



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA



Trabajo Especial de Grado
**INGENIERÍA INVERSA APLICADA AL DISEÑO DE UN REFLECTOR LED DE 50W JUNTO A
SU DRIVER.**

Autor:

Páez Morgado Aquiles José

C.I: 18.475.093

Tutor

Ing. Eva Monagas

Naguanagua, Octubre de 2015



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA



Trabajo Especial de Grado
**INGENIERÍA INVERSA APLICADA AL DISEÑO DE UN REFLECTOR LED DE 50W JUNTO A
SU DRIVER.**

Autor:

Páez Morgado Aquiles José

C.I: 18.475.093

Tutor

Ing. Eva Monagas

Trabajo Especial de Grado presentado a la ilustre Universidad de Carabobo, como credencial al mérito para optar por el título de Ingeniero Electricista.

Naguanagua, Octubre de 2015



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA



INGENIERÍA INVERSA APLICADA AL DISEÑO DE UN REFLECTOR LED DE 50W JUNTO A SU DRIVER.

Autor: Páez Morgado, Aquiles José

Tutor: Ing. Eva Monagas

RESUMEN

En este trabajo se aplica el proceso de ingeniería inversa a un reflector LED de 50W con el fin de conocer las piezas y elementos que le conforman, además de comprender el rol que juega cada componente en el funcionamiento de la misma así como el diseño del dispositivo de control de la luminaria (Driver). El objetivo de este proyecto de investigación es el de diseñar la luminaria con el fin de que se construya en Venezuela y sea parte de la solución al problema de la crisis energética que atraviesa el país. El diseño del equipo contribuye a áreas de conocimiento en el área de electrónica de potencia, luminotecnia y materiales de construcción. Los resultados obtenidos ofrecen alternativas de diseño para elementos de la luminaria, al mismo tiempo que busca mantener y mejorar la eficiencia del equipo.

Palabras clave: LED, LED Driver, Conversores de Potencia, Luminotecnia, Calidad de energía, PWM, Corrección de Factor de Potencia, Factibilidad Técnica-Económica.

Línea de investigación: Calidad de Energía, Departamento de Potencia.

Área prioritaria: Energía

Naguanagua, Octubre de 2015



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes miembros del jurado designado para evaluar el Trabajo Especial de Grado titulado **“INGENIERÍA INVERSA APLICADA AL DISEÑO DE UN REFLECTOR LED DE 50W JUNTO A SU DRIVER.”** realizado por el bachiller: **Páez Morgado, Aquiles José. C.I.:** **Nº V-18.475.093** hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Ing. Eva Monágas
Tutor

Prof. Jurado
Ing. Carlos Ataya

Prof. Jurado
Ing. Rubén Terán

Naguanagua, Octubre de 2015

Dedicatoria

A mis padres, Julio y Maritza, y a mis hermanos Andrés y Henry. Si uno pudiera escoger a su familia, los escogería a ustedes siempre.

A mis abuelas, primos, tíos y tías de parte de la familia Morgado y Páez por las cosas que pude aprender de ellos. Con mención especial a mi tío Argenis y su familia, por darme un techo en Valencia y librarme de muchas preocupaciones.

En memoria de mí querido tío Orlando Nieves y de mi querida prima María Poyer, quiénes habrían estado felices de poder festejar este logro conmigo. Gracias por las risas y los momentos compartidos, les extrañaremos siempre.

Aquiles José Páez Morgado

Agradecimientos

A los profesores Labarca, César Seijas, César Ruiz, Rubén Terán, Eduardo Rojas y Wilmer Sanz por enseñarme la clase de Ingeniero que quiero ser en el futuro.

A la empresa SAGET por permitirme hacer pasantías en su gran empresa y poder ver de cerca una gran cantidad de equipos que me ayudaron a orientar este trabajo de grado.

A los ingenieros José Vargas y Cristina Fernandez por ayudarme durante las pasantías y colaborar en el desarrollo de esta investigación. Al presidente de SAGET, el economista Carlos Guillén, por no reservar ni uno solo de sus conocimientos y compartirlos conmigo.

A los profesores Antonio Millán, César Seijas y Sergio Villazana por orientarme con material bibliográfico sobre convertidores DCDC y el lazo de control.

A mis compañeros de clase con los que estudié muchas veces. Antonio, Emilio, Francesco, Luis, Jeisa, Carolina, Robert, Jota, Julio, Joaquin, Kevin, Alejandro, Oswaldo, Miguelantonio, Oswal, Omar, Nick, Richard, Joel, Alberto, Xilene, Abel y muchos otros.

A Karen Mendoza y a Adriana D'Andrea por ser grandes compañeras de estudio y por su ayuda cuando me quedaba trancado en algún problema o proyecto. A Adriana mayormente le agradezco que me explicara fuentes conmutadas en menos de 1 hora y por su cariño.

A mí querida profesora Eva Monagas por estar siempre dispuesta a trabajar y a desarrollar este proyecto, sabiendo que estaba también involucrada en muchos otros. Por su paciencia conmigo durante este trabajo de grado y por todas las cosas que ambos aprendimos durante el desarrollo del mismo.

A Julio y Maritza, que siempre pusieron por encima mi educación y bienestar por encima del de ellos. Son los mejores padres del mundo.

Aquiles Páez

Índice general

<i>Índice general</i>	<i>vi</i>
<i>Índice de tablas</i>	<i>x</i>
<i>Índice de figuras</i>	<i>xii</i>
1 Capítulo 1: El Problema	4
1.1 Planteamiento del problema.	4
1.2 Justificación	7
1.3 Objetivo general	9
1.4 Objetivos específicos	10
1.5 Delimitaciones	10
2 Capítulo 2: Marco Teórico	13
2.1 Antecedentes	13
2.2 Bases Teóricas	16
2.2.1 Iluminación de Estado Sólido:	16
2.2.2 L.E.D.:.....	16
2.2.3 Iluminación:	23
2.2.4 Instrucción sobre LEDs basada en simulación fotónica:	29
2.2.5 Proceso de Fabricación de un Reflector LED.	30
2.2.6 Electrónica de Potencia:	32
2.2.7 Normas de Mediciones y Ensayos para obtención del flujo luminoso.	42
2.3 Normativa aplicada al diseño de luminarias LED	44
2.4 Glosario de Términos Básicos:	45
3 Capítulo 3: Marco Metodológico	49

3.1	Tipo de investigación	49
3.2	Diseño de la Investigación	50
3.2.1	Fase 1: Identificación y descripción de los componentes, además de la función que desempeña cada uno en una luminaria tipo reflector con la recopilación de datos fotométricos y eléctricos del equipo de referencia.	50
3.2.2	Fase 2: Diseño de un DRIVER LED, a través del análisis comparativo de los métodos existentes de control de iluminación LED para el control de la calidad de energía, empleando conocimientos de electrónica de potencia y obteniendo resultados a través de simulaciones en Simulink.	51
3.2.3	Fase 3: Selección de los materiales, herramientas menores y equipamiento requeridos para la construcción y ensamblaje en Venezuela a través de consultas y comparaciones entre los fabricantes, nacionales e internacionales, de los elementos que la componen.	51
3.2.4	Fase 4: Determinar la factibilidad técnico económico del diseño para su posterior comercialización en Venezuela.	52
3.3	Unidad de Estudio y de Análisis	52
3.4	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.	53
4	Capítulo 4: Análisis y Discusión de Resultados.	55
4.1	Identificación y descripción de los componentes, además de la función que desempeña cada uno en una luminaria tipo reflector con la recopilación de datos fotométricos y eléctricos del equipo de referencia.	55
4.1.1	Mediante observaciones y mediciones, se obtuvo información técnica sobre el reflector. Se recopiló información sobre sus variables luminotécnicas y eléctricas para conocer la capacidad del equipo y cómo este supone una mejora respecto a otras luminarias del mismo tipo.	56
4.1.2	Mediante DIALux y el archivo fotométrico del fabricante original, simulamos locales para los que el uso del reflector está destinado y se podrá comparar con otras luminarias fijándonos en el ahorro energético que este equipo supondría. Con el fin de justificar aún más esta investigación.	59
4.1.3	Desarme e identificación de todas las piezas del reflector, además de la descripción del papel que juega cada una de dichas piezas en el funcionamiento de la luminaria. Este objetivo fue nuestro punto de partida para empezar un diseño propio en el que se busca diseñar el equipo mencionado en su totalidad con piezas nacionales, excepto por el chip LED.	61

4.2	Diseño de un DRIVER LED, a través del análisis comparativo de los métodos existentes de control de iluminación LED para el control de la calidad de energía, empleando conocimientos de electrónica de potencia y obteniendo resultados a través de simulaciones en Simulink.....	67
4.2.1	Propuesta de un esquema que involucre todas las etapas de un DRIVER LED. Describiendo brevemente dichas etapas y la función que desempeña cada una en el driver.	68
4.2.2	Diseño circuital y cálculo los componentes de todas las etapas mencionadas en 4.2.1	72
4.2.3	Propuesta de un método de corrección de factor de potencia. Estudio y aplicación del mismo dentro del driver y su posterior simulación en SIMULINK.	76
4.2.4	Cálculo del disipador de calor para el chip LED y su integración a la carcasa del reflector.	82
4.3	Selección de los materiales, herramientas menores y equipamiento requeridos para la construcción y ensamblaje en Venezuela a través de consultas y comparaciones entre los fabricantes, nacionales e internacionales, de los elementos que la componen.	84
4.3.1	Se ubicaron proveedores de láminas de aluminio y fabricantes de troqueles, de este modo podrá obtenerse la lámina reflectora de aluminio de la luminaria.	84
4.3.2	Se ubicó una empresa que haga carcasas de aluminio mediante técnicas de fundición. Preferiblemente la empresa deberá contar con un equipo que pueda también determinar la aleación exacta del aluminio de la carcasa.	87
4.3.3	Conocida la corriente que alimentará el driver, se escogió un calibre de cable y se estudiarán las alternativas actuales del mercado.....	91
4.3.4	Se ubicaron fabricantes de láminas de vidrio, al mismo tiempo que se ubicó una empresa que hace difusores para luminarias.	92
4.3.5	Se hizo una lista de herramientas menores para el ensamblaje de la luminaria, con al menos dos unidades de cada herramienta. En esta se incluyó cautín, estaño y grapas para conectar cables.	93
4.3.6	Se ubicaron fabricantes de goma de plástico, sujetadores de aluminio y Asa.	94
4.3.7	Se ubicó una ferretería o una fábrica que pueda vender tornillos al mayor.	100
4.3.8	Se escogió un proveedor de chips semiconductores, de entre 3 posibles proveedores. Comparando costos y calidad de cada una de las pastillas. Este componente debe importarse obligatoriamente, porque no se construye en Venezuela.	100

4.3.9	Los costos de cada elemento se ubicaron en el territorio nacional y de ser posible, tratarán de hallarse empresas internacionales que provean los suministros. Los costos serán necesarios para hacer un análisis comparativo desde el punto de vista económico.....	100
4.4	Determinar la factibilidad técnico económico del diseño para su posterior comercialización en Venezuela.	102
4.4.1	Se establecieron comparativas de cada componente entre fabricantes y proveedores nacionales e internacionales, para escoger la mejor alternativa.	102
4.4.2	Se dividió el estudio de factibilidad en dos propuestas. Construcción del reflector LED con un DRIVER hecho en Venezuela y otro importando el driver. Comparación de los costos, ventajas y beneficios de un estudio y otro.....	105
4.4.3	Evaluar la situación de escasez de cable en el país, y ver si también es necesario importar el cable que usa el DRIVER.	109
5	Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones.	111
	Referencias	115
	Anexos.....	118

Índice de tablas

Tabla 1.1- Proyección comparativa de LED sobre Incandescente y Fluorescente. Fuente: IESNA, año 2002.....	8
Tabla 2.1. Pérdida de la Luminosidad. Fuente: Nathaniel Franco [9].....	21
Tabla 2.2- Comparativa de LED entre otros tipos de fuentes de luz. Fuente: Nathaniel Franco [9]	22
Tabla 2.3- Tabla de la verdad de una fuente conmutada monofásica. Fuente: Elaboración propia.....	35
Tabla 4.1 - Especificaciones técnicas del reflector LED usado como Modelo. Fuente: Empresa SAGET CA.....	57
Tabla 4.2– Comparación de potencias entre diferentes modelos de Phillips con el reflector LED. Fuente: Propia.	59
Tabla 4.3 – Equivalencias entre variables de modelos térmicos y eléctricos. Fuente: C. Seijas y S. Villazana [20].	82
Tabla 4.4 – Capacidad de corriente por conductor de cable H05RN-F y su calibre. Fuente: TFKable [26].	92
Tabla 4.5 – Herramientas menores para el ensamblado de la luminaria. Fuente: Elaboración propia.....	93
Tabla 4.6 – Listado de fabricantes nacionales e internacionales de componentes. Fuente: Elaboración propia.....	101
Tabla 4.7 – Componentes para el driver. Fuente: Elaboración propia.	101
Tabla 4.8– Lista de componentes, proveedores y precios. Fuente: elaboración propia.	102
Tabla 4.9 – Lista de componentes, proveedores y precios para el driver. Fuente: Elaboración propia.....	104
Tabla 4.10 – Lista de herramientas para ensamblar el reflector. Fuente: Elaboración propia.....	104
Tabla 4.11 – Costo por unidades para el ensamblado de un reflector LED. Fuente: Elaboración propia.....	107

Tabla 4.12 – Componentes del Driver a ser construido. Fuente: elaboración propia....	108
Tabla 4.13 – Tabla de precios de solo materiales importados. Fuente: Elaboración propia.	109

Índice de figuras

Figura 1.1- Capacidad Instalada del Sistema Eléctrico y Demanda Máxima entre los años 1998 y 2009. Fuente: Asociación Integral de Políticas Públicas [2].....	5
Figura 2.1- Partes que conforman un LED. Fuente: Liu Yang y Yu Wang [8]	17
Figura 2.2- Representación de la unión P-N cuando se le polariza en forma directa. Fuente: Nathaniel Franco [9].....	19
Figura 2.3-. Diagrama de Cromaticidad y las fórmulas para obtener cada coordenada. Fuente: IESNA [5].....	20
Figura 2.4- Zonas del Diagrama de Cromaticidad. Fuente: IESNA [5].....	21
Figura 2.5- Iluminación de un estacionamiento, torre de reflectores y cancha de fútbol con LED.....	23
Figura 2.6- Espectro electromagnético. Fuente: Rüdiger Ganslandt y Harald Hofmann [10].	25
Figura 2.7- Iluminancia vertical y horizontal. Iluminancia sobre una superficie. Fuente: Rüdiger Ganslandt y Harald Hofmann [10].	27
Figura 2.8- Modelo circuital de un IGBT. Fuente: Daniel Hart [14].	34
Figura 2.9- Esquema circuital de una fuente conmutada. Fuente: Daniel Hart [14]	34
Figura 2.10- Señal portadora y de referencia. Sus puntos de intersección indican el momento en el que actúan los switches de la conmutación, creando una señal alterna. Fuente: Daniel Hart [14].....	35
Figura 2.11- Circuito básico de un conversor tipo Buck. Fuente: Muhammad Rashid [15].	37
Figura 2.12- Esquema circuital de un conversor DC-DC de onda completa. Fuente: Muhammad Rashid [15].....	38
Figura 2.13- Circuito básico de un conversor tipo Boost. Fuente: Muhammad Rashid [15].	39

Figura 2.14- Esquema de control de corriente promedio y su forma de onda. Fuente: Rossetto, Spiazzi, Tenti [16].....	41
Figura 2.15– Esquema de montaje de una esfera integradora con espectralradiómetro. En un local iluminado (cubierta) o en un cuarto oscuro (sin cubierta). Fuente: IESNA [6].	43
Figura 4.1- Reflector LED usado como referencia. Fuente: Propia.	56
Figura 4.2 - Medidas del Reflector LED de referencia. Fuente: Empresa SAGET CA [13].....	57
Figura 4.3 – Curva de Distribución luminosa y curva AII. Fuente: Empresa SAGET CA [13].....	58
Figura 4.4 – Las 4 curvas de distribución luminosa correspondientes a las 4 luminarias, siendo la número 1 la del reflector LED. Fuente: Propia.	60
Figura 4.5 – Curva de distribución luminosa del reflector LED de 50W, haciendo uso de dos luminarias para mejorar iluminación del círculo.....	61
Figura 4.6– Ubicación del chip semiconductor y el driver utilizado para alimentarlo. Fuente: Propia.	64
Figura 4.7 - Comportamiento del haz de luz en presencia de diferentes reflectores. Fuente: R. Gandslandt y H. Hoffman [10].....	65
Figura 4.8 – Lámina reflectora de aluminio. Fuente: Propia.	65
Figura 4.9 – Asa del reflector. Fuente: propia.	66
Figura 4.10 – Circuito rectificador de onda completa con una carga resistiva de 10 ohm, junto a su forma de onda de voltaje. Fuente: Propia.....	69
Figura 4.11 – Esquema de un rectificador controlado de onda completa, señalando el ángulo de disparo y cómo este afecta las formas de onda de tensión y corriente. Fuente: C. Seijas y S. Villazana [20].	70
Figura 4.12 – Formas de onda del driver LED usando un generador de pulsos con ciclo útil de 50% y 100KHz. Fuente: Elaboración propia.	74
Figura 4.13 – Medio periodo de corriente y un zoom de la misma. Fuente: Propia.....	75
Figura 4.14 – Factor de potencia del driver propuesto. Fuente: elaboración propia.	75
Figura 4.15 – Métodos de corrección activa de factor de potencia. Fuente: M. Rashid [15].....	76

Figura 4.16 – Esquema de control de corriente. Fuente: N. Mohan [21]	77
Figura 4.17 – Formas de onda de corriente y tensión corregidas. Fuente: Propia.....	79
Figura 4.18 – Factor de potencia luego de aplicación del lazo de control. Fuente: propia.	80
Figura 4.19 – Esquema circuital interno de un chip LED. Fuente: Elaboración propia..	81
Figura 4.20 – Aumento de carga en el driver con 3 hileras de 10 diodos cada una en paralelo con la carga. Fuente: Elaboración propia.	81
Figura 4.21– Implementación de filtros pasivos combinado con los efectos del lazo de control de corriente promedio. Fuente: Elaboración propia.	82
Figura 4.22 – Modelo térmico equivalente y sus variables. Fuente: C. Seijas y S. Villazana [20].	83
Figura 4.23 – Modelo térmico involucrando puntos de soldadura y disipadores de calor, añadidos a las resistencias térmicas conocidas. Fuente: Mashkov, Gyoch, Beloev y Penchev [24].....	84
Figura 4.24 – Ilustración del proceso de anodización. Fuente: AACOA.	87
Figura 4.25 – Conductividad térmica por peso unitario del aluminio y otros materiales en el mercado. Fuente: TALAT [25].....	89

Introducción

En Venezuela, el sistema eléctrico interconectado como lo conocemos, nace en los años 50 por la necesidad de unificar a todas las compañías privadas generadoras de electricidad, que juntas pasaron a llamarse CADAPE, siendo esta la primera vez que se le da importancia política a la generación de energía eléctrica en nuestro país, según comenta Adriana Rivera para el Nacional en una edición del año 2010 [1]. Para finales de los años 80, nuestro sistema eléctrico poseía una capacidad instalada cercana a los 17.500 MW. Un número extrañamente parecido a la demanda que tiene que suplir actualmente, casi 30 años después, y que ha presentado dificultades diversas.

Una de las soluciones que se plantean para aumentar la holgura del sistema eléctrico, es aliviar la carga por iluminación y alumbrado público. La primera alternativa fue sustituyendo los bombillos incandescentes por ahorradores a partir del año 2006 a través de mesas de trabajo en todo el país, logrando el objetivo notablemente según cifras oficiales del Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica. Pero los bombillos ahorradores ya no son una alternativa debido a su contenido de mercurio, siendo peligroso para el hombre y su medio ambiente. Ante esta crisis, las luminarias LED asoman como la opción más viable en términos ecológicos y energéticos debido a que no poseen ningún agente contaminante y su consumo está por debajo de otros tipos de luminarias en el mundo. En este marco, LED ha entrado en el marco de ahorro energético de la nación como una gran alternativa para lograr un uso eficiente de la energía eléctrica. Al punto en que se ha decretado el uso de la misma a ciertos sectores comerciales y empresariales.

El problema es, que nadie en Venezuela fabrica oficialmente este tipo de luminarias y las personas que deseen adquirirlas deben necesariamente importarlas. El estado anunció en 2012, la inauguración de una fábrica de Micro-LEDs, pero no se conoce su estado operativo aún. Una situación que debe cambiarse, teniendo como solución la

construcción de dichos equipos en suelo venezolano. Para ello, se deben diseñar luminarias basadas en modelos cuya eficiencia y longevidad ya hayan sido verificadas. De este modo, las luminarias construidas en Venezuela puedan tener la misma eficiencia y longevidad, ayudando a disminuir la carga del sistema eléctrico.

En el mundo moderno, la electrónica de potencia se ha establecido como un área de conocimiento necesario para el desarrollo de sistemas de energía eléctrica. Aunque su aplicación sobre este trabajo de investigación es puntual en comparación de todas las aplicaciones que existen en el mundo de la electricidad, una luminaria LED no podría funcionar si antes no se rectifica y se convierte el voltaje de AC a DC, siendo después mejorada la calidad de energía mediante la corrección de factor de potencia. El dispositivo encargado de realizar esta labor se le conoce como DRIVER y es un componente casi tan importante como la pastilla LED que emite la luz de la luminaria.

No solo es necesaria información técnica y teórica para el diseño de estas luminarias, también es necesario analizar la factibilidad de dicha fabricación en el país. Contando con las cosas que pueden construirse aquí o bien ver los costos de sus componentes fuera del país e importarlos.

A continuación se indica los alcances de cada capítulo en el desarrollo del presente trabajo de grado, para alcanzar el objetivo principal de este proyecto titulado: Ingeniería inversa aplicada al diseño de un reflector LED de 50W junto a su driver.

En el capítulo 1, se describe el planteamiento del problema, mencionando la crisis energética y la justificación de este trabajo de grado, que busca establecer las pautas de diseño y construcción de luminarias LED en Venezuela, como parte de la solución a la problemática actual, mencionando los objetivos a realizar, el alcance de la investigación y las limitaciones de la misma.

En el capítulo 2, se mencionan los antecedentes de este proyecto de grado, en el que se mencionan trabajos e investigaciones anteriores relacionados con la implementación de LEDs para conseguir una mejor calidad de energía y también sobre la corrección de factor de potencia en convertidores DC-DC. Se indican también todas las

bases teóricas necesarias para poder realizar el trabajo, repasando conocimientos de luminotecnia y electrónica de potencia.

El capítulo 3, contiene la metodología a emplear, donde se especifica el tipo de investigación para lograr diseñar la luminaria LED, incluyendo la población y la muestra conformada por el reflector comercial de 50W distribuido por SAGET C.A y que fue usado como modelo de referencia, así como también las técnicas que van a emplearse en cada fase de esta investigación, con el fin de alcanzar los objetivos propuestos.

En el capítulo 4, se presentan los resultados obtenidos siguiendo la metodología descrita en el capítulo 3, que se enfocarán en conocer cada elemento que conforma el reflector y la función que desempeña, los métodos para diseñar el DRIVER de este tipo de lámparas, además de los costos de cada pieza y el ensamblado de cada parte en nuestro país.

Finalmente, se presentan las conclusiones que se alcanzaron luego de realizar el análisis de los resultados y las recomendaciones para futuros trabajos sobre LED, que involucran áreas en simulación por computadora, electrónica de potencia, economía e incluso estudios sobre la disipación del calor en estos equipos y así poder alcanzar una mayor vida útil además de una mayor eficiencia.

Capítulo 1: El Problema

1.1 Planteamiento del problema.

En La República Bolivariana de Venezuela, el tema de la Energía Eléctrica ha sido muy influyente y relevante en los últimos años. El consumo energético de la sociedad ha incrementado a través de los años como consecuencia del desarrollo, el incremento poblacional y de los avances tecnológicos orientados a mejorar la calidad de vida y bienestar de las personas.

La energía eléctrica se obtiene de centrales de generación, que transforman otros tipos de energía en electricidad, seguidamente es transportada desde estos puntos a través de líneas de transmisión a lo largo de todo el país. En la República Bolivariana de Venezuela, la energía se obtiene de centrales hidroeléctricas y termoeléctricas en su mayoría, las cuales en conjunto, conforman el sistema interconectado nacional, el cual se desarrolló con el objetivo de abastecer todos los requerimientos eléctricos del país.

El crecimiento poblacional de la República Bolivariana de Venezuela ha resultado en un incremento de la demanda eléctrica de aproximadamente 5.49% anual esta última década, porcentaje que supera el ritmo de crecimiento en la oferta eléctrica que se ha estado instalando, siendo este un valor de 2.11% [2]. Esto significa que, de continuar este escenario, la holgura del sistema eléctrico se irá disminuyendo cada vez más agudizando más la crisis energética que vivimos en el país. Esto y la poca ampliación de los sistemas de transmisión, han hecho que la capacidad de generación y transporte de energía de las líneas de transmisión se vea afectada y como consecuencia algunos sectores queden desenergizados, en especial en horas pico.

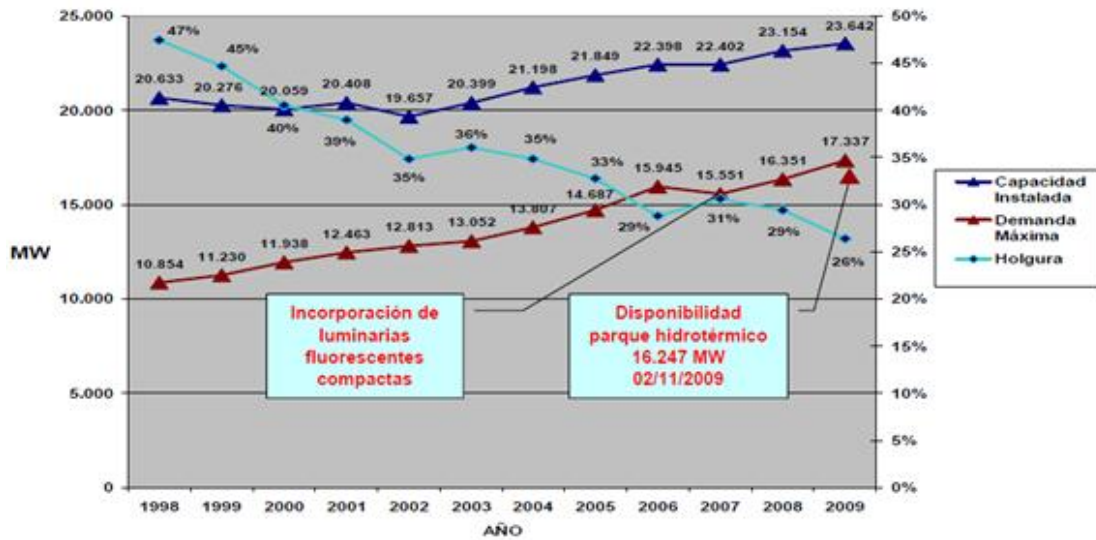


Figura 1.1- Capacidad Instalada del Sistema Eléctrico y Demanda Máxima entre los años 1998 y 2009.

