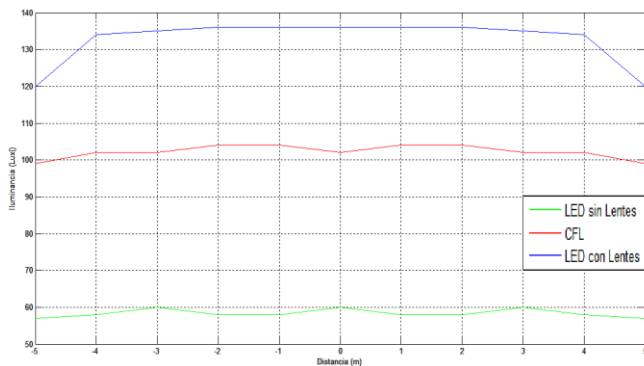


Figura 19. Mapeo de niveles de Iluminancia de las luminarias
 Fuente: Autores

Basados en la gráfica de los niveles de iluminancia se simuló un escenario donde se distribuyen las luminarias cada 3m a lo largo de 10 m. La Figura 20 muestra la distribución de la intensidad luminosa en dicho escenario; donde se puede observar la desventaja que presenta el prototipo (con lentes) que se manifiesta por no generar un nivel de iluminación totalmente homogéneo el cual presenta picos de intensidad donde están situadas las luminarias a diferencia del modelo original y el del prototipo sin lentes.



a. Dispuestas cada 3 metros



b. Con una luminaria FKLED de más.

Figura 20. Mapeo de niveles de Iluminancia de las luminarias dispuestas en un espacio de 10 m lineales
Fuente: Autores

Esta no homogeneidad podría ser solucionada introduciendo una luminaria más a dicho escenario donde se obtendría además de un nivel homogéneo una iluminancia mayor que el de la luminaria original (CFL) como se muestra en la Figura 20 b.

D. Consumo y eficiencia

Se determinó el consumo de la luminaria de dos maneras, la primera fue tomar la medida de la tensión y corriente de entrada para luego realizar el cálculo de la potencia consumida y luego se revalidó haciendo la medición con un vatímetro; de la misma manera otro de los parámetros de gran interés es la eficiencia el cual se obtuvo del cálculo del cociente de la potencia de entrada (P_{IN}) y la potencia de salida P_O (consumida por los LEDs). Los resultados son mostrados en la Tabla 4.

Parámetros	Modo	Modo
	Activo	Standby
Corriente de Entrada AC	120 mA	50 mA
Tensión de la RED	116.2 V	116.5 V
Potencia calculada	13,9 W	5.8 W
Potencia medida (Wattmetro)	12 W	7 W
Potencia consumida por los LEDs	11.4 W	4.2 W
Iluminancia	104 Luxes	51 Luxes
Eficiencia eléctrica	95%	67.4%
Distorsión Armónica (Corriente) THD	12,82%	13,76%
Índice de reproducción Cromático IRC	80	80
Ángulo de Apertura	116°	116°
Temperatura del color	6500 K	6500 K
Vida Útil	50 000 h	50 000 h

Tabla 4. Parametros de la luminaria.

E. Control

El control realizado permite que la luminaria se apague o mantenga un aporte de iluminancia muy bajo si el sensor percibe la cantidad de luz ambiente suficiente para cumplir con el valor asignado en la zona de instalación de la luminaria según el requerimiento del usuario, el nivel de iluminancia es incrementado a medida que la luz ambiente se disminuye hasta llegar al valor que fue asignado por el usuario; este valor asignado puede ser modificado de manera inalámbrica por medio de la interfaz anteriormente mencionada y toma valores desde 0 a 100 luxes medidos al piso con la luminaria a una altura de 2,5m.

IV. RESULTADOS

Como producto final se tiene un prototipo de una luminaria (Ver Figura 21) con un consumo de 12 W, con una intensidad luminosa a 2,5m de altura de 104 luxes en modo activo y de 51 luxes en modo de *standby* en un escenario de total ausencia de luz como el descrito en el anexo A, un IRC menor o igual a 80, un ángulo aproximado de 116° y temperatura de color de 6500 K.

