

**MODELADO Y ANÁLISIS DE UN PROTOTIPO DE LUMINARIA DE ESTADO
SÓLIDO UTILIZANDO DISPOSITIVOS LED**

CARLOS MARIO OSORIO RENDÓN

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2014**

**MODELADO Y ANÁLISIS DE UN PROTOTIPO DE LUMINARIA DE ESTADO
SÓLIDO UTILIZANDO DISPOSITIVOS LED**

CARLOS MARIO OSORIO RENDÓN

Trabajo de grado presentado para optar al título de Tecnólogo Electricista

Asesor

**JAUDER ALEXANDER OCAMPO TORO
Especialista en Gestión Energética Industrial**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2014**

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	9
1. PROBLEMA	11
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
2. JUSTIFICACIÓN	14
3. OBJETIVOS	19
3.1 GENERAL	19
3.2 ESPECIFICO	19
4. MARCO TEÓRICO	20
4.1 ILUMINACIÓN DE ESTADO SÓLIDO, SSL	20
4.2 SISTEMAS DE LED PARA ILUMINACIÓN GENERAL	25
4.2.1 Chip en placa (cob, chip on board)	26
4.2.2 Los módulos LED, o "bombillas LED"	26
4.3 CARACTERÍSTICAS	27
4.3.1 Salida de luz y eficacia	27
4.3.2 Manejo térmico	27
4.3.3 Larga vida	29
4.3.4 Distribución de la luz	29
4.3.5 Dimensiones	29
4.3.6 Cromaticidad	30
4.3.7 Operación, control y estabilidad	31
4.3.8 Durabilidad	32
4.3.9 Impactos en la sostenibilidad medioambiental y en la salud	32
4.4 OPORTUNIDADES DE LA ILUMINACIÓN LED	32
4.5 COMPARACIONES	36
4.5.1 Comparación de lámparas de halógeno y filamento con lámparas LED	36
4.5.2 Ventajas y desventajas	44
4.6 FUNDAMENTOS FOTOMETRICOS	45

4.6.1	Curvas polares	45
4.6.2	Curva polar simétrica	47
4.6.3	Curva polar asimétrica	48
4.6.4	Clasificación de distribución luminosa según CIE (1986)	48
4.7.	NORMAS Y CONTROL DE CALIDAD	50
4.7.1.	Protección contra choques eléctricos	51
4.7.2.	Código IP	51
4.7.3.	Grado protección contra choques mecánicos (IK)	52
4.7.4	Restricción del uso de sustancias peligrosas	53
4.7.5	Marcaje	54
4.7.6	Iluminación de los lugares de trabajo interiores	54
4.7.7	Tareas visuales. Clasificación	54
4.7.8	Niveles de iluminación. Asignación de tareas	55
5.	METODOLOGÍA	57
5.1	TIPO DE PROYECTO	57
5.2	MÉTODO	57
5.3	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	57
5.3.1	Fuentes primarias.	57
5.3.2	Fuentes secundarias.	57
5.4	PROCEDIMIENTO	57
6.	RESULTADOS DEL PROYECTO	59
6.1	CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN CON TUBOS FLUORESCENTES	59
6.1.1	Diagrama polar de luminaria que utiliza tubos fluorescentes	59
6.1.2	Distribución de luminarias en el laboratorio de la IUPB	60
6.1.3	Diagrama cromático en el laboratorio de la IUPB	62
6.2	CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO DE LUMINARIA LED	63
6.3	SELECCIÓN DE LAS 2 REFERENCIAS DE LED MÁS ÓPTIMOS	63
6.4	PARTES DE LOS PROTOTIPOS	66
6.4.1.	Características LED de referencia LFBLA	66

6.4.2 Características LED de referencia LB5050	67
6.4.3 Circuitos impresos en fibra de vidrio	68
6.4.4 Lamina de aluminio	68
6.4.5 Fuente de poder	68
6.5 PROCESO DE CONEXIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS LED EN EL ALUMINIO	69
6.6 SELECCIÓN ENTRE LOS 2 PROTOTIPOS DE LUMINARIA	72
6.7 REPORTE FOTOMÉTRICO	75
6.7.1 Información descriptiva	75
6.7.2 Características	76
6.7.3 Tabla de luminancia	76
6.7.4 Tabla de candelas	77
6.7.5 Lúmenes Zonales	77
6.7.6 Coeficiente de utilización	79
6.7.7 Curva polar	80
6.8 SIMULACIÓN EN SOFTWARE DIALUX	81
6.8.1 Tipo de recinto y actividad	81
6.8.2 Reflectancias efectivas de las superficies	81
6.8.3 Plano de trabajo	82
6.8.4 Lámpara y luminaria	82
6.8.5 Mantenimiento	83
7. CONCLUSIONES	87
8. RECOMENDACIONES	89
BIBLIOGRAFÍA	90

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Eficiencia de las fuentes de iluminación (en Lumen/ Watt)	22
Figura 2. Características de los LED frente a tecnologías tradicionales	25
Figura 3. Sistemas de iluminación LED	26
Figura 4. LED blancos competitivos con lámparas incandescentes y algunas fluorescentes compactas	28
Figura 5. a) Disipación de calor en LED convencionales y de potencia. b) Lámparas LED comercial de 3 W con disipador de calor incorporado.	28
Figura 6. Ejemplos de iluminación LED donde se puede apreciar la variedad cromática y el aspecto direccional de los LED.	30
Figura 7. Clasificación de las lámparas eléctricas	38
Figura 8. Porcentaje de radiaciones emitidas por las lámparas Incandescentes	40
Figura 9. Porcentaje de radiaciones emitidas por las lámparas de alta intensidad de descarga	41
Figura 10. Porcentaje de radiaciones emitidas por las lámparas fluorescentes tubulares.	42
Figura 11. Porcentaje de radiaciones emitidas por las lámparas fluorescentes compactas.	43
Figura 12. Porcentaje de radiaciones emitidas por un LED de potencia	43
Figura 13. Diagrama polar dividido en 4 anillos, representado los niveles de intensidad en candelas	46
Figura 14. Curva polar, representación de los 2 planos verticales	47
Figura 15. Curva polar simétrica	47
Figura 16. Curva polar asimétrico	48
Figura 17. Símbolo lámpara con grado de protección contra líquidos nulo	52
Figura 18. Diagrama polar luminaria de tubos fluorescentes, informe del software dialux 4.12	60

Figura 19. Distribución de luminarias vista de planta en laboratorio IUPB con el software Dialux 4.12	61
Figura 20. Representación de niveles de iluminación en colores falsos laboratorio IUPB	62
Figura 21. LED referencia LFBLA sobre una regleta de baquelita	63
Figura 22. LED referencia LF5P sobre una regleta de baquelita	64
Figura 23. LED referencia LFB3 sobre una regleta de baquelita	64
Figura 24. LED referencia LB5050 sobre una regleta de baquelita	64
Figura 25. Luxómetro, instrumento para medir nivel de iluminación	65
Figura 26. Dimensiones LED LFBLA	66
Figura 27. Dimensiones LED LB ó SMD 5050	67
Figura 28. Circuito impreso en fibra de vidrio	68
Figura 29. Fuente conmutada 12V/5A	69
Figura 30. Conexión y distribución de los LED referencia LFBLA en la regleta de fibra de vidrio.	70
Figura 31. Distribución de las regletas en la lámina de aluminio LED LFBLA	70
Figura 32. Distribución de las regletas en la lámina de aluminio con LED encendidos referencia LFBLA	71
Figura 33. Distribución de las regletas en la lámina de aluminio con LED encendidos referencia LB ó SMD 5050	71
Figura 34. Medición prototipo de luminaria LED referencia LFBLA	72
Figura 35. Medición con el luxómetro primer prototipo	73
Figura 36. Medición prototipo de luminaria LED referencia LFBLA	74
Figura 37. Medición con el luxómetro segundo prototipo	74
Figura 38. Coeficiente de utilización	79
Figura 39. Curva polar	80
Figura 40. Distribución luminarias LED en el laboratorio IUPB	84
Figura 41. Curva polar y eficiencia de luminaria LED, informe software Dialux	85

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Proyecto asociado a la actualización tecnológica en iluminación	16
Tabla 2. Comparación de tecnologías de iluminación SSL-LED frente a tecnologías de iluminación tradicional.	23
Tabla 3. Tendencia de tecnología, precio, rendimiento y mejoras para el LED	33
Tabla 4. Potencia promedio para lámparas de empotrar	34
Tabla 5. Potencia promedio para lámparas de calle	35
Tabla 6. Ventajas y desventajas de las tecnologías de iluminación.	44
Tabla 7. Clasificación de luminarias de acuerdo a la Comisión Internacional de la Iluminación CIE.	49
Tabla 8. Tensiones nominales	51
Tabla 9. Grados IP	51
Tabla 10. Grados de hermeticidad y protección contra el impacto	53
Tabla 11. Clasificación de las tareas dependiendo de las exigencias	55
Tabla 12. Recomendaciones norma UNE 72-163-84	56
Tabla 13. Parámetros fotométricos en el laboratorio IUPB	62
Tabla 14. Reflectancias efectivas para ciertos colores y texturas (valores en %)	82
Tabla 15. Parámetros fotométricos en el laboratorio IUPB	84

INTRODUCCIÓN

La SSL (*Solid State Lighting*), es llamada fuente de luz de cuarta generación porque ofrece la mejor oportunidad de superar la eficiencia energética de las actuales tecnologías de iluminación, y de aumentar la experiencia visual mediante control digital sobre el color y la distribución espacial de la luz, creando como consecuencia una nueva industria de iluminación.

La iluminación es el servicio que domina la demanda global de potencia eléctrica para uso final, consumiendo el 19% de la producción total mundial de electricidad. Ni el desarrollo de las tecnologías de iluminación, ni el crecimiento de la demanda de iluminación artificial se ha estabilizado aún. Con las tendencias actuales de la economía y de eficiencia energética, se prevé que la demanda mundial de luz artificial será de un 80% superior en 2030. Si las tecnologías de iluminación no mejoran, la demanda mundial de electricidad para iluminación podría llegar a duplicar la producción de todas las centrales nucleares modernas. Por otra parte, sin más medidas de eficiencia energética, las emisiones anuales de CO₂ relacionadas con la iluminación se elevarán a casi 3 gigatoneladas para 2030.

Los actuales avances en SSL no sólo hacen factible competir con los productos de iluminación tradicionales, sino también la creación de nuevos productos y mercados que antes parecían irrealizables. Hoy en día los LED ya han incursionado en determinados nichos de mercado de iluminación tales como: las pantallas de teléfonos móviles, de televisores y de monitores, la señalización de tráfico, luces del vehículo, etc. Sin embargo, el mayor objetivo es llegar a la producción de LED blancos de alta calidad y rentables para aplicaciones de iluminación general.

Los LED todavía tienen una serie de obstáculos tecnológicos a superar. Por un lado, la tecnología de base debe mejorar los métodos de producción de chips LED

para aumentar el rendimiento y ayudar a disminuir los precios. Por otro lado, también se debe trabajar en áreas de diseño y de integración de sistemas LED para hacerlos competentes en el mercado de la iluminación general. Problemas comunes en el diseño de las lámparas LED, como forma unitaria, aspecto tosco, diseño integral y emisión de calor inadecuada, falta de consideración ergonomía entre otros, no permiten que se vean reflejadas las características de los LED tales como el ahorro de energía, alta eficiencia, iluminación uniforme, distribución razonable de la iluminación, estabilidad, fiabilidad y larga vida útil.

Este trabajo de grado es un producto del proyecto de investigación “Desarrollo de prototipo de luminaria de estado sólido de bajo costo utilizando dispositivos LED”, el cual se realizó con el apoyo del grupo de Investigación e Innovación en Energía, GiiEN, de la Institución Universitaria Pascual Bravo, y con el financiamiento de la dirección operativa de investigación de la institución.

1. EL PROBLEMA

La iluminación eléctrica es un componente esencial de la vida moderna en viviendas, comercios, industrias, calles, etc.; Es una característica ubicua de las sociedades de avanzada, esencial para su productividad con niveles de iluminación adecuados para tareas de trabajo y reducción de la dependencia de la luz del día, y para el bienestar de los ciudadanos permitiendo la realización de labores en la noche o en interiores y mejorando la seguridad de circulación en exteriores.

Mundialmente, la iluminación consume el 19% (2976 TWh en 2006) de la producción total mundial de electricidad, tanta como la producida por todas las generadoras eléctricas a gas y un 15% más de la producida por centrales hidroeléctricas o de energía nuclear. El consumo de energía para abastecer la iluminación implica emisiones de gases de efecto invernadero del orden de 1900 millones de toneladas de CO₂ al año, equivalente al 70% de las emisiones de los vehículos de pasajeros del mundo y tres veces más de emisiones de la aviación (EIA, 2006). Las dos terceras partes de la generación mundial de electricidad proviene de combustibles fósiles y solo el carbón, con una contribución del 40 %, produce más del 70 % de las emisiones de CO₂ que aporta este sector (Brown, 2007).

Tradicionalmente la iluminación ha estado dominada por fuentes de luz incandescente, fluorescente y de descarga de alta intensidad, HID (*High Intensity Discharge*), pero ni el desarrollo de las tecnologías de iluminación, ni el crecimiento de la demanda de iluminación artificial se ha estabilizado aún. A nivel global los servicios de iluminación se encuentran todavía en una era de rápido crecimiento de la demanda, aunque a un ritmo más lento que después de la brecha representada por el alumbrado eléctrico (EIA, 2006). Para llegar a los

actuales niveles de rendimiento de estas tres tecnologías se han invertido de 60 a 120 años de investigación y desarrollo. Se han estudiado todos los aspectos de aumento de la eficiencia de estas fuentes y aunque las mejoras son mínimas, hay poco espacio para mejoras considerables a partir de cambios de paradigmas (EERE-DOE, 2009).

Ahora se está en el comienzo de una nueva era, con la introducción de las fuentes de luz de estado sólido, SSL (*Solid State Lighting*); El dispositivo más avanzado de esta tecnología es el diodo emisor de luz, el LED (*Light Emitting Diode*) (Johnson, 2002). En comparación con las actuales y comúnmente usadas lámparas incandescentes y fluorescentes, el LED tiene ventajas tales como larga vida, alto ahorro de energía, respuesta encendido-apagado rápida, tamaño pequeño, resistencia al impacto, no se afecta por las fluctuaciones del voltaje, colores puros, etc. (Xiaoyun, Xiaojian & Yan, 2009).

No obstante, los LED todavía tienen una serie de obstáculos tecnológicos a superar. Actualmente los LED son más difíciles de fabricar que sus familiares semiconductores, aunque las mejoras en los métodos de producción pueden ayudar a aumentar el rendimiento y a disminuir aún más los precios. También hay trabajo adicional por hacer en las áreas de diseño y de integración de sistemas antes que los LED compitan plenamente como una fuente de luz viable en el mercado de la iluminación general. Aún no hay un enfoque coherente para la creación de un sistema LED (Ton *et al*, 2003).

Aparte de las actuales fortalezas y limitaciones técnicas de los LED, el determinante final de su conveniencia en una aplicación es su costo. Para la mayoría de las aplicaciones de iluminación este es demasiado alto, aunque se ha convertido en económicamente viable para una creciente e importante gama de nichos de mercado.

Debido a que la tecnología se encuentra en etapa de exploración, hay muchos problemas comunes en el diseño de las lámparas LED, como forma unitaria, aspecto tosco y anticuado, combinación inadecuada entre la estructura de emisión de calor y el diseño integral, falta de consideración ergonomía, así como un plan integrado para el diseño de la lámpara. Como consecuencia, las características de los LED como el ahorro de energía, alta eficiencia, iluminación uniforme, distribución razonable de la intensidad de la iluminación, estabilidad y fiabilidad, y larga vida útil no van a estar bien reflejadas (Xiaoyun et al, 2009).

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿El diseño y la fabricación de un prototipo de luminaria de estado sólido, utilizando tecnología base (chips LED) y recursos técnicos disponibles en Colombia, cumple las condiciones fotométricas y eléctricas establecidas en estándares nacionales e internacionales para luminarias?

2. JUSTIFICACIÓN

La iluminación de estado sólido o SSL, ofrece una oportunidad excitante y sin precedentes para mejorar la eficiencia energética de las tecnologías de iluminación blanca. Esta nueva tecnología está creciendo más allá del mismo crecimiento exponencial del conocimiento de la física de semiconductores que permitió la actual revolución microelectrónica (OIDA, 2001).

Anteriormente, el poco brillo de los LED y los pocos colores de luz obtenidos (rojo, verde y amarillo) limitaba su uso a la señalización e indicación en pantallas y aparatos electrónicos; No obstante, los nuevos avances y el desarrollo vertiginoso que ha tenido la tecnología de los LED en los últimos años, ha permitido obtener más colores (azul, blanco) y aumentar su brillo al punto de llegar a utilizarse en aplicaciones donde pueden remplazar los sistemas tradicionales de iluminación.

Comparado con las fuentes de luz incandescentes y fluorescentes tradicionales, los LED pueden consumir menos potencia (80% menos que las incandescentes), generan menos calor, permiten más ciclos de encendido-apagado instantáneos, mantienen su color constante y permiten nuevas gamas de luz muy agradables estéticamente (UPME, 2007). Por su naturaleza sólida, son resistentes a los golpes, a la vibración y a la humedad, no contienen gases ni materiales contaminantes, tienen una eficiencia energética mucho mayor y vida útil incrementada (EERE-DOE, 2008). Adicionalmente, la iluminación con LED es altamente compatible con sistemas fotovoltaicos u otros de energías alternativas y distribuidas debido a su alta eficiencia, larga vida, confiabilidad y compatibilidad con fuentes de voltaje de DC de baja potencia (Kelly, 2004).

Los actuales avances en SSL no sólo hacen factible competir con los productos de iluminación convencionales, sino también la creación de nuevos productos y

mercados que antes parecían irrealizables (Kelly, 2004). Hoy en día los LED ya han alcanzado la calidad y la rentabilidad suficiente para hacer grandes incursiones en determinados nichos de mercado de iluminación tales como: las pantallas de teléfonos móviles, de televisores y de monitores, la señalización de tráfico, las luces traseras de freno del vehículo, señales de salida, etc. Sin embargo, el mayor objetivo es llegar a la producción de WLED de alta calidad y rentables para aplicaciones de iluminación general.