Fuente: Asociación Integral de Políticas Públicas [2]

Centrados en este enfoque, se ha observado que los sectores residenciales, comerciales e industriales, tienen un gran consumo de energía eléctrica, parte de ese consumo corresponde a la carga por iluminación. Los sectores comercial e industrial hacen gran uso de la energía eléctrica al mantener iluminados sus estacionamientos, galpones y almacenes, en los cuales se hace uso de reflectores de alto consumo para la iluminación de áreas muy extensas. Esto es una carga eléctrica que contribuye, entre otras, a que el sistema eléctrico tienda a colapsar, haciendo que ciertos sectores se queden desenergizados.

El estado, considerando la problemática energética que ha ocasionado el consumo por iluminación, ha promovido una serie de estrategias con la finalidad de aligerar el consumo eléctrico por parte de la iluminación; en el sector residencial se optó por reemplazar los bombillos incandescentes por bombillos ahorradores, trayendo muy buenos resultados, pero en los sectores comercial e industrial las medidas han sido

otras, por lo que no se ha logrado un ahorro significativo en la iluminación de estos sectores [3].

Considerando lo anteriormente expuesto y debido a los avances tecnológicos que existen a nivel mundial, se puede señalar que la tecnología LED (siglas en inglés para «light-emitting-diode») juega un papel importante en la eficiencia del consumo de energía eléctrica.

Actualmente en Venezuela no se conoce una sola fábrica de luminarias LED, aunque durante el año 2012, el estado anunció una fábrica de Micro-LEDs en la zona industrial de Soco, en La Victoria, pero no poseemos información oficial sobre su operatividad [4]. La tecnología se distribuye en el país debido a los diversos proveedores que han surgido a raíz de las nuevas necesidades de ahorro energético, además de la necesidad de tener una relación menos contaminante entre el sistema eléctrico, la energía consumida por sus habitantes y el medio ambiente.

Por otra parte, los diseños de LED que se consiguen en Venezuela no son nacionales, esto ocasiona una gran desventaja en términos de capacitación técnica y profesional. Los técnicos e ingenieros deben prepararse para conocer las variables concernientes a LED, empezando porque estos equipos deben alimentarse con corriente directa y que la disipación de calor es un factor esencial en la vida útil del equipo. También, deben conocer las ventajas que esta ofrece en términos de iluminación y electricidad, al conseguir iluminar espacios de forma más eficiente y utilizando mucha menos potencia que los equipos comunes. El área de diseño y construcción de luminarias LED necesita de capacitación en nuestro país, no tener mano de obra capacitada impide la construcción y desarrollo de esta tecnología en Venezuela.

Con esto se propone un equipo que reemplace los reflectores actualmente usados por los sectores industrial y comercial, sin afectar el rendimiento lumínico y bajando el consumo eléctrico, logrando así un sistema más eficiente, menos contaminante y de fácil mantenimiento.

Este trabajo de grado busca tener un diseño propio, ofreciendo una alternativa más económica que sea igual o incluso más eficiente que los diseños que se distribuyen actualmente en Venezuela. Esto supondría un ahorro económico para los usuarios que compran luminarias LED y beneficiaría intelectual y tecnológicamente al sector privado y a la Universidad de Carabobo. Establecer los lineamientos de diseño y construcción de luminarias satisfaciendo los pocos estándares internacionales sobre LED, ofrecer un manual a los fabricantes con todas las herramientas de cálculo necesario para luego proceder al armado de un equipo que, teóricamente, estaría sustentado en los resultados de dichas simulaciones.

El diseño de la luminaria involucra dificultades técnicas, tales como el diseño del circuito, diseño del reflector, cálculo del disipador de calor y otras cosas. Además de investigación sobre los materiales necesarios para su construcción en Venezuela y un análisis comparativo de precios y técnicas con compañías de otros países.

1.2 Justificación

En todos los países desarrollados del mundo la iluminación es un aspecto muy importante a considerar cuando se desea disponer de un espacio útil de trabajo. Una buena iluminación garantiza un ambiente en el que se puedan llevar a cabo tareas cotidianas y laborales sin fatigar la vista de las personas. Podemos extender nuestros períodos de trabajo a horas más allá del atardecer aumentando la productividad, promoviendo el crecimiento económico, al mismo tiempo que hacemos de los espacios en horas nocturnas un lugar más seguro para todos.

Con el diseño propuesto se avanzará en independencia tecnológica para el uso más eficiente del porcentaje de la potencia eléctrica destinada a la iluminación en una instalación, debido a que las luminarias con tecnología LED requieren de menor energía para operar que las lámparas incandescentes, fluorescentes, de vapor de sodio y otras.

Capítulo 1. Planteamiento del problema.

Es el futuro de la iluminación y todos los países del mundo deben implementar esta tecnología si es que ya no lo están haciendo.

De implementarse masivamente, significaría una disminución importante en la carga demandada por iluminación. Esto ha significado una gran reducción en las tarifas del servicio eléctrico en países desarrollados. En Venezuela, como la energía es muy barata debido a políticas de estado, el impacto que tendría sería más con el sistema de potencia que con el consumidor, debido a que aún no conseguimos salir de la crisis energética en la que entramos en el año 2009 [2]. Esta disminución en la carga por iluminación es inversamente proporcional al crecimiento de la holgura entre carga y la capacidad operacional que tiene el sistema de potencia. Significa un alivio para el sistema de potencia, lo que le ayudaría a aumentar su confiabilidad. Como ejemplo, se puede usar la sustitución de bombillos incandescentes por bombillos ahorradores, cuyo plan arrancó en el año 2006. Desde la fecha hasta el 2011, se cambiaron 149.977.799 bombillos incandescentes por ahorradores, lo que se tradujo a un ahorro total de 3.811 MW [3]. Si se implementa dicho plan con LED, el ahorro habría sido significativamente mayor, según un estudio de IESNA en el 2002, para el año 2022 con LED consumiría apenas el 23% de la energía que requiere un incandescente, a la vez que disminuyen costos por mantenimiento al tener una vida útil 5 veces mayor. Claro está, que los avances tecnológicos en el área lograron superar las expectativas que se tenían para los LED, pero este documento sigue siendo un buen valor de referencia [5].

Tabla 1.1- Proyección comparativa de LED sobre Incandescente y Fluorescente. Fuente: IESNA, año 2002.

Technology → [date] →	SSL-LED 2002	SSL-LED 2007	SSL-LED 2012	SSL-LED 2020	Incandescent 2002	Fluorescent 2002
Luminous Efficacy (lm/W)	25	75	150	200	16	>85
Lifetime (khr)	20	>20	>100	>100	1	>20
Flux (lm/lamp)	25	200	1000	1500	1200	3000
Input Power (W/lamp)	1	2.7	6.7	7.5	75	32

Al no poseer agentes contaminantes al medio ambiente, siendo diferente de (por ejemplo) los bombillos ahorradores que poseen mercurio, sería más seguro y ecológico para la manipulación de dichos aparatos por seres humanos teniendo así un ambiente más seguro sin perjudicar a nuestro entorno.

La fabricación de este equipo en Venezuela abrirá puertas, oportunidades y traerá beneficios económicos muy grandes a los usuarios debido a que por ser importada, esta tecnología es muy cara y de difícil acceso a todos los Venezolanos. Beneficios económicos porque se construirá en tierra Venezolana, con materiales nacionales en su mayoría. Reduciendo costos en los equipos y aumentando así la cantidad de usuarios que pueden adquirir una luminaria con tecnología LED. Oportunidades porque abrirá puertas a un área de conocimiento necesaria actualmente en los sistemas de potencia como es la electrónica de potencia, permitiendo a los profesionales Venezolanos emplear e innovar en esta área de la ingeniería eléctrica que va cobrando tanta importancia en la actualidad, aumentando así la calidad de nuestros profesionales además de estimular a los fabricantes de luminarias nacionales a incorporarse a la competencia con equipos LED. Abrirá puertas porque generará empleos en un área necesaria para el país, traduciéndose en profesionales con mayor capacidad y exigidos a recuperar la confiabilidad del sistema eléctrico nacional.

Se contribuiría con la generación de conocimientos pertinentes a la línea de investigación de eficiencia energética y calidad de energía, del departamento de potencia de la escuela de ingeniería eléctrica en la facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo.

1.3 Objetivo general

- Diseño de una luminaria LED tipo reflector de 50W aplicando ingeniería inversa.

1.4 Objetivos específicos

- Identificar y describir los componentes, además de la función que desempeña cada uno en una luminaria tipo reflector con la recopilación de datos fotométricos y eléctricos del equipo de referencia.
- Diseño de un DRIVER LED, a través del análisis comparativo de los métodos existentes de control de iluminación LED para el control de la calidad de energía, empleando conocimientos de electrónica de potencia y obteniendo resultados a través de simulaciones en Simulink.
- Selección de los materiales, herramientas menores y equipamiento requeridos para la construcción y ensamblaje en Venezuela a través de consultas y comparaciones entre los fabricantes, nacionales e internacionales, de los elementos que la componen.
- Determinación de la factibilidad técnico económico del diseño para su posterior comercialización en Venezuela.

1.5 Delimitaciones

De espacio geográfico

El presente estudio se desarrolló en la ciudad de Valencia estado Carabobo, en el campus de la Universidad de Carabobo en Naguanagua y la empresa SAGET, ubicada en la torre BOD de la av. Bolívar de la ciudad de Valencia, ambas en el Estado Carabobo.

De tiempo

El presente trabajo de grado comenzó a desarrollarse desde principios de noviembre del año 2014 y se tiene estipulado la culminación del mismo para la primera semana de Julio del año 2015, siendo el mes de octubre en el que será presentado ante

el jurado designado para evaluar la defensa del proyecto. El capítulo 1 comenzó a elaborarse en la 3era semana de marzo y se completó en la semana 4 del mismo mes. En dicha semana, arrancaron simultáneamente las labores de redacción de los capítulos 2 y 3, teniendo la primera semana de abril como fecha de culminación de esta labor. El capítulo 4 comenzó a elaborarse en la segunda semana de abril teniendo una fecha de culminación 7 semanas después, la última semana de mayo abarcó las siguientes labores: 4 semanas en el diseño del driver, 7 semanas ubicando distribuidores a nivel nacional y solicitando a ellos precios de compra de dichos componentes. Simultáneamente a esto, durante 2 semanas se identificaron las piezas que corresponden al reflector LED de 50W para luego ubicar a las compañías que distribuyen dichas piezas en todo el mundo. Durante seis semanas se ubicaron fabricantes y se establecieron comparaciones de precios entre ellos para la evaluación de la factibilidad económica de su construcción en Venezuela. Las revisiones previas a la entrega de ante-proyecto de grado y a la defensa del mismo, se llevaron a cabo durante la primera semana de agosto y la primera semana de octubre respectivamente en conjunto con la presentación del proyecto. La defensa se hará en algún momento de del mes de octubre de 2015, dando por concluido este proyecto.

De contenido

A través de conocimientos en electrónica de potencia, se diseñó el control de iluminación LED, un circuito que posee rectificación de voltaje AC/DC, convertidores DC/DC y corrección de factor de potencia. El bosquejo del circuito y su funcionamiento se simuló a través de Simulink, con la posibilidad de verificar su correcto desempeño por etapa. Luego de tener este circuito listo, se verificará la distorsión armónica con la ayuda, nuevamente, de Simulink, con el fin que no supere lo estipulado por la norma (2% de THD) verificando aspectos como la tensión de rizado luego de la rectificación para que esté bajo los parámetros de aceptación (3% V_{in}) [6]. Se hizo un despiece total

Capítulo 1. Planteamiento del problema.

del modelo de reflector de 50W usado para hacer un listado de todas las piezas que le componen además de señalar la función que cumple cada elemento, con el fin de ubicar empresas fabricantes de dichos componentes, estableciendo comparaciones de costos y tomar la decisión más conveniente desde el punto de vista económico y técnico para conseguir estos insumos. Se establecieron criterios de diseño y de construcción para esta luminaria apoyados en normas y estándares internacionales, a fin de garantizar un equipo que funcione correctamente.

Capítulo 2: Marco Teórico

La Iluminación con tecnología LED abarca conocimientos en diversas áreas que no solo se limitan al área de luminotecnia, sino que también es necesario el conocimiento en el área de electrónica de potencia para el control de variables eléctricas, protección de la luminaria ante sobrecargas o sobretensiones así como también es necesario poseer conocimientos sobre la iluminación en estado sólido, gracias a que este tipo de iluminación está basada en diodos emisores de luz. En este capítulo encontraremos antecedentes de investigaciones similares además de los fundamentos teóricos necesarios para comprender y desarrollar de manera satisfactoria este proyecto de grado.

2.1 Antecedentes

Seijas, C. Villazana, S. Caralli, A. [2006], Active Input Line Current Shaping Using Support Vector Machines. Conference Paper, IEEE.

Los profesores Villazana, Seijas y Caralli, reconocidos profesores en el departamento de electrónica en la escuela de eléctrica de la Universidad de Carabobo, proponen la corrección del factor potencia en convertidores DC-DC tipo boost, empleando un nuevo principio en Redes Neuronales Artificiales. En la investigación, emplean un lazo de control para lograr que la corriente de la red se sitúe en fase con su voltaje, obteniendo un factor de potencia unitario y disminuyendo la distorsión armónica total. El diagrama de bloques sugerido para el control de corriente, fue usado como referencia para desarrollar un lazo de control en el diseño del driver LED, dejando a un lado la novedosa técnica empleada con Máquinas de Vector de Soporte (SVM).

Arráez, O. Santos, A. [2013], Diseño de módulo solar para ser fabricado en Venezuela que sea producto de un análisis comparativo de las distintas tecnologías de las celdas solares existentes. Universidad De Carabobo.

La investigación presenta un estudio comparativo de tecnologías involucradas en el desarrollo y fabricación de paneles solares. El proyecto hace un estudio evaluando la posibilidad de implementar dicha tecnología y poder construir módulos solares en la república bolivariana de Venezuela. Se explica con gran detalle, las tecnologías usadas para el ensamblado de los paneles y el material con el que se construyen. Ofreciendo así un completo estudio de factibilidad técnico económico que considera las variables a tener en cuenta en este tipo de investigaciones.

Valles, E. [2009], Desarrollo de un marco metodológico orientado al diseño y mantenimiento de sistemas de iluminación interior. Universidad De Carabobo.

Este trabajo de grado propone el desarrollo de un marco metodológico orientado al diseño y mantenimiento de sistemas de iluminación interior. Plantea como gran inconveniente, la ausencia de prácticas efectivas en el diseño de las mismas, una actividad que trae como consecuencia dificultades para los operadores de mantenimiento y también para los usuarios, debido a que la baja calidad de las mismas puede provocar serio deterioro de la visión o provocar accidentes en áreas de trabajo. En esta investigación, desarrollan un modelo con sugerencias a seguir para garantizar un sistema de iluminación óptimo, basado en las normativas vigentes.

Román, Y. Nicolliello, E. [2009], Sistema de alimentación de energía con paneles solares para la iluminación de un salón de clases en la facultad de ingeniería. Universidad De Carabobo.

Este trabajo de grado presenta una evaluación de la factibilidad en la aplicación de este tipo de energía para un salón de clases de la facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo, más concretamente, para la carga de iluminación de dicho salón. El objetivo es el de evaluar alternativas a las ya conocidas fuentes de energía eléctrica convencionales en nuestro país, con el fin de llevar energía eléctrica a zonas remotas o a lugares puntuales empleando energías renovables. Esta propuesta busca ser parte de un conjunto de soluciones para el problema del incremento de la demanda que crece día a día en nuestro país.

Camacho, C. Rojas, T. [2002], Proyecto de electricidad para un túnel de gran longitud (iluminación y control). Universidad De Carabobo.

En el presente trabajo de investigación se establecen los parámetros de diseño de un sistema de iluminación para tuneles de largas distancias, siendo este un escenario complicado y de muchas variables a tomar en cuenta en el que además se posee muy poca información para el desarrollo de estos proyectos en Venezuela. Se hace consideración de los niveles de iluminación necesarios en cada etapa del túnel en conjunto con la respuesta psicológica que el cerebro humano interpreta al ver cada color, se hace un estudio de las luminarias a usar en cada etapa acorde con los niveles de iluminación, el calibre del cable a utilizar y el nivel de tensión usado en la instalación. De esta manera, lograr una instalación eficiente que cumpla con las normas de calidad vigentes en materia de iluminación, garantizar la seguridad de los circulantes y disminuir los accidentes en el túnel.

Franco, N. [2013], Estudio de factibilidad de un sistema fotovoltaico para luminarias LED en showroom de Equisol C.A. Universidad Simón Bolívar.

Este trabajo de grado desarrolló un estudio de factibilidad de un sistema fotovoltaico para la alimentación del circuito de iluminación LED del showroom de la empresa Equisol C.A. El estudio estuvo basado en normas venezolanas vigentes en el marco de ahorro energético e incluye el dimensionamiento del sistema acorde a la carga que alimentará, las simulaciones de la iluminación de la sala apoyados en el software DIALux y las luminarias a usar en la sala de la empresa. Además, presenta un estudio económico y técnico sobre la instalación, en la que añade sugerencias para su mantenimiento y posible expansión del sistema a otras oficinas de la empresa.

2.2 Bases Teóricas

En esta sección se presentan las bases teóricas en las que está fundamentada esta investigación. La misma abarcará una diversidad de temas en los que se incluyen los términos y conceptos más usados sobre luminotecnia, iluminación de estado sólido, electrónica de potencia, variables y procesos involucrados en el estudio de factibilidad técnico económico y en los procesos de construcción de este equipo.

2.2.1 Iluminación de Estado Sólido:

Comúnmente conocido como SSL (siglas en inglés de Solid State Lighting), se refiere a la iluminación obtenida a través de semiconductores tales como LED (Diodo emisor de luz), OLED (Diodo emisor de luz orgánico), PLED (Diodo emisor de luz de polímero) [7].

2.2.2 L.E.D.:

La luminaria LED, Light Emitting Diodes en inglés, significa Diodo Emisor de Luz. Es un dispositivo de estado sólido o semiconductor que emite luz con diferentes longitudes de onda cuando se polariza en forma directa y por él pasa una corriente eléctrica. El color depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo,

logrando de este modo que el LED pueda emitir luz de cualquier color perteneciente al espectro de luz visible incluyendo la luz ultravioleta y el infrarrojo. A pesar de ser capaces de emitir luz, los LEDs no son como los bombillos convencionales.

Estos requieren estar conectados a un circuito que los haga funcionar determinado voltaje y corriente, y con componentes que le permitan operar en condiciones específicas de voltaje tales como 12VDC, 24VDC o inclusive a 120VAC debido a que no vienen listos para ser conectados de una vez.

Aunque esta investigación se orienta a determinar las partes que componen una luminaria LED tipo reflector, y no involucra el diseño del semiconductor como tal, a continuación se presentan los detalles constructivos y las funciones del mismo:

2.2.2.1 Detalles constructivos de un LED:

Como la muestra la Figura 2.1, un LED está conformado por la resina epóxica, chip semiconductor, tiras plateadas y doradas para acoplar el ánodo y el cátodo al semiconductor. Las funciones de dichas partes se explican a continuación.

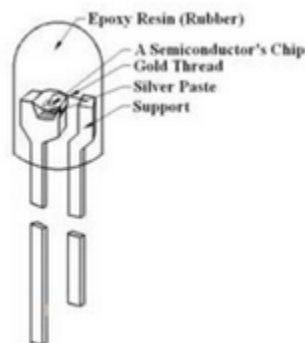


Figura 2.1- Partes que conforman un LED. Fuente: Liu Yang y Yu Wang [8]

Resina Epóxica: Es el material con el que está hecho el lente para sellar el LED en forma de cápsula. Además de ofrecer protección, ofrece control óptico de la luz emitida al reducir las reflexiones en la superficie del semiconductor y también logra incrementar el flujo luminoso. Debido a la resina no hay necesidad de extraer burbujas de aire atrapadas o de inyectar gas inerte en el material. Posee resistencia ante las vibraciones, haciéndolo ideal para su producción y transporte. Además, asegura que no existan desprendimientos entre las partes constructivas del LED y es muy resistente a altas temperaturas.

Chip Semiconductor: quizá la parte más importante de todas, el chip es la unión de dos materiales semiconductores. Una de tipo P y otra de tipo N para formar una unión P-N. El semiconductor tipo P está conformado mayormente por huecos, formados por los enlaces covalentes incompletos al que el átomo vecino otorgará un electrón. En el semiconductor N contiene las mismas impurezas que el semiconductor P, con la diferencia de que tiene un electrón de valencia de más. De esta manera se forman enlaces covalentes en el semiconductor, pero teniendo un electrón libre que no logra hacer enlace, convirtiéndose en carga libre. Al ser polarizado directamente, se logra que los huecos del material P pasen a la zona N y los electrones de la zona N, vayan hacia la P.

Este proceso emite un Fotón. Y el fenómeno de desprendimiento de fotones es lo que el ojo humano aprecia como luz. En la siguiente figura se tiene una representación de cómo ocurre el desplazamiento entre huecos y electrones. Las cargas negativas con cuadros encima son huecos en el átomo de silicio esperando ser ocupados por el electrón, los círculos verdes representan los electrones de la zona N que no han hecho aún enlace pero que pueden ocupar un hueco en la zona P.

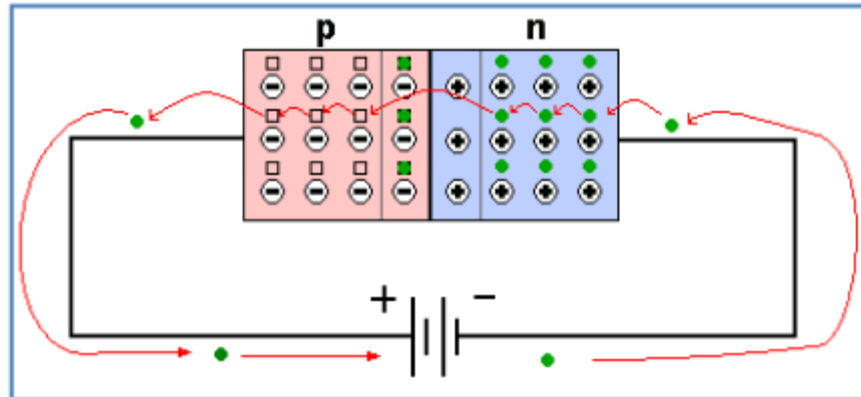


Figura 2.2- Representación de la unión P-N cuando se le polariza en forma directa. Fuente: Nathaniel Franco [9]

Tiras doradas: son materiales que permiten la conducción de electricidad y son usados para realizar acoples entre el ánodo/cátodo y el chip semiconductor.

Ánodo y Cátodo: son electrodos o polos del diodo. El ánodo es el electrodo de mayor potencial y el cátodo es el de menor potencial.

Pasta Térmica: Facilita la conducción de calor para evitar que el LED falle por calentamiento.

Colores del LED: la longitud de onda emitida por el LED depende del material usado para su construcción. Al principio solo había LEDs rojos y seguidamente aparecieron los de color azul y verde. Con la combinación de estos colores se obtuvo el color blanco, este método es llamado RGB y es usado actualmente para obtener LEDs de color blanco. Sin embargo, existe otro método en el que recubren un LED azul con fósforo amarillo, obteniendo un color blanco con mayor eficiencia y de menor costo en comparación con RGB [5].

La relación que tiene un color con su longitud de onda se presenta en un diagrama de cromaticidad. Dicho diagrama permite mayor precisión en la medida de los colores. Por cada punto en el diagrama se tiene un color, representado en forma de terna (X, Y, Z),

pero debido a que solo dos dimensiones son necesarias para ubicar un color en el diagrama, se usa un par ordenado de forma (X,Y) para representarlo. En la Figura 2.3, distinguen los valores de longitud de onda y muchos colores. Si uno quiere saber cuál es la longitud de onda específica de un color, debe trazar una recta que pase por el color que desea conocerse, que incluya el color blanco y que corte la frontera del diagrama. El corte de la frontera es la longitud de onda de dicho color. También pueden adquirirse un color mediante la combinación de dos colores, supongamos dos puntos C1 y C2 y tracemos una línea recta que los una. La combinación de C1 y C2 puede dar a lugar a cualquier color que esté contenido dentro de dicha línea.

$$x = X / (X + Y + Z)$$

$$y = Y / (X + Y + Z)$$

$$z = Z / (X + Y + Z)$$

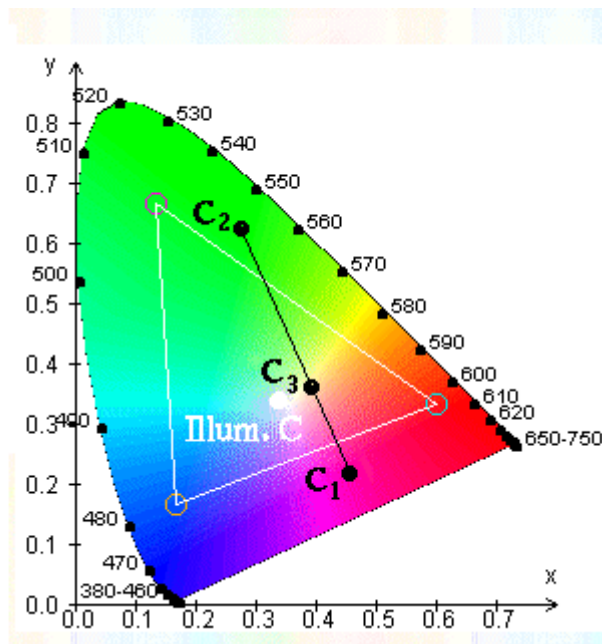


Figura 2.3-. Diagrama de Cromaticidad y las fórmulas para obtener cada coordenada. Fuente: IESNA [5].