El costo de este prototipo fue de aproximadamente 560 000 pesos colombianos el cual se puede observar de una manera más detallada en la Tabla 5; por alto que este parezca se debe tener en cuenta que se trata de un prototipo y que disminuiría considerablemente su costo si este es fabricado de forma masiva.

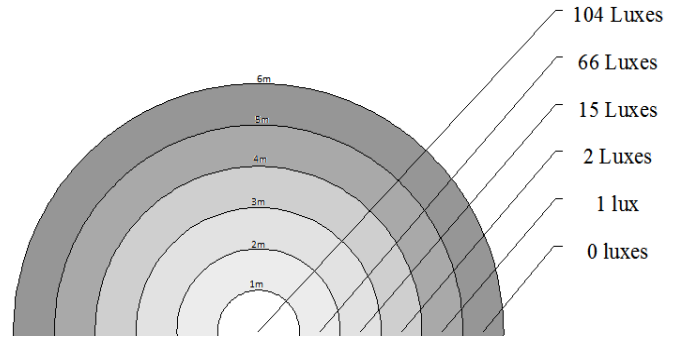


Figura 21. Modelo No.: FKLED-01
 Fuente: Autores

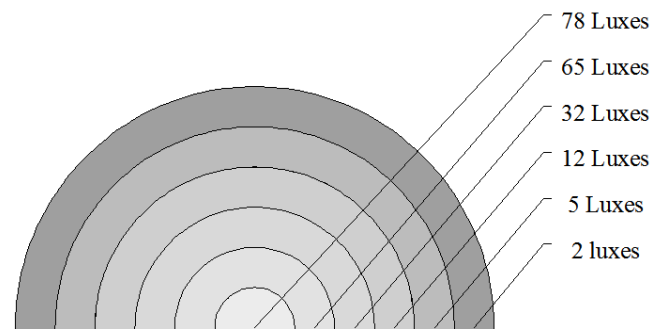
Etapas	Costo en Pesos
Carcasa	45000
PCB general	70000
LEDs	217183,235
Fuente	10237,772
Control	9186,48
C.Potencia	6335,02
LM 3445	23044,525
Sensor de Luz	4742,18
Sensor Movimiento	32769,295
Xbee	140239
TOTAL	558737,507

Tabla 5. Presupuesto Utilizado en el prototipo desarrollado.

Además de las características descritas anteriormente, en los gráficos de La Figura 22 se puede observar una comparación de los mapas de los niveles de iluminancia con pasos de un metro (1m) presentados por cada una de las luminarias tanto el prototipo como la luminaria a reemplazar respectivamente.



a) FKLED



b) No.: AL64

Figura 22. Mapas de los niveles de iluminancia en el plano x-y presentados por cada una de las luminarias
 Fuente: Autores

También es de resaltar que a pesar de que el rango de detección del sensor de movimiento es el que se muestra en La Figura 4b) este queda restringido a una apertura aproximada de 7 m en el eje X y a 5 m en el eje Y debido a la altura de 2,5 m a la cual fueron realizadas las pruebas para la caracterización de la luminaria desarrollada

Para puntualizar los resultados del sistema se pensó en un escenario como el edificio del CENTIC de la Universidad Industrial de Santander (*Centro de Tecnología de Información y Comunicación*) en el que se plantea un escenario similar a la de una edificación de oficinas donde se proyecta un intervalo de uso de la iluminación de 6:00 a.m. a 9:00 p.m. que da un tiempo de trabajo de 15 horas diarias;

donde se hace una comparación y/o valoración que se limita a temas como intensidad luminosa vs energía consumida y una estimación del posible ahorro energético y de dinero que se podría tener a lo largo del tiempo si se reemplaza, la luminaria escogida en el mercado cuyo modelo es No.: AL64 de Dinalux con la luminaria desarrollada en esta investigación; A continuación se exponen las características de ambas luminarias en la Tabla 6, donde no se tuvo en cuenta la parte de control en el costo del prototipo ya que no se cuenta con un estimado del ahorro aportado por dicha etapa.