A pesar de que hoy en día la SSL no puede desplazar completamente la base instalada de iluminación incandescente y fluorescente, su utilización reducirá drásticamente el consumo de energía, afectará los márgenes de beneficio industrial y la necesidad de repensar completamente el empaque de la luz, lo cual va a transformar la industria de los accesorios de la iluminación (Soumonni, 2008).

El Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín 2011–2021, en los proyectos asociados a la cartera de la cadena de energía, establece la necesidad de desarrollar aplicaciones de eco-eficiencia energética con énfasis en los sectores industrial y comercial, y dentro de estas la actualización tecnológica en iluminación para dichos sectores (ver Tabla 1).

Tabla1. Proyecto asociado a la actualización tecnológica en iluminación.

Nombre del proyecto	Número y brecha tecnológica identificada	Propuesta para reducir o cerrar la brecha	Programa del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación	Tipo de Proyecto
<p>9. NP12: desarrollo de aplicaciones de ecoeficiencia energética con énfasis en los sectores industrial y comercial.</p>	<p>BT4: baja incorporación de la etiqueta de ecoeficiencia energética por parte de los proveedores de bienes de consumo.</p>	<p>ER/CB4: aplicación de la etiqueta de ecoeficiencia energética en las empresas de bienes y servicios conexos. Integración del consumo eficiente de energía en los diferentes sectores. Desarrollo de temas como aplicaciones inteligentes para el consumidor, actualización tecnológica en iluminación para los sectores industriales y comerciales, actualización de los sistemas de refrigeración, actualización de los sistemas de alumbrado público y optimización de los sistemas de combustión.</p>	<p>PE2: formación de alianzas estratégicas y acuerdos de desarrollo compartido en ciencia, tecnología e innovación.</p>	<p>Técnico</p>
<p>Fuente: Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín 2011 – 2021.</p>				

La iluminación de estado sólido representa un nuevo paradigma de iluminación que creará una nueva industria de iluminación, de más de \$50.000 millones anuales en todo el mundo y aumentará la experiencia visual humana mediante control digital sobre el color y la distribución espacial de la luz (Bisquer, 2006). Se estima que en el 2025 la iluminación de estado sólido podría reducir la cantidad global de electricidad que se usa en iluminación en más un 50%, con lo que el consumo total de electricidad disminuiría en más de un 11%. Ningún otro tipo de consumo de electricidad tiene un ahorro potencial similar (Bisquer, 2006). La reducción de 133 GW de electricidad ahorraría aproximadamente USD 112 mil millones y evitaría la necesidad de 133 plantas de generación de energía (OIDA, 2001).

Los sistemas de LED y en general la iluminación de estado sólido, se están proyectando como la mejor alternativa hacia el futuro de las fuentes de luz artificial y es necesario apropiarse de estas nuevas tecnologías desde ya para estar a la vanguardia mundial. EEUU y algunos países europeos y asiáticos ya han adoptado programas de iluminación LED y que en Colombia apenas se está empezando a reconocer en accesorios como linternas, luces de automóviles, lámparas de semáforos y luces decorativas. Es necesario entonces, profundizar en el uso de los sistemas de LED para tener un mejor conocimiento de sus aplicaciones y ventajas, y de esta manera exponer los criterios más importantes que permitan sustituir sistemas convencionales de alumbrado por estos sistemas de mayor eficiencia e incorporarlos en lo posible, en los actuales programas de URE (Uso Racional de la Energía) que están intentando adelantar en este país.

En lo académico, los resultados de este trabajo servirán para apoyar asignaturas del área de la energía eléctrica en los programas de ingeniería y de tecnología; así mismo estimulará la realización de otros proyectos de grado en el área eléctrica. La divulgación de resultados en eventos en otras universidades también

posibilitará el crecimiento y fortalecimiento de una comunidad académica alrededor del ahorro energético y la iluminación LED.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL.

Determinar las condiciones fotométricas de un prototipo de luminaria de estado sólido utilizando dispositivos LED, mediante el análisis experimental del prototipo y simulaciones en la herramienta computacional Dialux.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Identificar las características de sistemas de iluminación con tubos fluorescentes y tomar como referentes sus parámetros de luminosidad y de potencia eléctrica, para su comparación con un prototipo de luminaria con tecnología LED.
- Construir un prototipo de luminaria de estado sólido, a partir del diseño realizado por el grupo de investigadores del proyecto “Desarrollo de prototipo de luminaria de estado sólido de bajo costo utilizando dispositivos LED”
- Analizar la respuesta del prototipo de luminaria de estado sólido desarrollado, desde el punto fotométrico y eléctrico, utilizando el software Dialux y teniendo en cuenta estándares nacionales e internacionales para luminarias.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 ILUMINACIÓN DE ESTADO SÓLIDO, SSL (SOLID STATE LIGHTING)

Las tecnologías de iluminación son substitutos de la luz del sol en la región espectral de 425 a 675 nm en donde la luz del sol está más concentrada, y para la cual el ojo humano ha evolucionado para tener mayor sensibilidad (Bisquer, 2006). Desde el desarrollo de la lámpara incandescente en 1879, ha habido una búsqueda de más brillantes, más baratas, más pequeñas y más confiables fuentes de luz (OIDA,2001).

El desarrollo de las lámparas eléctricas data de la segunda mitad del siglo XIX. Las primeras lámparas eléctricas comerciales eran fuentes de luz incandescentes, introducidas por Thomas Edison en los EEUU y Joseph Swan en Inglaterra, que separadamente desarrollaron una lámpara en 1878 en la que pasaba corriente eléctrica a través de un filamento de hilo de carbón (Bisquer, 2006).

La iluminación de estado sólido o SSL, basada en semiconductores inorgánicos LED (*Light Emitting Diodes*, Diodos emisores de luz), tiene el potencial de cambiar fundamentalmente la naturaleza de la luz que las personas han experimentado en los últimos 100 años (OIDA, 2001). Los LED representan una tecnología de iluminación fundamentalmente diferente al diseño de la bombilla incandescente o fluorescente; se componen de capas delgadas de materiales semiconductores que emiten luz cuando se aplica un voltaje a través de las capas, formando un "chip" productor de luz (Ecos Consulting, 2003). El chip LED debe estar contenido en epoxy con un disipador de calor, conductores metálicos, y un reflector de luz para formar una fuente de luz funcional.

Desde su desarrollo inicial en la década de 1960, el desempeño de dispositivos de SSL ha mejorado a un ritmo espectacular. En un informe reciente de los

Laboratorios Sandia se observó que la salida de luz y la eficacia de los LED producidos se duplican cada 18 a 24 meses, y que el futuro del rendimiento del LED es probable que siga una tendencia similar a la de los últimos 30 años [Ecos Consulting, 2003]. El desarrollo de los LED frente a su costo muestra un incremento de 30 veces el flujo luminoso y una reducción de 10 veces su costo cada década. Esta tendencia promete mantenerse debido a los continuos alcances en investigación y desarrollo y a una mejor manufactura (Kelly, 2004).

El desarrollo de los LED blancos (WLED), por el contrario, implica tecnologías híbridas, de modo que sus tendencias de rendimiento son menos predecibles. Sin embargo, la ruta de trabajo para esta tecnología que mantiene los Departamentos de Energía y de Defensa de EE.UU, en cooperación con los fabricantes, pronosticaron que los LED blancos serían lo suficientemente brillantes para las aplicaciones de iluminación general en el 2010 (Ecos Consulting, 2003).

Los OLED (*Organic LED*) utilizan una estructura de material carbonado que emite luz cuando se le aplica una diferencia de potencial. Tienen un flujo luminoso más bajo que los LED pero pueden cubrir una mayor área (Kelly, 2004). Aunque actualmente sólo se utilizan en pantallas y visualizadores, se están llevando a cabo investigaciones con OLED blancos de manera que se puedan utilizar en el futuro para fines de iluminación general.

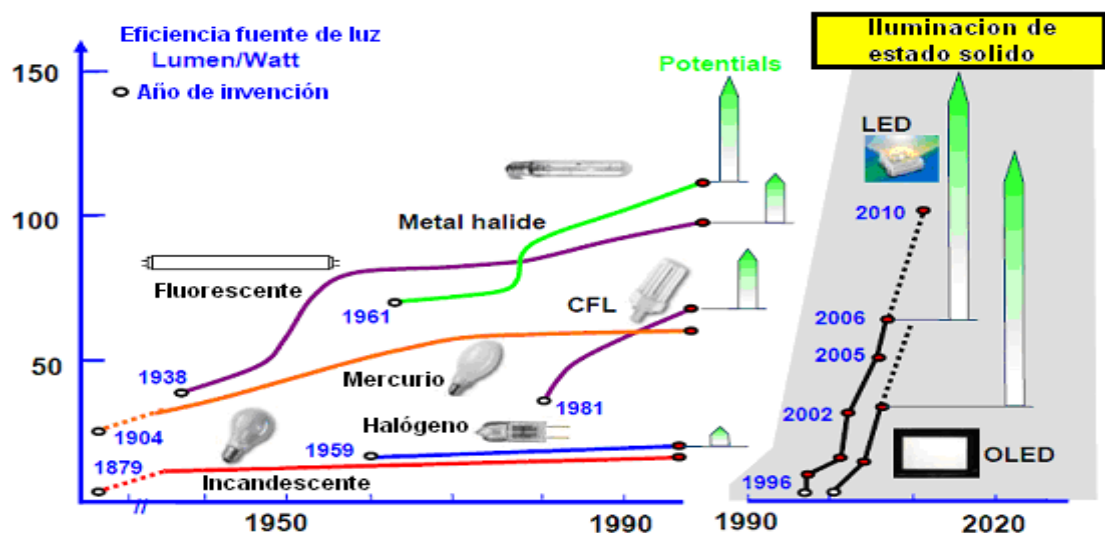
Los LED aportan muchas ventajas en el mercado de iluminación y uno de los más notables es la eficiencia energética, especialmente en aplicaciones que requieren luz de color. En estas situaciones, los filtros de color aplicados a las fuentes de luz blanca rechazan del 80 al 90% del espectro de luz visible, desperdiciando la energía gastada para crear esas longitudes de onda. Por el contrario, los LED sólo producen las longitudes de onda deseada, que es la razón principal por los que LED monocromáticos hasta la fecha han sido más eficientes que los blancos (Ecos Consulting, 2003).

Otra cualidad admirable de la tecnología LED es que tiene una larga vida útil nominal de hasta 100.000 horas. Esto representa un salto significativo en comparación a 1.000 horas o menos para una lámpara incandescente, entre 6.000 y 20.000 horas para las fuentes fluorescentes, y las cerca de 24.000 horas para una lámpara de sodio de alta presión (Ecos Consulting, 2003).

Con el paso del tiempo, las actuales lámparas incandescentes de 120 V/ 60 W solo han aumentado su eficiencia a unos 15 lm/W; las lámparas fluorescentes han llegado a una eficiencia de 65-100 lm/W y la iluminación HID a 45-150 lm/W aproximadamente, dependiendo del tipo de lámpara y de la potencia (EERE-DOE, 2009).

La tecnología SSL tales como LED y OLED, potencialmente puede lograr el doble de mejoras con respecto a algunas de las más eficaces fuentes de luz blanca actuales, según las proyecciones de los expertos (EERE-DOE, 2009).

Figura 1. Eficiencia de las fuentes de iluminación (en Lumen/ Watt)



Fuente: Osram, 2009.

Tabla 2. Comparación de tecnologías de iluminación SSL-LED frente a tecnologías de iluminación tradicional.

CARACTERÍSTICAS	INCANDESCENTE	FLUORESCENTE	SSL – LED
Tamaño	Preestablecido y proporcional al nivel de iluminación	Preestablecido y proporcional al nivel de iluminación	Reducido y se acomoda a cualquier diseño
Luminosidad	La luz de estas bombillas se concentra en un punto dentro de la lámpara y se dispersa en todas las direcciones.	Generan radiación ultravioleta a 254 nm. (Rayos UV responsables de quemaduras de sol y cáncer de piel)	Todo el diodo brilla por igual, lo cual permite un alto nivel de uniformidad y versatilidad en la dirección del flujo luminoso
Eficiencia luminosa y Ahorro de Energía	Baja eficiencia. Altos consumos de energía por el calentamiento propio de la lámpara.	Baja eficiencia. Altos consumos de energía dado por el precalentamiento periódico de los electrodos para la ionización del gas interno	Tiene una eficiencia de más del 98%. (Casi toda la energía utilizada es convertida en luz) Bajo consumo de energía.
El color y el espectro de la luz	Emite luz en todo el espectro visible, siendo el difusor (que hace de filtro)	El color de la luz emitido viene dado por el revestimiento	Emite luz directamente en la longitud de onda del color

	quien deja pasar sólo el color requerido y el resto del espectro se transforma en calor.	fosfórico, el cual sirve de filtro o difusor de la luz.	requerido. Por tanto no requieren de filtros especiales y generan los colores más puros y profundos sin desperdicio de luz.
Resistencia mecánica	Vibración o golpes rompen fácilmente el filamento de una lámpara incandescente.	Vibración o golpes rompen fácilmente el vidrio de una lámpara fluorescente.	Al ser elementos 100% sólidos, resisten golpes y vibraciones mucho mejor.
Durabilidad	Halógenas: 3000 horas (4 a 5 meses aprox.)	Lámpara ahorradora 8000 horas (11 meses aprox.)	Hasta 100.000 horas (10 años aprox.)
Condiciones eléctricas	Trabajan en tensión AC, generalmente sin regulación de voltaje.	Trabajan en tensión AC. No pueden conectarse a un dimmer (regulador de brillo) normal.	Trabajan a muy baja corriente y tensión (2- 3 VDC y 20 mA) con regulación de voltaje interna. Se puede regular su brillo fácilmente por medio de

			controles electrónicos
--	--	--	------------------------

Figura 2. Características de los LED frente a tecnologías tradicionales

	Incandescente	Halógeno	Fluorescente	Metal Halide	LED Blanco
					
Eficiencia (lm/W)	7 - 20	15 - 20	50 - 100	80 - 110	70 - 110
Vida útil (hrs)	750 – 2,000	2,000 – 4,000	9,000 – 20,000	5,000 – 20,000	50,000+
CCT (K)	2,500 – 3,000	2,800 – 3,150	2,700 – 7,500	4,000	2,700 – 10,000
CRI	≥ 95	100	70 - 85	70	70 - 85

Fuente: OSRAM, 2009.

4.2 SISTEMAS DE LED PARA ILUMINACIÓN GENERAL

Los LED deben ser incorporados en un sistema con el fin de ser utilizado en la mayoría de las aplicaciones de iluminación. Como mínimo, el sistema contiene los LED, un circuito, un disipador de calor, un *driver* que conecta el circuito a la fuente de electricidad y la modifica para cumplir con los requerimientos de operación particular de los LED, y un dispositivo de control. La demanda de potencia de entrada de los LED individuales varía enormemente. Los micro-LED sólo necesitan unos pocos milivatios para operar, los LED estándar operan con décimas de vatios, y lo más nuevos LED HB (*High Bright*) y UHB (*Ultra HB*) operan con cinco y hasta diez vatios cada uno. Al igual que cualquier otra fuente de luz, todo el sistema debe ser tenido en cuenta cuando se comparan las demandas de energía, ya que otros componentes del sistema, tales como el

driver, tienen sus propios requisitos adicionales (Ecos Consulting, 2003). Por lo general, un sistema de LED también incluye algún tipo de soporte o carcasa, y a menudo incluye reflectores o lentes para dirigir o difundir la luz. Hay dos tipos de sistemas básicos: Chip en placa y módulos LED.

4.2.1 Chip en placa (COB, Chip On Board). De tipo montaje superficial (SMT). Los LED están montados en la superficie de una placa de circuito. La placa puede ser rígida o flexible. El sistema puede ser muy pequeño, con muchos chip empaquetados densamente en un área pequeña para funcionar como una fuente puntual; O bien, pueden cubrir áreas más grandes o de gran longitud, con los LED espaciados para lograr determinados patrones de distribución de la luz (Ecos Consulting, 2003).

4.2.2 Los módulos LED, o "bombillas LED". Estos sistemas tienen paquetes discretos de LED soldados en lugar de circuitos más convencionales, como las luces LED de navidad y los kits de LED de reemplazo de señales de neón. Algunos dispositivos de iluminación basados en LED están diseñados para su uso en bases convencionales de atornillar o con pines toma corriente; tienen todos los componentes del sistema integrados en un solo producto.

Figura 3. Sistemas de iluminación LED



4.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS LED ACTUALES.

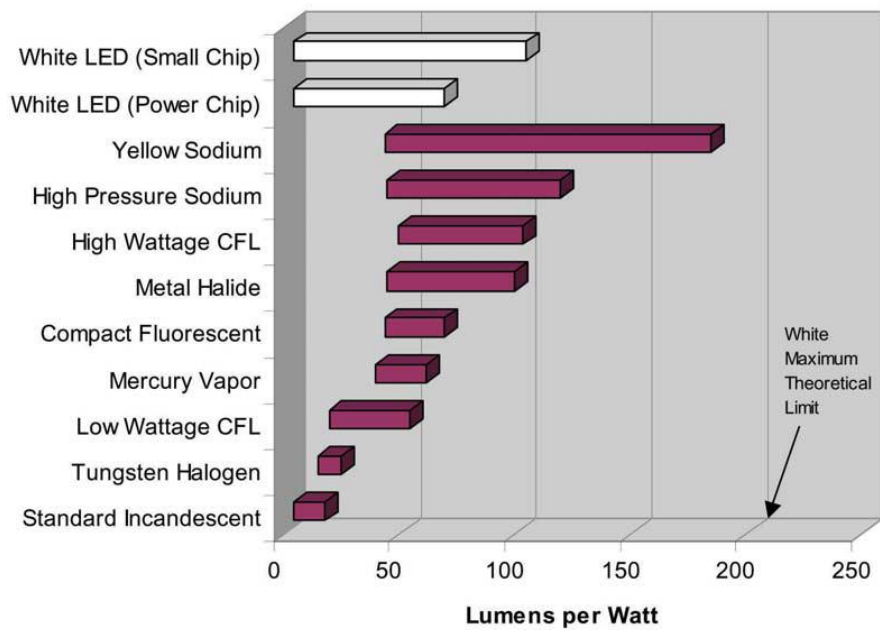
Las características del rendimiento de una fuente de luz determinan su viabilidad para una aplicación dada. Para los LED actuales se puede escribir lo siguiente:

4.3.1 Salida de luz y eficacia. La salida de luz de un solo LED es aún baja, pero en condiciones de laboratorio los actuales dispositivos LED son hasta 10 veces más eficientes que las bombillas incandescentes. Mientras que las lámparas incandescentes y fluorescentes compactas se miden a "bombilla desnuda", las lámparas basadas en LED se miden en la luminaria, donde su eficiencia se ve disminuida debido a varios problemas técnicos. Incluso teniendo en cuenta esta diferencia, los productos LED pueden ser de tres a cuatro veces más eficientes, produciendo 45 a 60 lm/W, en comparación con las típicas bombillas incandescentes (12 a 15 lm/W) y fluorescentes compactas (al menos 50 lm/W) (Gereffi, 2008). Cree Inc. ha reportado eficacias para LED de luz blanca en la región de 100 lm/W, lo que es aproximadamente el 50% del máximo teórico y que se comparan a las de algunas lámparas de los tipos fluorescentes y HID (EERE-DOE, 2009). También se han desarrollado OLED blancos que han alcanzado eficiencias de hasta 102 lm/W en el laboratorio.