El método de RGB está apoyado en el diagrama de cromaticidad. Si nos fijamos en la figura 2.3 y también en la figura 2.4, se encuentra un triángulo inscrito en el diagrama. Las esquinas del triángulo representan el azul, el rojo y el verde. Y los colores que se encuentran dentro del mismo, incluyendo el color blanco, pueden obtenerse por la

combinación de los tres colores. Si regresamos a la expresiones vistas en la Figura 2.3, se puede deducir que con solo conocer los valores de X y Y, se logra conocer Z. Esto nos indica que el diagrama de cromaticidad se puede ver en dos dimensiones y no necesariamente en 3.

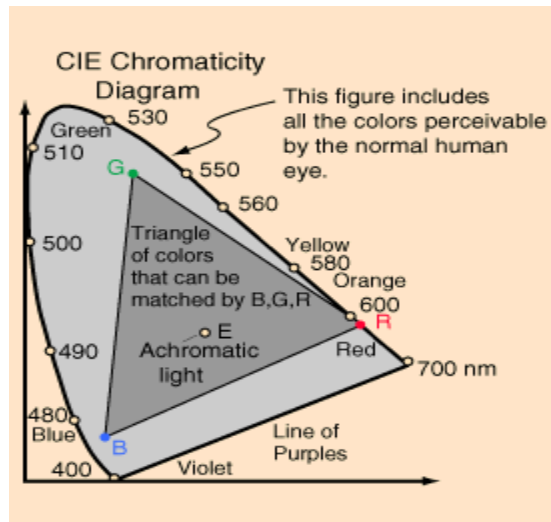


Figura 2.4- Zonas del Diagrama de Cromaticidad. Fuente: IESNA [5]

2.2.2.2 Ventajas del LED:

Debido que está aislado en resina epóxica, su resistencia es muy buena. Dándole ventajas para fabricación, traslado y operación en comparación con otros tipos de iluminación tradicional.

Los niveles de concentración de energía de LED son altos, orientados en la dirección correcta y concentrados en una longitud de onda más corta, con mayor pureza y brillo que las fuentes de luz tradicionales.

Tabla 2.1. Pérdida de la Luminosidad. Fuente: Nathaniel Franco [9]

Pérdida de luminosidad	-20%	-30%
LED	45.000 h	100.000 h
Fluorescente	5.000 h	20.000 h
Halógena	1.500 h	4.000 h

Su vida útil está considerada entre las 50.000 horas y las 10.000 horas, incluso el constante encendido o apagado del mismo no afecta este valor [8].

Tabla 2.2- Comparativa de LED entre otros tipos de fuentes de luz. Fuente: Nathaniel Franco [9]

	<i>Vida media, horas</i>
LED	100.000
Fluorescente	20.000
Halógeno	4.000
Incandescente común	1.000

En la fabricación de los LEDs no se emplea el uso del mercurio, así que sus equipos una vez dañados se pueden considerar reciclables. No emiten rayos ultravioleta ni infrarrojos, emiten menos calor en comparación con las fuentes de luz convencionales, no es radioactivo y los chips pueden manipularse sin protección alguna. Convirtiéndola en una fuente de luz ecológica.

Tienen un tiempo de respuesta muy pequeño, en el rango de los milisegundos.

Pueden ser operados a voltajes muy bajos en corriente directa con potencias bajas en comparación con las fuentes de luz convencionales.

Con el método RGB, pueden generarse más de 256 efectos y mezclarse por computadora de forma aleatoria, pudiendo generar más de 16777216 tipos de color, pudiendo reproducir en mejor detalle una gran variedad de imágenes y efectos [8].

De forma resumida, los LED se traducen en alta eficiencia con bajo costo de mantenimiento, con bajos costos de operación y más ecológico que el resto de las fuentes de luz usadas hoy en día.

2.2.2.3 Aplicaciones:

Las aplicaciones de los LED, específicamente en el caso de los reflectores, se ha ido diversificando y ha pasado a formar parte de sistemas de iluminación a gran escala como en la iluminación de galpones, estacionamientos, anuncios publicitarios, estadios e incluso teatros.



Figura 2.5- Iluminación de un estacionamiento, torre de reflectores y cancha de fútbol con LED.

2.2.3 Iluminación:

La iluminación es la planificación del entorno visual del hombre, el objetivo es crear condiciones óptimas para hacer posible que los seres humanos tengamos una correcta percepción de nuestro entorno, del ambiente en el que desempeñamos nuestras labores diarias. La percepción del ojo humano es favorecida por la presencia de la luz del día pero en ausencia de ella la capacidad de la misma disminuye considerablemente. Debe existir luz para lograr la percepción del entorno, es así como el ser humano a través de la historia ha empleado las fuentes artificiales de luz para poder realizar actividades en escenarios con mucha oscuridad o en horas nocturnas.

2.2.3.1 Luminotecnia:

La Luz y el Espectro Visible: La luz es una onda electromagnética, su longitud de onda determina el color que el ojo humano percibe. La ciencia que estudia las formas de generar luz, controlarla y encontrar las diferentes aplicaciones que ésta pueda tener se le llama luminotecnia.

La luz visible sólo es una pequeña parte del espectro bastante más ancho de las ondas electromagnéticas. Que sea precisamente el área desde 380 hasta 780 nm, la «luz visible», la que conforme la base de la visión humana, desde luego no es casualidad [10]. Justo esta área se encuentra como radiación solar a disposición en la Tierra y de este modo puede servir como base fiable de la percepción. Es decir, el ojo humano aprovecha una de las partes disponibles del espectro de las ondas electromagnéticas para informarse sobre su entorno. Percibe la cantidad y la distribución de la luz, que es irradiada o reflejada por cuerpos, para informarse sobre su existencia o su cualidad, y el color de la luz irradiada para obtener una información adicional sobre estos cuerpos. La Figura 2.6 aclara de un mejor modo cómo se clasifican las ondas electromagnéticas y además ubica el espectro de luz visible dentro del mismo.

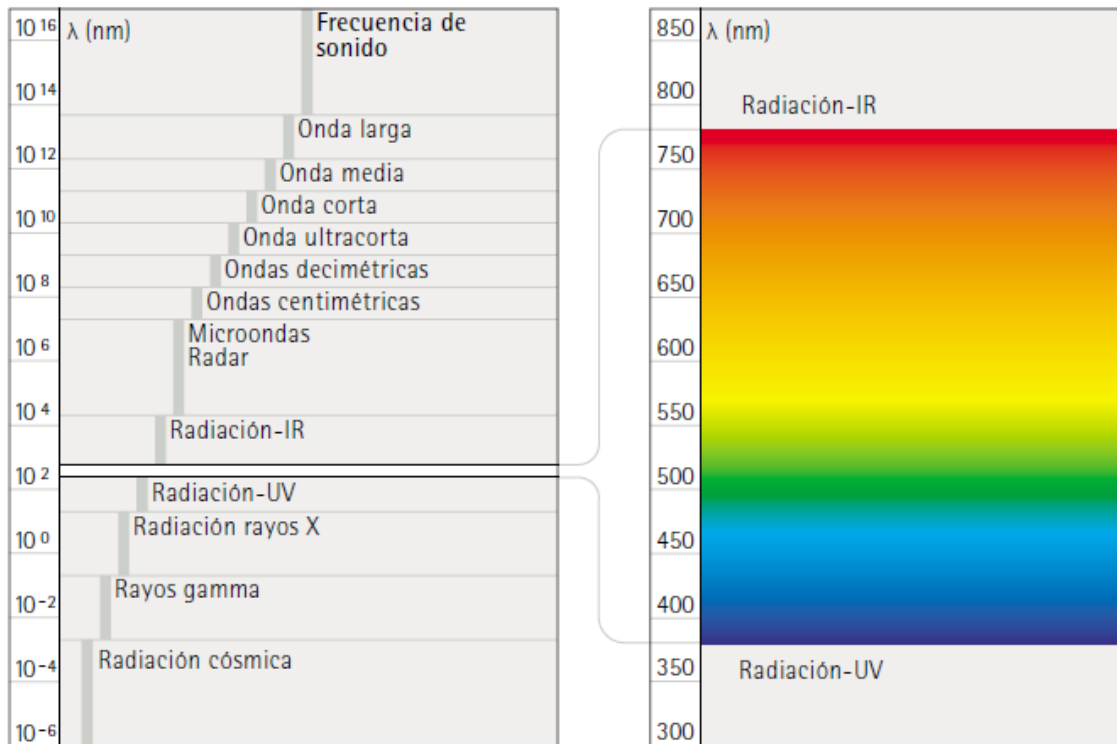


Figura 2.6- Espectro electromagnético. Fuente: Rüdiger Ganslandt y Harald Hofmann [10].

Sensibilidad al color: La retina del ojo humano es más sensible a ciertos colores dependiendo de la intensidad de iluminación. El ojo humano percibe mejor los colores amarillos (555 nm de longitud de onda), razón por la cual la mayoría de las señales de emergencia y avisos se usan de este color; para bajas intensidades de luz, percibe mejor un color verde azulado (500 nm de longitud de onda).

Magnitudes Luminosas: Para lograr una buena planificación de la iluminación de un escenario, es necesario comprender las magnitudes que hacen comprensible un estudio luminotécnico. Repasaremos conceptos de flujo luminoso, intensidad luminosa, iluminancia y luminancia.

- **Flujo Luminoso:** El flujo luminoso describe toda la potencia de luz dada de una fuente luminosa. Fundamentalmente, se podría registrar esta potencia de radiación como energía dada en la unidad vatio (W). No obstante, el efecto óptico de una fuente

luminosa no se describe acertadamente de este modo, ya que la radiación se registra sin distinción por todo el margen de frecuencias y por ello no se tiene en cuenta la diferente sensibilidad espectral del ojo. Por esto se crea una unidad que tome como referencia sólo la energía lumínica emitida en todas las direcciones por unidad de tiempo, el Lumen (lm).

- **Intensidad Luminosa:** Una fuente luminosa puntual e ideal radia su flujo luminoso de manera uniforme en todas las direcciones del espacio, su intensidad luminosa es en todas direcciones la misma. En la práctica, no obstante, siempre se da una distribución espacial irregular del flujo luminoso, que en parte es condicionada por la disposición de los medios de luz y en parte originada por la conducción consciente de la luz. Por lo tanto, es conveniente indicar una medida para la distribución espacial del flujo luminoso, es decir, la intensidad luminosa de la luz.

La candela como unidad de la intensidad luminosa es la única unidad base de la luminotecnia, de la cual se derivan todas las demás medidas luminotécnicas. La candela se definía originalmente por la intensidad luminosa de una vela normalizada, más tarde sirvió como norma el polvo de torio, que con la temperatura solidificaba el platino; desde 1979 se define la candela por una fuente radiante, que radia con una frecuencia de 540×10^{12} Hz un total de $1/683$ W por estereorradián.

$$I = \frac{\varphi}{\Omega}; I(cd) = \frac{lm}{sr} \text{ (Ecuación 2.1)}$$

Donde:

I es la intensidad luminosa medida en candelas.

φ es el flujo luminoso en lumens.

Ω es estereoradianes.

- **Iluminancia:** La iluminancia es una medida para la densidad del flujo luminoso. Se ha definido como la relación del flujo luminoso que cae sobre una superficie y el área de la misma. La iluminancia no está sujeta a una superficie real, se puede determinar en cualquier lugar del espacio, y puede derivar de la intensidad luminosa. La iluminancia, además, disminuye con el cuadrado de la distancia desde la fuente de luz (ley fotométrica de distancia).

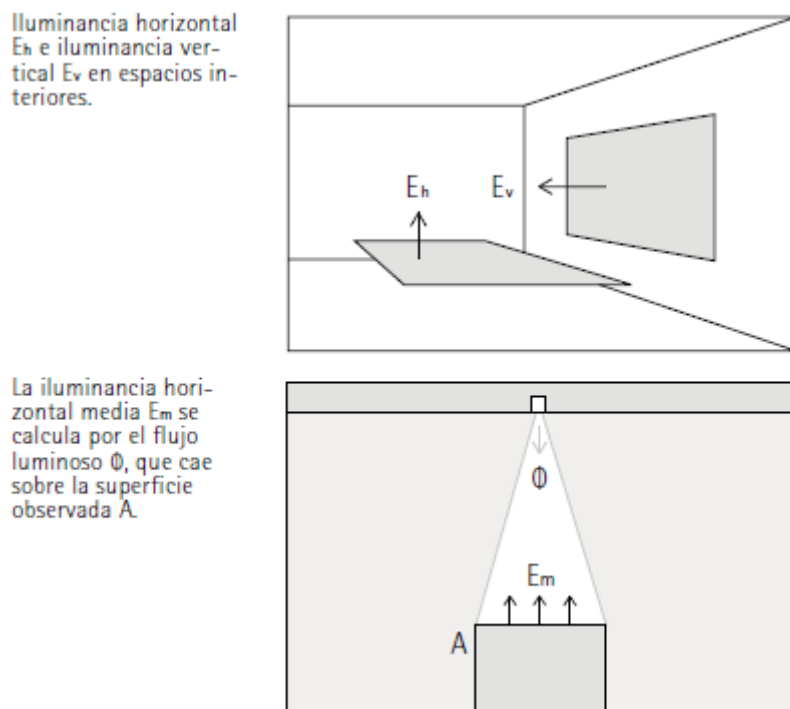


Figura 2.7- Iluminancia vertical y horizontal. Iluminancia sobre una superficie. Fuente: Rüdiger Ganslandt y Harald Hofmann [10].

$$E = \frac{\varphi}{A}; \text{ (Ecuación 2.2)}$$

Donde:

E es la Iluminancia sobre una superficie cualquiera medida en Luxes [lx].

φ es el flujo luminoso en lumens.

A es el área de la superficie en la que se irradia la luz.

- **Luminancia:** Mientras la iluminancia registra la potencia de luz que cae sobre una superficie, la luminancia describe la luz que procede de esta superficie. Flujo reflejado por los cuerpos, o el flujo emitido si el objeto es una fuente de luz. Es el único concepto que mide realmente lo que nosotros vemos de la luz, hace referencia a la claridad o Brillo con que vemos las distintas superficies. La luminancia se mide en candelas por superficie (cd/m²).

Niveles de Iluminación: La iluminación de interiores, así como también para espacios al aire libre o exteriores, deben cumplir requisitos luminotécnicos que garanticen el desarrollo de actividades sin causar fatiga o suponer un riesgo en la salud de las personas que hagan vida allí. Es por eso que diferentes organismos gubernamentales y privados han decidido normar y recomendar niveles de iluminación de dichos espacios, en función de tener espacios mejor iluminados y que causen el menor deslumbramiento posible. Garantizando así, el desarrollo de estas actividades de forma segura y saludable.

En Venezuela, SENCAMER (anteriormente conocido como COVENIN) es el organismo encargado de establecer los niveles de iluminación recomendados para estos escenarios, teniendo la norma 2249-93 titulada “Iluminancias en Tareas y Áreas de Trabajo” para dicho fin [11].

Para espacios interiores, si no se especifica la altura del plano de trabajo (hm), se deberá tomar un plano imaginario a 0,75 m, sobre el nivel del suelo para trabajar sentados y de 0,85 m para trabajos de pie.

La iluminancia promedio se calcula mediante la fórmula:

$$E_{promedio} = \frac{\varphi_{total} \cdot CU \cdot fm}{A}; \text{ (Ecuación 2.3)}$$

Donde:

$E_{promedio}$ se mide en luxes [lx]

φ_{total} en lumens [lm]

CU factor de utilización para el plano de trabajo.

fm factor de mantenimiento.

A es el área del plano de trabajo en metros cuadrados [m²]

Software de simulación para iluminación: Esta clase de software se encarga de realizar proyectos de iluminación teniendo en cuenta los estándares internacionales, permitiendo crear escenarios y locales con elementos reales. De esta manera la planificación de la iluminación se logra de la forma más eficaz posible.

DIALux es uno de los programas más reconocidos en esta línea y será utilizado en este proyecto de grado como apoyo en el primer objetivo, encargado de identificar las partes que conforman el reflector y cómo funciona este en diferentes escenarios.

2.2.4 Instrucción sobre LEDs basada en simulación fotónica:

Este es un método experimental que permite a estudiantes y profesionales por igual instruirse en el diseño y fabricación de LEDs. El método fue introducido y publicado en la IEEE en el año 2011 por Chang, Chen, Kuo y Shen, de la Universidad Nacional de Changhua en Taiwan. El método consiste en seleccionar a un grupo de estudiantes de educación superior e involucrarlos directamente en el proceso de construcción de luminarias LED a través de convenios entre el sector Industrial y comercial, abarcando distintas áreas de conocimiento en la elaboración de los chips semiconductores, involucrando cuatro áreas: Ciencia de los materiales, física de semiconductores, optoelectrónica y mecánica cuántica. Los estudiantes son puestos a realizar tareas de observación y recolección de datos para sus simulaciones, de este modo pueden saber

cómo realizar dispositivos más eficientes y qué materiales son necesarios para alcanzar estos objetivos. En este método de instrucción, hacen uso de un programa llamado APSYS, un software usado para modelar dispositivos semiconductores, muy usado en la industria china para el diseño de los chips [12]. Este estudio lograría acercar más a que la Universidad y la Industria, desarrollen conocimientos y tecnologías más eficientes para la construcción de LEDs.

2.2.5 Proceso de Fabricación de un Reflector LED.

El proceso de fabricación de un reflector LED está ligado a diferentes áreas. Cada uno de estos equipos está conformado esencialmente por:

a) Chip Semiconductor:

Es el dispositivo que emite la luz al hacer pasar corriente a través de él.

b) DRIVER:

El dispositivo electrónico que rectificará y mantendrá constante el nivel de voltaje en DC para alimentar el chip semiconductor.

c) Cables:

Para conectar el circuito del cable a la red eléctrica y también conectarse con el chip semiconductor.

d) Carcasa fundida en aluminio:

La carcasa es a donde irán unidas todas las piezas de la luminaria, el chip se sujeta a ella a través de tornillos en el centro del disipador de calor, que viene incluido de una vez en la carcasa. Además, esta incluye un compartimiento especial para el driver, en el que se sostendrá por medio de placas de aluminio y tornillos.

e) Lámina delgada de aluminio altamente reflectiva:

Esta lámina de aluminio se obtiene mediante un troquel y es la encargada de reflejar los haces de luz que chocan contra su superficie para luego concentrarla en un foco. Se coloca después que se ha fijado el chip semiconductor, sujetándose a los bordes de la carcasa mediante tornillos.

f) Vidrio o difusor de vidrio:

Dependiendo del uso que desee dársele, se le puede colocar una lámina de vidrio o un difusor para modificar la distribución de la luz emitida por la luminaria. El fabricante del reflector usado como referencia para este trabajo de grado, recomienda usar un difusor para reducir un poco el efecto del deslumbramiento [13].

g) Sujetadores y tornillos.

Son usados para sostener todas las partes de la luminaria y evitar que estas se suelten, causando accidentes o problemas de funcionamiento.

Deben existir depósitos para: Drivers, cables, sujetadores y tornillos, láminas de vidrio, Chips semiconductores, láminas de aluminio altamente reflectivas que, debido a su fragilidad, deben manejarse con cuidado para no hundirlas y causarle imperfecciones. Dicha consideración debe tomarse también para las láminas de vidrio, para evitar que se quiebren o muestren detalles.

Un operador debe manejar el troquel para obtener las láminas de aluminio altamente reflectivo. Otro operador debe ser responsable por el ensamblado de cada uno de los reflectores. Además, debe tener un ayudante cuya principal misión es la de llevar un control de las piezas que salen y llegan a los diferentes depósitos.

Adicional a todo esto, el operador que ensamblará el reflector hará uso de una caja de herramientas, en la que dispondrá de destornilladores de pala, destornilladores de estría, juego de llaves allen, pinza, corta cable y un pela cables. Esta persona también debe tener conocimientos sobre soldadura con estaño y cautín. Las conexiones entre chip y driver deben realizarse a través de conectores de plástico a presión, respetando y verificando en toda ocasión la polaridad del Driver y el Chip semiconductor.

2.2.6 Electrónica de Potencia:

La electrónica de potencia involucra el estudio de circuitos electrónicos diseñados para el control de la energía eléctrica. Una de sus principales aplicaciones, está en la conversión de energía a través de adaptadores electrónicos de potencia, pudiendo llevar señales de corriente alterna a señales de corriente directa. Estos circuitos manejan energía en niveles mucho más altos que para las aplicaciones en las que son empleadas. Los cargadores de batería de teléfonos celulares son uno de los ejemplos más comunes de conversión de corriente alterna a corriente directa, del mismo modo, la conversión de corriente directa a corriente alterna también es posible gracias a estos conocimientos teniendo como uno de sus ejemplos más representativos el uso de adaptadores en sistemas fotovoltaicos. En la iluminación LED, es necesaria también emplear la conversión y el control de esta energía para un correcto funcionamiento de la lámpara, estos dispositivos electrónicos son llamados Drivers y son casi tan vitales como el chip LED que emite la luz. Para diseñar uno, será necesario conocer los basamentos teóricos de las etapas que constan el driver: rectificador AC/DC de onda completa, filtros EMI, conversor DC/DC, control del factor de potencia y la distorsión armónica total, además de las protecciones para este circuito. La electrónica de potencia también comprende el estudio y diseño de disipadores de calor, indispensables para el buen funcionamiento del chip LED.

2.2.6.1 Potencia en cargas no lineales y fuentes AC y distorsión armónica total:

La potencia absorbida por la carga se determina mediante la siguiente expresión.

$$P = V1_{rms} \cdot I1_{rms} \cdot \text{Cos}(\theta_n - \varphi_n); \text{Ecuación 2.4}$$

Siendo la potencia aparente determinada por la siguiente expresión, conseguimos el factor de potencia.

$$pf = \frac{P_{carga}}{S_{aparente}} = \frac{V1_{rms} \cdot I1_{rms} \cdot \cos(\theta_n - \varphi_n)}{V_{rms} \cdot I_{rms}}$$

$$= \frac{I1_{rms} \cdot \cos(\theta_n - \varphi_n)}{I_{rms}}; \text{Ecuación 2.5}$$

Donde la corriente I_{rms} es dada por la siguiente expresión, considerando n cantidad de armónicos.

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} I_{n,rms}^2} = \sqrt{I_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{I_n}{\sqrt{2}}\right)^2}; \text{Ecuación 2.6}$$

Conociendo los valores de I_{rms} e $I1_{rms}$ determinamos el factor de distorsión, un valor que nos permite expresar el factor de potencia en sus términos.

$$pf = [\cos(\theta_n - \varphi_n)] \cdot DF; \text{Ecuación 2.7}$$

También puede escribirse como sigue:

$$DF = \sqrt{\frac{1}{1 + (THD)^2}}; \text{siendo } THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I1}; \text{Ecuación 2.7}$$

La potencia reactiva se define del siguiente modo:

$$Q = \frac{V1 \cdot I1}{2} \cdot \text{Sen}(\theta_1 - \varphi_1); \text{Ecuación 2.8}$$

Habiendo definido P y Q, debemos considerar un tercer término llamado D, en el que consideramos las corrientes a una frecuencia diferente a la frecuencia de la tensión. Este valor se mide en volt-amperios de distorsión.

$$D = V1_{rms} \cdot \sqrt{\sum_{n \neq 1}^{\infty} I_{n,rms}^2}; \text{Ecuación 2.9}$$

Y por último, la potencia aparente queda así:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}; \text{Ecuación 2.10}$$

2.2.6.2 IGBT:

Es un tipo especial de transistor que tiene la función de un BJT, pero mucho más rápido y de uso sencillo. Con un rango de corrientes que va desde 10A hasta 600A, con voltajes que van desde 600V hasta 2500V. El IGBT es un dispositivo popularmente usado en inversores desde 1 KW hasta 200KW o más. Se le consigue de forma casi exclusiva en aplicaciones de electrónica de potencia.

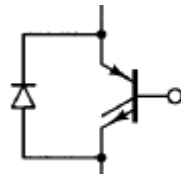


Figura 2.8- Modelo circuital de un IGBT. Fuente: Daniel Hart [14].

2.2.6.3 Fuentes conmutadas:

Es un circuito que se usa para convertir una señal continua en una señal alterna. A partir de una entrada en corriente continua se obtiene una salida en alterna cerrando y abriendo interruptores en una determinada secuencia. Dependiendo de los interruptores que estén abiertos o cerrados, el voltaje puede ser $+V_{cc}$ o $-V_{cc}$. A continuación veremos un esquema monofásico para entender su aplicación. Cuando S_1 está abierto, S_4 está cerrado. Del mismo que cuando S_3 está abierto, S_2 está cerrado y viceversa.

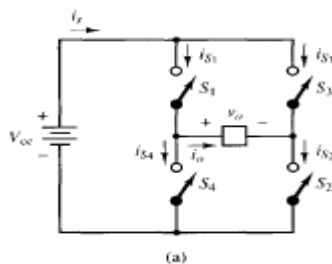


Figura 2.9- Esquema circuital de una fuente conmutada. Fuente: Daniel Hart [14]

Tabla 2.3- Tabla de la verdad de una fuente conmutada monofásica. Fuente: Elaboración propia.

S1	S3	Voltaje
0	0	0
0	1	-Vcc
1	0	+Vcc
1	1	0

2.2.6.4 Modulación de Ancho de Pulso:

También conocida como PWM, es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

La modulación se hace mediante una señal portadora (una onda triangular) y una señal de referencia (senoidal o cuadrada). La señal alterna se genera mediante la conmutación, comparando el voltaje de la señal de referencia con la señal portadora. Teniendo como criterio cuando $V_{tri} > V_{seno}$ y para $V_{seno} > V_{tri}$, siendo estas condiciones para la apertura o cierre de switches de una fuente conmutada.