Características	No.: AL64	FKLED Modo Activo
Costo	\$60 000	\$ 300 000
Consumo	40 W	12 W
Vida Útil	8 000 h	50 000 h
Eficiencia	--	95%
Iluminancia	78 Lux	104 Lux

Tabla 6. Características de la luminaria encontrada en el mercado y el desarrollo del proyecto.

Con las características expuestas en la tabla anterior y el escenario planteado en el que las dos luminarias deberían trabajar en estas condiciones durante 48 000 horas con una tarifa energética para el sector residencial de \$ 400,73 y 480,876 para el sector comercial, se procedió a realizar un estimado de consumo energético y del costo que este puede llegar a generar tanto en el sector residencial como el comercial obteniendo como resultado los expuesto en la siguiente tabla.

Características	Fabricación Masiva No.: AL64	Fabricación Unitaria FKLED
Costo Inicial	\$60 000	\$ 300 000
Consumo	40 W	12 W
Vida Útil	8 000 h	50 000 h
Valor Repuesto	5*\$15 000	--
Consumo en 48000 horas	1,92 MW	576kW
Costo Energético	\$ 769 401,60	\$ 230 820,48
Costo Total	\$ 904 401,60	\$ 530 820,48

Tabla 7. Comparación aproximada costo beneficio de las dos luminarias.

De los resultados obtenidos se puede observar un ahorro energético de 1,344 MW que equivale a un 70% y que representa en dinero para el usuario en el sector residencial \$ 538 581,60 y en el sector comercial \$ 646 984,58 de ahorro si reemplaza una luminaria como la No.: AL64 por el prototipo FKLED-01, dicho ahorro se ve desvirtuado debido

al costo del prototipo el cual tiene un tiempo estimado recuperación de la inversión de 14036 y 11697 horas respectivamente, obteniendo como ahorro neto \$ 373 581,12 en el sector residencial y \$ 481 297,34 en el sector comercial en el escenario de las 48000 horas.

V. CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones a las que se llegaron luego del desarrollo de la investigación.

- Es posible obtener una mayor eficiencia ya que se pasó de un consumo de 40W a 12W obteniendo condiciones similares de iluminación con solo cambiar a la tecnología LED, se espera que dicha eficiencia aumente teniendo en cuenta que es una tecnología que aún está en proceso de desarrollo.
- Debido al bajo consumo del prototipo el ahorro energético es relevante en comparación con el modelo No.: AL64, ya que es de alrededor del 70% a través su vida útil, lo que sugiere su fabricación en masa para lograr reducir considerablemente el costo de producción y así obtener un ahorro monetario más significativo.
- Una falencia que se observó en los LEDs seleccionados para este proyecto es la no homogeneidad del frente de luz que emite debido a que son varias fuentes de luz puntuales las que lo hacen, forzando a usar dispositivos como lentes que tienen como inconveniente la focalización de la luz (ver figuras 19 y 20).
- La carcasa de la luminaria a pesar de que fue un acierto como solución a la disipación de calor de los LEDs fue también una limitante en cuanto a su forma, por lo que se plantea que para futuros proyectos se tengan en cuenta otro tipo de configuración de los LEDs análogas a las lámparas tubulares como las T8 entre otras ya que son configuración que tradicionalmente a funcionado.
- El cambio gradual del nivel de iluminancia realizado por la luminaria el cual es inversamente proporcional al aporte por parte de la luz natural junto con la detección de presencia, representan un ahorro en el consumo energético, donde determinar dicho valor depende de las condiciones ambientales, ubicación, arquitectura y frecuencia de ocupación de la edificación entre otras variables; por lo tanto dar un valor estimado no está dentro de los alcances de esta investigación, pero que extrapolándolo a las 50000 horas de vida útil de la luminaria se entrevé que resultaría ser un ahorro energético considerable.

VI. RECOMENDACIONES

Con el fin de dar continuidad a la investigación se sugieren que se tengan en cuenta las siguientes recomendaciones para quien desee seguir trabajando en ella.