4.3.2 Manejo térmico. La luz emitida por la lámpara LED contiene muy poco espectro infrarrojo. Como resultado, los objetos iluminados no son calentados por la luz y en principio, la superficie óptica del LED puede ser lo suficientemente fría para ser tocado sin problema. Pero, en el semiconductor se produce calor y, a diferencia de las fuentes tradicionales, este calor se concentra en el dispositivo y no puede ser conducido o radiado fácilmente a través de la superficie de la lámpara. La temperatura de la unión del LED afecta la eficacia luminosa, el color y la fiabilidad (OIDA, 2001). Los encapsulados de epoxy se degradan rápidamente si la temperatura excede el punto de transición vítrea epoxy. En cualquier caso, la disipación de calor desde el chip de la lámpara a través del montaje y luego al

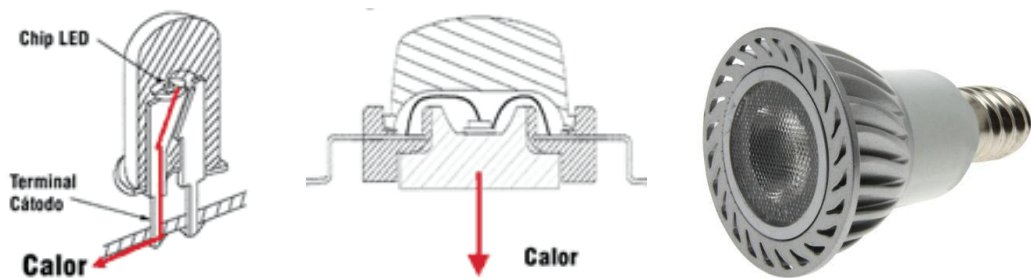
ambiente que lo rodea, debe ser una consideración de ingeniería en cualquier aplicación (DOE-BES, 2006).

Figura 4. LED blancos competitivos con lámparas incandescentes y algunas fluorescentes compactas.



Fuente: Mills, 2005.

Figura 5. a) Disipación de calor en LED convencionales y de potencia. b) Lámparas LED comercial de 3 W con disipador de calor incorporado.



4.3.3 Larga vida. Una ventaja indudable de los LED es su muy larga vida útil. El LED durará mucho tiempo sin fallas catastróficas porque no hay filamento o cátodo para quemar. En vez de dejar de emitir luz de repente, su rendimiento se degradará poco a poco con el tiempo. El LED de alta calidad puede entregar más del 60% de la intensidad inicial de la luz después de 50.000 horas de funcionamiento continuo y seguir trabajando para un máximo de 100.000 horas (unas 100 veces más que una lámpara incandescente estándar) (OIDA, 2001).

4.3.4 Distribución de la luz. Los LED son efectivas fuentes de luz puntuales. En el lado positivo, los LED producen luz con una fuerte orientación direccional hacia adelante y esto permite dirigirlos a donde se requiera. La cápsula del LED incluye una copa reflectora y un lente de epoxy, cuyas características determinan la fotometría de la fuente LED y permiten emitir la luz en cualquier ángulo específico de visión hasta 180°. Las fuentes convencionales de luz emiten en todas direcciones y requieren reorientarse con superficies ópticas secundarias o reflectores, lo que provoca fugas de luz y derroche de energía. Por otra parte, las fuentes de luz muy direccionales son más propensas a problemas de deslumbramiento y contraste excesivo en iluminación general (OIDA, 2001).

4.3.5 Dimensiones. Los diseñadores pueden emplear LED en lámparas compactas o distribuidas de formas y tamaños que no son posibles con fuentes de luz convencionales. Esto es posible ya que cada LED es extremadamente compacto, dando una alta versatilidad de configuración que les permite fijarse en patrones diferentes de acuerdo a los deseos del diseñador. En la práctica, sin embargo, esta versatilidad está limitada por la cantidad requerida de luz, el tamaño del disipador de calor y el suministro de energía necesaria (OIDA, 2001).

4.3.6 Cromaticidad. Una ventaja evidente es la amplia gama de colores que proporcionan sin tener que recurrir a un filtro que reduciría la eficacia del sistema. Los LED están disponibles en rojo, naranja, ámbar, verde, amarillo, cian, violeta, azul y blanco, y también hay LED bicolores y tricolores (RGB). El amplio espectro de colores puros permite integrar LED en paquetes que producen varios colores y que dan a los diseñadores nuevas opciones de iluminación. El uso de LED RGB permite crear millones de colores, sin necesidad de los filtros, gracias a que la intensidad de luz de cada LED puede ser controlada individualmente (OIDA, 2001).

Figura 6. Ejemplos de iluminación LED donde se puede apreciar la variedad cromática y el aspecto direccional de los LED.



Los WLED basados en azul o ultravioleta pueden producir temperaturas correlacionadas de color (CCT) de 2.700 a 6.500 K y tienen índices de rendimiento de color (CRI) de 70 a 85. Estas gamas de CRI son comparables a las producidas por las lámparas fluorescentes compactas, mientras que los rangos de CCT son más amplios que en las lámparas incandescentes y equivalente a los que se obtienen con lámparas fluorescentes. Sin embargo, es crítico que las coordenadas cromáticas de cualquier lote de LED son relativamente impredecibles (OIDA, 2001).

4.3.7 Operación, control y estabilidad. Los LED producen luz instantánea con una potencia que es directamente proporcional al campo eléctrico aplicado al LED, así que los problemas comunes a otras fuentes de luz se evitan: no hay tiempo de calentamiento o parpadeo, hay una regulación lineal de luz completa (0% a 100%) sin pérdida de eficacia o cambios de color (cambios en el CRI o el CCT), y no hay reducción de en la vida de servicio. La característica de encendido instantáneo de los LED los hace adecuados para iluminación de seguridad, luces de emergencia y señalización. Esta característica combinado con la posibilidad de controlar individualmente cada LED en una matriz a través de un microcontrolador, permite un control de iluminación dinámica tal como es utilizado por la tecnología RGB mezclando luz. Este tipo de controlabilidad permite producir una enorme variedad de efectos luminosos, incluyendo arquitectura dinámica y multicolor, iluminación de películas de agua, iluminación para entretenimiento, señalización, etc.

Los LED también funcionan muy bien en condiciones frías y a temperaturas tan bajas como -40°C y por lo tanto son muy adecuadas para muchas aplicaciones exteriores. Sin embargo, la eficacia de los LED disminuye a temperaturas más altas, cuando la gestión térmica adecuada se vuelve crítica (OIDA, 2001).

Otra característica importante de los LED es que son fuentes de luz de baja tensión y corriente directa (DC). Esto hace que sean fáciles de integrar en sistemas electrónicos y productos que son energizados por fuentes de alimentación DC, pero requieren conversión de voltaje en aplicaciones basadas en corriente alterna (AC). Un LED individual puede demandar una potencia de 0,5 a 5 W a un voltaje de 2 a 4 VDC, sin embargo, esto aumenta proporcionalmente con el número de LED conectados en serie o cuando se forma un arreglo de LED (OIDA, 2001).

Las lámparas LED no producen interferencia de radio frecuencia, a diferencia de muchas bombillas fluorescentes compactas (Johnson, 2005).

4.3.8 Durabilidad. En comparación a las fuentes tradicionales de luz, los LED son rígidos y resistentes a golpes, lo que los hace muy adecuados para aplicaciones de transporte tales como automóviles, trenes, barcos y aviones.

4.3.9 Impactos en la sostenibilidad medioambiental y en la salud. Los LED están hechos de materiales no tóxicos y son reciclables. Los LED pueden imitar la luz del día sin los perjudiciales rayos ultravioleta, y esto ha dado al LED un papel en la iluminación de museos y galerías donde la calidad de la luz y la preservación de los objetos son muy importantes.

La utilización de menos energía se traduce en un menor deterioro del medio ambiente, ya sea porque disminuye la necesidad de la construcción de centrales eléctricas y refinerías de petróleo, o bien porque reduce la emisiones de gases contaminantes de efecto invernadero y de partículas resultantes de la combustión (Silva, 2010).

Se ha especulado si los LED pueden simular la luz natural del día con beneficios asociados, tales como la prevención del trastorno afectivo estacional (SAD) y beneficios para la salud y la productividad a través de una mejor adecuación de la luz artificial a los ritmos circadianos (OIDA, 2001).

4.4 OPORTUNIDADES DE LA ILUMINACIÓN LED

Los nichos de mercado existentes para los LED y WLED y su ahorro de energía asociada son muy variados, pero el verdadero reto para los LED es la sustitución de fuentes ineficientes de luz, como las lámparas incandescentes en el mercado de iluminación general (OIDA, 2001).

El potencial de LED para sustituir los dispositivos tradicionales de iluminación es alto. Como los LED usan fuentes DC de bajo voltaje, se puede utilizar una topología simple para manejarlos y fácilmente se puede colorear y controlar el nivel de brillo. Además, por la amplia gama del índice CRI y CCT, el LED puede producir el mismo patrón de luz que el de la totalidad de fuentes tradicionales de iluminación (Cheng, 2006).

Los fabricantes de dispositivos LED están centrados en la creación de luz blanca de alta calidad, haz difuso similar a la proyectada por las tradicionales bombillas incandescentes y fluorescentes, mientras que los fabricantes de iluminación tradicional se enfrentan a una curva de aprendizaje para dar cabida a las lámparas LED adecuadamente en el diseño de luminarias. Sin embargo, la cuestión principal que queda es el costo de los productos de iluminación de estado sólido.

Si bien va disminuyendo rápidamente, el costo de los LED es varias veces mayor que las lámparas incandescentes y fluorescentes. Aunque gran parte de este coste se puede recuperar en el ahorro de energía y evitando la sustitución de lámpara durante la vida del producto, el costo inicial pospone muchos consumidores y empresas (Gereffi, 2008).

Tabla 3. Tendencia de tecnología, precio, rendimiento y mejoras para el LED.

	2002	2007	2012	2020
Eficacia luminosa (lm/W)	25	75	150	200
Vida útil (horas)	20000	>20000	100000	>100000
Flujo luminoso (lm)	25	200	1000	1500
Costo lumen (US\$/klm)	200	20	<5	<2

CRI	75	80	>80	>80
Mercado de iluminación penetrado	Flujo luminoso bajo	Incandescente	Fluorescente	Todos

Fuente: OIDA, 2002.

Tabla 4. Potencia promedio para lámparas de empotrar.

Tipo de lámpara	Potencia promedio residencial (W)	Equivalente LED residencial (W)	Potencia promedio comercial (W)	Equivalente LED comercial (W)
Incandescente	72	14	72	14
CFL	11	7	11	7

Fuente: EERE, 2008.

Tabla 5. Potencia promedio para lámparas de calle.

Fuente de Luz	Potencia sistema convencional (W)	Potencia remplazo LED 2007 (W)
Incandescente	150	23
Halógeno	150	31
Fluorescente	159	151
Vapor de mercurio	254	108
Haluro de metal (metal halide)	458	327
Sodio alta presión	283	276

Fuente: EERE, 2008.

Otro gran nicho de mercado que está en espera de desarrollarse con el uso de WLED: la sustitución de la iluminación “fuera de red” basada en combustibles. Con la llegada de los WLED ya no es necesario pensar en términos de kilovatios para iluminación de pueblos de países en desarrollo, ya que es factible iluminar un pueblo entero con sólo unos pocos cientos de vatios, suministrados fácil y económicamente por fuentes de energía fotovoltaica, FV (o PV, *Photovoltaic*) (Ecos Consulting, 2003).

Proporcionar luz de LED confiable para las zonas en vía de desarrollo del mundo puede representar uno de los aportes más significativos de la creciente revolución global de iluminación LED. La emergente alta eficiencia del WLED puede mejorar significativamente la calidad, seguridad y la cantidad de iluminación, al tiempo que reduce los costes generales y las emisiones ambientales (Foster, 2005). Si la comunidad internacional respalda el desarrollo y la implementación de la tecnología PV-LED, podría ser una oportunidad para aumentar dramáticamente la calidad de millones de vidas (EIA, 2006).

Debido a que los LED son una fuente de luz de color inherente, presentan oportunidades de diseño y aplicación nueva en una variedad de áreas en las que iluminación convencional ha dominado, en la medida que diseñadores y especificadores se vuelven más conscientes de sus cualidades (Ton *et al*, 2003)

El menor consumo de energía del LED proporciona algunas ventajas de seguridad obvias sobre los sistemas de iluminación incandescente, que incluyen:
Adopción e instalación de un sistema más sencillo (baja tensión, tamaño de componente y complejidad reducidas), menos riesgos de choque eléctrico, menor riesgo de incendio.

Adicionalmente, la adopción de iluminación de bajo consumo representa una oportunidad para el desarrollo económico de muchas maneras. Estas incluyen la capacidad para:

Atraer más industria de la iluminación y por lo tanto crear más empleos.

Potenciar las industrias secundarias suministros o materiales para la industria de la iluminación, como vidrio, plástico o servicios.

Preservar la salud y la productividad de los trabajadores a través de una demanda reducida de centrales eléctricas que posteriormente dará lugar a una mejor calidad del aire para los residentes.

Proporcionar un impulso económico para el estado a través de los costos de energía reducidos para residentes y negocios.

Menor consumo de energía reduciendo así la necesidad de construir más centrales eléctricas (Soumonni, 2008).

4.5. COMPARACIONES ENTRE FUENTES LUMINOSAS DE DIFERENTE TECNOLOGÍA

4.5.1 Comparación de lámparas de halógeno y filamento con lámparas LED. Durante muchos años la iluminación artificial fue parte fundamental de las edificaciones humanas, tanto habitacionales como áreas de trabajo e inclusive Tránsito y alumbrado público. Debido a esta necesidad el ser humano ha desarrollado diversas técnicas de iluminación, cada vez más capaces de desempeñar su función. Es por esto que se han desarrollado nuevas tecnologías cuya tendencia se enfoca cada vez más a una mayor duración (tiempo de vida) y

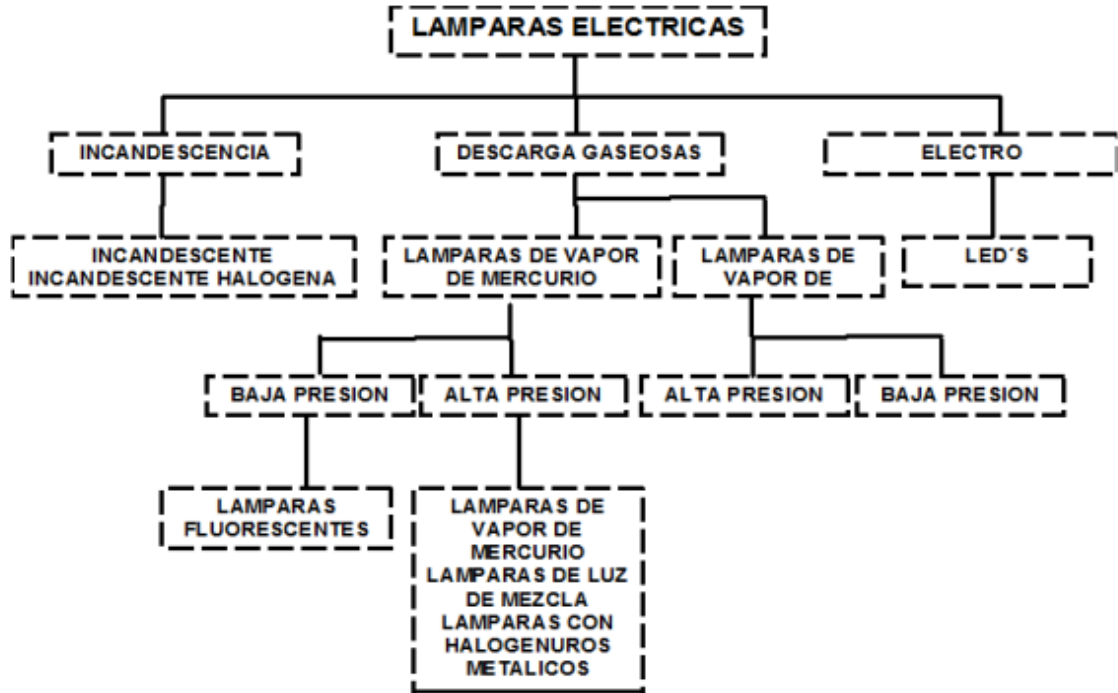
eficiencia (ahorro y mejor uso de la energía eléctrica) de estos medios de iluminación artificial. (Martínez Guevara, 2012).

En la actualidad se cuenta con una gran diversidad de tecnologías para la iluminación, y son denominadas lámparas eléctricas, las cuáles se dividen de la siguiente manera:

- Lámparas de incandescencia: basadas en un filamento y una cámara de vacío o con gas inerte. Al pasar corriente eléctrica por el filamento, éste eleva su temperatura hasta el rojo vivo y de este modo emite radiaciones, mismas que generan luz. El vacío en su interior es fundamental, ya que de existir oxígeno en el interior de este tipo de lámparas sólo podrían funcionar una vez y entrarían en combustión inmediatamente, destruyéndose.
- Lámparas de descarga gaseosa: estas funcionan mediante el uso de gases inertes y mercurio o sodio, según sea el caso. El gas inerte se debe excitar mediante la generación de una descarga eléctrica derivada de una alta diferencia de potencial, de tal modo que el gas se ionice y permita el flujo de electrones, estos desprenden energía que absorbe el mercurio o sodio(según el tipo de lámpara) transformándola en luz visible.
- Electroluminiscencia: Este tipo de lámparas funciona por principio fotoeléctrico, el cual consiste en la emisión de fotones al darse caídas de nivel en los electrones de los niveles de energía externos en el átomo, después de inyectársele energía de manera artificial a los electrones antes mencionados.