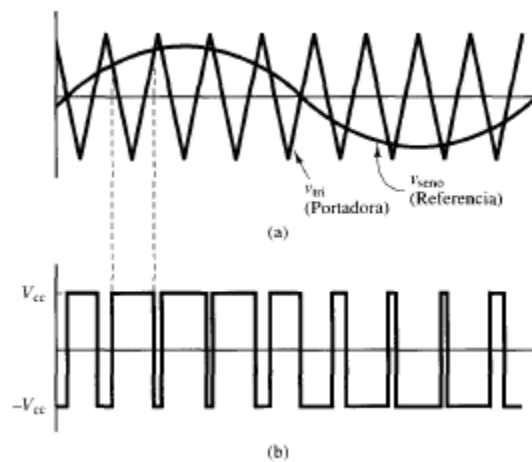


Figura 2.10- Señal portadora y de referencia. Sus puntos de intersección indican el momento en el que actúan los switches de la conmutación, creando una señal alterna. Fuente: Daniel Hart [14]

2.2.6.5 Índice de modulación de frecuencias:

En el lenguaje de PWM, este es un valor adimensional que relaciona los valores de frecuencia de la señal portadora y de la señal de referencia mediante esta expresión.

$$m_f = \frac{f_{portadora}}{f_{referencia}} = \frac{f_{triangular}}{f_{seno}}; \text{Ecuación 2.11}$$

2.2.6.6 Ripple:

Se le dice Ripple o Rizado al componente de tensión alterna que queda luego de rectificar un voltaje de corriente alterna a corriente continua. Dependiendo de la aplicación, el valor del ripple debe estar por debajo de cierto valor según estándares internacionales. En el caso de los drivers para luminarias LED, la IESNA establece que debe tener un valor por debajo del 3% [6].

2.2.6.7 Conversor DC-DC:

Son circuitos cuya función primordial es la de reducir o elevar un nivel de tensión de entrada en DC y llevarlo a otro valor de tensión DC en la salida, pudiendo ser este menor o mayor que la entrada. Para cada caso existe un tipo de conversor, los Buck converter (también llamados reductores o step down) y los Boost converter (también llamados amplificadores o step up). Poseen las ventajas siguientes:

- Además de aumentar o disminuir un voltaje DC a partir de una entrada DC, también son capaces de regular el voltaje de salida ante posibles variaciones de carga. Permitiendo de este modo mantener un voltaje de salida fijo ante un amplio rango de valores de entrada.
- Son capaces de disminuir el ripple de una señal AC a niveles aún menores de los requeridos para un diseño.
- Proveen aislamiento entre la carga y la fuente de energía, aunque muy pocas veces se requiere de un conversor DC-DC para este fin.
- Provee también protección de fuentes EMI (siglas en inglés para Interferencia Electromagnética).

- Se usan para lograr que productos logren cumplir con estándares de calidad mínimos requeridos.

Veamos la diferencia entre los convertidores Buck y Boost y de qué factores depende la escogencia de cada uno de estos.

Convertor tipo Buck: Consiste en una entrada DC llamada V_s , un switch controlado S , un diodo D , un inductor usado como filtro L , un capacitor C usado también como filtro.

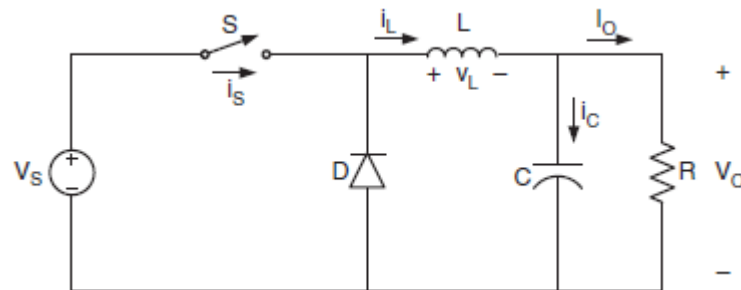


Figura 2.11- Circuito básico de un convertor tipo Buck. Fuente: Muhammad Rashid [15].

En este circuito se coloca un diodo en paralelo con la Fuente de tensión V_s para que cuando S esté cerrado, D no conduzca una corriente por dicha rama. Pero cuando el switch S está abierto, D se activa para que a través del inductor L siga circulando corriente. Esta operación es llamada conducción de modo continuo, debido a que la corriente del inductor nunca llega a ser cero.

La relación entre el voltaje de entrada y de salida es una relación de transformación parecida a la que se usa en los transformadores de corriente alterna en la que relacionan número de espiras, corriente o tensiones para deducir la relación de transformación. Para este caso, la relación de transformación será llamada D y está dada por la siguiente expresión:

$$D = \frac{V_o}{V_s}; \text{Ecuación 2.12}$$

La conducción en modo continuo no es la única forma en la que puede operarse el convertor buck. Existe también la conducción en modo interrumpido, pero suele

preferirse la de modo continuo por su eficiencia en el uso de dispositivos de conmutación y otros elementos circuitales pasivos.

Para diferenciar un modo de operación del otro, se calcula el valor del inductor L y se compara con un valor de referencia llamado Lb.

$$L_b = \frac{(1 - D)R}{2f}; \text{Ecuación 2.13}$$

Para valores típicos, D=0.5, R=10Ω y f=100kHz. El valor límite es Lb=25μH, si escogemos un valor de L mayor que Lb, estaremos garantizando que el circuito operara en modo interrumpido.

El capacitor opera como un filtro del componente AC de la tensión del inductor, pero al no filtrarla toda causa un ripple en el voltaje de salida Vo. Para limitar el efecto del ripple, se obtiene el capacitor mediante la siguiente formula:

$$C_{min} = \frac{(1 - D).V_o}{8.V_r.L.f^2}; \text{Ecuación 2.14}$$

Asumiendo valores típicos para la condición anterior y un ripple de 1%, se obtiene un valor de Cmin=25μF.

Existe una variación del convertor buck llamado Convertor DC-DC de onda completa. Este usa un dispositivo de conmutación monofásico y transformador para realizar la conversión de voltaje, como lo indica el siguiente esquema:

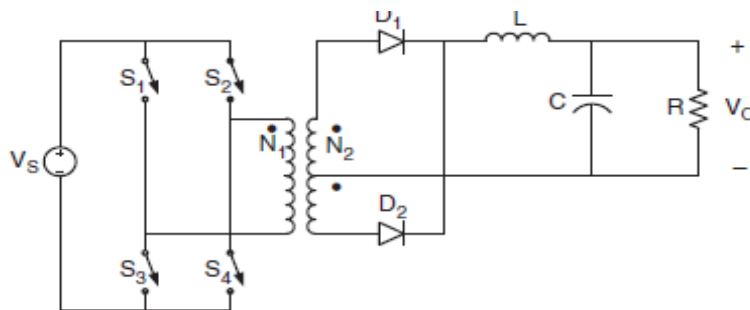


Figura 2.12- Esquema circuital de un convertor DC-DC de onda completa. Fuente: Muhammad Rashid [15].

Cuando S1 está encendido, S3 está apagado y cuando S2 está encendido, S4 está apagado y viceversa. La conmutación mediante semiconductores produce que el

voltaje reflejado en la bobina N1 sea alterno, cuando S1 y S4 están encendidos, el voltaje es V_s . Y cuando S2 y S3 están encendidos el voltaje es $-V_s$. Cuando la tensión es V_s , el diodo D1 conduce y cuando es $-V_s$ el diodo D2 conduce. Su relación de transformación es la siguiente.

$$\frac{2D}{n} = \frac{V_o}{V_s}; \text{Ecuación 2.15}$$

Donde n es la relación de transformación de N1/N2.

Convertor tipo Boost: Este convertidor tiene como función hacer lo opuesto al convertidor buck, es decir, eleva el voltaje de salida dado un voltaje de entrada DC. Nuevamente, el circuito está constituido por un inductor L, un capacitor C, un diodo D, una fuente V_s , y un switch S.

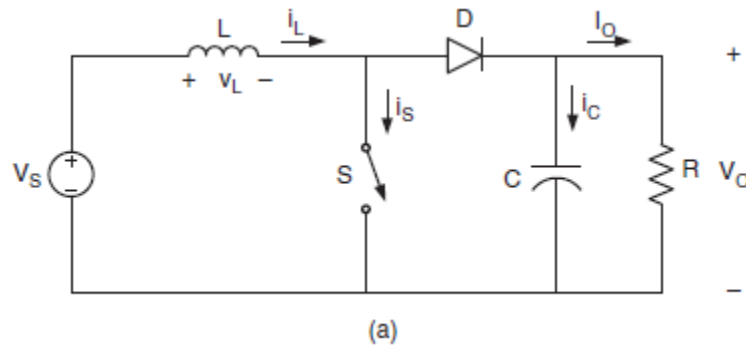


Figura 2.13- Circuito básico de un convertidor tipo Boost. Fuente: Muhammad Rashid [15].

Cuando S está activado, el diodo D no conduce al estar el cátodo a potencial cero (la rama por la que circula i_s es un cortocircuito), en este punto la corriente i_L es igual a i_s , esto hace que el inductor almacene energía en forma de campo magnético. En esa posición del switch, la corriente del capacitor es opuesta a la corriente de la carga $i_c = -i_o$. Cuando S está abierto, el diodo D conduce, por lo que i_s pasa a ser cero y el voltaje del inductor es $v_L = V_s - V_o$, el voltaje del capacitor es mayor que V_s , siendo este un valor negativo y que termina reflejándose como un cambio de polaridad en la tensión del inductor respecto a la que tenía cuando el switch estaba encendido. En estas

condiciones, el inductor entrega casi toda su energía al capacitor pero un pequeño porcentaje se refleja en la tensión de salida como un rizado.

La relación de transformación es la siguiente:

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1 - D}; \text{Ecuación 2.16}$$

El conversor tipo boost es de operación continua. Por lo tanto, asumimos un valor de L que sea mayor a L_b. Mediante esta expresión:

$$L_b = \frac{(1 - D)^2 \cdot D \cdot R}{2 \cdot f}; \text{Ecuación 2.17}$$

Para D=0.5, R=10 y f=100kHz, L_b=6.25μH.

El valor del capacitor C considerando el ripple es dado por la siguiente expresión:

$$C_{min} = \frac{D \cdot V_o}{V_r \cdot R f}; \text{Ecuación 2.18}$$

Usando los parámetros de diseño para L_b, y asumiendo un ripple de 1%, se obtiene el filtro capacitivo con un valor de C_{min}=50μF.

2.2.6.8 Control de corriente promedio:

Es un método de control basado en filtros activos de potencia. Este método consiste en la medición y el filtrado de los armónicos en la corriente del inductor del conversor DC-DC, dicha intensidad es amplificada a un módulo de PWM. El objetivo, es que este lazo de control minimice la diferencia entre la corriente medida y la referencia (generada por el lazo de control). Dicha tarea se obtiene del mismo modo que con el control de picos de corriente. Se asemeja mucho a esta técnica de control debido a que a los convertidores DC-DC en los que este aplica son de operación continua.

Ventajas: Frecuencia de conmutación constante. No necesita etapa de compensación. Debido al filtrado de la corriente, el ruido producido por la conmutación afecta menos al circuito de control. Se obtiene una forma de corriente más pura.

Desventajas: la corriente del inductor debe ser medida.

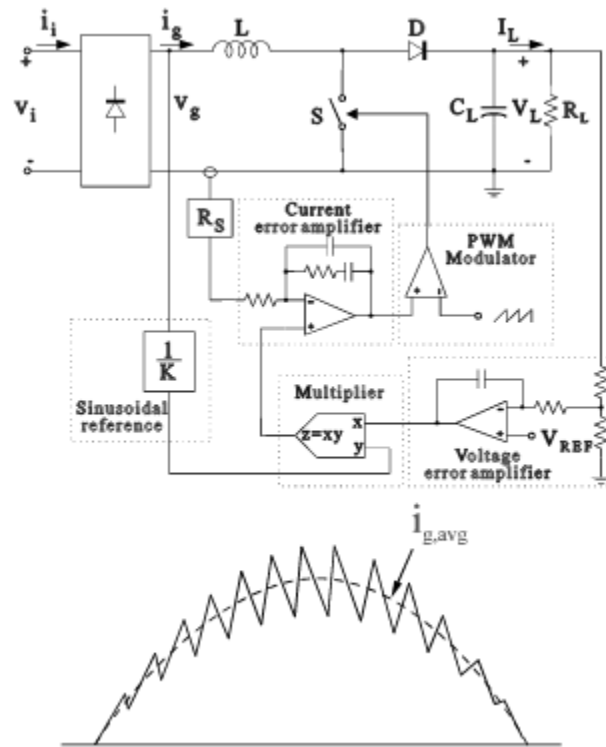


Figura 2.14- Esquema de control de corriente promedio y su forma de onda. Fuente: Rossetto, Spiazzi, Tenti [16]

2.2.6.9 Disipador de calor:

Los chips LED son los dispositivos semiconductores que se encargan de emitir la luz de este tipo de luminarias. A medida que su potencia aumenta, se vuelve más imprescindible el uso de disipadores de calor. De hecho, se recomienda nunca energizar una pastilla LED si no está montada adecuadamente en un disipador de calor. Su función es la de traer el calor producido por el chip LED a través de conducción y

luego disiparla en el ambiente a través de convección. No hay criterios oficiales para establecer el factor de disipación, pero su diseño es posible gracias a esta expresión:

$$P_{Disipada} = K_d \cdot P_{carga}; \text{Ecuación 2.19}$$

Donde se relaciona la potencia disipada con la potencia de la carga a través de K_d o factor de disipación cuyo valor está comprendido entre 0 y 1. Algunos fabricantes usan $K_d=0.8$, pero es un criterio que depende de los diseñadores y no está normado por ningún organismo.

2.2.7 Normas de Mediciones y Ensayos para obtención del flujo luminoso.

Los siguientes valores y métodos de medición son los indicados en la norma para mediciones y ensayos de la IESNA [6].

2.2.7.1 Driver:

a) THD:

La distorsión armónica total debe estar en un 3% como máximo, comparada respecto de la componente fundamental de la señal alterna de entrada de la red.

b) Rizado:

El rizado de la señal de salida del driver debe tener un valor máximo de respecto de la señal de alimentación de un 2%.

2.2.7.2 Métodos de ensayo para la obtención del flujo luminoso.

a) Sistema de esfera integradora con Espectroradiómetro:

Este tipo de instrumento mide el flujo radiante espectral (cuyas unidades son W/nm), magnitud de la que se obtiene el flujo luminoso. Debe estar calibrada respecto de una

referencia cuyo valor de flujo radiante espectral es conocido, de esta manera, el flujo radiante espectral de la luminaria que se está probando se obtiene mediante una comparación con la fuente de luz de referencia.

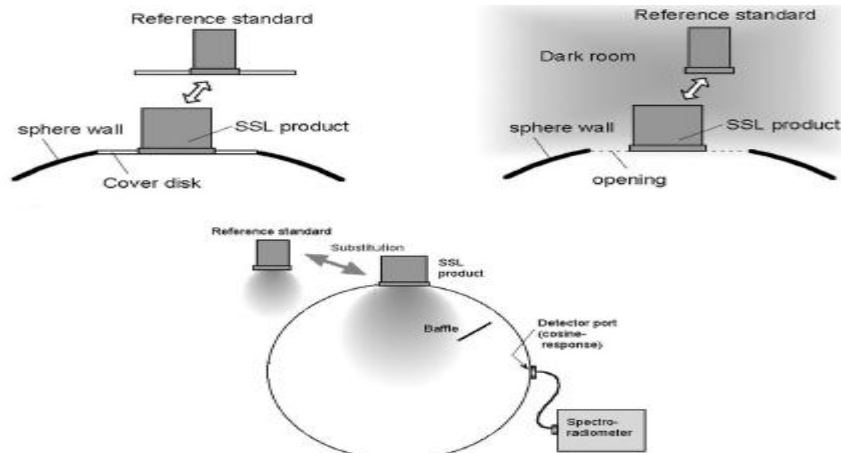


Figura 2.15– Esquema de montaje de una esfera integradora con espectroradiómetro. En un local iluminado (cubierta) o en un cuarto oscuro (sin cubierta). Fuente: IESNA [6]

El espectroradiómetro hace las lecturas de la referencia y del objeto de prueba, y mediante las siguientes formulas, se obtiene el flujo luminoso de la lámpara. Es decir, es una medición indirecta.

$$\Phi_{prueba}(\lambda) = \Phi_{ref}(\lambda) \cdot \frac{y_{prueba}(\lambda)}{y_{ref}(\lambda)} \cdot \frac{1}{\alpha(\lambda)}; \text{Ecuación 2.20}$$

$$\Phi_{prueba} = 683 \int \Phi_{prueba}(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda; \text{Ecuación 2.21}$$

Donde los valores $y_{prueba}(\lambda)$, $y_{ref}(\lambda)$ y $\alpha(\lambda)$ se obtienen con el espectroradiómetro.

b) Goniofotómetro:

Son dispositivos usados para obtener la distribución luminosa de la lámpara, de la cual obtiene indirectamente el flujo luminoso. Los datos de la intensidad luminosa $I(\theta, \phi)$ son captados por el Goniofotómetro, aunque este también puede ser ajustado para

medir iluminancia $E(\theta, \phi)$. En ambos casos, es necesario realizar una integral doble para poder calcular el flujo luminoso.

Si ajustamos el goniofotómetro para medir intensidad luminosa, la expresión es la siguiente:

$$\Phi = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} I(\theta, \phi) \sin\theta \cdot d\phi; \text{ Ecuación 2.22}$$

Si ajustamos el goniofotómetro para medir iluminancia, la expresión es la siguiente:

$$\Phi = r \cdot \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} E(\theta, \phi) \sin\theta \cdot d\phi; \text{ Ecuación 2.23}$$

Donde r es el radio de rotación del plano de referencia sobre el que se coloca el Goniofotómetro. Debe mantenerse un ambiente controlado que asegure que otras fuentes de luz no contribuyan en los valores de iluminancia o de intensidad luminosa.

2.3 Normativa aplicada al diseño de luminarias LED.

En la actualidad queda mucho trabajo por hacer a nivel de estándares y normas, nacional e internacionalmente, sobre luminarias LED. Sin embargo, algunas consideraciones ya han sido tomadas y normalizadas por organismos americanos como la IESNA. En Venezuela, CODELECTRA y SENCAMER solamente indican la existencia de fenómenos que afectan la calidad de energía, pero no indican cómo las variables deben ser reguladas para mantener un mínimo de calidad. Sin embargo, se mencionan en este apartado de la investigación porque mantener o mejorar la calidad de energía es parte de los objetivos a conseguir con iluminación LED.

IES LM-79-08. Método Aprobado: Parámetros fotométricos y eléctricos de productos de iluminación de Estado Sólido. IES Illuminating Society [6].

Este método describe los procedimientos a seguirse y precauciones a ser consideradas durante la elaboración de productos de estado sólido. La norma considera factores luminotécnicos y eléctricos, como los valores de voltaje de rizado que debe tener el DRIVER o los métodos aprobados para medir el flujo luminoso de la lámpara.

COVENIN PROYECTO 117001-04. Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos. SENCAMER [17].

Esta norma venezolana establece límites de tensión y corriente armónica, así como recomendaciones para evaluar el impacto de los armónicos presentes tanto en instalaciones eléctricas industriales, comerciales y residenciales como de las empresas de distribución, transporte y generación de energía.

NVF 3842:2004. Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos. CODELECTRA [18].

Esta norma venezolana establece los límites de tensión y corriente armónica, así como recomendaciones para evaluar el impacto de los armónicos presentes tanto en instalaciones eléctricas industriales, comerciales y residenciales, así como también de las empresas de distribución, transmisión y generación de energía.

2.4 Glosario de Términos Básicos:

Vatio (W): es la unidad de potencia del Sistema Internacional de Unidades. Es el equivalente a 1 julio por segundo (1 J/s) y es una de las unidades derivadas. Expresado en unidades utilizadas en electricidad, un **vatio** es la potencia eléctrica producida por una diferencia de potencial de 1 voltio y una corriente eléctrica de 1 amperio (1 voltiamperio).

PFC: corrección de factor de potencia activa. Se trata de diversos métodos de control orientados a la corrección del factor de potencia. Estos métodos permiten una mejora de la calidad de energía al poner en fase la corriente con la tensión.

Lumen (lm): es la unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir el flujo luminoso, una medida de la potencia luminosa emitida por la fuente.

Candela (cd): es una de las unidades básicas del Sistema Internacional, de intensidad luminosa. Se define como la intensidad luminosa en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} hercios y de la cual la intensidad radiada en esa dirección es $1/683$ W vatios por estereorradián.

Lux (lx): es la unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades para la iluminancia o nivel de iluminación. Equivale a un lumen /m². Se usa en la fotometría como medida de la luminancia, tomando en cuenta las diferentes longitudes de onda según la función de luminosidad, un modelo estándar de la sensibilidad a la luz del ojo humano.

Estereorradián: es la unidad derivada del SI que mide ángulos sólidos. Es el equivalente tridimensional del radián. Su símbolo es sr.

Uniformidad: es una relación matemática entre la iluminancia mínima y máxima. Dicha relación tiene un valor que va desde 0 a 1, mientras más cercano a 1 esté el valor, la iluminación de un plano será más uniforme.

Switch: es un dispositivo de dos posiciones usado en redes eléctricas para abrir o cerrar un camino por una rama de la red.

Conmutación: Un circuito de conmutación estará compuesto por una serie de contactos que representarán las variables lógicas de entrada y una o varias cargas que representarán las variables lógicas o funciones de salida.

Señal Senoidal: curva que representa gráficamente la función seno. Siendo esta una señal periódica y cuya forma corresponde a la tensión comercial de la red eléctrica.

Señal Triangular: La onda triangular es un tipo de señal periódica que presenta unas velocidades de subida y bajada constantes. Lo más habitual es que sea simétrica, es decir que, los tiempos de subida y bajada son iguales.

Señal Cuadrada: Una señal periódica que solo posee dos valores posibles.

Microcontrolador: es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria.

Comparador: Un comparador es un circuito electrónico, ya sea analógico o digital, capaz de comparar dos señales de entrada y variar la salida en función de cuál es mayor.

Amplificador operacional: Tiene dos entradas y una salida. La salida es la diferencia de las dos entradas multiplicada por la ganancia del amplificador.

Filtro capacitor: es un capacitor usado para filtrar el contenido de una señal alterna en un circuito de corriente directa. Por ejemplo, en los convertidores DC-DC, se usa para mitigar el rizado proveniente de la señal alterna producto de la conmutación en esta clase de circuitos.

Voltaje de Rizado: también llamado Ripple, es la componente de la señal alterna que queda luego de que sea rectificadada a corriente directa.

THD: Distorsión armónica total. Es un parámetro que indica el valor de la distorsión armónica presente en el circuito.

Radiación: es una forma de transferencia de calor, existe una transferencia neta de calor por radiación entre dos superficies a diferentes temperaturas, debido a que todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas.

Conducción: Es la transferencia de calor que se produce a través de un medio estacionario -que puede ser un sólido- cuando existe una diferencia de temperatura.

Disipador de calor: un disipador de extraer el calor del componente que refrigera y lo evacúa al exterior, siendo normalmente al medio ambiente.

Capítulo 3: Marco Metodológico

Todo proceso de investigación necesita tener una estructura para argumentar en sólidos pilares el estudio en sí. La metodología se encarga de organizar toda la información que se ha procesado durante la recolección de datos. Aquí se establecieron las pautas para el desarrollo de este proyecto de grado.

3.1 Tipo de investigación

En relación a este punto Arias (2006) señala que se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio. En este sentido, el diseño de una luminaria led de tipo reflector implica una investigación de campo o de diseño de campo. La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes. Por supuesto, también será imprescindible el uso de fuentes bibliográficas que servirán para establecer el marco teórico, aunque serán los datos primarios obtenidos a través del diseño de campo, los esenciales para el logro de los objetivos y la solución del problema planteado [19].

En este proyecto de grado, se hizo en esencia un trabajo de ingeniería inversa. En el que el punto de partida es el equipo que desea fabricarse, tomando un reflector LED de 50W como referencia para las piezas que sostienen todo el equipo, el circuito del driver y el chip a ser utilizado. Todo esto acompañado de un estudio de factibilidad técnico y económico, con el fin de evaluar la propuesta de su construcción en Venezuela, teniendo que importar solamente la pastilla LED y construyendo o adquiriendo el resto de componentes aquí.

3.2 Diseño de la Investigación

En esta sección se hizo una descripción detallada las fases metodológicas de ésta investigación.

3.2.1 Fase 1: Identificación y descripción de los componentes, además de la función que desempeña cada uno en una luminaria tipo reflector con la recopilación de datos fotométricos y eléctricos del equipo de referencia.

1.1- Mediante observaciones y mediciones, adquirimos información técnica sobre el reflector. Se recopiló información sobre sus variables luminotécnicas y eléctricas para conocer la capacidad del equipo y cómo este supone una mejora respecto a otras luminarias del mismo tipo.

1.2- Mediante DIALux y el archivo fotométrico del fabricante original, simulamos locales para los que el uso del reflector está destinado y se podrá comparar con otras luminarias fijándonos en el ahorro energético que este equipo supondría. Con el fin de justificar aún más esta investigación.

1.3- Desarme e identificación de todas las piezas del reflector, además de la descripción del papel que juega cada una de dichas piezas en el funcionamiento de la luminaria. Este objetivo fue nuestro punto de partida para empezar un diseño propio en el que se busca diseñar el equipo mencionado en su totalidad con piezas nacionales, excepto por el chip LED.

3.2.2 Fase 2: Diseño de un DRIVER LED, a través del análisis comparativo de los métodos existentes de control de iluminación LED para el control de la calidad de energía, empleando conocimientos de electrónica de potencia y obteniendo resultados a través de simulaciones en Simulink.

2.1.- Propuesta de un esquema que involucre todas las etapas de un DRIVER LED. Describiendo brevemente dichas etapas y la función que desempeña cada una en el driver.

2.2- Diseño circuital y cálculo los componentes de todas las etapas mencionadas en 2.1

2.3- Propuesta de un método de corrección de factor de potencia. Estudio y aplicación del mismo dentro del driver y su posterior simulación en SIMULINK.

2.4- Cálculo del disipador de calor más apropiado para el chip LED y su integración a la carcasa del reflector.