- Revisar la eficiencia lumínica si se disponen los LEDs en una línea recta emulando un tubo fluorescente ya que son los comúnmente usados para el alumbrado de áreas generales de las edificaciones.
- Realizar una RED de comunicación de tal manera que sea posible controlar todas las lámparas de un edificio desde un solo puesto de control o a través de internet; entre ellas se sugiere la red Mesh.
- Cambiar la referencia del micro-controlador por el MC13213 o con similares características, el cual tiene integrada la etapa de radio frecuencia, lo que se cree minimizaría los costos debido a que se prescindirían de los módulos Xbee.
- Agregar los dispositivos necesarios para que la luminaria tenga las características de alumbrado de emergencia enumeradas en la sección 470.2.5 del RETILAP, como lo es: el cálculo de batería y su respectivo sistema de conmutación, valor de iluminancia, tiempo de encendido entre otros.
- Implementar un horario semanal o reloj digital en el micro-controlador de tal manera que sea esta otra opción de control con relación al horario de ocupación de los lugares que se instale la luminaria.
- Diseñar un sistema de control que mantenga constante el nivel de iluminación independiente mente de las condiciones de luz ambiente y de la altura a la cual se instale la luminaria.
- Modificar la arquitectura y/o el *Driver* de corriente de tal manera que sea aislada eléctricamente de la RED, lo cual permite proteger los LEDs.
- Dar a conocer las especificaciones necesarias para que la luminaria pase de un prototipo a un producto comercial.

VII. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] International Energy Agency, Light's Labour's Lost – Policies for Energy-Efficient Lighting, OECD/IEA, Paris, 01 Oct 2009 <http://www.iea.org/textbase/npsum/lll.pdf>

- [2] Yao-Jung Wen*, Alice M. Agogino// “Personalized dynamic design of networked lighting for energy-efficiency in open-plan offices”, Energy and Buildings// ELSEVIER, 26 de marzo de 2011, G Model ENB-3172.
- [3] Torraca, la primera ciudad con alumbrado público totalmente LED, Iluminet [revista de iluminación en línea]// Disponible en internet : <http://www.iluminet.com.mx/torraca-la-primera-ciudad-con-alumbrado-publico-totalmente-led/>
- [4] General Study for using LED to replace traditional lighting devices // Y.K. Cheng, K.W.E.Cheng // Power Electronics Research Centre, Department of EE, The Hong Kong Polytechnic University//2009.
- [5] ON Semiconductor®//© Semiconductor Components Industries, LLC //TND329/D//Febrero 2008//
- [6] Passive infrared human detection sensor with built-in amp. // 10 m detection type // All Rights Reserved © COPYRIGHT Panasonic Electric Works Co., Ltd.
- [7] Avago, Avago Technologies, Copyright © 2007 Avago Technologies Limited. All rights reserved. Obsoletes AV01-0598EN, AV02-0080EN - Enero 16, 2007
- [8] LM3445 Triac Dimmable Offline LED Driver// 300603// © 2010 National Semiconductor Corporation// February 19, 2010
- [9] Michael Riordan//Tales of Nakamura//IEEE inside technology spectrum//May 2007// <http://spectrum.ieee.org/consumer-electronics/gadgets/tales-of-nakamura>
- [10] Neil Savage//Quantum Dots Enhance LED Lighting//IEEE Inside technology spectrum // December 2009// <http://spectrum.ieee.org/semiconductors/optoelectronics/quantum-dots-enhance-led-lighting>
- [11] Life Cycle Assessment of Illuminants a Comparison of Light Bulbs, Compact Fluorescent Lamps and LED Lamps// OSRAM Opto Semiconductors GmbH y Siemens Corporate Technology//Noviembre de 2009.
- [12] XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules// 90000976_F// Digi International Inc.// 4/22/2010

Fabián Ricardo Herrera, ingeniero electrónico de la Universidad Industrial de Santander.
 e-mail: fabianher590@hotmail.com

Karim Leonardo Camargo Rivera, ingeniero electrónico de la Universidad Industrial de Santander.
 e-mail: Karim.leonardo.camargo.rivera@hotmail.com

Leonardo Bonilla Suarez, ingeniero electrónico de la Universidad Industrial de Santander.
 e-mail: Leobonilla19@yahoo.es

Jaime Guillermo Barrero, Mpe. profesor de planta de la Universidad Industrial de Santander.
 e-mail: jbarrero@uis.edu.co

ANEXOS

A. Medición de la iluminancia proporcionada por la luminaria “Danilux” modelo No.: AL64

Objetivo general: medir la cantidad de luxes proporcionados por la luminaria modelo No.: AL64 del fabricante Danilux.