En la Figura 7, se muestra la clasificación de los sistemas de iluminación artificial más comunes.

Figura 7. Clasificación de las lámparas eléctricas.



Cada una de las lámparas eléctricas tiene diferentes características, intrínsecas a su construcción que las distingue, cada una con consumos de energía y patrones de radiación diferentes, sin embargo, es importante mencionar que no toda la energía que estas emiten es luz visible.

Así mismo, no toda la luz visible tiene las mismas características, ya que existen dos criterios que sirven para evaluar la calidad de la luz:

- La temperatura del color: cuando un cuerpo aumenta su temperatura emite luz, si la temperatura es alta, la luz emitida es azul o fría, mientras que si baja la temperatura la luz es rojiza y cálida.
- Índice del rendimiento del color (IRC): es la capacidad de la luz para reproducir los colores, se basa en una escala del 0 al 100, mientras más alto sea el IRC,

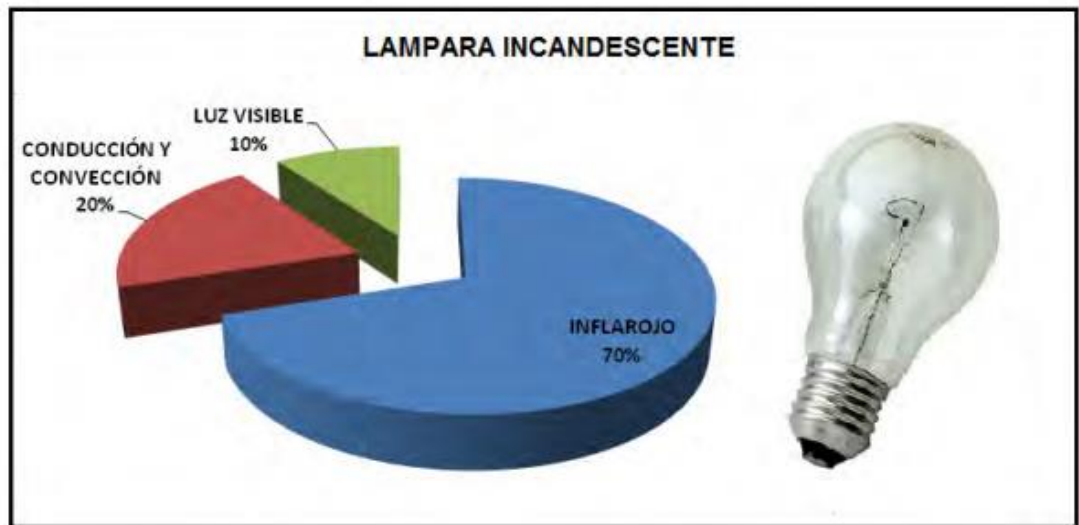
mejor será la capacidad de la luz para reproducir los colores.

Una nueva tecnología de iluminación es el LED de potencia, aunque el LED ya tiene muchos años de existir, anteriormente no era considerado un medio viable para iluminación por el hecho de producir muy poca cantidad de luz, considerada insuficiente para propósitos de iluminación general, sin embargo ese problema ha quedado atrás con la reciente tecnología de los LED de potencia, los cuales presentan ventajas sobre las lámparas incandescentes y fluorescentes, siendo las principales el poco consumo de energía, prolongado tiempo de vida y alta resistencia a impactos.

Las lámparas incandescentes tienen una elevada generación de calor, como se puede apreciar en la figura 8, ya que 20% de su radiación emitida es conducción y convección y otro 70% son radiaciones infrarrojas, dejando así solo un 10% a luz visible, por lo que es la lámpara eléctrica menos eficiente.

Una lámpara incandescente tiene un índice de rendimiento de color de 100 y genera aproximadamente 15 lm/W con una temperatura del color de 2850 K para los focos de 100 W. Su tiempo de vida útil promedio es de 1000 horas para la lámpara incandescente convencional y de hasta 2000 horas para la lámpara incandescente halógena.

Figura 8. Porcentaje de radiaciones emitidas por las lámparas incandescentes.



Las lámparas de alta intensidad de descarga (HID) son más eficientes que las incandescentes, como se puede apreciar en la Figura 9, ya que hasta 25% de su radiación emitida es luz visible, sin embargo, aún 50% de la radiación emitida es calor y entre 15 y 20% son radiaciones infrarrojas, además de tener la desventaja de emitir longitudes de onda ultravioleta, nocivas para el ser humano, de entre un 5 a un 20% del total de su radiación.

Una lámpara de alta intensidad de descarga tiene un IRC de entre 65 y 90, y genera hasta 120 lm/W, dependiendo del gas utilizado, con una temperatura de color de entre 3000 y 4200 K. Su tiempo de vida útil va de las 9000 a las 16000 horas.

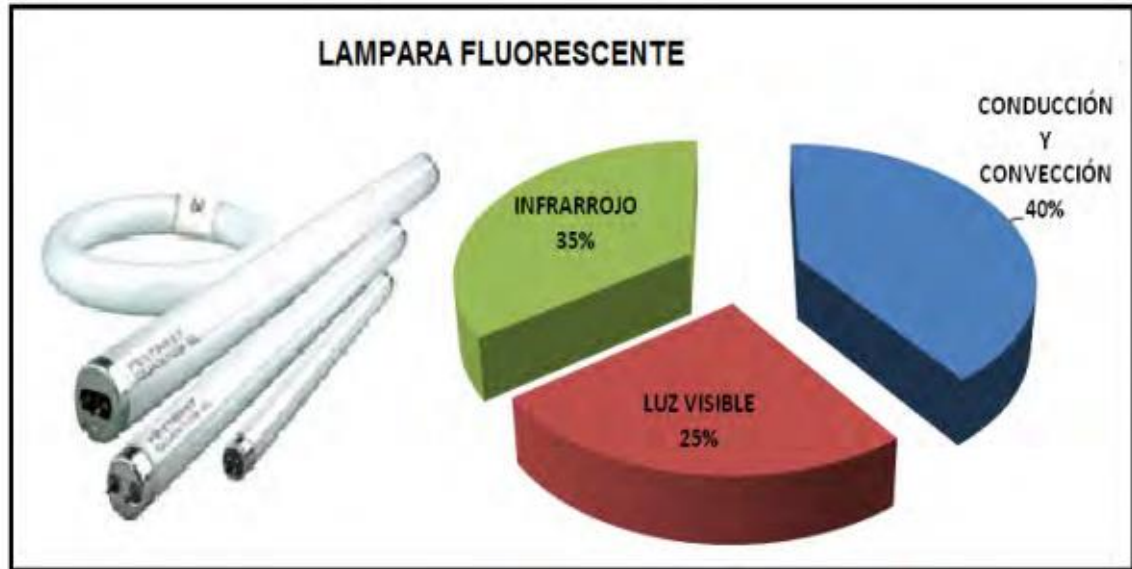
Figura 9. Porcentaje de radiaciones emitidas por las lámparas de alta intensidad de descarga.



Las lámparas fluorescentes se dividen en 2 grandes familias: las lámparas fluorescentes tubulares y las lámparas fluorescentes compactas. Que a pesar de estar construidas en tecnologías muy similares, si presentan diferencias importantes en su desempeño; la más notable es que las lámparas fluorescentes tubulares no emiten radiación ultravioleta, al contrario de las compactas, que producen cantidades pequeñas de este tipo de radiación.

La lámpara fluorescente tiene una emisión de 25% de luz visible, pero tiene una alta generación de calor al producir 35% de radiación infrarroja y un 40% más de conducción y convección. Como se muestra en la Figura 10. Una lámpara fluorescente tubular tiene un IRC de entre 50 y 95, y genera hasta 100 lm/W, con una temperatura de color de entre 3200 y 6300 K. Su tiempo de vida útil va de las 7500 a las 30000 horas.

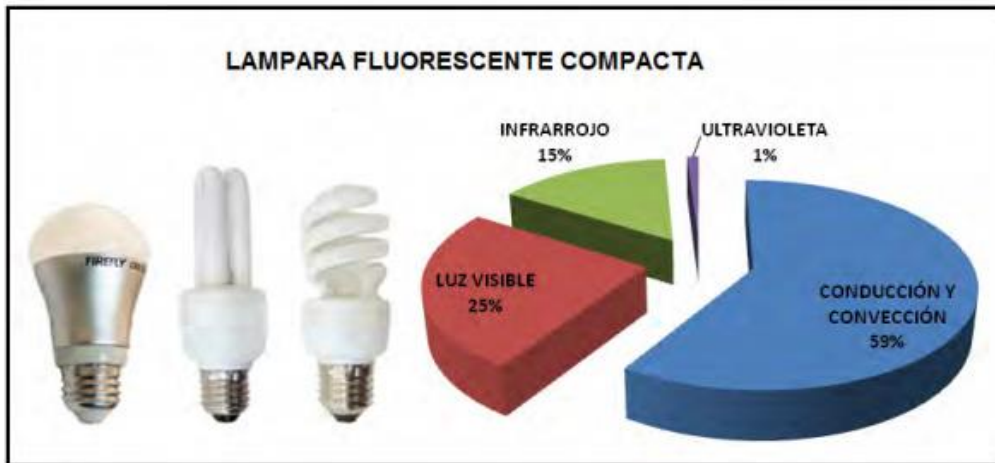
Figura 10. Porcentaje de radiaciones emitidas por las lámparas fluorescentes tubulares.



Por su parte, la lámpara fluorescente compacta, emite aproximadamente hasta un 25% de luz visible, 15% de radiación infrarroja, hasta 59% de conducción y convección y finalmente un 1% de radiación ultravioleta, dañina para el ser humano (Ver Figura 11).

Una lámpara fluorescente compacta tiene un IRC de 80, y genera hasta 80 lm/W, con una temperatura de color de entre 3000 y 6500 K. Su tiempo de vida útil va de las 6.000 a las 15.000 horas.

Figura 11. Porcentaje de radiaciones emitidas por las lámparas fluorescentes compactas.



Finalmente el LED de potencia, que tiene la ventaja de emitir únicamente luz visible, sin embargo buena parte de la energía eléctrica consumida por el dispositivo se transforma en calor, como se muestra en la Figura 12.

El IRC del LED es mayor a 90, y genera más de 75 lm/W, con una temperatura del color de los 5500 K. Su tiempo de vida útil va de las 50000 a las 100000 horas.

Figura 12. Porcentaje de radiaciones emitidas por los LED de potencia.



4.5.2. Ventajas y desventajas. Una vez mencionadas sus características de funcionamiento, es necesario mencionar igualmente sus principales ventajas y desventajas en su aplicación, en la tabla 5 se muestra un listado de dichas ventajas y desventajas, para cada una de las tecnologías de iluminación existentes.

Tabla 6. Ventajas y desventajas de las tecnologías de iluminación.

TECNOLOGIA DE ILUMINACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
LÁMPARAS INCANDESCENTES	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo. - No necesita de un sistema especial de alimentación (balastro). - Máximo IRC. 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja eficiencia. - Fragilidad a impactos. - Vida útil <1,000 hrs.
LÁMPARAS DE HID	<ul style="list-style-type: none"> - Alta eficiencia. - Larga vida útil. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fragilidad a impactos. - Contiene sustancias venenosas. - Se desgasta al encender y apagar.
LÁMPARAS FLUORESCENTES	<ul style="list-style-type: none"> - Alta eficiencia. - Larga vida útil. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fragilidad a impactos. - Necesita direccionamiento para enfocar la luz. - Se desgasta al encender y apagar.
LED´s DE POTENCIA	<ul style="list-style-type: none"> - Muy alta eficiencia y bajo consumo de energía. - Mayor vida útil de hasta 100,000 hrs. - Resistente a impactos. - No emite longitudes de ondas dañinas. - No necesita direccionamiento. - Puede producir Luz blanca y de color. - Tamaño reducido. - Fáciles de controlar y programar. - Rápida respuesta de encendido/apagado, ideales para aplicaciones donde se necesite conmutaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo relativamente elevado. - Requiere de un suministro de corriente constante para un correcto funcionamiento.

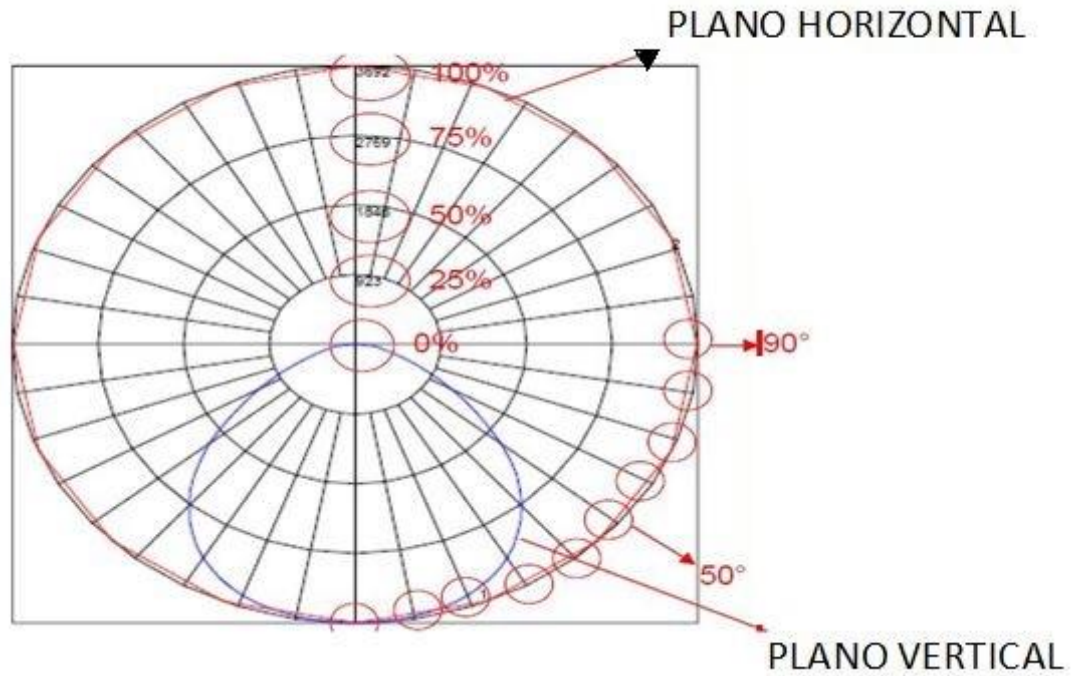
4.6 FUNDAMENTOS DE FOTOMETRÍA

4.6.1 Curvas polares. Es un diagrama polar donde se representa la intensidad luminosa de una lámpara o una luminaria, esta curva se obtiene al tomar mediciones de la intensidad luminosa desde distintos ángulos alrededor de una luminaria por medio de un goniómetro; cada luminaria tiene una curva de distribución en particular, lo cual permite elegir la más adecuada para una aplicación determinada. Las curvas fotométricas están basadas en los valores de las candelas contenidos en el arreglo polar. Una candela es la unidad de intensidad luminosa. La intensidad luminosa se representa mediante un sistema de tres coordenadas (I, C, Y). La primera de ellas I significa el valor numérico de la intensidad luminosa en candelas e indica la longitud del vector mientras las otras señalan la dirección. El ángulo C nos dice en qué plano vertical estamos y mide la inclinación respecto al eje vertical de la luminaria. En este último, 0° señala la vertical hacia abajo, 90° la horizontal y 180° la vertical hacia arriba. (Abadía Torres, Barreiro, & Espino, 2012).

El diagrama polar está dividido en cuatro anillos, cada uno representando un incremento de 25% en magnitud. Al centro del diagrama polar, la intensidad de la candela es igual a 0, no hay luz.

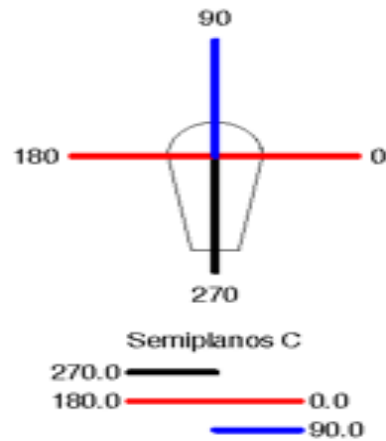
En el anillo exterior, la intensidad equivalente al valor máximo de la candela. El primer anillo representa el 25% del valor máximo, el segundo anillo representa el 50% de la máxima, y el tercer anillo el 75% de la máxima. Al ir incrementando los valores de candelas en magnitud (incremento en intensidad) tienden a moverse hacia las porciones exteriores del diagrama, por lo que el valor de intensidad máxima será el punto que esté más alejado del centro (ver Figura 13)

Figura 13. Diagrama polar dividido en 4 anillos, representado los niveles de intensidad en candelas



Normalmente la curva polar representa los dos planos verticales, el transversal (0° a 180°) esta indica la distribución del flujo luminoso que logra la luminaria hacia ambos lados de su eje principal, si se trata de una luminaria de carretera, estaríamos hablando de la luz proyectada hacia los carriles de circulación y longitudinal (90° a 270°) representa la iluminación orientada hacia adelante y hacia atrás (ver Figura 14). Generalmente el plano transversal es rojo y el longitudinal es de color azul o negro, cuando se presenta en blanco y negro es un trazo lleno mientras que el longitudinal es un trazo punteado.

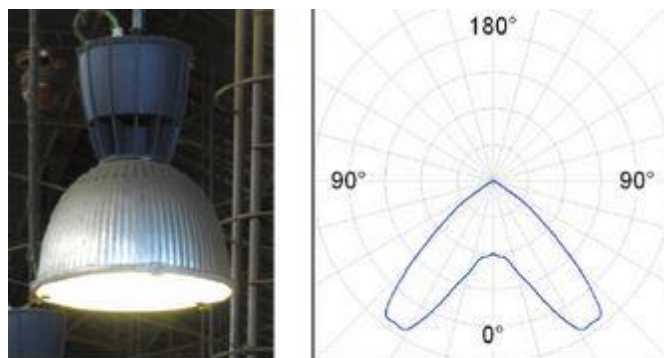
Figura 14. Curva polar, representación de los 2 planos verticales



Fuente (STS proyectos de ingeniería <http://www.stsproyectos.com/descargas/cie-flux-code.html>)

4.6.2 Curva polar simétrica. Cuando la distribución luminosa es la misma en todos los planos verticales (transversal y longitudinal) por lo que una sola curva es suficiente para su identificación fotométrica.