3.2.3 Fase 3: Selección de los materiales, herramientas menores y equipamiento requeridos para la construcción y ensamblaje en Venezuela a través de consultas y comparaciones entre los fabricantes, nacionales e internacionales, de los elementos que la componen.

3.1- Se ubicaron proveedores de láminas de aluminio y fabricantes de troqueles, de este modo podrá obtenerse la lámina reflectora de aluminio de la luminaria.

3.2.- Se ubicó una empresa que haga carcasas de aluminio mediante técnicas de fundición. Preferiblemente la empresa deberá contar con un equipo que pueda también determinar la aleación exacta del aluminio de la carcasa.

3.3.- Conocida la corriente que alimentará el driver, se escogió un calibre de cable y se estudiarán las alternativas actuales del mercado.

3.4- Se ubicaron fabricantes de láminas de vidrio, al mismo tiempo que se ubicó una empresa que hace difusores para luminarias.

3.5- Se hizo una lista de herramientas menores para el ensamblaje de la luminaria, con al menos dos unidades de cada herramienta. En esta se incluyó cautín, estaño, teipe y grapas para conectar cables.

3.6.- Se ubicaron fabricantes de goma de plástico, sujetadores de aluminio y Asa

3.7- Se ubicó una ferretería o una fábrica que pueda vender tornillos al mayor.

3.8- Se escogió un proveedor de chips semiconductores, de entre 3 posibles proveedores. Comparando costos y calidad de cada una de las pastillas. Este componente debe importarse obligatoriamente, porque no se construye en Venezuela.

3.9- Los costos de cada elemento se ubicaron en el territorio nacional y de ser posible, tratarán de hallarse empresas internacionales que provean los suministros. Los costos serán necesarios para hacer un análisis comparativo desde el punto de vista económico

3.2.4 Fase 4: Determinar la factibilidad técnico económico del diseño para su posterior comercialización en Venezuela.

4.1- Se establecieron comparativas de cada componente entre fabricantes y proveedores nacionales e internacionales, para escoger la mejor alternativa.

4.2- Se dividió el estudio de factibilidad en dos propuestas. Construcción del reflector LED con un DRIVER hecho en Venezuela y otro importando el driver. Comparación de los costos, ventajas y beneficios de un estudio y otro.

4.3- Evaluar la situación de escasez de cable en el país, y ver si también es necesario importar el cable que usa el DRIVER.

3.3 Unidad de Estudio y de Análisis

Unidad de Análisis: Para ésta investigación la unidad de análisis es el reflector LED de 50W.

Población: enmarca los elementos necesarios para la construcción y funcionamiento de la luminaria.

Muestra: Son aquellas tecnologías que posean una vida útil mayor de 50000 horas de uso sin disminuir su rendimiento a menos de un 80% y sean comerciales.

3.4 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.

La recolección de información para el primer objetivo fue hecha mayormente a través de observación. La empresa SAGET C.A, encargada de distribuir en Venezuela el reflector en el que basamos nuestro diseño, facilitando la labor de identificación de piezas y componentes de la misma, permitiendo hacer observaciones detalladas de toda clase. Además, poseen información técnica y archivos luminotécnicos realizados por la empresa fabricante y servirán para verificar los datos de placa con los valores leídos por luxómetro y vatímetro sobre la luminaria.

Una vez identificadas las piezas de la luminaria y el papel que juega cada cosa dentro de su funcionamiento, se buscó documentación actual sobre electrónica de potencia y métodos de corrección de factor de potencia en esta clase de dispositivos. No se cuenta con un diagrama circuital del fabricante, solo con un diagrama de bloques y algunas especificaciones de valores de tensión, corriente y potencia. Esto implicó hacer un diseño propio para un driver LED que pueda funcionar con una entrada sinusoidal en un rango de 80-270 Vrms, que pueda obtener la misma salida de 34 VDC en los terminales con los que se alimenta el chip LED, que posea protecciones por sobretensión y sobrecorriente y que además posea un factor de potencia lo más

Capítulo 3. Marco Metodológico.

cercano a 1 posible. Para verificar el circuito, se usará Simulink y de este se obtendrán datos experimentales de cada una de las etapas y verificar que cumplan con las normativas de tensión de rizado y de contenido armónico.

Capítulo 4: Análisis y Discusión de Resultados.

En el siguiente capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos en el presente trabajo de grado. Se desarma la luminaria tipo reflector usada como referencia en el estudio, para conocer las partes que la componen y las funciones que desempeñan cada una de ellas, buscando compararla con otras luminarias en el mercado con la ayuda de DIALux. Una vez hecho esto, se propondrá un circuito de driver para alimentar los LEDS, escogiendo una topología circuital que permita disminuir la THD al valor más pequeño posible y aumentando el factor de potencia al valor más cercano a uno. Posteriormente, el resto de elementos del reflector, que son obtenidos mediante procedimientos mecánicos, se describirán de forma detallada, incluyendo los materiales y aleaciones por los que están formados. Para concluir al final con un módulo de construcción de estas luminarias, listando herramientas menores, componentes importados y el precio que suponen la suma de todos estos elementos para armar el equipo.

4.1 Identificación y descripción de los componentes, además de la función que desempeña cada uno en una luminaria tipo reflector con la recopilación de datos fotométricos y eléctricos del equipo de referencia.

En esta sección nos dedicamos a conocer cada elemento que conforma el reflector LED usado como referencia en este trabajo de grado. La intención es listar las partes que lo conforman, además de decir para qué funciona cada uno de ellos. Antes de realizar el

desarme, se darán a conocer las características fotométricas y eléctricas del reflector LED usado como referencia. Comparando el mismo con otros productos similares del catálogo disponible en DIALux, probando su eficiencia lumínica y energética.

4.1.1 Mediante observaciones y mediciones, se obtuvo información técnica sobre el reflector. Se recopiló información sobre sus variables luminotécnicas y eléctricas para conocer la capacidad del equipo y cómo este supone una mejora respecto a otras luminarias del mismo tipo.

En esta etapa de la primera fase, se discutirá con información técnica detallada, por qué un reflector LED es mejor en términos de eficiencia en comparación con las tecnologías usadas actualmente en Venezuela. El modelo usado de referencia se aprecia en la imagen 4.1, a continuación.



Figura 4.1- Reflector LED usado como referencia. Fuente: Propia.

Las características del reflector vienen dadas a continuación:

Tabla 4.1 - Especificaciones técnicas del reflector LED usado como Modelo. Fuente: Empresa SAGET CA.

Variable	Valor
Voltaje de Alimentación (V)	85-270 V AC
Frecuencia (Hz)	47-63 Hz
Factor de Potencia	Mayor a 0.95
Voltaje del Chip (V)	30-36 V DC
Potencia del Chip (W)	47W
Potencia de la lámpara (W)	54W
Eficiencia Luminosa del Chip LED (Lm/W)	90 Lm/W
Eficiencia Inicial del LED	4500 Lm
Temperatura del Color (°K)	Depende del Chip. Opciones: 2800/4000/6000°K
Índice de reproducción cromático	Mayor a 70
Ángulo de Apertura (°)	160°
Temperatura de Operación (°C)	-20°C hasta mayores de 50°C
Peso total (Kg)	3.48 Kg
Vida útil (Horas)	50000 Horas

Las dimensiones del reflector son las descritas en la Figura 4.2, a continuación:

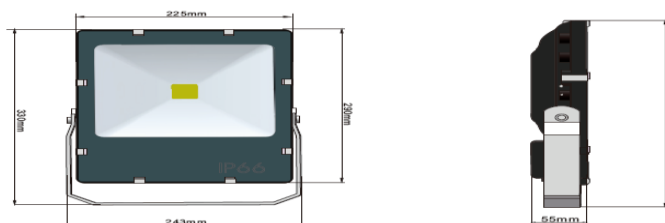


Figura 4.2 - Medidas del Reflector LED de referencia. Fuente: Empresa SAGET CA [13].

Las curvas fotométricas y de AAI (siglas para *Iluminancia promedio disponible*, en español), son las que se muestran a continuación. En ellas, se hace mención al ángulo

de incidencia promedio del haz de luz. Este ángulo es medido desde el foco en el que la intensidad es mayor, hasta el punto en el que la intensidad luminosa disminuye un 50% de su total. Se diferencia del ángulo de incidencia (en inglés llamado *spread angle*) en que este se mide también desde el punto de mayor intensidad, que es el foco, hasta el punto en el que la intensidad luminosa está a un 10% del total. En la curva All, especifican la iluminancia promedio obtenida para diferentes alturas de montaje y los diferentes diámetros de superficie iluminados en la calzada.

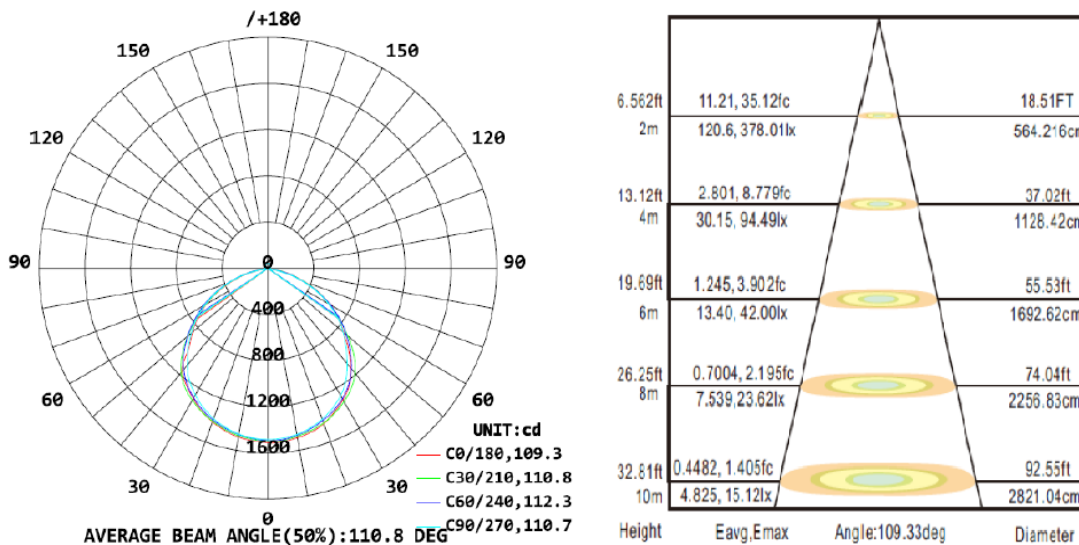


Figura 4.3 – Curva de Distribución luminosa y curva All. Fuente: Empresa SAGET CA [13].

Conociendo las características del reflector, podrán hacerse comparaciones con otros productos en el mercado, de este modo se justifica su uso en términos de ahorro de energía. Sin embargo, esta comparación se hará más a fondo en el siguiente objetivo a manera de justificar aún más la investigación.

4.1.2 Mediante DIALux y el archivo fotométrico del fabricante original, simulamos locales para los que el uso del reflector está destinado y se podrá comparar con otras luminarias fijándonos en el ahorro energético que este equipo supondría. Con el fin de justificar aún más esta investigación.

La empresa SAGET en colaboración con este trabajo de grado, ha facilitado el archivo fotométrico de la luminaria. En pro de comparar el reflector LED con otros reflectores en el mercado y usados para diferentes fines. A través de DIALux se podrá iluminar una superficie circular con diámetro de 9m, con diferentes luminarias y comparar la eficiencia entre ellas.

La comparación de potencias se hace en la tabla 4.2 respecto de un grupo de reflectores Phillips de diferentes potencias.

Tabla 4.2– Comparación de potencias entre diferentes modelos de Phillips con el reflector LED. Fuente: Propia.

	Modelo Luminaria			
	Reflector LED	Phillips CDO-TT	Phillips SON-TPP	Phillips CDM-T
Potencia (W)	50W	169	169	157

Los resultados de la simulación en DIALux fueron realizados con las luminarias encima del centro del círculo de 9metros de diámetro, a una altura de 4 metros.

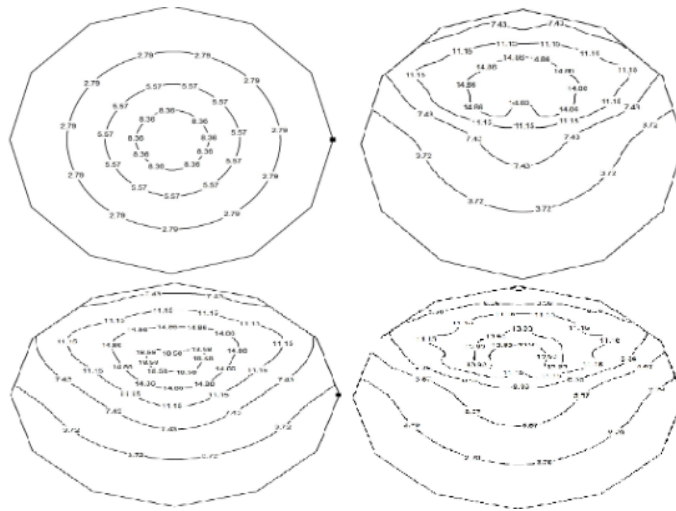


Figura 4.4 – Las 4 curvas de distribución luminosa correspondientes a las 4 luminarias, siendo la número 1 la del reflector LED. Fuente: Propia.

De entrada, observamos en la Figura 4.4 que la distribución luminosa del reflector LED es mucho más uniforme que los otros reflectores usados. Sin embargo, los reflectores Phillips registraron un valor de iluminancia máximo mayor al registrado por la luminaria LED, pero no hay mucha diferencia, con un arreglo de dos reflectores LED de 50W, se obtiene una mejora aún mayor, como se observa en la Figura 4.5. Considerando lo pequeña que es la potencia del reflector LED con otros equipos similares – que consumen al menos 3 veces más energía- se puede considerar que LED es más eficiente, debido a que su uniformidad ayuda a tener espacios mejor iluminados empleando menor energía.

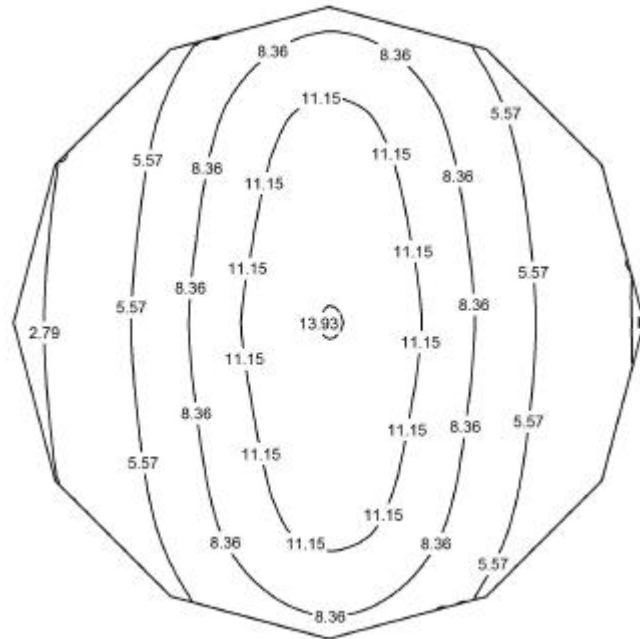


Figura 4.5 – Curva de distribución luminosa del reflector LED de 50W, haciendo uso de dos luminarias para mejorar iluminación del círculo.

En los anexos (A.7) se puede encontrar más información en la ficha técnica del reflector.

4.1.3 Desarme e identificación de todas las piezas del reflector, además de la descripción del papel que juega cada una de dichas piezas en el funcionamiento de la luminaria. Este objetivo fue nuestro punto de partida para empezar un diseño propio en el que se busca diseñar el equipo mencionado en su totalidad con piezas nacionales, excepto por el chip LED.

En esta etapa de la primera fase de nuestra investigación, conoceremos todos los componentes que conforman nuestra luminaria. Aunque el diseño de semiconductores no está incluido en el presente trabajo de investigación, sí se le incluye como

componente de la luminaria, pues es este el que emite la luz al aplicársele un voltaje DC a la polaridad indicada.

Chip LED: el dispositivo encargado de emitir la luz, tiene una presentación plana y usualmente rectangular, aunque también algunos fabricantes los diseñan en formas circulares. Los chips están conformados por hileras de microchips más pequeñas en arreglos matriciales, cada uno de estos microchips tiene una potencia de 1W y suele referirse a ellos como piezas del Chip LED. Los arreglos que se hacen varían dependiendo de la potencia deseada, pueden ser arreglos en serie, paralelo o en la mayoría de los casos mixtos. Suponiendo un Chip de 150W, este puede tener un arreglo de 10 ramas de microchips LED con 15 piezas en serie cada una, al conectarse las ramas en paralelo forman las 150 piezas que dan a lugar al chip de 150W. El caso de nuestro chip, es de 50W con 50 microchips de 1W cada uno, formando un arreglo de 5 ramas en paralelo cada una con 10 piezas en serie cada una. En la Figura 4.6 se muestra la ubicación del chip en el reflector, el cual posee un tamaño de 45mm de largo por 45mm de ancho.

Estos dispositivos se calientan mucho y la temperatura de operación es un parámetro que debe considerarse de alta prioridad en el diseño de luminarias LED. Esto solo es posible disipando el calor que produce, a través de un disipador integrado a la carcasa y cuyas aletas fueron calculadas en la fase dos de la investigación.

DRIVER: también conocido como dispositivo de control de iluminación, el driver es un componente casi tan esencial como el chip LED. Si bien el Chip emite la luz, es el driver el que acondiciona la señal de la red para poder alimentar la lámpara al nivel deseado. Estos dispositivos son muy variados con diferentes niveles de complejidad entre sí, debido a que existen muchos tipos de topologías que pueden usarse para alimentar LEDs.

Estos usualmente poseen dos etapas, la primera es de rectificación de la tensión alterna de la red y la segunda es un conversor DC-DC que se encarga de llevar el voltaje rectificado al nivel de alimentación deseado para la carga. A partir de este punto, hay fabricantes que a veces implementan diferentes técnicas para disminuir la distorsión armónica total, con el fin de mejorar la forma de la corriente y tener una mejor calidad de energía. Unos usan filtros pasivos, otros hacen filtros activos, todos con el mismo propósito: llevar el factor de potencia lo más cercano a la unidad. Nuestra luminaria de referencia, tiene un factor de potencia muy cercano a 1 y posee una etapa de corrección de factor de potencia, además de otras características que serán repasadas en la fase número 2.

Un detalle de importancia, es el grado de protección IP que posee el driver, este es de 66. Los grados IP son un número de dos dígitos que se refieren a la protección que posee un producto ante partículas sólidas y agua. El grado 66 supone que el driver tiene la máxima protección existente ante cualquier partícula sólida, del mismo está protegido contra el agua, al no permitir entrada de la misma aún en presencia de chorros de 100 litros por minuto.

En la imagen 4.6 puede apreciarse el compartimiento destinado para el driver LED.



Figura 4.6– Ubicación del chip semiconductor y el driver utilizado para alimentarlo. Fuente: Propia.

Carcasa: la carcasa está hecha de una aleación especial de aluminio y silicio, permite sostener todas las piezas de la luminaria al mismo tiempo que ayuda a disipar el calor a través de unas aletas al reverso de la luminaria y que pueden apreciarse en la Figura 4.7. La aleación de aluminio y silicio le permite ganar resistencia mecánica, haciéndola menos endeble a golpes, accidentes y caídas. Cosa que no puede ofrecer una aleación de aluminio pura. Debido al excesivo detalle y acabado de la pieza, esta solamente puede obtenerse mediante inyección de aluminio, un método que toma lingotes de aluminio fundido (o bien de una de sus aleaciones) y las inyecta a un molde que termina revelando la pieza, este método deja menos imperfecciones que otros métodos de fundición. La carcasa pasa también por un proceso de mecanizado en el que se agregan los accesos a los tornillos que dejan en una posición firme y asegura los elementos del reflector. Dicho proceso fue descrito y justificado de una mejor manera en la fase 3 del presente trabajo de grado.

Los grados de protección IP del reflector son también de 66. Indicando una fuerte protección ante partículas sólidas y también agua.

Lámina reflectora de Aluminio: la función de los reflectores es la de conducir la luz. Dependiendo de la reflectividad de la lámina, pueden aumentar la luminancia y la uniformidad de la distribución luminosa del equipo [10]. En la Figura 4.7 se puede observar qué ocurre con un haz de luz en presencia de una lámina reflectora. El método por el que se obtiene esta lámina reflectora de aluminio, es llamado extrusión en canal angular de sección constante y será descrito en la fase 3 de la investigación. Adicionalmente a esto, la lamina también podría obtenerse a través de anodización, un proceso electrolítico que ayuda a aumentar la resistencia a la corrosión de la lámina y que será descrito como alternativa también en la fase 3 de la investigación.

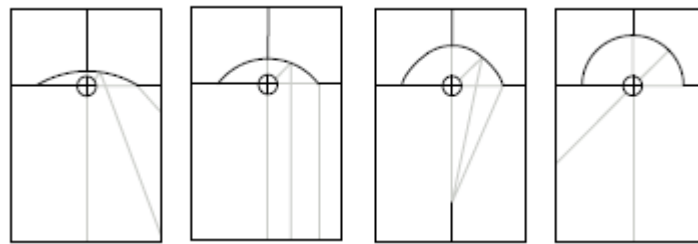


Figura 4.7 - Comportamiento del haz de luz en presencia de diferentes reflectores. Fuente: R. Gandslandt y H. Hoffman [10].



Figura 4.8 – Lámina reflectora de aluminio. Fuente: Propia.

Asa: hecha de aluminio puro y bañada en pintura especial anti-corrosiva al igual que el resto de la carcasa, la función del asa es la de anclar la luminaria en una superficie soporte para poder variar el ángulo de incidencia del reflector. Es decir, con el asa fija en una posición se puede ubicar el reflector en ángulos que pueden alcanzar un valor máximo de 90°, permitiendo hacer muchas clases de arreglos y montajes. Esta pieza se obtiene a través de un perfil de aluminio y será descrito en la fase 3.



Figura 4.9 – Asa del reflector. Fuente: propia.

Banda de goma: su función es la de amortiguar la lámina de vidrio que cierra el reflector para evitar que se fracture o rompa al momento de cerrarse, aunque el rol más importante que juega es el de evitar que partículas de polvo logren penetrar el interior del reflector. La banda se ubica en todo el perímetro de la carcasa como puede observarse en 4.6 y se obtiene mediante inyección de polímeros, proceso que será detallado en la fase 3.

Tornillos: su función es la de fijar elementos dentro de la luminaria. En el chip LED, también son usados para conducir el calor desprendido por el chip hasta el disipador. Esto significa que un tornillo mal ajustado puede afectar la labor de disipación y llevar al fallo del equipo.

Tornillos Allen: se usan para fijar sujetadores y el asa.

Sujetadores de Aluminio: son usados para cerrar la luminaria. Están hechos de aluminio puro y se obtienen a través de un perfil, del mismo modo que se obtiene el asa. Están recubiertos de una pintura anti-corrosiva especial, como toda la parte exterior de la carcasa.

Lámina de vidrio: a través de ella pasa la luz emitida por el chip LED. Puede ser hecha de vidrio 100% transparente, o también puede hacerse un vidrio tipo difusor. Usualmente cuando se fabrican vidrios difusores, se hace para modificar la distribución luminosa de la lámpara y para disminuir el efecto del deslumbramiento. Sin embargo, es un detalle que queda al criterio del equipo encargado de diseñar el equipo si colocar vidrio normal o un vidrio difusor.

4.2 Diseño de un DRIVER LED, a través del análisis comparativo de los métodos existentes de control de iluminación LED para el control de la calidad de energía, empleando conocimientos de electrónica de potencia y obteniendo resultados a través de simulaciones en Simulink.

En esta fase del trabajo de grado se hizo uso de conocimientos de electrónica de potencia, una rama de mucha utilidad y ahora más que nunca en auge, debido a las fuentes renovables de energía, que necesitan implementar equipos que permitan la conversión entre señales alternas y directas. La luminaria LED tiene la necesidad de acondicionar la señal alterna de la red y convertirla en una señal de corriente continua para alimentar el chip que emite la luz, ya que este en esencia es un arreglo de diodos.

Los fabricantes de circuitos de electrónica en general, no suelen revelar su patente, es por esto que en este trabajo de grado se propone un circuito alternativo de elaboración propia y cuyos criterios de diseño serán detallados y justificados en esta fase de la investigación.

4.2.1 Propuesta de un esquema que involucre todas las etapas de un DRIVER LED. Describiendo brevemente dichas etapas y la función que desempeña cada una en el driver.

Como hemos mencionado anteriormente, los drivers son circuitos de electrónica de potencia que suelen poseer diferentes etapas para acondicionar la señal alterna de la red comercial a una señal de corriente directa que es la que necesita el Chip LED.

El diseño propuesto en este trabajo de grado, consiste primordialmente en dos etapas:

- 1) Rectificar la tensión senoidal alterna a una tensión de corriente directa.
- 2) A través de un conversor DCDC, llevar la tensión post-rectificación al valor requerido por la carga.

La rectificación de una señal senoidal debe ser a través de un puente rectificador de onda completa hecho con Diodos, debido a que el rectificador de media onda tiene un valor de 0 durante la mitad de su ciclo. En la Figura 4.10 puede apreciarse la forma de onda de tensión luego de que esta es rectificada.

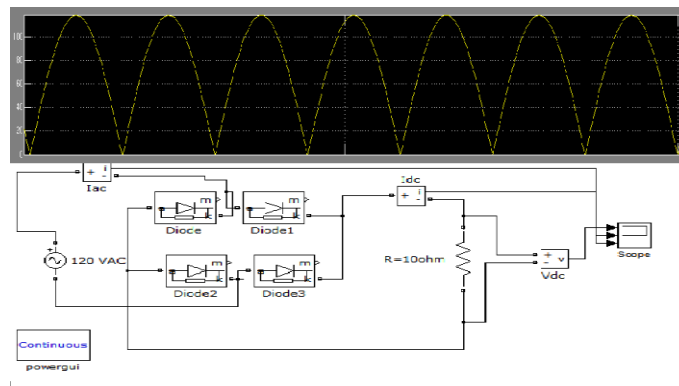


Figura 4.10 – Circuito rectificador de onda completa con una carga resistiva de 10 ohm, junto a su forma de onda de voltaje. Fuente: Propia.