Objetivo específico: Medir exactamente bajo la luminaria a una distancia de 2.5 m la cantidad de luxes que esta proporciona.

Escala de medición: 0-2000 Luxes con el luxómetro Foot Candle/Lux meter de EXTECH INSTRUMENTS

En el auditorio Luis A. Calvo (LAC) que cuenta con características adecuadas para no permitir la entrada de luz exterior obteniendo total oscuridad, además de que el sitio en que se posiciono cada una de las luminarias presentaba un área de 5 metros a la redonda libres de obstáculos que pudiesen aportar iluminancia por reflexión. En las horas de la noche se energizo cada una de las luminarias de manera independiente (No al mismo tiempo) a una altura de 2.5 metros se ubicó el sensor del luxómetro exactamente debajo de la luminaria (de acuerdo a una plomada) al nivel del piso; obteniendo como resultado en las medidas las mostradas en la tabla 8 valores que tienen como promedio 77,75 y que se aproxima a 78.

Luxes	77	79	78	77	Promedio	77,75
-------	----	----	----	----	----------	-------

Tabla 8. Promedio de luxes del modelo No.: AL64 a 2.5 m

B. Comportamiento en funcionamiento de tres distintas referencias de LEDs

Objetivo general: Observar el comportamiento en funcionamiento de tres distintas referencias de LEDs.

Objetivo específico: Medir exactamente bajo cada una de las tres distintas referencias de LEDs preseleccionadas para el proyecto a una distancia de 0.75 m la cantidad de luxes que este proporciona.

Escala de medición: 0-2000 Luxes con el luxómetro Foot Candle/Lux meter de EXTECH INSTRUMENTS

Luego de una primera etapa de preselección de 16 HB-LEDs que se encontraban en el mercado como se muestra en la tabla 9 se hizo una segunda preselección de 3 referencias de estos mismos con las cuales se procedió a realizar un experimento en las mismas condiciones del anexo anterior, se energizo uno de los LEDs por medio de una fuente de corriente continua y con unas resistencias en serie calculadas para obtener una corriente de aproximadamente 350 mA,; Se ubicó a una distancia 0.75m del suelo luego se procedió a medir su iluminancia hasta obtener un valor promedio, dicho procedimiento se realizo con las dos referencias restantes y se obtuvo los resultados en la siguiente tabla.

Referencia	I de Prueba (mA)	V típico (V)	IRC	Flujo Luminoso (lm)	Temperatura Del color (K)	Angulo de Visión	Precio \$ USD
LW W5SG-GYHY-5K8L-Z	350	3.8	80	30	5600	120°	7.25
LW G6SP-CBEA-5K8L-1-Z	140	3.6	80	18.8	5600	120°	2.57
SML-LX1610UWC/A	350	3.5	80	30	6000	110°	6.93
TL12W03-N(T30)	350	3.3	80	100	5000	--	3.94
ASMT-QWBB-NHH0E	150	3.5	80	29	6300	120°	
W42180-U1	350	3.25	80	95.5	6300	127°	6.04
GW5BNC15L12	360	10.2	80	190	6500	--	26.6
OVTLO1LGAW	350	3.4	80	50	7000	135°	4.39
OVSPW1BCR4	350	3.5	80	90	--	120°	3.52
LUW W5AM-KYLX-6P7Q-Z	350	3.2	80	106	6500	170°	7.45
LUW W5AM-LXLY-6P7R-Z	350	3.2	80	131	6500	170°	9.32
ASMT-MW20-NNN00	700	4	80	141	4000	120°	7.02
MCE4WTA2-0000-000K01*	1400	3.2	80	370	7500	110°	19.35
ASMT-QWBC-NHJ0E	150	3.4	80	30	6300	120°	1.75
ASMT-JW31-NUV01	700	3.5	80	95	4500	140°	3.49
ELSH-F81C1-0LPES-C5700	350	2.95	80	80	5700	120°	3.38

Tabla 9. Referencias preseleccionadas de los HB-LEDs encontrados en el mercado.