Figura 15. Curva polar simétrica

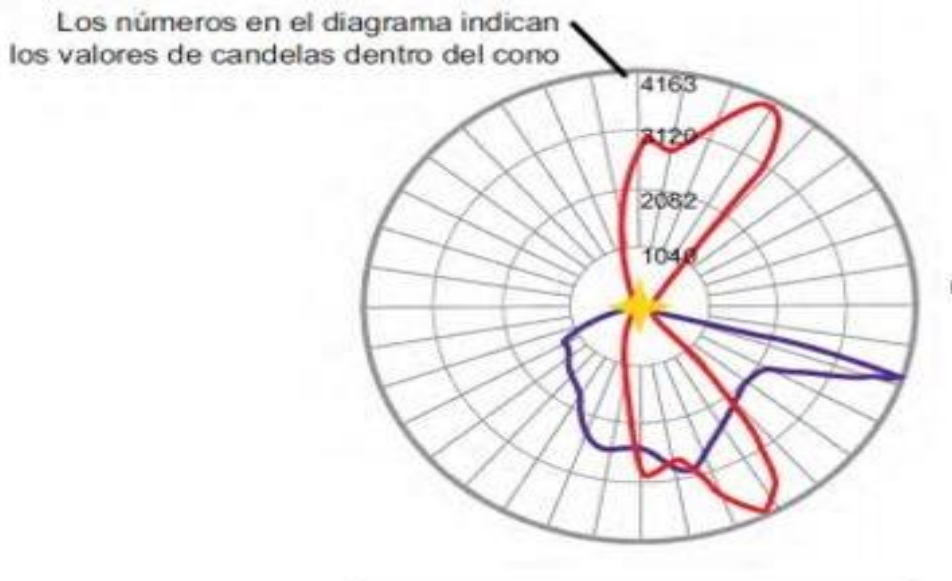


Fuente (grupo de estudios luminotécnicos UPC

<http://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fotometria.php>)

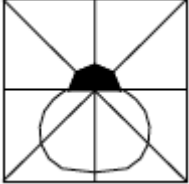
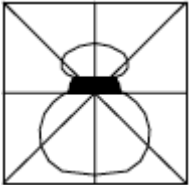
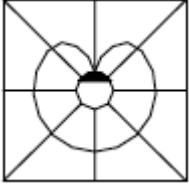
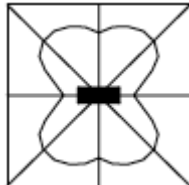
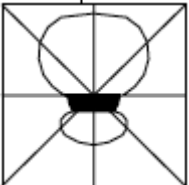
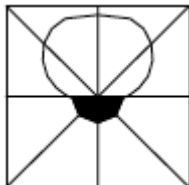
4.6.3 Curva polar asimétrica. Cuando la distribución luminosa no es la misma en sus 2 planos verticales, es necesario conocer todas sus 2 curvas en el plano. Generalmente el plano transversal es rojo y el longitudinal es de color azul o negro

Figura 16. Curva polar asimétrico



4.6.4 Clasificación de distribución luminosa según CIE (1986). Las características de la distribución luminosa permiten clasificar las luminarias en grupos que tienen propiedades parecidas, la CIE establece una clasificación de las luminarias para interiores en función de su distribución. A continuación se clasifican en porcentaje el flujo luminoso emitido hacia el hemisferio superior (%FHS) y hemisferio inferior (%FHI)

Tabla 7. Clasificación de luminarias de acuerdo a la Comisión Internacional de la Iluminación CIE.

Tipo de luminaria	%FHS	%FHI	Distribución del flujo
Directa	0-10	90-100	
Semi-directa	10-40	60-90	
General Difusa	40-60	40-60	
Directa-indirecta	40-60	40-60	
Semi-indirecta	60-90	10-40	
Indirecta	90-100	0-10	

4.7. NORMAS Y CONTROL DE CALIDAD

Una luminaria es un aparato eléctrico y, consecuentemente se le debe exigir que cumpla los mismos requisitos de seguridad que el resto de aparatos eléctricos. (Costa Muñoz & otros, 2011)

4.7.1. Protección contra choques eléctricos. Las luminarias se clasifican en función del tipo de protección que ofrecen contra los choques eléctricos bajo el punto de vista de la seguridad de las personas. Se clasifican en 4 clases:

Clase 0: Protección contra los choques eléctricos recae sobre el aislamiento principal

Clase I: Protección contra los choques eléctricos recae, además del aislamiento principal, sobre una medida de seguridad suplementaria bajo forma de medios de conexión de las partes conductoras accesibles, a un conductor de protección de puesta a tierra, formando parte del cableado fijo de la instalación

Clase II: Luminaria que comprende medidas de seguridad complementarias, tales como el doble aislamiento o el aislamiento reforzado.










Clase III: protección contra los choques eléctricos recae en la alimentación con muy baja tensión de seguridad (MBTS). La tensión de alimentación del conjunto óptico es de 12V o 24V. Estos valores de tensión se encuentran dentro del rango de MBT de acuerdo con la Tabla 9, por lo que se clasifica el conjunto óptico como clase III.

Tabla 8. Tensiones nominales.

	Corriente alterna (Valor eficaz)	Corriente continua (Valor medio aritmético)
Muy baja tensión	$U_n \leq 50V$	$U_n \leq 75V$
Tensión usual	$50 < U_n \leq 500V$	$75 < U_n \leq 750V$
Tensión especial	$500 < U_n \leq 1000V$	$750 < U_n \leq 1500V$

4.7.2. Código IP. De acuerdo a la normativa europea EN 60529, para especificar el grado de hermeticidad se lleva a cabo mediante unas siglas IP seguida de 2 cifras, la primera de las cuales corresponde a la protección contra la penetración de cuerpos sólidos, partículas y polvo, y la segunda cifra indica el grado de protección contra la entrada de líquidos, agua, lluvia, etc. La tabla siguiente muestra los distintos grados IP y los requisitos necesarios.

Tabla 9. Grados IP

<i>Primer dígito</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Denominación</i>	<i>Segundo dígito</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Denominación</i>
0		No-protegida	0		No protegida
1		Protegida contra el ingreso de objetos sólidos mayores de 50 mm	1		Contra goteo
2		Protegida contra el ingreso de objetos mayores de 12 mm	2		Contra goteo con inclinaciones de hasta 15 grados
3		Protegida contra el ingreso de objetos mayores de 2.5 mm	3		Contra lluvia
4		Protegida contra el ingreso de objetos mayores de 1.0 mm	4		Contra salpicaduras
5		Antipolvo	5		Contra chorro de agua
6		Hermética al polvo	7		Contra inmersión
			8		Contra sumersión

Lo ideal es el máximo grado de protección disponible, pero la necesidad de protección vendrá dada por la aplicación particular. Muchas luminarias del

mercado disponen de dos grados de protección declarados: uno para el grupo óptico y otro para el resto de la luminaria.

El del grupo óptico es más elevado que el del resto de la luminaria ya que constituye la parte más crítica y cualquier alteración en su capacidad reflectora o refractora se traduce en una alteración importante de las características principales de la luminaria.

El grado de protección para el grupo óptico será IP20. La aplicación es para uso interior con lo que no se requiere protección contra el agua.

Figura 17. Símbolo lámpara con grado de protección contra líquidos nulo



4.7.3. Grado protección contra choques mecánicos (IK). Las luminarias se clasifican por medio de Códigos IK, cuyo objetivo es indicar el grado de protección provisto por un encerramiento o envoltente de materiales eléctricos contra el impacto o choque mecánico externo, como se presenta en la Tabla 9.

El IK se identifica con un número que comprende once grados que van desde el grado 00 –sin protección, hasta el grado 10, para energía de choque de 20,0 J. equivalente al impacto de una masa de 5 kg, en caída libre a una distancia de 40 cm.

Tabla 10. Grados de hermeticidad y protección contra el impacto.

ÍNDICE IP				ÍNDICE IK	
Primera cifra		Segunda cifra			
IP	Protección contra cuerpos sólidos	IP	Protección contra Líquidos	IK	Protección contra el impacto Energía de Impacto (JOULES)
0	Sin protección	0	Sin protección	0	No protegido
1	$\Phi \geq 50$ mm (Contactos involuntarios)	1	Caída vertical de gotas de agua	0 1	0,15
2	$\Phi \geq 12$ mm (Contactos involuntarios)	2	Caída de agua hasta 15° de la vertical	0 2	0,20
3	$\Phi \geq 2,5$ mm (Herramientas cables)	3	Agua lluvia hasta 60° de la vertical	0 3	0,35
4	$\Phi \geq 1$ mm (herramientas finas - cables)	4	Proyección de agua en todas las direcciones	0 4	0,50
5	Protegido contra polvo	5	Lanzamiento de agua en todas las direcciones	0 5	0,70
6	Totalmente protegido contra polvo	6	Lanzamiento de agua similar a los golpes de mar	0 6	1,00
		7	Inmersión	0 7	2,00
		8	Efectos prolongados de inmersión bajo presión	0 8	5,00
				0 9	10,00
				1 0	20,00

4.7.4 Restricción del uso de sustancias peligrosas. La RoHS es una Directiva comunitaria que afecta a la UE, la cual restringe el uso de 6 sustancias peligrosas en la fabricación de equipos eléctricos y electrónicos.

Se establece que ningún equipo, aparato, herramienta eléctrica o electrónica podrá contener en sus componentes mayores cantidades que las que establece la Normativa de Sustancias Peligrosas para el Medio Ambiente para materiales como:

- Metales pesados: plomo, mercurio, cadmio

- Anticorrosivos: cromo hexavalente
- Retardantes: bifenilo polibromado, éteres de difenilo polibromado

El uso de materiales como el aluminio para el reflector y disipador y el no disponer de soldaduras con componente de plomo en el ensamblaje permiten que el producto se adapte a la normativa.

4.7.5 Marcaje. La luminaria debe cumplir todos los puntos relativos al marcado previsto en la norma UNE- EN60598-1. El marcado de la luminaria es con carácter negativo.

4.7.6. Iluminación de los lugares de trabajo interiores. Esta norma UNE –EN 124641, especifica requisitos de iluminación para lugares de trabajo en interiores que satisfacen las necesidades de confort y prestaciones visuales. Se han considerado todas las tareas visuales corrientes, incluyendo los equipos con pantallas de visualización.

4.7.7. Tareas visuales, clasificación. La norma UNE 72-112-85, Clasifica las tareas atendiendo el valor de exigencia visual, según esta norma tenemos:

Tabla 11. Clasificación de las tareas dependiendo de las exigencias

 Categoría	Designación normal	Ejemplos
A	Muy simple	<ul style="list-style-type: none"> • Andar por la calle • Conducción de automóviles • Vigilancia de grandes espacios
B	Simple	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación de vagones de ferrocarril • Manejo de contenedores • Circulación por vestíbulos
C	Muy fácil	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento sin clasificación (bultos) • Identificación de personas
D	Fácil	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de máquinas herramientas pesadas • Lavado de automóviles • Almacenamiento dinámico
E	Normal	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajos comerciales • Reparación de automóviles • Planchado y corte en la confección
F	Difícil	<ul style="list-style-type: none"> • Escritura y dibujo con tinta • Ajuste en mecánica • Selección industrial de alimentos • Visualización de pantallas normales
G	Muy difícil	<ul style="list-style-type: none"> • Escritura y dibujo con lápiz • Costura en la confección • Visualización de pantalla de gran resolución
H	Complicada	<ul style="list-style-type: none"> • Montaje sobre circuitos impresos • Trabajos de relojería • Igualación de colores
I	Muy complicada	<ul style="list-style-type: none"> • Operaciones quirúrgicas • Tallado de piezas preciosas

4.7.8. Niveles de iluminación. Asignación de tareas: La norma UNE 72-163-84, para facilitar la interpretación de los valores establecidos en la norma anterior se expondrá en la Tabla 12.

Tabla 12. Recomendaciones norma UNE 72-163-84

Categoría	Designación normal	Rango de iluminancias (lux)
A	Muy simple	20 a 50
B	Simple	50 a 100
C	Muy fácil	100 a 200
D	Fácil	200 a 500
E	Normal	500 a 1.000
F	Difícil	1.000 a 2.000
G	Muy difícil	2.000 a 5.000
H	Complicada	5.000 a 10.000
I	Muy complicada	10.000 a 20.000

5. METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE PROYECTO

El proyecto será el mejoramiento ya que el punto de partido va a hacer una luminaria existente en el mercado y por medio de esta hacerle sus respectivas mejoras en sus condiciones fotométricas llegando a un prototipo más óptimo mediante simulación de la herramienta computacional Dialux.

5.2 MÉTODO

Deductivo porque se parte de información general en iluminación, de luminarias, normas para aplicarlo a un prototipo particular de luminaria LED.

5.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

5.3.1 Fuentes primarias: Se realizó visita a la empresa Luxycon dedicada a la fabricación y venta de luminarias, se entrevistó a el representante de Roy Alpha, experto en luminarias LED, visita a la empresa de medición y ensayos fotométricos LAPEC en Electrocontrol, Asesoramiento en la parte del software de simulación Dialux por los ingenieros William Alzate director de investigación y Manuel Restrepo.

5.3.2 Fuentes secundarias: Se consultaron en catálogos, libros, tesis, Internet, videos, documentos.

5.4 PROCEDIMIENTO

Para el presente proyecto, se inició recibiendo capacitación en el manejo de Dialux básico y avanzado, se plantea un cronograma de actividades donde tiene como fin

la correcta y oportuna construcción de la luminaria y el compromiso en el desarrollo del proyecto.

Se empieza con la construcción de 2 prototipos de luminaria, utilizando 2 referencias de LED distintas, con el objetivo de escoger 1 de los 2 prototipos.

Para la selección de dicho prototipo se evaluó aspectos como: mayor eficacia y eficiencia luminosa, el que menor energía consume y la luminaria que más nivel de iluminación produzca, este último aspecto se realiza por un instrumento de medición de iluminación: luxómetro. Al mejor prototipo se le hizo pruebas en un laboratorio de luminotecnica certificado, la cual se tuvo como resultado matriz de intensidad (.IES), curva polar, tabla de coeficientes de utilización, gráfica zonal, entre otras.

Dicha luminaria podrá ser utilizada en espacios interiores, como salones, corredores, oficinas, bibliotecas, áreas generales, salas de conferencia, vestidores, escaleras, etc.

Se hizo un análisis general del espacio en donde se quiere instalar el prototipo de luminaria de estado sólido, por lo tanto se indaga el lugar apropiado, donde se concluye que sería en uno de los laboratorios de automatización de la Institución Universitaria Pascual Bravo. Por medio del software Dialux se hizo un modelamiento tridimensional del lugar.

Al final se elaboró el informe escrito (documento final).

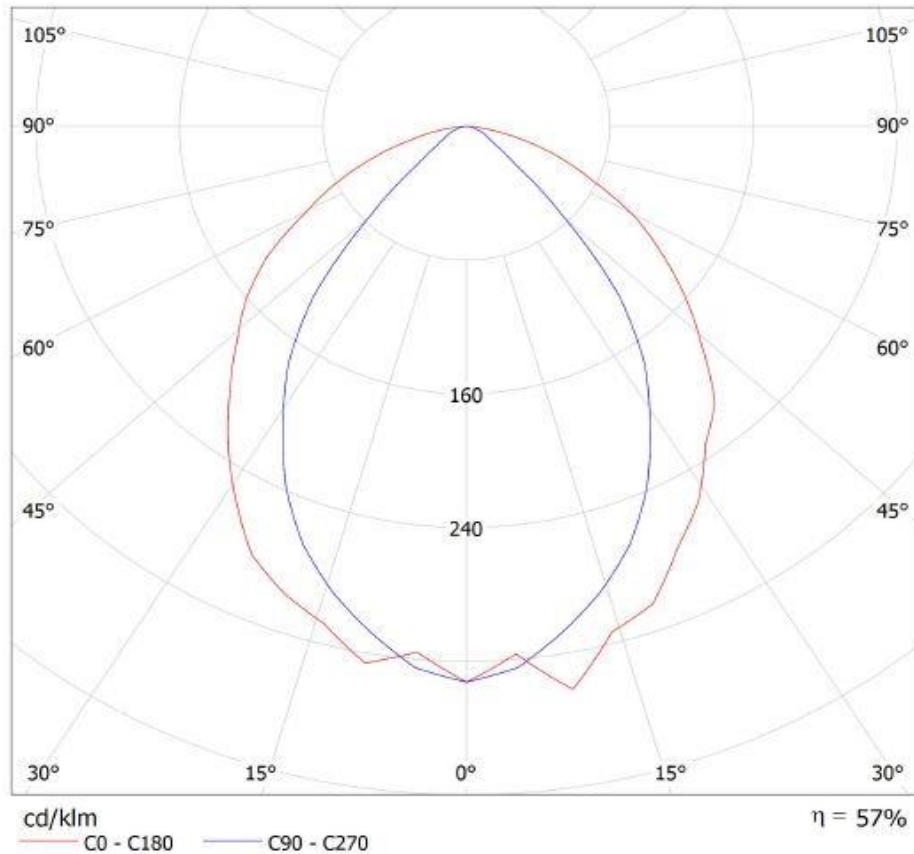
6. RESULTADOS DEL PROYECTO

6.1 CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN CON TUBOS FLUORESCENTES

Con el fin de tener un punto de partida para la construcción del prototipo de luminaria LED, se caracterizó una luminaria que utiliza tubos fluorescentes, desde el punto de vista eléctrico y lumínico. Se escogió una luminaria que actualmente sea común en el mercado, se asemeje a las dimensiones el prototipo de luminaria LED, presente una opción versátil por su instalación tanto de incrustar, sobreponer y suspender, diseño que se adapte a cualquier espacio y que sea bastante utilizada en espacios interiores como lo son en bibliotecas, oficinas, zonas de espera, corredores, etc, y a continuación estos fueron los puntos que se evaluaron.