De esta manera, logramos convertir la señal AC a una señal DC. Cabe destacar, que el valor medio de la señal, que al final viene siendo el valor DC, tiene un valor de 108V para una tensión senoidal con 120 Vrms (170Vpico). Debido a que los voltajes de alimentación de los chips están por debajo de 48 Vdc, nos vemos en la necesidad de buscar soluciones y disminuir esta tensión a un valor más bajo para facilitar nuestro diseño.

La primera opción es usar en un transformador monofásico en la entrada del driver antes de rectificar el voltaje, la relación de tensión se escoge depende de las necesidades del diseño, en nuestro caso, una relación de 10:1 es suficiente para tener la tensión a un nivel más pequeño. Aunque podría escogerse uno de 5:1 también, esto reduciría significativamente el valor DC de la tensión rectificadora.

La segunda opción a usar es la de usar Tiristores. Estos dispositivos semiconductores funcionan como un diodo, con la diferencia en que su actuación puede ser controlada mediante un dispositivo de disparo, que puede ser diseñado a nuestra conveniencia, sin necesidad de usar un transformador. En la Figura 4.11 se muestra de una forma general, el funcionamiento de este rectificador controlado.

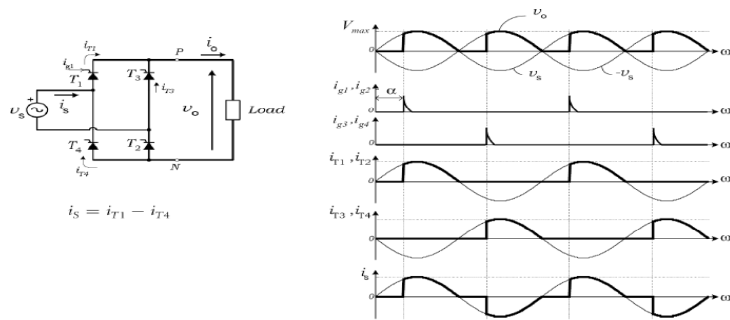


Figura 4.11 – Esquema de un rectificador controlado de onda completa, señalando el ángulo de disparo y cómo este afecta las formas de onda de tensión y corriente. Fuente: C. Seijas y S. Villazana [20].

La intención es la de modificar la onda de voltaje y ajustarla para que nos otorgue el valor medio que deseamos.

Aunque parezca una solución más sencilla usar un rectificador controlado, hay muchos detalles que observar sobre este y que podrían ser vistos como desventajas. Para empezar, rectificar la corriente de alterna a directa ya supone una distorsión de la corriente y produce una disminución en el factor de potencia de la carga. Un escenario que es completamente inconveniente si buscamos cuidar la calidad de energía que empleamos para energizar los chips. Cuando introducimos el ángulo de disparo del tiristor, estamos deformando la corriente aún más, haciéndose mucho menos senoidal de lo que era antes. Esto agrava más el problema en vez de solucionarlo, siendo razón suficiente para inclinarse por el transformador monofásico en vez de por el puente rectificador controlado. A estas razones, añadimos que el circuito de disparo debe ser diseñado, mientras que un puente rectificador normal no necesita de esto para funcionar.

Una ventaja que tiene el transformador por sobre el puente de tiristores, es que este provee aislamiento entre el driver y la red comercial al no existir un contacto eléctrico directo entre ambos puntos. Haciéndolo una opción más práctica.

Dicho esto, llega la etapa que se encargará de llevar el voltaje de la rectificación al valor de alimentación deseado a través de un conversor DC-DC. Estos circuitos son amplios en variedad de topologías y componentes a ser usados cuya función es aumentar o disminuir el valor de la tensión de salida dependiendo del valor de tensión de entrada.

Debido a la amplia variedad de topologías para conversores DC-DC y para mantener la sencillez y simplicidad en este trabajo de grado, nos enfocaremos solamente en el conversor booster y el buck. El booster se encarga de aumentar en la salida de sus terminales, el valor de su tensión de entrada a través de dispositivos de conmutación, diodos y elementos circuitales pasivos (condensadores, resistencias, inductores). El buck hace exactamente lo opuesto al booster usando los mismos componentes pero con una topología diferente y que fue brevemente repasada en el marco teórico de este trabajo de grado.

La escogencia del booster o del buck dependerá de una sola cosa: el valor de tensión posterior a la rectificación. Es por esto que el transformador y su relación de tensión juegan un rol importante, así como lo es también conocer el valor de tensión al que opera la carga del chip LED.

Para nuestro chip, hay tensiones de alimentación que no necesariamente están a 38VDC, se pueden conseguir chips a valores de 24VDC. Si la tensión después de rectificar queda por debajo de la tensión de alimentación del chip, necesariamente hay que usar un booster. Si la tensión después de rectificar queda por encima de la tensión de alimentación del chip, hay que usar un Buck. En este trabajo de investigación, decidió usarse la topología de un conversor tipo booster.

Las etapas quedarían como siguen:

- 1) Disminución de la tensión alterna de la red mediante un transformador monofásico.
- 2) Rectificar la señal mediante un rectificador de onda completa.
- 3) Aumentar el nivel de tensión al nivel de carga mediante un conversor DC-DC tipo booster.

4.2.2 Diseño circuital y cálculo los componentes de todas las etapas mencionadas en 4.2.1

Ya establecida la propuesta para el circuito del driver, es hora de hacer el diseño circuital y los cálculos de los componentes necesarios para hacer que el circuito funcione. Teniendo en cuenta que los chips tienen diferentes voltajes de alimentación, diseñaremos un driver para alimentar un chip que funcione a 24 VDC. Este valor según los fabricantes, suele ser un valor medio entre un intervalo no tan amplio de valores. Como hemos visto en la fase 1, el chip semiconductor de este fabricante puede trabajar a 30 VDC sin problemas, pero estaría en uno de sus valores límite. Hay chips de la misma potencia que funcionan a 24 VDC, y sobre estos vamos a enfocarnos para simular el circuito del driver.

- a) Escogencia del transformador.

Para poder escoger un transformador monofásico para el driver, se deben tener en cuenta la tensión que queremos al final de la rectificación, además de la potencia que este debe tener para manejar la carga. Para el caso de la simulación, la corriente es de 1.14 Arms, se requiere entonces de un transformador que sea al menos de 20VA.

Deseamos tener un valor cercano a 12 Vdc en la salida del rectificador de onda completa. Con la fórmula de valor medio, se obtuvo que la tensión pico anterior a

rectificar debe ser de 18.8 Vpico. Al dividir este valor entre la tensión pico de la señal de la red, se obtuvo una relación de transformación de 9 vueltas.

$$12 = \frac{2 \cdot V_m}{\pi}; V_m = 18.8V_{pico}$$
$$n = \frac{170V_{pico}}{18.8V_{pico}} \approx 9$$

El transformador a utilizar debe ser de relación 9:1

b) Puente rectificador de onda completa.

En la actualidad, existen circuitos integrados que poseen los 4 diodos que hacen posible la rectificación de onda completa de la señal de voltaje. Aunque también puede hacerse mediante diodos convencionales. Los puentes de diodos, o los diodos en sí, deben soportar la corriente de línea y bajo este parámetro deben escogerse. Las simulaciones en Simulink arrojan un valor de corriente en 2 amperios pico, por lo que un puente que soporte una corriente superior (3A-4A) sería suficiente para satisfacer estas necesidades.

c) Booster.

El diseño del booster se hará acorde a las ecuaciones descritas en el apartado 2.2.6.7 del marco teórico.

Recordemos. Este conversor tiene como función hacer lo opuesto al conversor buck, es decir, eleva el voltaje de salida dado un voltaje de entrada DC. El circuito está constituido por un inductor L, un capacitor C, un diodo D, una fuente Vs, y un switch S, como se describe en la Figura 2.13.

La relación de transformación de tensión depende enteramente del voltaje de entrada y del ciclo útil de los pulsos. Si deseamos doblar el voltaje de salida, a un ciclo útil de 50%, solo debemos usar la ecuación 2.16, obteniendo así un valor de tensión de salida de 24 Vdc:

$$V_o = \frac{V_s}{1 - D}; \text{Ecuación 2.16}$$

El conversor tipo boost es de operación continua. Por lo tanto, se asume un valor de L que sea mayor a L_b . Mediante esta expresión 2.17:

$$L_b = \frac{(1 - D)^2 \cdot D \cdot R}{2 \cdot f}$$

Para $D=0.5$, $R=10$ y $f=100\text{kHz}$, $L_b=6.25\mu\text{H}$.

El valor del capacitor C es dado por la expresión 2.18:

$$C_{min} = \frac{D \cdot V_o}{V_r \cdot Rf}$$

Usando los parámetros de diseño para L_b , y asumiendo un ripple de 1%, se obtiene el filtro capacitivo con un valor de $C_{min}=50\mu\text{F}$. Si el Ripple es mayor a este valor, la C_{min} disminuye a un valor hasta que se ajuste a los parámetros deseados.

Teniendo las etapas del driver, con la ayuda de Simulink, se observan las formas de onda de tensión y corriente, verificando que se cumplen todas las condiciones de nuestro diseño.

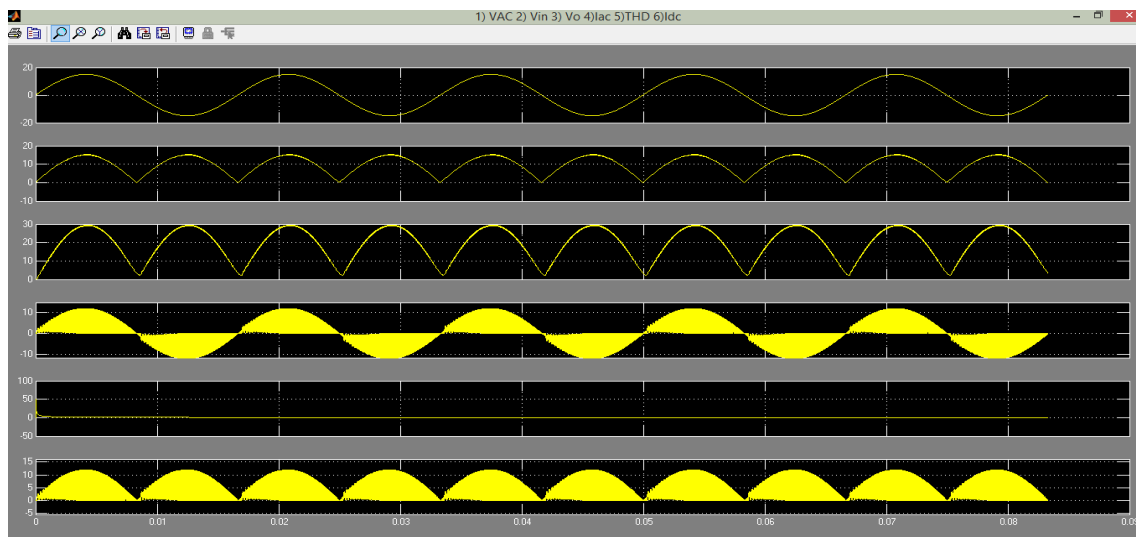


Figura 4.12 – Formas de onda del driver LED usando un generador de pulsos con ciclo útil de 50% y 100KHz. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.12 se aprecia claramente los valores de tensión que se obtienen al usar el booster, siendo estos los valores esperados. Sin embargo, la forma de la corriente llama la atención al tener una forma senoidal con mucha distorsión. Con la ayuda del Scope de Simulink, se puede hacer Zoom a medio ciclo de la corriente de fase para ver mejor qué es lo que le está pasando.

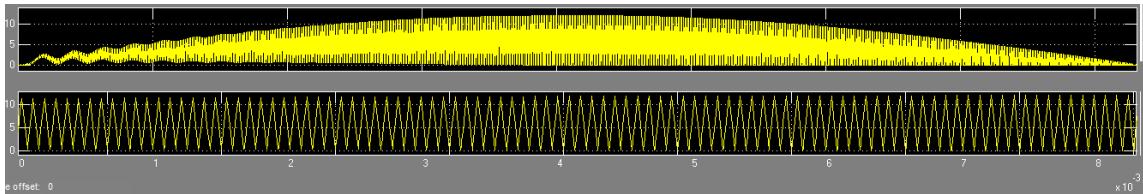


Figura 4.13 – Medio periodo de corriente y un zoom de la misma. Fuente: Propia.

Se aprecia que la corriente está cambiando rápidamente, llegando a valores muy cercanos a ceros antes de volver a subir al pico. Aunque observamos que la corriente parece ser senoidal la realidad es que no lo es porque nuestro circuito representa una carga no lineal.

La THD medida es de 0.52, lo que nos deja un factor de distorsión según la fórmula 2.7 de 0.88.

Eso nos da un factor de potencia de 0.887, como se puede apreciar en la Figura 4.14.

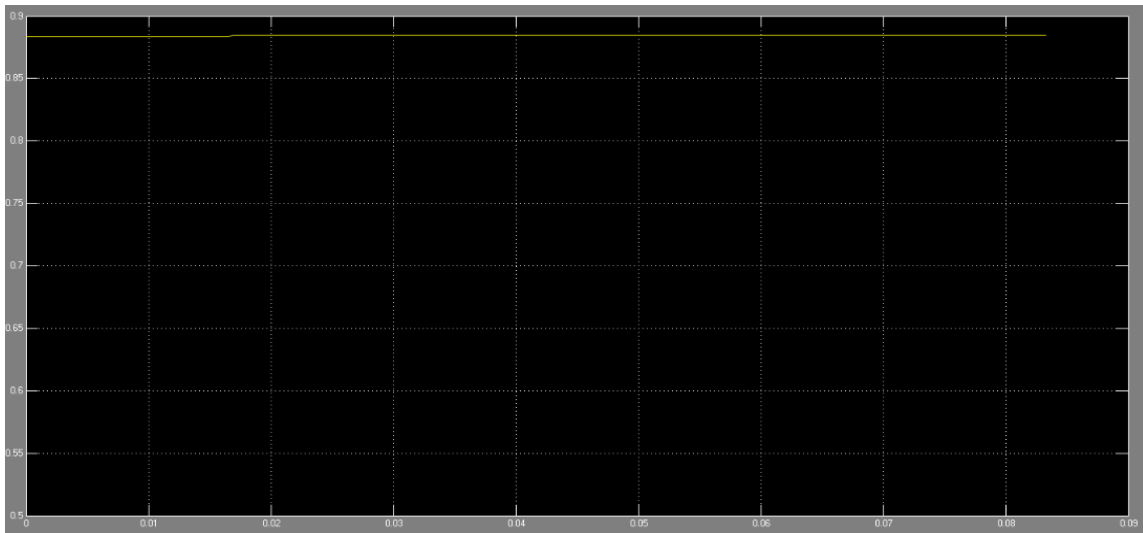


Figura 4.14 – Factor de potencia del driver propuesto. Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la simulación aunque buenos, no son suficientes para cumplir con el estándar del IESNA LM-79-08.

Existen formas de reducir la distorsión armónica, mediante filtros de potencia. Estos pueden ser activos o pasivos, en la parte 3 de la segunda fase, conversaremos sobre los métodos de corrección de factor de potencia existentes, a continuación.

4.2.3 Propuesta de un método de corrección de factor de potencia. Estudio y aplicación del mismo dentro del driver y su posterior simulación en SIMULINK.

Los métodos de corrección de factor de potencia son muchos al punto en que pueden dividirse en categorías, existen dos grandes grupos, filtros pasivos y filtros activos para corrección de factor de potencia. Por las ventajas que ofrecen los filtros activos, se decidió implementar un método para la corrección del factor de potencia del driver. Los métodos de corrección activa de factor de potencia son los mencionados en la Figura 4.15.

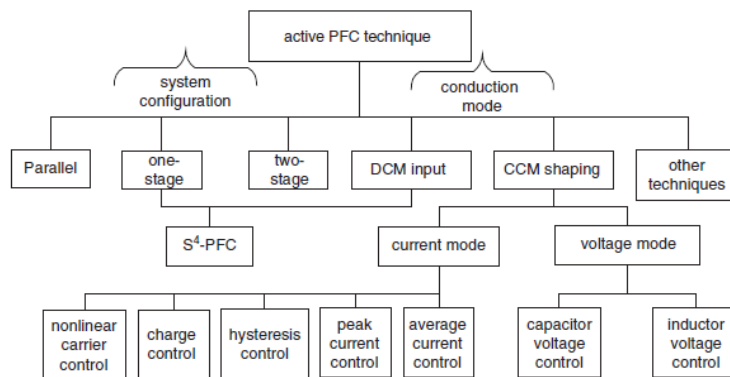


Figura 4.15 – Métodos de corrección activa de factor de potencia. Fuente: M. Rashid [15]

De entre todos los métodos existentes, para los drivers interesan los métodos CCM, debido a la necesidad de controlar el voltaje de salida o la corriente de la misma. Nuestro driver opera en modo CCM, debido a que la corriente del inductor nunca se hace cero. Eso nos deja con 7 opciones, 2 para control por tensión y 5 por control de corriente.

Los fabricantes de drivers emplean ambos modos de control a conveniencia, pero predomina el control por corriente debido a las siguientes razones [15]:

- Se requieren de respuestas rápidas en dispositivos de conmutación.
- Necesita mantener una fuente de corriente constante.
- Costos de los componentes son menores en comparación con el modo de control de voltaje.
- Debido a que la corriente del inductor dependerá del voltaje de entrada y de salida, esta responderá de forma más rápida ante variaciones de voltaje.

En el apartado 2.2.6.8, existe una descripción del método de una de estas 5 técnicas usadas para controlar la corriente del inductor, denominada Control de Corriente Promedio. La intención primordial es la de hacer que la corriente siga a la tensión, mediante un lazo de control conformado por un controlador PI y un controlador PID. El esquema de control general se ve a continuación.

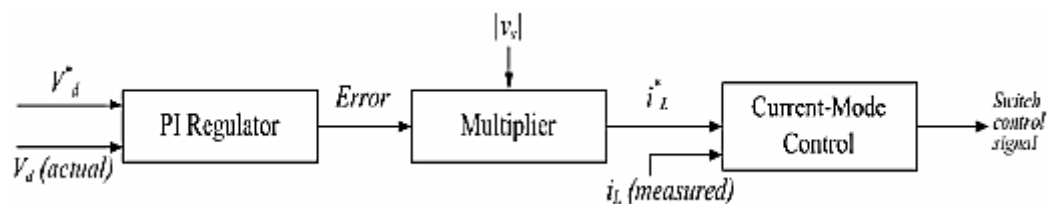


Figura 4.16 – Esquema de control de corriente. Fuente: N. Mohan [21]

Capítulo 4. Análisis y Discusión de Resultados.

En el lazo de control, es necesario medir tres variables: Voltaje rectificado, voltaje de booster y corriente de inductor. Estas señales deben entrar al lazo a un valor menor al que tienen en el circuito, ya que solo se usan como referencias. Se propone usar ganancias que permitan a las señales tener una amplitud máxima de 1 en sus respectivas magnitudes de corriente o voltaje. Para el voltaje rectificado, se usa un $K_1 = 1/V_{p\text{rectificado}}$. Para el voltaje del booster, se usa un $K = 1/V_{p\text{booster}}$. Y para la corriente del inductor, debe ser medida con un sensor shunt usado para medir corrientes, a través de la inserción de una resistencia en el lugar en el que se desea medir la corriente. En Simulink, los bloques de ganancia sirven para estos propósitos y en el caso de la medición de corriente, solo basta con colocar un bloque sensor de corriente para obtener esta señal.

Existen dos valores de referencia usados, uno para el controlador PI y otro para el controlador PID. Pero en este lazo, la salida del controlador PI es la referencia para el controlador PID, como se muestra en 4.17. El valor de referencia para el PI se fija como un voltaje constante DC, debe ser escogido de tal manera que al ser comparado con el voltaje del booster, se obtenga una salida del PI con la amplitud y forma que deseamos que tenga la corriente. Después se multiplica con el voltaje rectificado.

Al tener la corriente de referencia, se comparará con el valor actual de la corriente del inductor. El PID generará una señal de control que se usará para la conmutación del Switch.

Para la conmutación, se usa una señal triangular. En Simulink el bloque PWM Generator, permite comparar una señal de control con una señal triangular interna de amplitud 1, cuya frecuencia puede modificarse en múltiplos de 60. Los pulsos se generan debido a la comparación de ambas señales, como se apunta en el apartado 2.2.6.4 del marco teórico de este trabajo de grado.

La respuesta del PI reacciona a los cambios a una velocidad lenta, mientras que el PID se anticipa a los cambios de la señal teniendo una velocidad de respuesta más rápida debido a su componente derivativo.

El diseño del PID, por lo recomendado por Dixon en su nota de aplicación [22], debe tener la frecuencia de su cero a un valor de $f_s/2 * 2\pi'$, siendo f_s la frecuencia de conmutación. La frecuencia del polo, será de 6 veces el valor de la frecuencia del cero. De este modo, se tiene una frecuencia en el polo de 8.9 KHz y una frecuencia en el cero de 50KHz.

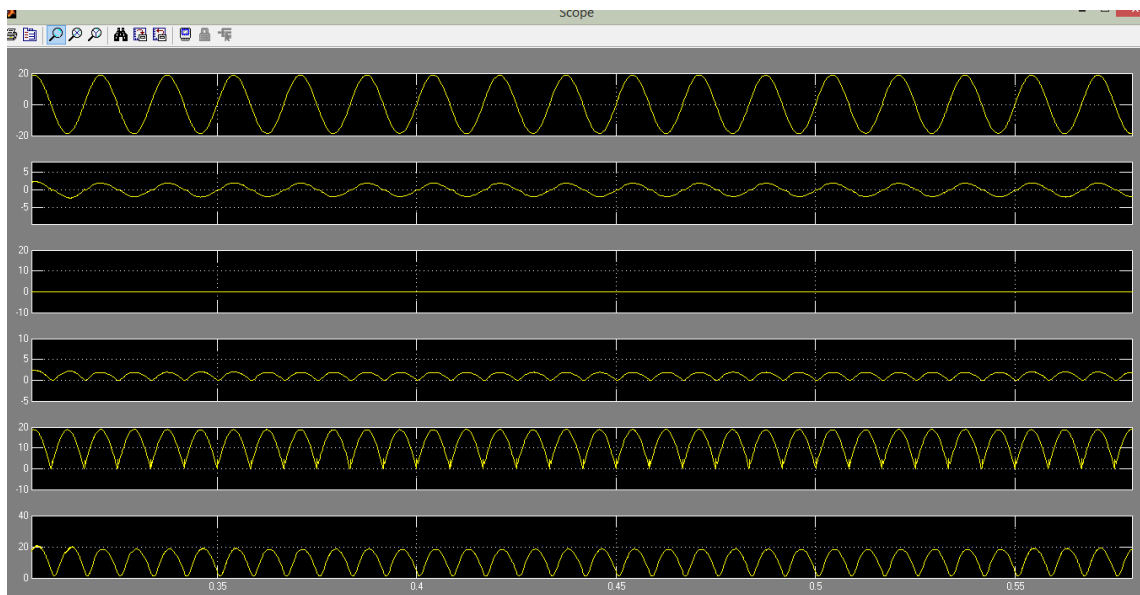


Figura 4.17 – Formas de onda de corriente y tensión corregidas. Fuente: Propia.

La THD medida es de 0.04, eso nos da un factor de distorsión de 0.99. El factor de potencia medido es de 0.98, como se observa en la Figura 4.18.

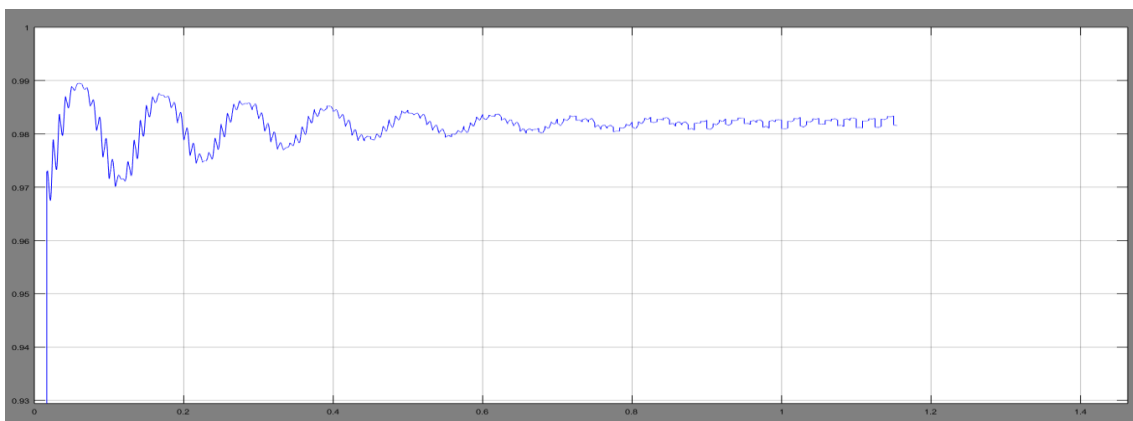


Figura 4.18 – Factor de potencia luego de aplicación del lazo de control. Fuente: propia.

Si queremos ajustar la corriente del inductor a un valor predeterminado, debemos ajustar la salida del controlador PI para que esta nos de la corriente que deseamos.

Los chips LED son cargas altamente no lineales debido a sus arreglos matriciales. Estos se consiguen al colocar varios microchips de 1W en serie con una resistencia limitadora (fijada por el fabricante, para prefijar la corriente que pasa por dicha rama bajo condiciones de operación), cada una de estas ramas se coloca en paralelo con otras ramas. De este modo se obtienen los chips de diferentes potencias. Cada uno de los diodos tiene un voltaje de conducción que está entre los 2V y los 4V. Este es un factor importante para su alimentación, ya que si la tensión de alimentación del conversor DC-DC no está a nivel de la suma de los voltajes de conducción de los diodos en una sola rama, el chip no podrá ser energizado. Fabricantes de talla mundial, como Mean Well, recomiendan fijar la salida de tensión del conversor a un 20% por encima de la tensión de conducción de una hilera de microchips LED.