Referencia	I de Prueba (mA)	V típico (V)	Iluminancia (Luxes)
1. OVSPW1BCR4	351	3.14	30
2. LUWW5AM-LXLY-6P7R-Z	350	3.1	48
3. MCE4WT-A2-0000-000K01	1405	2.7	294-118

Tabla 10. Resultados de la medición de iluminancia de los LEDs seleccionados.

*Algo para resaltar es la disminución en el nivel de iluminación o iluminancia que presento la referencia MCE4WT luego de un minuto debido al aumento de temperatura a pesar de que contaba con un disipador.

C. Selección de la configuración de LEDs

Objetivo general: Investigar si la iluminancia depende de la distribución simétrica de cada una de las fuentes luminosas.

Objetivo específico: Observar si la iluminancia de cuatro distintas configuraciones de 10 LEDs de alto brillo 3 mm dispuestos simétricamente en áreas iguales es igual o no.

Escala de medición: 0-2000 Luxes con el luxómetro Foot Candle/Lux meter de EXTECH INSTRUMENTS

En salón con características adecuadas para la medición y en las horas de la noche se energizo cada una de las configuraciones de manera independiente (No al mismo tiempo) a distintas alturas obteniendo como resultado los datos expuestos en la tabla 11 que hacen alusión a las configuraciones de la figura 17 enumeradas de izquierda a derecha; Luego de concluir que la iluminancia es independiente de la configuración de los LEDs siempre y cuando estén dispuestos en áreas iguales. Se encendieron de manera secuencial cada una de las configuraciones observando y reafirmando que la iluminancia se suma linealmente es decir si tengo dos fuentes luminosas de igual iluminancia y se dispone el sensor en medio de ellas al encenderlas a la vez obtengo el doble de iluminancia que se obtendría si encendiese una sola fuente luminosa.

Configuración	Altura 75 cm	Altura 40 cm	Altura 15 cm
1	13	82	124
2	14	82	122
3	14	81	123
4	14	82	125

Tabla 11. Resultados de la medición de iluminancia de las distintas configuraciones de LEDs.

D. Mapa de niveles de iluminancia de los dos modelos de luminarias en uno de los escenarios menos favorables

Objetivo general: Comparar visualmente los niveles de iluminancia presentados por la luminaria con y sin modificación.

Objetivo específico: Tomar medidas de iluminancia cada metro tanto en el eje x y el eje y.

Escala de medición: 0-2000 Luxes con el luxómetro Foot Candle/Lux meter de EXTECH INSTRUMENTS

Este experimento se realizó intentando reproducir un escenario que presente las peores condiciones de iluminancia que se obtendrían de las luminarias ya que el lugar tenía como características total oscuridad y el sitio en que se posiciono cada una de las luminarias presentaba un área de 5 metros a la redonda libres de obstáculos que pudiesen aportar iluminancia por reflexión. En las horas de la noche se energizo cada una de las luminarias de manera independiente (No al mismo tiempo) a una altura de 2.5 metros obteniendo como resultado los datos expuestos en la tabla 12 con los cuales se hizo un mapa de niveles de iluminancia que intenta vislumbrar sus diferencias.

Luminaria		Radio (m)					
		0	1	2	3	4	5
No.: AL64	Eje x(+)	78	69	33	13	6	2
	Eje y(+)	78	61	31	11	4	2
FKLED	Eje x(+)	104	67	16	2	1	0
	Eje y(+)	104	65	14	2	1	0

Tabla 12. Resultados de la medición de iluminancia para diseño de mapa de iluminancia.