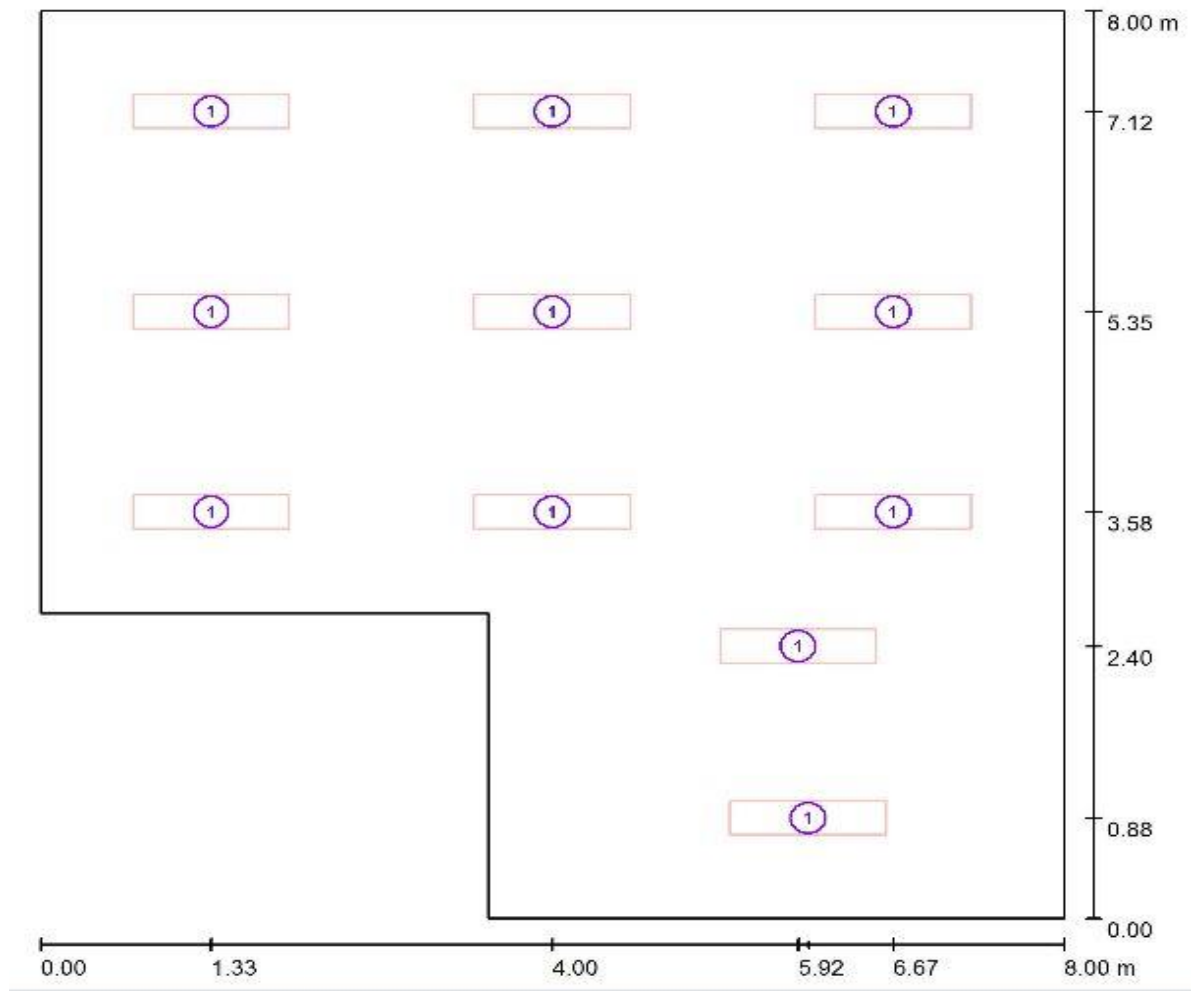
6.1.1 Diagrama polar de luminaria que utiliza tubos fluorescentes. Para este caso se trabajó con una luminaria con tubos fluorescentes T5, 2X28W, reproducción cromática del 80%, temperatura de color 4000 Kelvin, flujo luminoso de las lámparas, o tubos fluorescentes 5800 lumen, flujo luminoso luminaria 3324 lumen, su rendimiento luminoso es de 57% lo que significa que la potencia entregada en los vatios, solo el 57% es emitido fuera de la luminaria como luz visible, el otro 43% se convierte en pérdidas, no se establece para este caso flujo desperdiciado hacia arriba como tipo de iluminación indirecta ya que no se evidencia franjas por encima de la línea horizontal – 90°.

Figura 18. Diagrama polar luminaria de tubos fluorescentes, informe del software Dialux 4.12



6.1.2 Distribución de luminarias en el laboratorio de la IUPB. Por medio del software AutoCAD se diseña el área para luego importarlo a Dialux, con el fin de saber el número requerido de luminarias teniendo en cuenta los niveles exigidos por el RETILAP, para nuestro caso es 500 luxes ya que se trata de iluminación general en un salón de clase. Cabe destacar que el laboratorio tiene dimensiones de 8 m de ancho, 8 m de largo 4m de alto, y dichas luminarias son suspendidas a una altura de 3 metros a nivel del suelo.

Figura 19. Distribución de luminarias vista de planta en laboratorio IUPB con el software Dialux 4.12



De acuerdo a esta cantidad de luminarias y la distribución entonces se tiene que estas 11 luminarias tienen un consumo total de 693W, un total de flujo luminoso en todas las luminarias de 36560 lumen, un promedio de nivel de iluminación de 510 luxes, lo cual cumple con lo estipulado por RETILAP, como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Parámetros fotométricos en el laboratorio IUPB

Altura del local: 4.000 m, Altura de montaje: 3.000 m, Factor mantenimiento: 0.80 Valores en Lux, Escala 1:103

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	510	196	677	0.384
Suelo	20	316	67	530	0.211
Techo	70	158	112	219	0.710
Paredes (6)	90	191	58	365	/

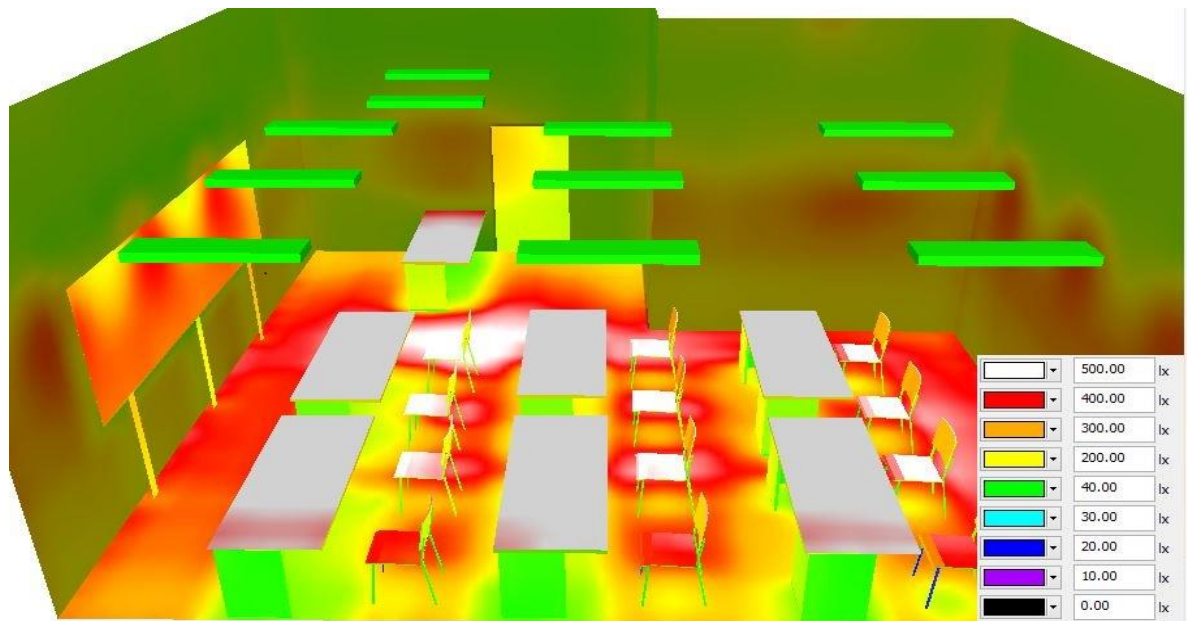
Plano útil:
 Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	11	Luxycon-Pocket-30x120-2x28-T5-16C-Rejilla Semiespecular (0.900)	3324	5800	63.0
			Total: 36560	Total: 63800	693.0

6.1.3 Diagrama cromático en el laboratorio de la IUPB. Para la determinación veraz del cumplimiento del nivel de iluminación en las áreas de trabajo se hizo un análisis mediante la relación de colores en el software Dialux, donde se ve que en los puestos de trabajo recibe los 500 luxes recomendados por el RETILAP.

Figura 20. Representación de niveles de iluminación en colores falsos laboratorio IUPB



6.2 CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO DE LUMINARIA LED

Para la realización de este prototipo, se inició con la compra de 5 referencias de LED, las cuales fueron:

- LED LB5050 (Montaje superficial)
- LED LFBLA
- LED LF5P
- LED LFB3
- LED común de chorro

Estas 5 referencias fueron analizadas por medio de un luxómetro, el cual consiste el medir su nivel de iluminación (lux) con el fin de escoger las 2 mejores referencias de LED, y así armar 2 prototipos de luminaria LED.

6.3 SELECCIÓN DE LAS 2 REFERENCIAS DE LED MÁS ÓPTIMOS

Para escoger las 2 mejores referencias de LED, se soldó sobre una regleta de baquelita 3 LED, conectados en serie donde se le hicieron mediciones con el luxómetro para clasificarlos de acuerdo a cual da mejor nivel de iluminación.

Figura 21. LED referencia LFBLA sobre una regleta de baquelita



Figura 22. LED referencia LF5P sobre una regleta de baquelita



Figura 23. LED referencia LFB3 sobre una regleta de baquelita

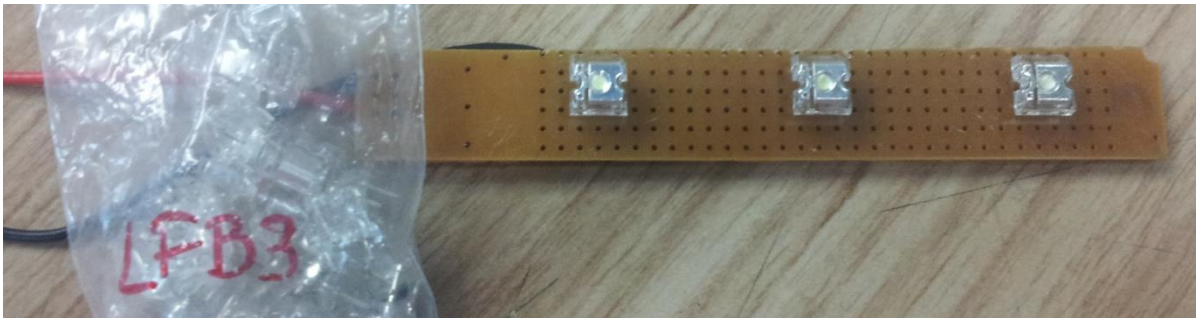
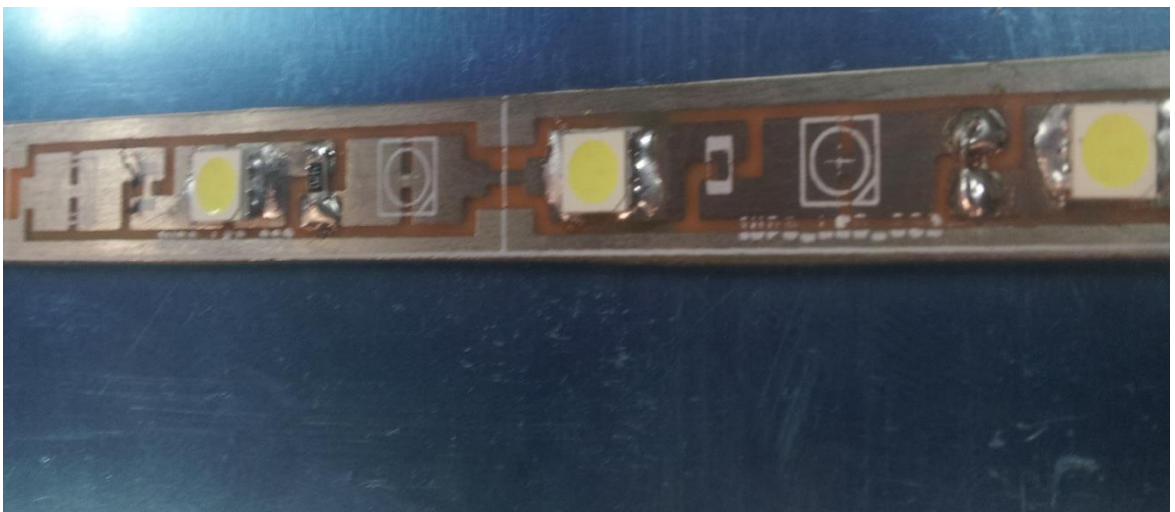


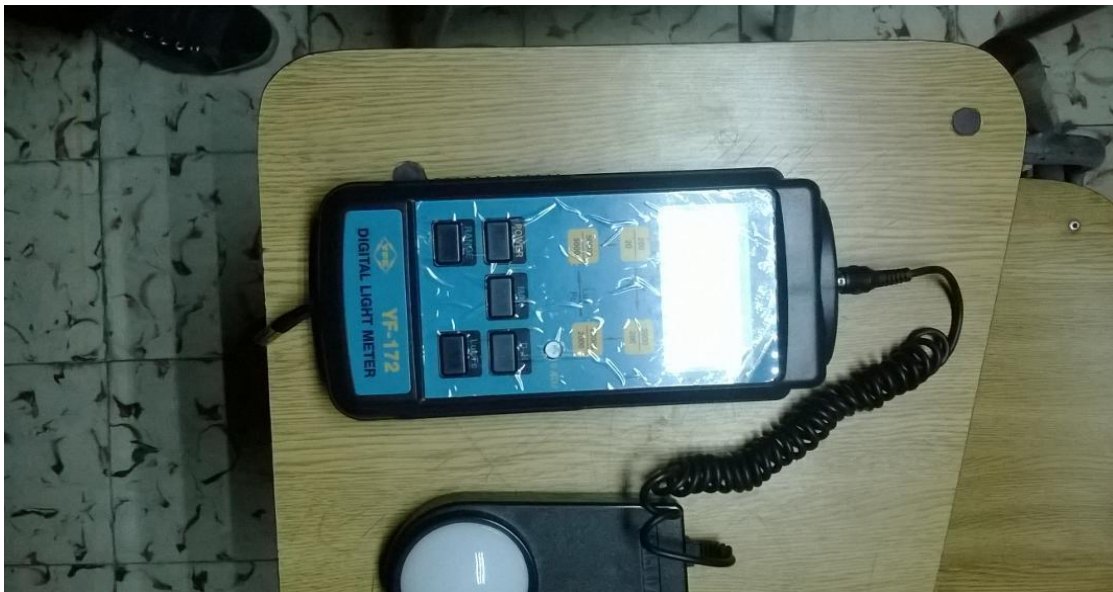
Figura 24. LED referencia LB5050 sobre una regleta de baquelita



Al tener listo los mini montajes de los 3 LED sobre la baquelita, se dispone a hacer la medición a cada uno de las 5 referencias; cabe destacar que la referencia del LED común de chorro no se le hizo medición ya que, ese tipo de LED, es más para señalización como semáforos, indicadores de encendido o apagado en los electrodomésticos.

En la Figura 25, aparece el luxómetro donde se puede apreciar la marca y la referencia con la que se hizo las mediciones, instrumento que lo facilitó el laboratorio de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

Figura 25. Luxómetro, instrumento para medir nivel de iluminación.



Después de someter las 4 referencias de LED, a las mediciones con el luxómetro, se concluyó que la referencia LFBLA y el LED de referencia LB5050, son los LED que mejor niveles de iluminación obtuvieron.

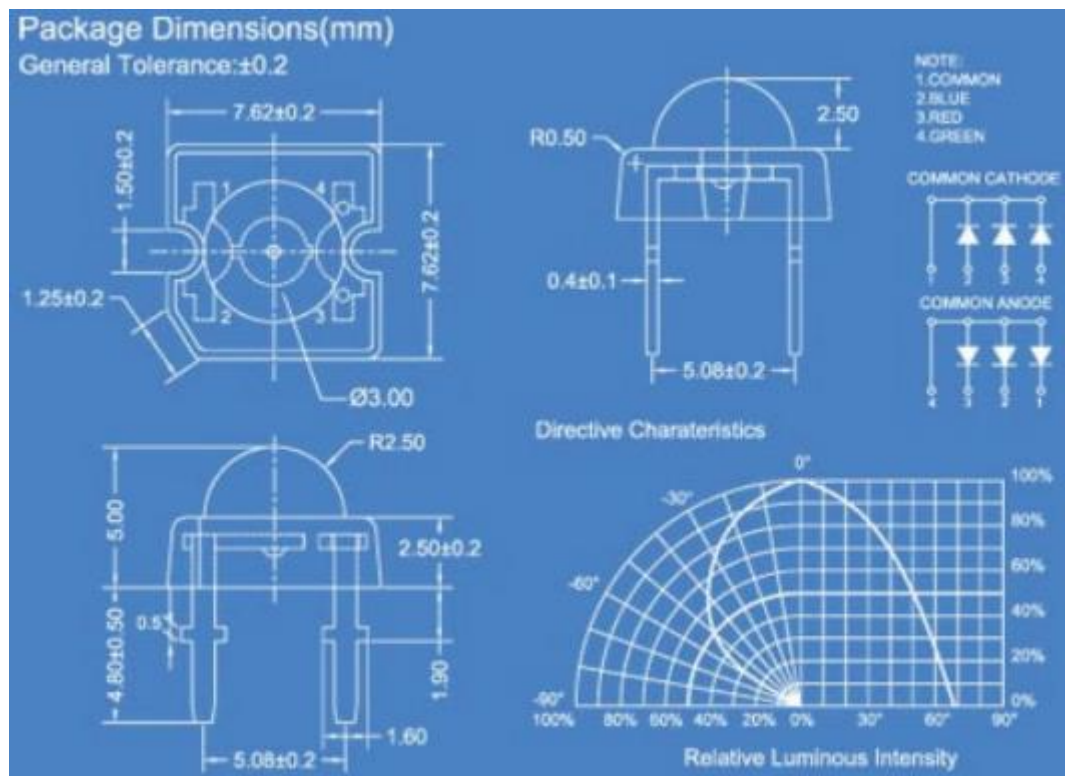
Al ver el éxito en las mediciones de estas 2 referencias se dispuso armar 6 regletas con 15 LED cada una, estas regletas se fijaron a una lámina de aluminio

con dimensiones de 1,2m x 0,3m x 0,1 m, tal lamina seria el cuerpo de la luminaria y las que nos ayude a disipar el calor.