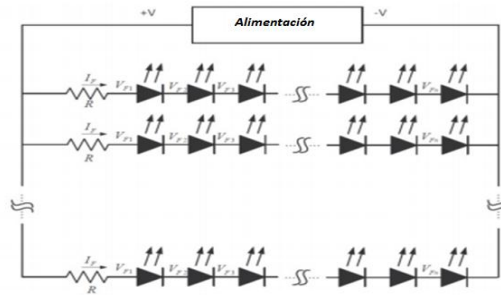


Figura 4.19 – Esquema circuital interno de un chip LED. Fuente: Elaboración propia.

A la carga de nuestro circuito en Simulink, añadimos tres hileras de 10 diodos serie con un voltaje de conducción de 2V, aumentando la carga no lineal de la misma. El factor de potencia cae a un valor de 0.86.

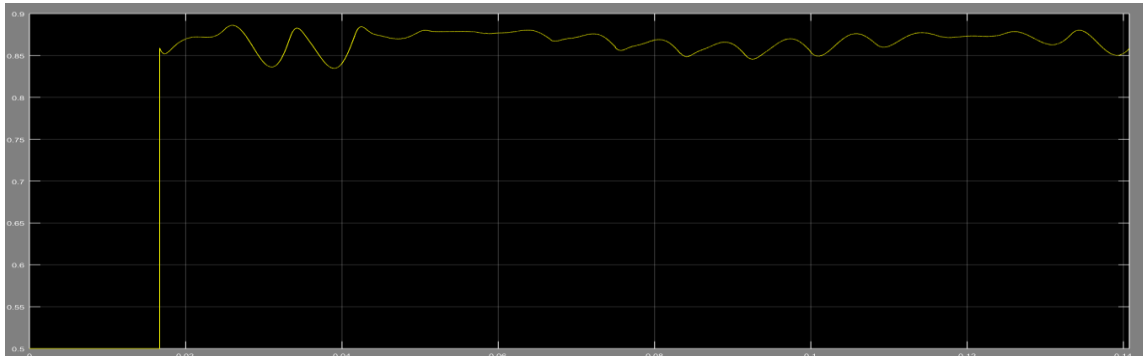


Figura 4.20 – Aumento de carga en el driver con 3 hileras de 10 diodos cada una en paralelo con la carga. Fuente: Elaboración propia.

Para solucionar este inconveniente, existen dos caminos. El camino largo es recondicionar el lazo para lograr que se ajuste a la nueva carga y el camino corto es implementando filtros pasivos para aumentar un poco la carga del circuito. Para un valor de $L=100\text{mH}$, se tiene un factor de potencia de 0.989 y una THD de 0.06.

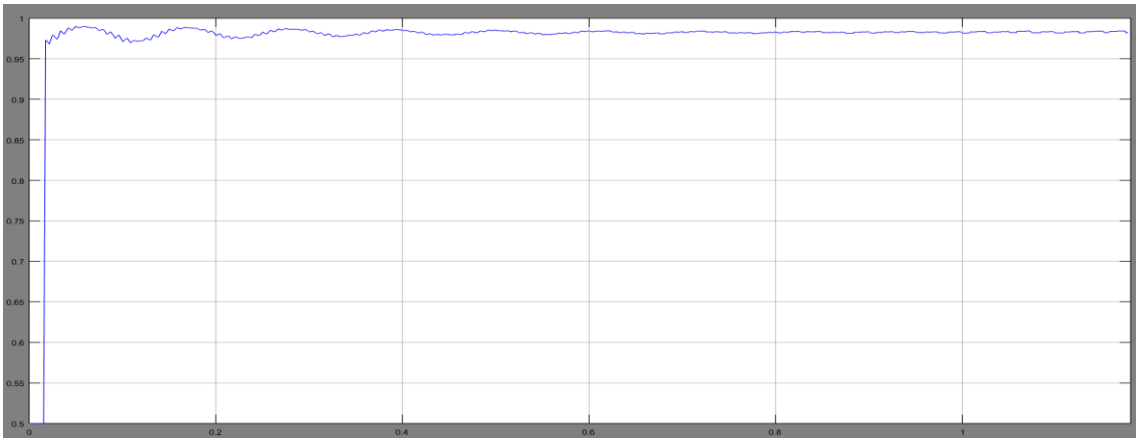


Figura 4.21– Implementación de filtros pasivos combinado con los efectos del lazo de control de corriente promedio. Fuente: Elaboración propia.

4.2.4 Cálculo del disipador de calor para el chip LED y su integración a la carcasa del reflector.

El cálculo de disipadores de calor se realiza teniendo en cuenta la equivalencia entre un modelo térmico y un modelo eléctrico. Teniendo en cuenta tres tipos de variables, como se ven en la tabla 4.3

Tabla 4.3 – Equivalencias entre variables de modelos térmicos y eléctricos. Fuente: C. Seijas y S. Villazana [20].

Modelo Térmico	Circuito Eléctrico
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Voltaje (V)
Potencia disipada (W)	Corriente (A)
Resistencia térmica ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)	Resistencia eléctrica (Ω)

Los modelos térmicos en forma general, aparecen ilustrados en 4.20, en donde se observan la representación de las variables que lo conforman.

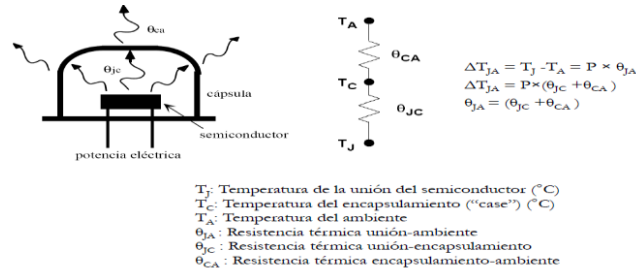


Figura 4.22 – Modelo térmico equivalente y sus variables. Fuente: C. Seijas y S. Villazana [20].

En fichas de fabricantes de Chips LED, como las de BridgeLux, se pueden conseguir fácilmente los valores de Potencia de disipación, temperatura de unión y temperatura ambiente. Con esta información, se calcula la resistencia térmica entre la unión y ambiente, que es la R térmica equivalente del circuito que hemos visto arriba. Haciendo uso de la ecuación 2.19 vista en el apartado 2.2.6.9 del marco teórico, asumiendo un factor $k_d=1$, decimos que P_d = Potencia del chip. Si el chip es de 50W, entonces $P_d= 50W$.

En el datasheet del chip [23] se observa que las temperaturas de unión $T_j=140^\circ C$, y de ambiente $T_a=25^\circ C$, a una $P_d=50W$ nos da una $\theta_{ja}=2.3 \text{ }^\circ C/W$.

Para nuestra luminaria y también para muchos otros tipos de luminaria LED, al diseño térmico se le añaden los valores de resistividad térmica de la pasta térmica y del disipador, para obtener un valor más cercano. Como se refieren a esto Mashkov, Gyoch, Beloev y Penchev [24] en 4.21

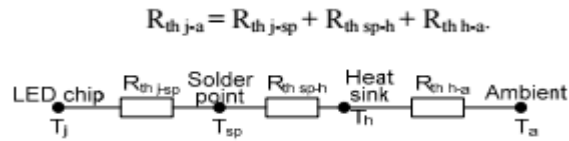


Figura 4.23 – Modelo térmico involucrando puntos de soldadura y disipadores de calor, añadidos a las resistencias térmicas conocidas. Fuente: Mashkov, Gyoeh, Beloiev y Penchev [24]

Consideraciones adicionales sobre el dimensionamiento de las aletas del disipador serán comentadas en el capítulo 5, de conclusiones y recomendaciones.

4.3 Selección de los materiales, herramientas menores y equipamiento requeridos para la construcción y ensamblaje en Venezuela a través de consultas y comparaciones entre los fabricantes, nacionales e internacionales, de los elementos que la componen.

En esta fase se toman en consideración los fabricantes y proveedores nacionales e internacionales de las piezas para la construcción de la luminaria.

4.3.1 Se ubicaron proveedores de láminas de aluminio y fabricantes de troqueles, de este modo podrá obtenerse la lámina reflectora de aluminio de la luminaria.

Las láminas de aluminio puro no poseen la resistencia ni las cualidades reflectivas que necesita el reflector. Para lograr que el aluminio adquiriera estas propiedades, debe pasar por un proceso de Anodizado. El cuál describiremos a continuación.

Expuesto a la atmósfera de la tierra, el aluminio combina el oxígeno para formar una capa protectora superficial que inhibe una oxidación adicional del aluminio. A diferencia del acero o las aleaciones de hierro, el aluminio no continuará oxidándose una vez que esta capa esté formada. Este óxido natural es extremadamente delgado y está libremente adherido a la superficie de aluminio, esto quiere decir que es fácil de remover mediante el manejo de la pieza.

La anodización es un proceso que engrosa la capa de óxido natural, resultando en una capa pesada de óxido de aluminio de grosor controlado teniendo una dureza similar a la de un rubí o un zafiro.

Cuando el aluminio es anodizado de forma convencional, se hace pasar corriente directa (DC) a través de un baño de ácido sulfúrico (el electrolito), mientras que el aluminio siendo tratado hace de ánodo. Esto produce una capa transparente de óxido en la superficie del aluminio.

EL PROCESO DE ANODIZACION

1. Tratamiento previo

Se limpia el aluminio con un detergente alcalino calentado a aproximadamente 145° F. Este proceso remueve contaminantes acumulados y aceites ligeros.

2. Enjuagues:

Múltiples enjuagues, algunos usando agua estrictamente des-ionizada.

3. Lavado en soda cáustica (hidróxido de sodio)

Prepara el aluminio para el anodizado mediante la eliminación química de una capa delgada de la superficie del aluminio. Este baño alcalino le da una apariencia mate transparente a la pieza.

4. Destinado:

Enjuagado en una solución acida para remover partículas constituyentes de la aleación no deseadas y que no fueron removidas durante el proceso de lavado.

5. Anodización:

Se sumerge al aluminio en un tanque que contiene un electrolito de 15% de concentración de ácido sulfúrico. Se hace pasar corriente eléctrica a través del electrolito y el aluminio se convierte en el ánodo en esta celda electrolítica; el tanque es el cátodo. El voltaje aplicado entre el ánodo y el cátodo ocasiona que aniones cargados negativamente migren al ánodo, donde el oxígeno en los aniones se combinará con el aluminio para formar la capa de óxido de aluminio.

6. Coloreado:

Las capas anódicas son adecuadas para ser coloreadas mediante una variedad de métodos, que incluyen la absorción de tinta, y la coloración electrolítica.

7. Sellado:

Se debe usar un sellador apropiado para la capa de óxido porosa para que su cubrimiento sea satisfactorio. Los poros deben volverse no absorbentes para proveer de máxima resistencia contra la corrosión y manchas. Esto se logra mediante un tratamiento hidrotérmico en baños químicos o taponeando los poros mediante precipitación de sales metálicas en las aberturas de los poros.

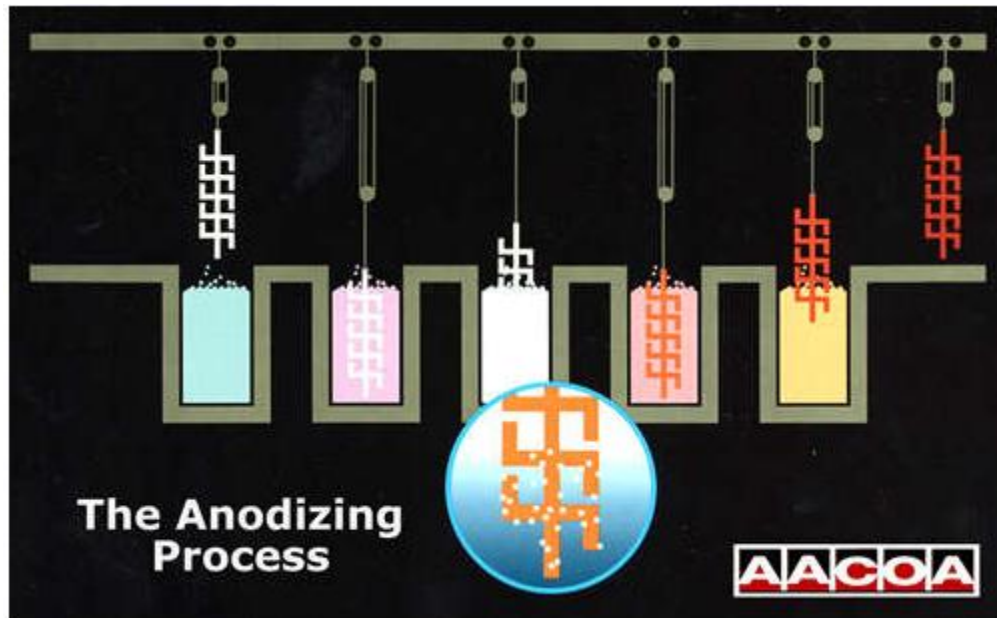


Figura 4.24 – Ilustración del proceso de anodización. Fuente: AACOA.

En Venezuela, los fabricantes de perfiles de aluminio usualmente hacen anodización de láminas de aluminio.

Dos excelentes ejemplos de ello en la actualidad, son las empresas Aluminio Flamingo y Acrilum C.A. La primera está ubicada en Caracas y la segunda en Barquisimeto.

Entre la variedad de servicios que ofrecen se encuentran anodización de aluminio y venta de perfiles de aluminio. La empresa Acrilum, también vende láminas de aluminio para troquelar, diferenciándose y ampliándose un poco en la gama de servicios que ofrece sobre las otras empresas.

4.3.2 Se ubicó una empresa que haga carcassas de aluminio mediante técnicas de fundición. Preferiblemente la empresa deberá contar con un equipo que pueda también determinar la aleación exacta del aluminio de la carcasa.

Capítulo 4. Análisis y Discusión de Resultados.

Este proceso requiere de detalles y cuidado de aspectos más profundos a nivel de Ingeniería. Primero, se requiere de una aleación especial de aluminio, debido a que la carcasa posee una mayor fortaleza mecánica en comparación de las abrazaderas y el asa. Para este proceso, este trabajo de grado contó con la colaboración de especial del Ingeniero Flavio D'Auria, ingeniero mecánico y presidente de la empresa Funyara C.A ubicada en Chivacoa, Yaracuy, y se encargan de elaborar piezas de aluminio al sector industrial. El ingeniero nos ha recibido en su empresa y ha concedido una charla técnica que ayudó a orientar esta fase del trabajo de grado, al poseer conocimientos sobre procesos mecánicos, materiales y transferencia de calor. Dicha entrevista en detalle se puede conseguir en los anexos.

Para las carcasas que dependan de la ventilación natural para disipar calor, el aluminio es un buen conductor de calor en comparación con otros metales, como se observa en 4.23. Para aumentar su resistencia mecánica sin comprometer sus propiedades para conducir calor, debe alearse con otros metales. En vista a que ninguna empresa pudo ofrecer el análisis de aleación, a excepción de Funyara, quienes tampoco pudieron realizarlo por labores de mantenimiento del equipo el día de la visita, el ingeniero Flavio dio orientaciones diciendo que la aleación usada para estas carcasas es posee un porcentaje de silicio que varía entre 6% y el 24%. Esto le ayuda a adquirir una mayor resistencia mecánica, al mismo tiempo que aumenta su peso.

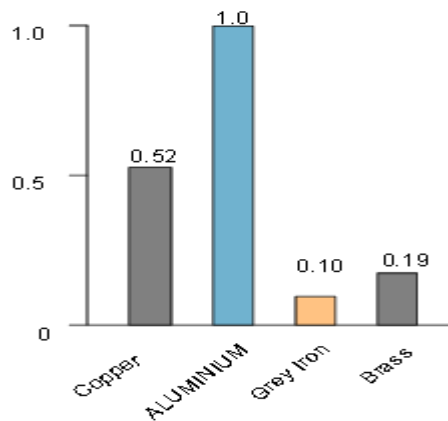


Figura 4.25 – Conductividad térmica por peso unitario del aluminio y otros materiales en el mercado.

Fuente: TALAT [25].

Teniendo en cuenta la aleación usada para estas carcasas, al observar el nivel de detalle en el acabado de la misma, es evidente que tal resultado solo puede obtenerse a través de inyección de aluminio a un molde. Según el ingeniero Flavio, no existen actualmente proveedores de metales aleados en Venezuela. Las fuentes más cercanas de material están en Brasil, China, Alemania y China.

Las empresas dedicadas a hacer estos trabajos usualmente proveen el material y producen las piezas. Por cada molde, se logran obtener un promedio 50.000 piezas, aunque este valor varía dependiendo de cada pieza.

A continuación, describimos el proceso de Moldeo por Inyección de Aluminio, también conocido como MIM (Metal Injection Moulding).

Es un proceso para la producción de piezas que permite un nivel de acabado con mayor precisión en los detalles, y que ningún otro proceso de fundición ofrece debido a que los detalles son grabados en el molde que posteriormente es llenado en sus cavidades por el metal fundido, hasta que coge su forma al hacerse sólido.

Paso 1. Materia prima:

Se suelen mezclar polvos de metal muy finos (<15 micrones) con un material de parafina primario y un polímero termoplástico secundario. Juntos, actúan como aglutinantes.

A diferencia de la metalúrgica de polvos estándar, que puede alcanzar solo 80-90% de densidad teórica, el moldeo por inyección de metal resulta en 95-100%. Esto quiere decir que puede lograr tolerancias estrechas y reducir costos mediante la producción de piezas pequeñas y complejas sobre altos ciclos de producción.

Paso 2. Moldeado:

Se lleva la materia prima a un equipo de moldeo, se calienta y se inyecta a una cavidad de molde bajo altas presiones.

Una vez moldeada, se refiere a la pieza como parte “verde”. Su geometría es idéntica a la de la pieza terminada, pero para evitar encogimientos durante la fase de sinterización. Es aproximadamente 20% más grande en tamaño de lo que será el componente al finalizar.

Paso 3. Eliminación de aglutinante:

Involucra un proceso controlado para remover la mayoría de los aglutinantes. El proceso también prepara las piezas para la última etapa, la sinterización. Una vez que finaliza este proceso, se le refiere a la pieza como “marrón”.

Paso 4. Sinterización:

La pieza “marrón” se mantiene unida por una pequeña cantidad de aglutinante, y es muy frágil. La sinterización elimina el restante de este aglutinante y le da a la pieza su geometría final. Durante este proceso, se somete a la pieza a temperaturas cercanas al punto de fusión del material.

Todo el proceso de sinterización dura de 15 a 20 horas.

El aluminio tiene excelente conductividad térmica, es liviano, tiene baja temperatura de fusión y baja dureza. Los polvos de aluminio de diferentes tamaños están comercialmente disponibles, pero la capa de óxido que se forma sobre las partículas inhibe la formación de contactos de sinterización y densificación. Por esta razón, se requieren procedimientos de sinterización para producir piezas con suficiente fuerza y baja porosidad.

Luego de obtener la carcasa, esta pasa por un proceso de Mecanizado, que posteriormente podrá permitir que las piezas puedan fijarse a través de tornillos. Dos empresas que hacen esta clase de trabajos, son Kunchan y Xiamen, en China.

4.3.3 Conocida la corriente que alimentará el driver, se escogió un calibre de cable y se estudiarán las alternativas actuales del mercado.

El driver es un circuito monofásico y en el modelo usado de referencia, se usa un cable H05RN-F. Que es un cable tripolar, con aislamiento EPR (Goma de Etileno Propileno). El aislamiento de la chaqueta es un compuesto térmico tipo EM2. Las diferentes capacidades de corriente disponibles se tienen a continuación.

Tabla 4.4 – Capacidad de corriente por conductor de cable H05RN-F y su calibre. Fuente: TFKable [26].

Current ratings at ambient air temperature: 30°C		
Conductor operating temperature: 60°C		
Conductor cross-section (mm ²)	Current ratings in Ampere (A)	
	Single phase	Three phase
0,75	6	6
1	10	10
1,5	16	16
2,5	25	20
4	32	25
6	40	-

H05 RN-F					
Part No.	No. cores x cross-sec. mm ²	Outer Ø mm min – max	Cop. weight kg / km	Weight ca. kg / km	AWG-no.†)
36001	2x0,75	5,7 – 7,4	14,4	78	18
36002	2x1	6,1 – 8,0	19,0	94	17
36003	3G0,75	6,2 – 8,1	21,6	94	18
36004	3G1	6,5 – 8,5	29,0	114	17
36005	3G1,5*	8,6 – 11,0	43,0	157	16

Esto nos indica que un cable tripolar calibre 18 es más que suficiente para poder alimentar al driver.

Las alternativas más atractivas para adquirir este cable están en la empresa TFKable y Helukabel.

4.3.4 Se ubicaron fabricantes de láminas de vidrio, al mismo tiempo que se ubicó una empresa que hace difusores para luminarias.

Una empresa conocida por elaborar láminas de vidrio es Empresa el Morro y también a través de Mercado Libre. Sería un mejor escenario poder contar con empresas que realizan difusores, debido a que esta reduce el efecto del deslumbramiento, pero en Venezuela no se consiguen. En otros países, está la opción de Taian Sainly Glass, en China.

4.3.5 Se hizo una lista de herramientas menores para el ensamblaje de la luminaria, con al menos dos unidades de cada herramienta. En esta se incluyó cautín, estaño y grapas para conectar cables.

El armado o bien el desarmado de la luminaria se hace con las siguientes herramientas.

Tabla 4.5 – Herramientas menores para el ensamblado de la luminaria. Fuente: Elaboración propia.

Herramienta	Función
Destornillador de estría	Para tornillos de estría
Llave Allen	Para tornillos Allen
Cautín	Usada para calentar el estaño
Estaño	Usada para soldar conexiones entre Chip y Driver
Silicón gris	Para aislar las conexiones del chip y el driver
Grapas	Para hacer empalmes entre cables a presión
Multímetro	Para hacer pruebas de continuidad y voltaje en la luminaria

El Silicón gris es usado para hacer uniones en motores de automóviles. Provee un aislamiento térmico que soporta temperaturas de hasta 320°C. Al tener que proteger los puntos de soldadura en el chip, que pueden alcanzar una temperatura de hasta 150°C en la unión, está calificado para aislar los puntos de soldadura y también para proteger los cables en caso de ser necesario. Sin embargo, de poder usar silicón blanco RTV, es una mejor opción desde el punto de vista estético.

4.3.6 Se ubicaron fabricantes de goma de plástico, sujetadores de aluminio y Asa.

Para la creación de gomas de plástico encargadas de cerrar herméticamente la luminaria, se necesita de un proceso de fabricación similar al de inyección de aluminio [27]. Descrito a continuación.

Es un proceso para el moldeo de piezas plásticas, en el cual se alimentan partículas (“pellets”) o granos a un barril calentado hasta que se funden. Esta masa fundida es forzada a pasar a una cámara con matriz o dado bipartido, mediante un émbolo hidráulico o con un sistema de tornillo rotatorio de un extrusor.

Los equipos más recientes utilizados para el moldeo de plásticos por inyección son del tipo “tornillo reciprocante”. En este tipo de sistemas, se aumenta la presión en la entrada del molde, y un tornillo rotatorio comienza a moverse hasta una distancia predeterminada, el cual luego cesa su movimiento y es empujado hacia adelante hidráulicamente, forzando al plástico fundido a pasar a la cavidad del molde.

Los productos característicos de moldeo por inyección son tazas, recipientes, cajas, mangos de herramientas, perillas, componentes eléctricos y de comunicaciones, juguetes y conexiones de plomería. Para los polímeros termoplásticos, los moldes están relativamente fríos; pero los polímeros termofijos son moldeados en moldes calentados donde se efectúa la polimerización y el enlace cruzado.

En cualquier caso, después de que la pieza ha sido enfriada o curada, se abren los moldes y se expulsa la pieza. A continuación se cierran los moldes y el proceso se repite en forma automática. También los elastómeros se moldean por inyección mediante estos procesos.

Como el material está fundido al inyectarse en el molde, se pueden obtener formas complicadas y buena precisión dimensional. También se usan moldes con mandriles móviles y sin atornillar, que permiten moldear piezas con muchas cavidades o con roscas internas o externas.

Para adaptarse al diseño de la pieza, los moldes pueden tener varios componentes: canales de colada, núcleos, cavidades, canales de enfriamiento, insertos, pernos de expulsión y expulsores. Hay tres clases básicas de moldes:

- El molde de canal (corredor o distribuidor) frío y dos placas (es el diseño más sencillo).
- El molde de canal frío y tres placas, en el que el sistema de canales es separado de la pieza cuando se abre el molde.
- El molde de canal caliente (también llamado molde sin canal), en el que el plástico fundido se conserva en un canal con la placa caliente.

En los moldes de canal frío, el plástico solidificado en los canales que van del extremo del barril a la cavidad del molde, se debe eliminar, casi siempre recortándolo. Estos recortes se pueden trozar y reciclar. En los moldes de canal caliente, que son más costosos, no hay puertas, canales ni mazarotas fijas a la pieza moldeada. Solo se tiene que enfriar y expulsar la pieza moldeada por inyección.

También se pueden colocar componentes metálicos, como tornillos, pernos y bandas, en la cavidad del molde, y formar parte integral del producto moldeado por inyección. Los ejemplos más comunes de esto son los componentes eléctricos.

La extrusión es un proceso de deformación plástica en el cual un bloque de metal (lingote) es forzado a fluir mediante compresión a través de una matriz con área de sección transversal menor a la del lingote original.

El tamaño de la prensa determina que tan grande puede ser la extrusión. El tamaño de ésta, se mide por la dimensión más larga de su sección transversal que cabe dentro de un círculo, es decir, se mide por el círculo más pequeño que puede encerrar por completo la sección transversal de la figura de extrusión.

El factor más importante en el proceso de extrusión es la temperatura, ya que de ella dependen la dureza y el acabado del metal.

PASOS DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN:

1. Se calientan los lingotes hasta aproximadamente 800-925° F.
2. Luego de que los lingotes tienen la temperatura deseada, se transfieren al cargador, donde una película delgada de lubricante es añadida al lingote y al émbolo para evitar que ambas partes se adhieran.
3. Se transfiere el lingote hacia la cámara de presión, donde el émbolo aplica presión a un falso bloque, el cual a su vez empuja el lingote hasta que se encuentre dentro del contenedor.
4. Bajo la presión, el metal es aplastado contra la matriz, volviéndose más corto y más ancho hasta que tiene contacto total con las paredes del contenedor. Mientras el metal es empujado a través de la matriz, se hace fluir nitrógeno líquido alrededor de algunas de sus secciones para enfriarla, esto incrementa la vida útil de la matriz y crea una atmosfera inerte que evita que se forme oxido en la forma a ser extruida. En algunos casos, se utiliza nitrógeno gaseoso en lugar de nitrógeno líquido, el cual no enfría la matriz pero si crea una atmosfera inerte.