6.4 PARTES DE LOS PROTOTIPOS

6.4.1. Características LED de referencia LFBLA. Ángulo de visión de 100 grados, dimensión de 5.0 x 2.5 x 7.6 x 7.6 mm, tipo de montaje incrustado a la baquelita, intensidad luminosa de 2000 a 7500 mcd, Voltaje de entrada 3.0 a 3.8V, corriente de entrada 20mA color transparente.

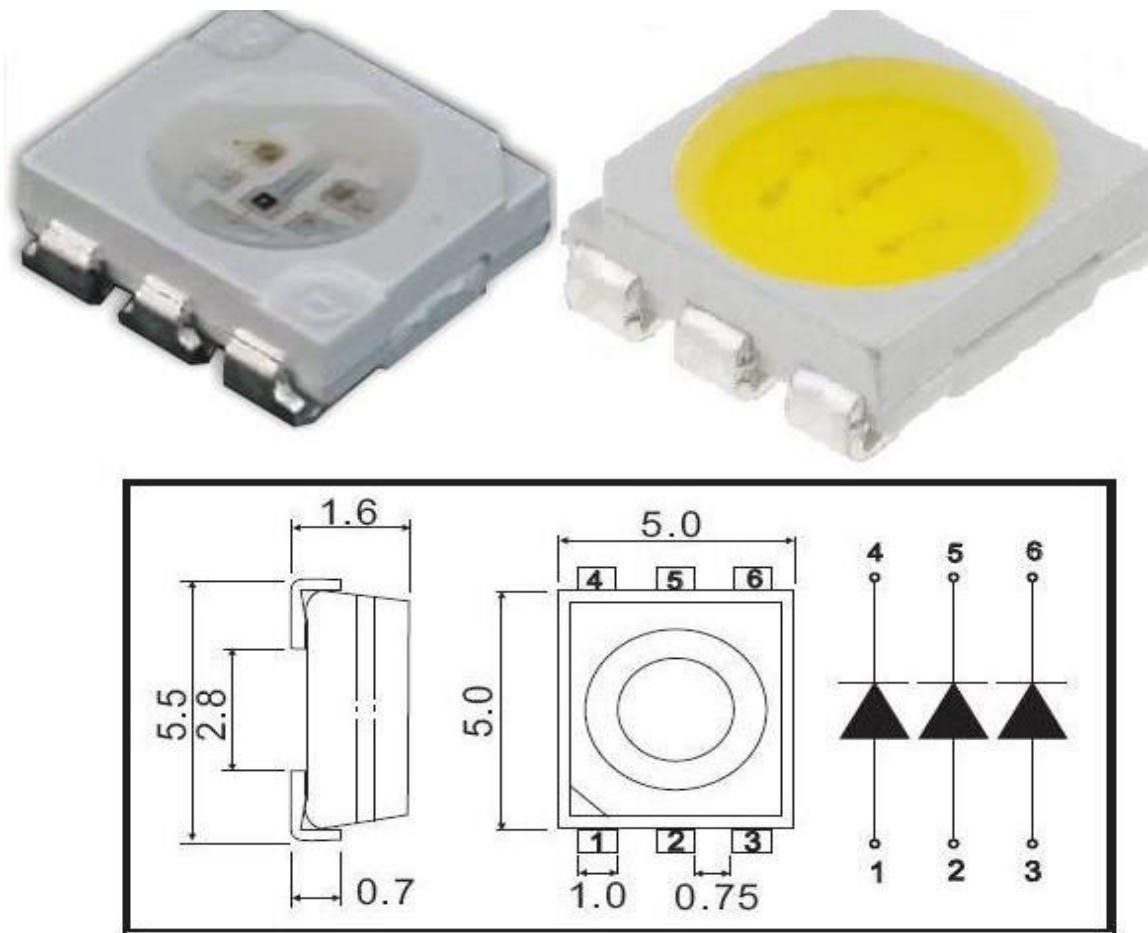
Figura 26. Dimensiones LED LFBLA



Fuente: (SUCONEL http://www.suconel.com/virtual/products-mainmenu-64.html?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=6896600&category_id=46)

6.4.2 Características LED de referencia LB5050: Angulo de visión 120 grados, dimensión 5x5 mm, en su interior hay 3 chips RGB, la potencia es de 0,24w, tipo de montaje superficial sobre la baquelita, intensidad luminosa 4000-5000 mcd, voltaje de entrada 2 -3,6V, corriente de entrada 0.02-0.03 Amperios

Figura 27. Dimensiones LED LB ó SMD 5050



Fuente: (choptronica <http://www.shoptronica.com/leds-smd/461-led-smd-5050-3-chip.html>)

6.4.3 Circuitos impresos en fibra de vidrio. Los circuitos impresos se fabricaron de acuerdo a diseños eléctricos que permiten la conexión eléctrica y el montaje más simple de los LED. También posibilitan montajes diferentes para buscar la mejor distribución geométrica y óptica de los LED.

Figura 28. Circuito impreso en fibra de vidrio.



6.4.4 Lamina de aluminio. Es el cuerpo de la luminaria; este juega un gran papel en el prototipo por su peso reducido a comparación con el acero, tiene gran durabilidad ya que no está sometida a corrosión atmosférica como se da en el hierro y el cobre, ésta también ayuda en la disipación del calor en los LED, ya que es el mayor problema al que están sometidos los LED; para este prototipo se destinó que las medidas fueran de 1m x 0.40m y un espesor de 3 mm.

6.4.5 Fuente de poder. Los 90 LED en cada uno de los 2 prototipos son alimentados por una fuente conmutada, la cual recibe la energía eléctrica de la

línea de alimentación 120VAC y suministra 12V/5 A, la fuente conmutada se encuentra situada en la parte trasera de la luminaria.

Figura 29. Fuente conmutada 12V/5A



6.5 PROCESO DE CONEXIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS LED EN EL ALUMINIO

Para la conexión y distribución se determinó conectar 5 arreglos en paralelo, y en cada paralelo conectar 3 LED en serie, dando como resultado 15 LED por regleta, como se muestra a continuación.

Figura 30. Conexión y distribución de los LED referencia LFBLA en la regleta de fibra de vidrio.



Al tener listo ubicados y conectados los LED en las 6 regletas, se dispuso a ubicarlas en la lámina de aluminio, donde se debe distribuir simétricamente para que la proyección del haz de luz sea igual en todos los sentidos. Por lo tanto se dispone a ser distribuido como se muestra en la Figura 31.

Figura 31. Distribución de las regletas en la lámina de aluminio LED LFBLA



Figura 32 Distribución de las regletas en la lámina de aluminio con LED encendidos referencia LFBLA



Figura 33. Distribución de las regletas en la lámina de aluminio con LED encendidos referencia LB ó SMD 5050



6.6 SELECCIÓN ENTRE LOS 2 PROTOTIPOS DE LUMINARIA

Con el fin de escoger el prototipo más óptimo, se optó por acudir a un laboratorio de la Institución Universitaria Pascual Bravo, donde se realizó mediciones con luxómetro a los 2 prototipos, con la finalidad de seleccionar uno de ellos y luego ser enviado a un laboratorio de iluminación para que hagan pruebas y ensayos fotométricos con resultados de alta precisión.

La primera medida se realizó con el prototipo de luminaria LED de referencia LFBLA a una altura aproximada de 1,33 metros con respecto a nivel de la silla como se muestra en la siguiente figura, cabe destacar que la altura a nivel de suelo es aproximadamente de 2,10 metros, es de resaltar que todas las luminarias del laboratorio estaban apagadas.

Figura 34. Medición prototipo de luminaria LED referencia LFBLA



En esta primera medición el luxómetro fue ubicado perpendicular a la luminaria con una altura de 1,33 metros la cual midió 83 luxes.

Figura 35. Medición con el luxómetro primer prototipo

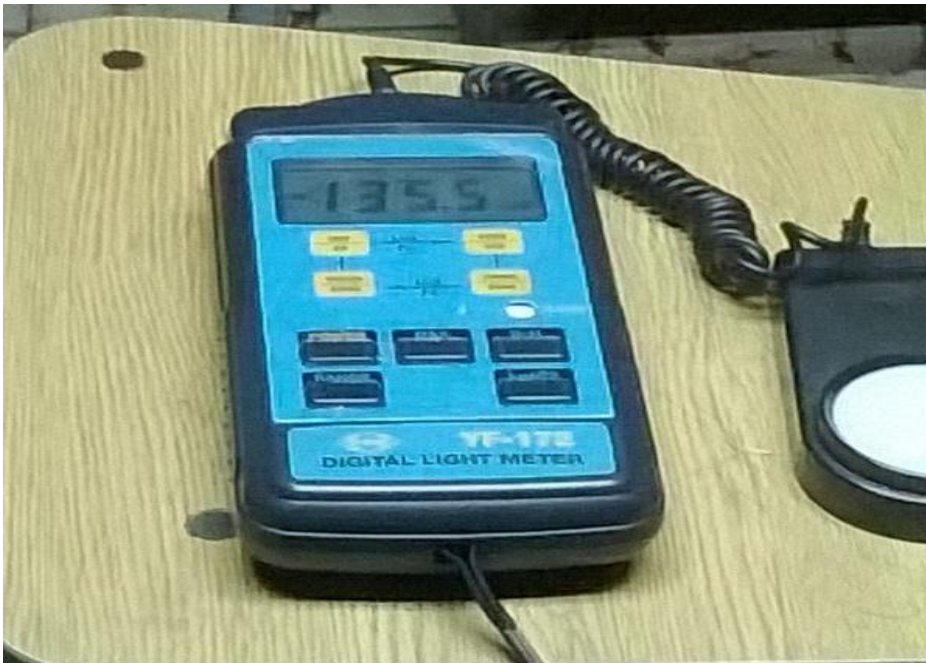


La segunda medición se realizó con el prototipo de luminaria LED de referencia LB ó SMD 5050 a una altura aproximada de 1,33 metros con respecto a nivel de la silla como se muestra en la siguiente Figura 36, igual que se hizo con la medición del anterior prototipo y en la Figura 37 muestra el luxómetro un valor de 135 luxes que superior a la del primer prototipo.

Figura 36. Medición prototipo de luminaria LED referencia LFBLA



Figura 37. Medición con el luxómetro segundo prototipo



6.7 REPORTE FOTOMÉTRICO

El reporte fotométrico consiste en hacer mediciones luminotécnicas al prototipo de luminaria LED, para este caso es el prototipo LED de referencia LB 5050. Dicha medición facilita predecir el desempeño de un sistema de iluminación, además de calcular la cantidad de luminarias requeridas en un área determinada y proveer la información específica de la iluminancia. El laboratorio donde se hacen las mediciones obtuvo los siguientes resultados:

6.7.1 Información descriptiva. .

IESNA:LM-63-2002

[TEST] 1440178

[ISSUEDATE] 29-abr-14

[MANUFAC] ELECTROCONTROL

[LUMCAT] LEDS

[LUMINAIRE] PANEL LEDS 40W

[LAMPCAT] Consecutivo 0319-01

[LAMP] PRUEBA POR EL METODO ABSOLUTO

[BALLAST] DRIVER ELECTRONICO MODEL EIP040C1400LH

[TESTLAB] LAPEC LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS

ELECTROCONTROL S.A.

[MORE] "Voltaje(V): 124.86; Corriente(A): 0.3252; Factor De Potencia: 0.9885"

[MORE] www.electrocontrol.com.co/index.php/nuestra-empresa/39-lapec/61-laboratorio

[MORE] " 400 55 00 Ext. 1511 y 1501 ; email: icadavid@lapec.com.co"

[MORE] El laboratorio LAPEC garantiza la trazabilidad de sus patrones.

6.7.2 Características.

Lumens Per Lamp	N.A. (absolute)
Total Lamp Lumens	N.A. (absolute)
Luminaire Lumens	3191
Total Luminaire Efficiency	N.A.
Luminaire Efficacy Rating (LER)	80
Total Luminaire Watts	40.08
Ballast Factor	1.00
CIE Type	Direct
Spacing Criterion (0-180)	1.26
Spacing Criterion (90-270)	1.18
Spacing Criterion (Diagonal)	1.38
Basic Luminous Shape	Rectangular w/Sides
Luminous Length (0-180)	1.20 m
Luminous Width (90-270)	0.30 m
Luminous Height	0.01 m

6.7.3 Tabla de luminancia. Indica el promedio de luminancia de la luminaria a un ángulo específico. Los valores de luminancia indicados son iguales a la intensidad luminosa expresada en candelas a ese ángulo, dividido entre el área proyectada efectiva de la luminaria al ser observado desde algún ángulo. La unidad es candelas por metro cuadrado.

LUMINANCE DATA (cd/sq.m)

Angle In	Average	Average	Average
Degrees	0-Deg	45-Deg	90-Deg
45	2853	2623	2547
55	2743	2486	2425
65	2582	2280	2220

75	2289	1959	1917
85	1965	1362	1279

6.7.4 Tabla de candelas. Esta tabla permite representar numéricamente las direcciones del espacio por las cuales se irradia una intensidad luminosa (candelas) y se determina por dos coordenadas: ángulos horizontales y verticales. Los valores de candelas están representados a cada ángulo vertical que son hasta 90 grados y para todos los ángulos horizontales que son hasta 360 grados. La tabla de candelas sirve para procedimientos y metodologías para calcular la iluminancia. Es útil si se precisa ubicar un objeto en el espacio y saber cuánta luz llega a ese punto en específico. Con esta tabla se puede saber si se alcanzan los niveles de iluminancia calculados para evitar deslumbramiento o incapacidad visual.

6.7.5 Lúmenes zonales. Los lúmenes zonales son calculados tomando el promedio de la intensidad luminosa (candelas) y multiplicando estos valores por las constantes zonales. De esta manera se obtiene el valor del lumen zonal. Para este caso este fue el resultado.

ZONAL LUMEN SUMMARY

Zone	Lumens	%Lamp	%Fixt
0-20	400.34	N.A.	12.50
0-30	853.02	N.A.	26.70
0-40	1400.58	N.A.	43.90
0-60	2486.1	N.A.	77.90
0-80	3117.47	N.A.	97.70
0-90	3190.52	N.A.	100.00
10-90	3087.2	N.A.	96.80
20-40	1000.24	N.A.	31.40
20-50	1569.56	N.A.	49.20

40-70	1482.18	N.A.	46.50
60-80	631.37	N.A.	19.80
70-80	234.71	N.A.	7.40
80-90	73.05	N.A.	2.30
90-110	0.00	N.A.	0.00
90-120	0.00	N.A.	0.00
90-130	0.00	N.A.	0.00
90-150	0.00	N.A.	0.00
90-180	0.00	N.A.	0.00
110-180	0.00	N.A.	0.00
0-180	3190.52	N.A.	100.00

Total Luminaire Efficiency = N.A.%

ZONAL LUMEN SUMMARY

Zone	Lumens
0-10	103.32
10-20	297.02
20-30	452.68
30-40	547.56
40-50	569.33
50-60	516.19
60-70	396.67
70-80	234.71
80-90	73.05
90-100	0.00
100-110	0.00
110-120	0.00
120-130	0.00

130-140	0.00
140-150	0.00
150-160	0.00
160-170	0.00
170-180	0.00

6.7.6 Coeficiente de utilización. El coeficiente de utilización (CU) es una medida del porcentaje de los lúmenes incidentes en el plano de trabajo, en relación al total de los lúmenes totales emitidos de las lámparas en la luminaria.

El valor del coeficiente de utilización toma en cuenta la geometría del cuarto, reflectancias de superficies, eficiencia de la luminaria y su distribución. Para este caso se obtuvieron los datos de la Figura 38.

Figura 38. Datos de coeficientes de utilización

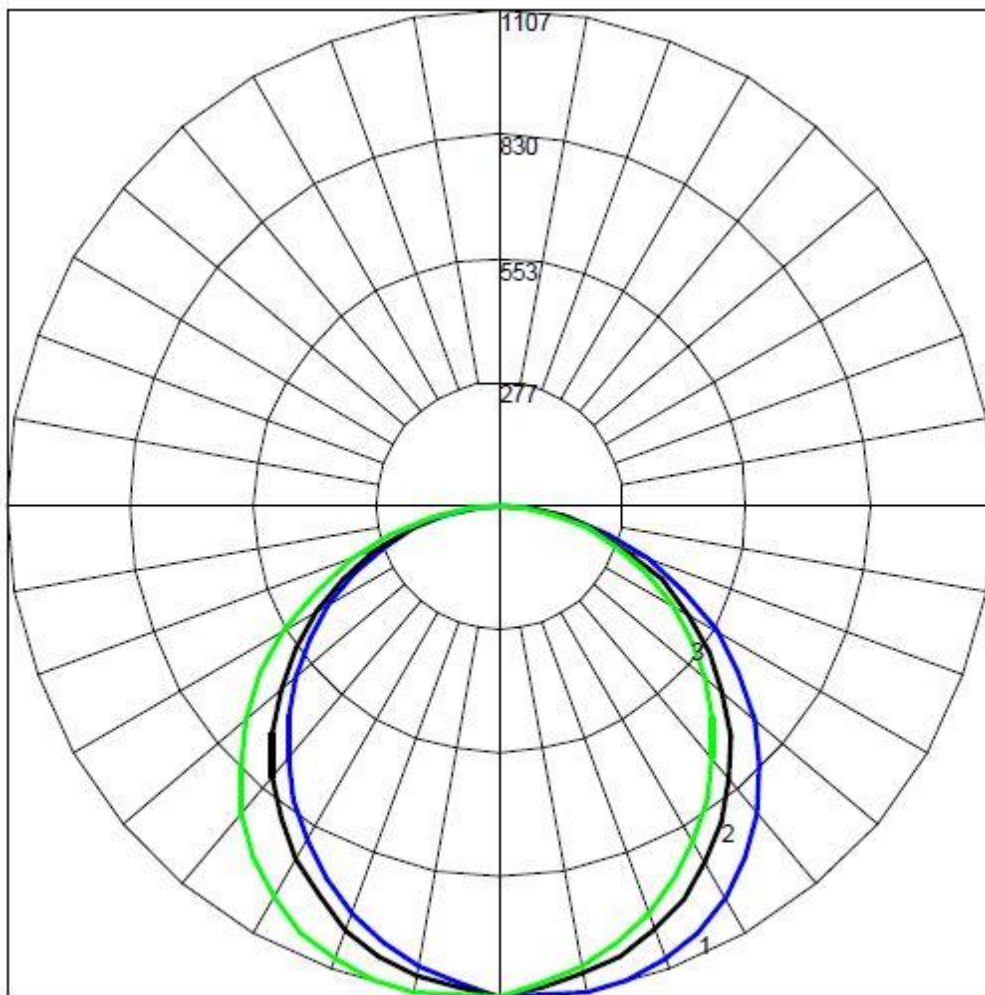
COEFFICIENTS OF UTILIZATION - ZONAL CAVITY METHOD

Effective Floor Cavity Reflectance 0.20

RC	80				70				50			30			10			0
RW	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
0	119	119	119	119	116	116	116	116	111	111	111	106	106	106	102	102	102	100
1	108	104	99	95	106	101	97	94	97	94	91	93	90	88	89	87	85	83
2	98	90	83	77	96	88	82	76	85	79	74	81	77	73	78	74	71	69
3	90	79	71	64	87	77	70	63	74	68	62	72	66	61	69	64	60	58
4	82	70	61	54	80	68	60	54	66	59	53	64	57	52	61	56	51	49
5	75	62	53	46	73	61	53	46	59	51	46	57	50	45	55	49	45	42
6	70	56	47	40	68	55	47	40	53	46	40	52	45	40	50	44	39	37
7	64	51	42	36	63	50	42	36	48	41	35	47	40	35	46	39	35	33
8	60	46	38	32	58	46	37	32	44	37	31	43	36	31	42	36	31	29
9	56	42	34	29	55	42	34	28	41	33	28	40	33	28	39	32	28	26
10	52	39	31	26	51	39	31	26	38	31	26	37	30	26	36	30	25	24

6.7.7 Curva polar. Para el prototipo se propuso que fuera para áreas generales y el tipo de iluminación directa. A continuación el resultado por el laboratorio luminotécnico.

Figura 39. Curva polar



Maximum Candela = 1106.747 Located At Horizontal Angle = 275, Vertical Angle = 10
1 - Vertical Plane Through Horizontal Angles (275 - 95) (Through Max. Cd.)
2 - Vertical Plane Through Horizontal Angles (0 - 180)
3 - Vertical Plane Through Horizontal Angles (90 - 270)

6.8 SIMULACIÓN EN SOFTWARE DIALUX

Por medio de la matriz de intensidad .IES la cual es uno de los resultados que entrega el laboratorio de iluminación se procede hacerle análisis y simulaciones en la herramienta computacional de iluminación Dialux; por medio de este programa se puede hacer diseños de iluminación optimizando el menor número de luminarias necesarias, modelar un cierto lugar creando un ambiente lo más real posible, en este caso se pretende recrear en 3D el laboratorio de la IUPB y simular cuantas luminarias se necesitan de acuerdo a su área que es de 8x8x4m. Cabe destacar que para dicha simulación se tuvieron distintos aspectos en cuenta como:

6.8.1 Tipo de recinto y actividad: Se debe saber que tipo de edificación y que clase de actividad se realiza, ya que dependiendo de esta se establece el nivel de iluminancia promedio que debe contar el área o lugar del trabajo para un óptimo rendimiento de las personas en dicho lugar. En este caso el tipo de edificación se trata de un centro educativo; en salones de clase es necesario para un óptimo aprendizaje un nivel de iluminancia media de 500 lux.

6.8.2 Reflectancias efectivas de las superficies: Es la razón entre el flujo luminoso reflejado por la superficie y el flujo que incide sobre ella, en otras palabras, determina el porcentaje de la luz que incide sobre una superficie que es reflejada. Para determinar la reflectancia de una superficie se debe conocer su color, el tono, el material y textura. Una vez conocidos se consulta la Tabla para determinar las reflectancias de cada superficie que compone la edificación (RETILAP 2009).

Tabla 14. Reflectancias efectivas para ciertos colores y texturas (valores en %)

TONO	COLOR		SUPERFICIES		ACABADOS DE CONSTRUCCION	
Muy claro	Blanco nuevo	88	Maple	43	Cantera clara	18
	Blanco viejo	76	Nogal	16	Cemento	27
	Azul crema	76	Caoba	12	Concreto	40
	Crema	81	Pino	48	Mármol blanco	45
	Azul	65	Madera clara	30-50	Vegetación	25
	Miel	76	Madera oscura	10-25	Asfalto limpio	7
	Gris	83			Asfalto de roca	17
	Azul verde	72			Grava	13
					Ladrillo claro	30-50
					Ladrillo oscuro	15-25
Claro	Crema	79	ACABADOS METALICOS			
	Azul	55				
	Miel	70				
	Gris	73				
Mediano	Azul verde	54	Blanco polarizado	80		
	Amarillo	65	Aluminio pulido	75		
	Miel	63	Aluminio mate	75		
	gris	61	Aluminio claro	63		
Oscuro	Azul	8				
	Amarillo	50				
	Café	10				
	Gris	25				
	Verde	7				
	Negro	3				

6.8.3 Plano de trabajo: También llamado plano útil, indica la altura en que se debe tener en cuenta para la hacer los análisis en las mediciones de nivel de iluminancia, entonces dice que si la actividad a realizar es un trabajo sentado se considera a una altura de 0.75m, y si la clase de actividad o de trabajo es para realizarlo de pie se estima que es a una altura de 0.85 m. Para este caso la mayor parte de la actividad a realizar será en posición sentada.

6.8.4 Lámpara y luminaria: Es de importancia saber escoger el conjunto de lámpara y luminaria, de esto dependerá que tan eficiente será el diseño de

iluminación para el recinto que se desee instalar. Para este caso es el prototipo de luminaria LED, donde el tipo de montaje será suspendido.

6.8.5 Mantenimiento: Es importante saber el tipo de ambiente al cual será sometida la luminaria, las condiciones de suciedad ya que por este motivo afecta sustancialmente el flujo que pueda emitir la luminaria, y de acuerdo a identificar dicha condición se pueda establecer un plan preventivo y limpieza para procurar que siempre la luminaria genere su mayor flujo luminoso limpiando correctamente el conjunto óptico de la misma. En los recintos donde más hay que estar limpiando es en lugares como talleres, fábricas de fundición, etc; para este caso se debe tener en cuenta que es un lugar donde se dictan clases y no es mucha la suciedad.

Teniendo en cuenta los anteriores aspectos y recomendaciones por RETILAP se dispuso a hacer simulaciones en el software como se hizo en el caso anterior con la luminaria que utiliza tubos fluorescentes. A continuación se presentará la distribución de luminarias en el laboratorio de la IUPB.

Como se hizo en el caso anterior con la luminaria fluorescente, para hacer una comparación bajo los mismos parámetros se ubicó las luminarias LED en el mismo lugar donde se encuentran las fluorescentes, se mantuvo la altura, colores de las paredes, techos y pisos, la misma determinación de puestos de trabajo y este fue el resultado. Son 11 luminarias ubicadas en todo el laboratorio de clase (ver Figura 40), estas 11 luminarias cumplen con el nivel de iluminación sobre el puesto de trabajo exigido por el RETILAP, para este caso es de 500 luxes en iluminación general para aulas de clase, un consumo total de energía de 440.9W, flujo total en todas las luminarias de 35057, promedio de nivel de iluminación de 511 luxes (ver Tabla 15).

Figura 40. Distribución luminarias LED en el laboratorio IUPB

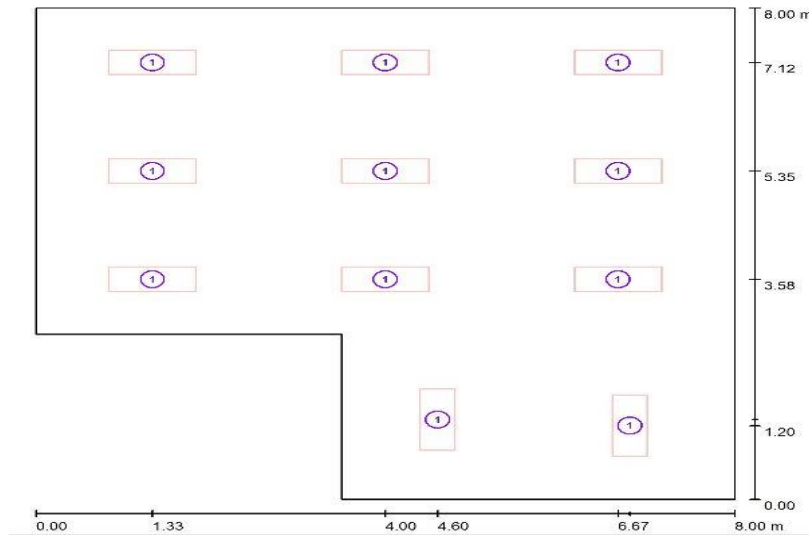


Tabla 15. Parámetros fotométricos en el laboratorio IUPB

Altura del local: 4.000 m, Altura de montaje: 3.000 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:103

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	511	288	627	0.562
Suelo	20	310	76	472	0.244
Techo	70	193	152	247	0.789
Paredes (6)	90	260	63	569	/

Plano útil:

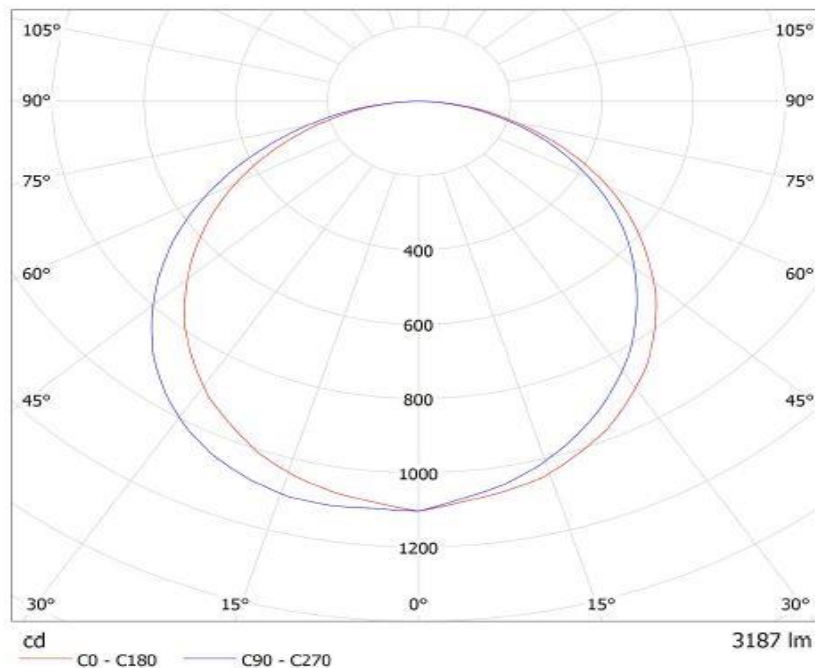
Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	11	ELECTROCONTROL LEDS PANEL LEDS 40W (1.000)	3187	3187	40.1
			Total: 35057	Total: 35057	440.9

Como es de conocimiento de muchos, a diferencia de las luminarias fluorescentes la luminaria con tecnología LED permite un haz de luz direccional y no es necesario que tenga espejos o reflectores para modelar la distribución luminosa; es por eso que su rendimiento luminoso es del 100%, lo que significa que como resultado de la potencia entregada en vatios, se puede obtener el 100% del flujo luminoso emitido por la fuente como luz visible, y no tiene pérdidas. (Ver Figura 41), mientras que la luminaria anterior tiene un rendimiento luminoso del 57%

Figura 41. Curva polar y eficiencia de luminaria LED, informe software Dialux



Al comprar las tablas se puede ver que aunque tengan el mismo número de luminarias es notable la disminución de consumos de energía, mientras que todo el conjunto de luminarias fluorescentes instaladas en el laboratorio consume aproximadamente 700W, el conjunto de luminaria LED consume 440W, existe nula pérdida en el rendimiento del flujo luminoso por su haz de luz direccional por parte de la luminaria LED, mientras la luminaria fluorescente sus tubos tienen 5800

lumen y cuando están dentro de la luminaria se convierte a 3324 lumen, lo que significa que solo el 57% del haz de luz sale de la luminaria y es aprovechado en el recinto, para este caso el laboratorio. Es de analizar también que la vida de los LED es de aproximada 40.000 horas mientras la de la luminaria con tubos fluorescentes es de aproximadamente de 12.000 o quizás 10.000 horas de acuerdo al uso que se le dé a la misma, ya que estas van disminuyendo su vida al encender y apagar la luminaria, entonces al tener tantas horas de vida, se ahorran gastos de mantenimientos al estar cambiando las 2 lámparas T5 2X28W, estar montándose limpiando los reflectores que están lleno de polvo y no permita la reflexión del haz de luz lo cual tiene como consecuencia disminuir el flujo luminoso emitido por la luminaria, sin contar el ahorro mensual en la cuenta de servicios públicos.

Por estas razones se recomienda el uso de las luminarias con tecnología LED.

7. CONCLUSIONES

El trabajo de modelado y análisis de un prototipo de luminaria de estado sólido utilizando dispositivos LED ha dejado grandes satisfacciones en cuanto a lo realizado como:

Parece indicar que los sistemas de iluminación LED muestran un ahorro de 43% en potencia activa debido a su eficiencia luminosa.

Es posible la construcción de luminarias con tecnología LED con los mismos materiales que se encuentran en el mercado actualmente.

Un buen análisis de la curva de polar permitirá escoger la luminaria más adecuada y eficiente, logrando un proyecto más económico. Una luminaria de distribución “ancha” y buen rendimiento permitirá un gran distanciamiento entre las mismas sin sacrificar la uniformidad de la iluminación.

Existen luminarias con el mismo rendimiento o eficiencia luminosa, lo que es de sumo cuidado es el tipo de iluminación ya sea indirecto o directo ya que el resultado final sobre el trabajo horizontal o de trabajo será totalmente diferente.

El diseño de la luminaria LED es muy versátil de tal manera que el mantenimiento preventivo seas ágil y fácil.

Para el laboratorio se comprende una iluminación de tipo directa, ya que con ese sistema se obtiene la ventaja de proporcionar con cierta facilidad el nivel de iluminación promedio requerida en el frente de los tableros y el nivel requerido en el plano horizontal.

Los valores obtenidos muestran unos resultados lumínicos aceptables, teniendo en cuenta el flujo luminoso por la luminaria LED de 40W es muy cercano a lo que presenta la luminaria fluorescente de 63W.

8. RECOMENDACIONES

En el mercado existen infinidad de LED y con la rapidez que van evolucionando los sistemas de iluminación, se recomienda el uso de LED más eficientes.

Realizar un mantenimiento alrededor de la luminaria, por lo menos una vez al año, ya que aunque sea un lugar limpio, con el tiempo va recogiendo polvo que afecta la eficiencia lumínica

Verificar durante la fase de construcción de la luminaria cuando se esté soldando el LED en la fibra de vidrio, sea algo rápido, ya que el calor que produce el cautín cuando hace contacto con el LED afecta sus horas de vida.

Es necesario que la fuente de alimentación del LED sea una fuente de corriente, ya que con la fuente de voltaje, no es muy estable la corriente, y el LED es muy sensible al aumento de corriente, puede afectar la vida del LED.

Se recomienda para la fabricación de la luminaria usar materiales que ayuden en la disipación del calor, ya sea que el circuito impreso vez de fibra de vidrio use aluminio, esto notablemente ayuda en la duración del LED en el tiempo.

Asegurarse cuando se vayan a hacer mediciones con el luxómetro, todas las luminarias estén apagadas y que el luxómetro marque cero para el correcto análisis.

BIBLIOGRAFÍA

ABADÍA Torres, C. R., Barreiro, D. P., & Espino, A. M. (2012). Propuesta metodológica para el uso racional de energía en Ofipartes SA por medio del cambio de luminarias fluorescentes a tecnología LED.

BROWN, Lester R (2008). *Plan B 3.0: Mobilizing to Save Civilization*. New York: W.W. Norton & Company.

COSTA Muñoz, D., & otros. (2011). Diseño de un sistema de iluminación con tecnología LED.

OCAMPO, Jauder (2012). Los sistemas de LEDs: Una alternativa de ahorro energético en iluminación. Monografía de Especialización. ITM, Medellín.

EERE, Energy Efficiency and Renewable Energy of U.S. DOE (2009). *Multi-Year Program Plan FY'09-FY'15: Solid-State Lighting Research and Development*.

EERE, Energy Efficiency and Renewable Energy of U.S. DOE (2008). Energy Savings Estimates of Light Emitting Diodes in Niche Lighting Applications.

Grupo de estudios de luminotécnicos UPC: en <http://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fotometria.php> consultado el 25 de Junio 2014

IEA, International Energy Agency (2008). *Key World Energy Statistics 2008*.

IEA, International Energy Agency (2006). *Light's Labour's Lost: Policies for Energy-efficient Lighting*. Paris.

KELLY, Timothy (2004). *Solid State Lighting: Strategies for brighter future*. Tesis de maestría del MIT.

KEN, Li Fuen (2007). *White LEDs for general illumination applications*. Tesis de maestría del MIT.

MARTÍNEZ Guevara, A. J. (2012). Iluminaci{ó}n LED.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, Resolución Número No 18 1331, Bogotá D.C, Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Publico – RETILAP. Agosto 06 2009, 246 p.

Software. DIALux en: <http://www.dial.de/DIAL/es/dialux.html>. Consultado el 28 de mayo de 2014

TON, My, & FOSTER, Suzanne, & CALWELL, Chris (2003). *LED Lighting Technologies and Potential for Near-Term Applications*. Market Research Report prepared by Ecos Co

Universidad Nacional de Colombia (2006). *Determinación del consumo final de energía en los sectores residencial urbano y comercial*. Informe ejecutivo presentado a UPME

UPME (2007). *Plan Energético Nacional: Contexto y Estrategias 2006 – 2025*.

UPME (2004). *Plan Energético Nacional: Estrategia energética integral, Visión 2003 - 2020*.

UPME. Consorcio BARILOCHE – BRP. (2007) *Consultoría para la formulación estratégica del plan de uso racional de energía y de fuentes no convencionales de energía 2007 – 2025.*