5. Como resultado de la presión añadida al lingote, el metal suave pero sólido, comienza a pasar a través de la abertura de la matriz.
6. Mientras una extrusión sale de la prensa, se monitorea la temperatura del metal. La temperatura de salida deseada para una extrusión dependerá de la aleación de la misma. Por ejemplo, para aluminio 6101, la temperatura deseada es de 930° F (mínimo).
7. Luego, las extrusiones se empujan fuera de la matriz y hacia el tirador, el cual guía al metal durante la extrusión. Durante este proceso, varios ventiladores colocados a lo largo de toda la mesa de halado se encargan de enfriar la extrusión.
8. Cuando la extrusión alcanza la longitud deseada, se corta con una cierra para perfiles o una cizalla. No se puede usar todo el lingote, ya que el final contiene óxido de la piel del lingote.
9. Se transfiere el metal a una mesa enfriadora.
10. Luego de que la pieza se ha enfriado, se traslada a un estirador. Este proceso endereza las extrusiones y permite su realineación molecular, la cual aumenta su dureza y resistencia.
11. Finalmente, se cortan las extrusiones a longitudes específicas y se llevan a hornos, para hacer tratamientos de envejecimiento artificial, en el cual se endurece el metal mediante la aceleración del envejecimiento del mismo en un ambiente de temperatura controlada durante una cierta cantidad de tiempo.

Los dos tipos básicos de extrusión son la directa y la indirecta, las cuales son comúnmente usadas en las industrias de aluminio.

- Extrusión directa:

En este proceso la matriz se mantiene estacionaria y un embolo en movimiento obliga al metal a pasar a través de ella.

- Extrusión indirecta:

En el proceso de extrusión indirecta, es el lingote quien se mantiene estacionario mientras la matriz, instalada en el extremo del émbolo, se mueve contra el lingote creando la presión necesaria para que el metal fluya a través de ella.

Las extrusiones en general, y las extrusiones de aluminio particularmente, ofrecen un número de beneficios con respecto a otros materiales y procesos. Las extrusiones de aluminio son:

1. Livianas, el aluminio pesa cerca de $1/3$ del peso del hierro, acero o el cobre, haciendo a las extrusiones de aluminio manejables, menos costosas de transportar, y un material atractivo para aplicaciones donde la reducción del peso es prioritaria.
2. Fuertes, las extrusiones de aluminio se pueden hacer de la fortaleza necesaria para la mayoría de las aplicaciones y, debido a la naturaleza del proceso de extrusión, la fuerza se puede concentrar donde más se necesite variando el espesor de las paredes y reforzando el diseño del perfil. Las extrusiones de aluminio son particularmente útiles en climas fríos, ya que el aluminio tiene la propiedad de fortalecerse a medida que decrece la temperatura.
3. Resistentes, el aluminio combina fuerza con flexibilidad, puede flexionarse bajo cargas y abollarse por impacto, llevando al uso de componentes de extrusión en sistemas de manejo de choques automovilísticos.
4. Resistentes a la corrosión, no se oxidan.
5. Excelentes conductores térmicos, el aluminio conduce calor y frío mejor que otros metales comunes, haciéndolo ideal para aplicaciones que requieran disipación de calor.
6. No chispeantes, ya que aluminio posee esta característica, haciendo las extrusiones adecuadas para ambientes que involucren materiales explosivos o en entornos altamente inflamables.

7. Buenas conductoras de electricidad, haciendo las extrusiones una alternativa económica para conectores eléctricos y componentes para distribución por barras.
8. No magnéticas, como el aluminio no puede adquirir carga magnética, las extrusiones son útiles en aplicaciones electrónicas y de alto voltaje.
9. No combustibles y no tóxicas, el aluminio no se quema e inclusive a temperaturas muy altas no produce humos tóxicos.
10. Reflectantes, el tratamiento de las superficies puede producir alta reflectancia en componentes de aluminio, haciendo que las extrusiones de aluminio se vuelvan útiles en aplicaciones de iluminación.
11. Fáciles de fabricar y ensamblar, el diseño efectivo de extrusiones de aluminio puede simplificar en gran manera la subsecuente fabricación y ensamblaje.
12. Sostenibles, el aluminio puede ser reciclado infinitamente sin degradar sus propiedades, y las extrusiones de aluminio son producidas usualmente con alto contenido de reciclaje, sin comprometer su estética o funcionalidad.

Las empresas que se encargan de elaborar estas gomas de plástico en Venezuela son Gomalnc y Acrilum, anteriormente mencionada en 4.3.1

Para los sujetadores de aluminio de aluminio y ASA, se requiere de un proceso llamado extrusión, del cual se adquieren perfiles de aluminio y se describe de la siguiente manera.

Nuevamente, las fábricas mencionadas en 4.3.1 cuentan con maquinaria para este tipo de trabajos.

4.3.7 Se ubicó una ferretería o una fábrica que pueda vender tornillos al mayor.

La Empresa EPA vende tornillos al igual que herramientas menores, entre otras cosas. En caso de no poder satisfacer la cantidad necesitada de tornillos (8 Allen y 6 de estría), Acrilum produce también dicho producto al mayor.

4.3.8 Se escogió un proveedor de chips semiconductores, de entre 3 posibles proveedores. Comparando costos y calidad de cada una de las pastillas. Este componente debe importarse obligatoriamente, porque no se construye en Venezuela.

Los principales proveedores de Chips LED internacionalmente son: Viribright, Bridgelux y Cree. Debido a su alta calidad y eficiencia.

Estos los poseen en diferentes potencias y voltajes.

4.3.9 Los costos de cada elemento se ubicaron en el territorio nacional y de ser posible, tratarán de hallarse empresas internacionales que provean los suministros. Los costos serán necesarios para hacer un análisis comparativo desde el punto de vista económico.

Haciendo un resumen de las empresas involucradas en los componentes, se puede observar la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 – Listado de fabricantes nacionales e internacionales de componentes. Fuente: Elaboración propia.

Componente	Fabricante	
	Nacional	Internacional
Carcasa	Ninguno	Xiamen Stick Industry Co.
		Kunshan Fangchang Mould Factory
Lámina Aluminio	Flamingo	Zhengzhou Haomei Industrial Co.
	Acrilum	Tianjin Yitejia Steel Sales Co.
Abrazaderas	Acrilum	Guangzhou Aluminium Material Plant Co.
	Flamingo	Jiangysu Chenglong Aluminum Co.
Asa	Acrilum	Guangzhou Aluminium Material Plant Co.
	Flamingo	Jiangysu Chenglong Aluminum Co.
Tornillos	Acrilum	Nanchang Nande Industrial Co.
	Ferretería EPA	Hangzhou Santiway International Co.
Chips	Ninguno	Bridgelux
		CREE
Drivers	Ninguno	Meanwell
		LEDwholesalers
Cables	No se consigue.	TFKable
		Helukabel
Vidrio	Mercado Libre	Taian Saintly Glass Co.
	Empresas el Morro	
Goma	Gomalnca	Dongguan Universe Plastic Co.
	Acrilum	

En el caso del driver, los componentes son según la lista en 4.7

Tabla 4.7 – Componentes para el driver. Fuente: Elaboración propia.

Driver		
Componente	Fabricante	Especificación
Capacitores	RichartForYou	1uF a 2200uF
Inductores	PartsDIY	1uH a 100mH
Transformadores	-	Toroide
Puente rectificador	Amico	RS606
Control Corriente Promedio	Linear Technology	LT1249
Switch IGBT	Amico	FGL60N100BNTD

Los costos de cada equipo y componente serán revisados en la fase 4 de la presente investigación.

4.4 Determinar la factibilidad técnico económico del diseño para su posterior comercialización en Venezuela.

En esta fase del trabajo de grado se establecen comparativas y criterios para buscar la solución más económica y factible para la construcción de la luminaria en nuestro país. Con sus respectivos precios y unidades.

4.4.1 Se establecieron comparativas de cada componente entre fabricantes y proveedores nacionales e internacionales, para escoger la mejor alternativa.

Se buscaron los precios de todos los fabricantes mencionados para el estudio de factibilidad. En la tabla de herramientas, se hizo sugerencia a la compra de un multímetro Fluke, importado.

Tabla 4.8– Lista de componentes, proveedores y precios. Fuente: elaboración propia.

Pieza	Fabricante		Precio Nacional/Precio Internacional	Cantidad
	Nacional	Internacional		
Carcasa	Ninguno	Xiamen Stick Industry Co.	10.000\$ (1 molde)	50K pzas/molde
		Kunshan Fangchang Mould Factory	15.000\$ (1 molde)	50K pzas/molde
Lámina	Flamingo	Zhengzhou Haomei	10600 bsF/2500\$	1 Tonelada

Capítulo 4. Análisis y Discusión de Resultados.

		Industrial Co.		
	Acrilum	Tianjin Yitejia Steel Sales Co.	10600 bsF/2800\$	1 Tonelada
Abrazadera	Acrilum F10	Guangzhou Aluminium Material Plant Co.	10601 bsF/4400\$	1 Tonelada
	Flamingo	Jiangysu Chenglong Aluminum Co., Ltd.	10601 bsF/2800\$	1 Tonelada
Asa	Acrilum	Guangzhou Aluminium Material Plant Co.	10602 bsF/4400\$	1 Tonelada
	Flamingo	Jiangysu Chenglong Aluminum Co.	10602 bsF/2800\$	1 Tonelada
Tornillos	Acrilum	Nanchang Nande Industrial Co.	15 bsF/0,002\$	1 pza.
	Ferretería Epa	Hangzhou Santiway International Co.	20 bsF/0,01 \$	1 pza.
Chips	Ninguno	Bridgelux	15\$	1 pza.
		CREE	20\$	1 pza.
Drivers	Ninguno	Meanwell	30\$	1 pza.
		LEDwholesalers	25\$	1 pza.
Cables	No se consigue.	TFKable	1\$	Metro
		Helukabel (0,4\$)	0,4\$	Metro
Vidrio	Mercado Libre	Taian Saintly Glass Co.	25000 bsF/20\$	m2
	Empresas el Morro		2800 bsF	m2
Goma	GomaInca	Dongguan Universe Plastic Co. (2000\$)	200 bsF/0,04\$	Pza
	Acrilum		200bsF	Pza

Tabla 4.9 – Lista de componentes, proveedores y precios para el driver. Fuente: Elaboración propia.

Driver				
Componente	Fabricante	Especificación	Precio	Cantidad
Capacitores	RichartForYou	1uF a 2200uF	0.04\$	1pc
Inductores	PartsDIY	1uH a 100mH	0.05\$	1pc
Transformadores	-	Toroide	10\$	1pc
Puente rectificador	Amico	RS606	2\$	1pc
Circuito control	Linear Technologies	LT1249	3.3\$	1pc
Switch IGBT	Amico	FGL60N100BNTD	6.47\$	1pc

Tabla 4.10 – Lista de herramientas para ensamblar el reflector. Fuente: Elaboración propia.

Herramientas		
Nombre	Precio	Cantidad
Destornillador de estría	690 bsF	2
Llave Allen	1660 bsF	2
Cautín	1260 bsF	2
Estaño	75m por 8500 bsF	2
Silicón gris	900 bsF	2
Grapas	200 bsF	2
Multímetro	600\$	1

Nótese que hay dos tablas. Una con el driver importado y otra en el que se fabrica en Venezuela. En el apartado 4.4.2 denotaremos la diferencia y ventaja que existen entre importar el driver o construirlo aquí.

4.4.2 Se dividió el estudio de factibilidad en dos propuestas. Construcción del reflector LED con un DRIVER hecho en Venezuela y otro importando el driver. Comparación de los costos, ventajas y beneficios de un estudio y otro.

En esta parte fueron desglosadas las alternativas más económicas para elaborar la luminaria. Se divide en dos por las siguientes ventajas.

- Ventaja de importar el Driver:

Los drivers Meanwell son muy reconocidos por su alto nivel de confiabilidad. Son una garantía ante fallas en los LED. Son muy baratos además.

- Desventajas de importar el Driver:

No contribuyen en nada al conocimiento profesional en el área de electrónica y LEDS.

Lo mismo se hizo para el estudio con la elaboración del driver en suelo Venezolano.

- Ventaja de construir el Driver:

Aporta muchos conocimientos sobre electrónica de potencia y conversión de energía a los profesionales del área. Un área que debe ser desarrollada en nuestro país por su increíble importancia, sobre todo en el área de energías renovables.

- Desventaja de construir el Driver:

El driver diseñado y probado en simulación es solo un prototipo, debe implementarse y deben adicionársele etapas para que tenga una mayor confiabilidad. A pesar de que su

Capítulo 4. Análisis y Discusión de Resultados.

construcción es más barata, el driver Meanwell sigue viéndose como una opción económica, pareciendo una mejor opción desde el punto de vista económico importar. Sin embargo, se perjudica mucho la capacidad técnica de los profesionales, al no verse retados a diseñar un equipo mejor, aunque quizá no más económico.

Dicho esto, descartamos alternativas vistas en la Tabla 4.7 y la Tabla 4.8. Teniendo como criterio, conseguir la mayor cantidad de componentes y materiales en Venezuela y disminuir la necesidad de importar componentes debido a la situación económica del país actualmente.

También excluimos del estudio la maquinaria usada para la extrusión, inyección y anodización. Todas las partes se traerán procesadas y listas para ensamblar. Por ende, tampoco va a incluirse el proceso de granallado ni de mecanizado de la carcasa.

Destacamos también, el precio del aluminio puro en Venezuela para láminas, dictado por el Banco Mundial y cuyos cambios de precio pueden verse a través del tiempo [28], en el que el precio de la tonelada de aluminio se fijaba en 10.606,03 bsF para el mes de junio.

La conversión de bolívares a dólares fue realizada con tasa SIMADI, a 199.56 bsF por dólar.

Importando el driver:

Las opciones más favorables se consideraron en la siguiente tabla. El peso de la carcasa equivale a 1.6 kg, el peso del asa equivale a 0.6 kg, el peso de cada abrazadera es de 0.08 kg y el peso de la lámina reflectora de aluminio es de 0.4kg. Los precios de toneladas son llevados a su equivalente en kg de cada una de las piezas que requieran de aluminio puro como materia prima. Se usará difusor de vidrio para evitar el

deslumbramiento y hacer un equipo más seguro para los usuarios, además de ser también la opción más económica:

Tabla 4.11 – Costo por unidades para el ensamblado de un reflector LED. Fuente: Elaboración propia.

Pieza	Fabricante	Precio	Cantidad
Carcasa	Xiamen Stick Industry Co.	0,2\$	1 pza
Lámina	Flamingo	0.05\$	1 pza
Abrazadera	Acilum	0.034\$	8 pzas
Asa	Acilum	0.032\$	1 pza
Tornillos	Nanchang Nande Industrial Co.	0,042\$	14 pza
Chips	Bridgelux	15\$	1 pza
Drivers	Meanwell	25\$	1 pza
Cables	TFKable	1\$	1 metro.
Vidrio	Taian Saintly Glass Co.	20\$	1 pza
Goma	Dongguan Universe Plastic Co. (2000\$)	0,04\$	1 pza

Capítulo 4. Análisis y Discusión de Resultados.

El precio total de 1 luminaria es de 43.19\$. Estos precios no incluyen costo de importación de los materiales traídos del exterior.

El precio total de la lista de herramientas es de 666\$.

El precio de los lingotes de aluminio aleación AlSi, es de 2400\$/tonelada. Recordando que la carcasa pesa 1.6 kg y es el único elemento que está hecho de esta aleación, decimos que para cada carcasa se necesitan 3.84\$ en lingotes de aluminio aleación AlSi [29]

Excluyendo el precio de la lista de herramientas, el reflector tendría un costo de 47\$ por cada pieza.

Fabricando el driver:

Tabla 4.12 – Componentes del Driver a ser construido. Fuente: elaboración propia.

Driver				
Componente	Fabricante	Especificación	Precio	Cantidad
Capacitores	RichartForYou	1uF a 2200uF	0.04\$	1pc
Inductores	PartsDIY	1uH a 100mH	0.05\$	1pc
Transformadores	-	Toroide	10\$	1pc
Puente rectificador	Amico	RS606	2\$	1pc
Circuito control	Linear Technologies	LT1249	3.3\$	1pc
Switch IGBT	Amico	FGL60N100BNTD	6.47\$	1pc

Para un total de 21.86 \$. Sin incluir superficie de montaje, ni otras consideraciones adicionales. Tiene un precio parecido al del driver Meanwell. Con esto, la luminaria costaría 40.05\$ en vez de 43.19\$, pero involucraría más trabajo de ingeniería en diseño de circuitos electrónicos, laboratorios equipados para hacer pruebas y mediciones, además del personal capacitado para el diseño de estos.

4.4.3 Evaluar la situación de escasez de cable en el país, y ver si también es necesario importar el cable que usa el DRIVER.

Actualmente el país pasa por una crisis económica, que lastima a todos por igual. En conversaciones con el ingeniero Flavio, presidente de Funyara C.A. ha quedado marcada la dificultad que simboliza producir en este país el día de hoy.

Por lo complicado que es encontrar materia prima o empresas que trabajan con ella, se propone otra alternativa importando todos los materiales y equipos. Excluyendo totalmente a los fabricantes nacionales, en caso que las complicaciones se conviertan en un factor de traba y necesariamente deban importarse todas las partes para armar el equipo.

Tabla 4.13 – Tabla de precios de solo materiales importados. Fuente: Elaboración propia.

Pieza	Fabricante	Precio	Cantidad
Carcasa	Xiamen Stick Industry Co.	0,2\$	1 pza
Lámina	Zhengzhou Haomei Industrial Co.	1\$	1 pza
Abrazadera	Jiangysu Chenglong Aluminum Co.	1.79\$	8 Pza
Asa	Jiangysu Chenglong Aluminum Co.	1.5\$	1 Pza
Tornillos	Nanchang Nande Industrial Co.	0,028\$	14 pzas
Chips	Bridgelux	15\$	1 pza
Drivers	Meanwell	25\$	1 pza
Cables	TFKable	1\$	1 metro.
Vidrio	Taian Saintly Glass Co.	20\$	1 pza
Goma	Dongguan Universe Plastic Co. (2000\$)	0,04\$	1 pza

Capítulo 4. Análisis y Discusión de Resultados.

El precio de la luminaria sería de 65.5\$. Eso equivale a un aumento de 51% en caso de importar el driver y un aumento del 63% para el caso en el que se construye el driver en Venezuela.

Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones.

En este capítulo se mencionan brevemente los resultados de este trabajo de grado y la factibilidad para su futura realización.

La luminaria LED tipo reflector, con un chip semiconductor de 50 W, es un equipo que demuestra muchísima eficiencia en términos energéticos. Sin embargo, su diseño está ligado a muchas variables, siendo la temperatura, el factor de potencia y la materia prima necesaria para construirse en este país los puntos más críticos de diseño.

A lo largo de este trabajo de grado, conocimos y describimos cada parte involucrada en el funcionamiento de la lámpara, esto nos sirvió para adentrarnos en los diferentes procesos por los que pasa cada pieza y componente necesaria para armarla. Luego el enfoque se centra en la calidad de la energía del LED. Al ser una carga no-lineal, introduce armónicos que distorsionan la corriente de la RED, ocasionando una disminución en el factor de potencia. Para lograr hacer de LED los equipos eficientes por los que son conocidos, es necesario corregir el factor de potencia por alguno de los métodos que fue mencionado brevemente en la segunda fase, haciendo énfasis en solamente uno de ellos, el control de corriente promedio. Esta técnica ha demostrado ser muy eficiente a nivel de simulación, pues el factor de potencia alcanzó un valor cercano a la unidad. Posteriormente, pasamos a listar los procesos por los que pasa cada pieza y los fabricantes que las producen tanto en territorio nacional como internacional, esto nos dio una idea para afrontar la 4ta y última fase de la investigación, en la que buscando la opción menos costosa e involucrando al mismo

Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones.

tiempo la mayor cantidad de fabricantes venezolanos, se calcula el precio que supondría fabricar cada uno de los reflectores. Dando por terminado esta investigación.

Como recomendaciones, se han enlistado a continuación:

- 1) La necesidad de un programa que nazca de fuertes lazos entre industria y universidad. De este modo el estudiante puede adquirir conocimientos técnicos sobre LED y aportar ideas que nos acerquen a un mejor diseño de la misma. Dicho programa se ha implementado en china, uno de los mercados más importantes en LED y ha tenido mucho éxito [12].
- 2) De todos los métodos de corrección de factor de potencia en modo conducción continua, solo se pasó por el de corriente promedio. Queda propuesto comparar y analizar los 6 métodos restantes, de modo que podamos tomar una mejor decisión sobre qué técnica usar para este fin.
- 3) Existen diferentes topologías para convertidores DC-DC. Actualmente existen drivers multivariables (80-270 VAC), dichos rangos de entrada de voltaje pueden conseguirse implementando Convertidores Buck-Boost. Debe estudiarse la posibilidad de la aplicación de filtros activos en esta topología y cuál sería la mejor alternativa, si existe una.
- 4) Para futuros diseños del driver, emplear LTSpice o un software similar, para validar el diseño con un programa diferente a Simulink.
- 5) En Venezuela no existe una sola fábrica de semiconductores. Estando el sector industrial tan lleno de necesidades, es necesario realizar una propuesta evaluando la factibilidad de un módulo que permita construir semiconductores en Venezuela. Esto traerá desarrollo científico a los profesionales de ingeniería y electricidad en general dentro del país, y permitirá no solamente sentar las bases para empezar a fabricar Chips para lámparas LED, sino que podrá

diversificarse para cubrir las necesidades que existen en circuitos integrados como Puentes Rectificadores.

- 6) El estudio de la propagación de calor sobre sólidos es un aspecto vital de LED. Actualmente, es posible estudiar esto a través de software computacional. Existen métodos como el de Diferencias Finitas o también simulación Hygro-Térmica [30]. Esto ayudará a validar diseños propios y funcionales, debido a que la disipación del calor es vital para el funcionamiento de estos equipos.
- 7) Aplicar el estudio realizado a otros tipos de luminarias, como el tubo T8 [31], lámparas PL, Spotlights, campanas y muchas otras más.
- 8) Describir de forma más acertada el rol que juega la pasta térmica y el disipador de calor en el circuito térmico equivalente del LED, con el objetivo de disminuir la problemática de las temperaturas altas.
- 9) Considerar el re-dimensionamiento del disipador. Haciendo uso de cámaras termográficas, métodos computacionales y la asistencia de un experto en materiales.
- 10) Hacer un estudio de factibilidad que involucre una planta con todos los procesos descritos en la fase 3 de este trabajo de grado. Que señale el tiempo en que se recuperará la inversión para adquirir las máquinas, el espacio físico y el personal capacitado para trabajar, además de la materia prima.
- 11) Realizar un trabajo de investigación que se dedique solamente al diseño del chip semiconductor [32].
- 12) Combinación de filtros activos y pasivos para mejorar el factor de potencia. En caso de cargas más grandes, emplear dicha combinación y encontrar una relación cuantitativa que permita dimensionar el filtro adecuado dada una carga determinada. En este trabajo se empleó dicha combinación, pero la mejora del factor de potencia se realizó de forma experimental (variando parámetros de un filtro L).

Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones.

Referencias

- [1] V. y. s. Historia, «<http://venezuelaysuhistoria.blogspot.com/>,» 10 01 2010. [En línea]. Available: http://venezuelaysuhistoria.blogspot.com/2010/01/historia-de-la-electricidad-en_26.html . [Último acceso: 20 06 2015].
- [2] Asociación Integral de Políticas Públicas, «Crisis Energética en Venezuela,» Caracas, 2006.
- [3] Ministerio del Poder Popular Para la Energía Eléctrica, «Anuario Estadístico,» Caracas, 2011.
- [4] VTV, «<http://www.vtv.gob.ve/>,» 29 12 2012. [En línea]. Available: Micro Leds en la Victoria (<http://www.vtv.gob.ve/articulos/2012/12/29/primera-fabrica-venezolana-de-luminarias-micro-led-funcionara-en-2013-4814.html>). [Último acceso: 25 06 2015].
- [5] IESNA, «Technical Memorandum on Light Emitting Diodes Sources and Systems,» Nueva York, Estados Unidos, 2002.
- [6] IESNA, «Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products,» Nueva York, Estados Unidos, 2008.
- [7] Rensselaer Polytechnic Institute, «<http://www.lrc.rpi.edu/>,» [En línea]. Available: <http://www.lrc.rpi.edu/programs/solidstate/SSLWhat.asp>. [Último acceso: 17 04 2015].
- [8] W. Y. Y. Liu, «Designing of LED Illuminating System and Testing Notice,» de *WASE International Conference on Information Engineering*, 2009.
- [9] F. Nathaniel, «Estudio de Factibilidad de un Sistema Fotovoltáico Para Luminarias LED en Showroom de Equiposol C.A,» Caracas, Venezuela, 2013.

- [10] H. H. R. Ganslandt, *Cómo Planificar con la Luz*, ERCO Edición, 1992.
- [11] SENCAMER, «Iluminancias en Tareas y Áreas de Trabajo,» Caracas, 1993.
- [12] M. C. Y. K. Y. S. S. CHang, «A Simulation-Based LED Design Project in Photonics Instruction Based on Industry-University Collaboration,» de *IEEE Transactions on Education*, 2011.
- [13] SAGET C.A., «Catálogo de Productos,» Valencia, Carabobo, 2015.
- [14] D. W. Hart, *Electrónica de Potencia*, Madrid: Prentice Hall, 2001.
- [15] R. Muhammad H, *Power Electronics Handbook*, San Diego: Academic Press, 2001.
- [16] G. S. P. T. L. Rossetto, «Control Techniques for Power Factor Correction Converters,» Padova, Italia.
- [17] SENCAMER, «Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos,» Caracas, Venezuela, 2004.
- [18] CODELECTRA, «Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos,» Caracas, Venezuela, 2004.
- [19] F. Arias, «El Proyecto de Investigación (2da Edición),» Editorial Episteme, Caracas, Venezuela, 2006.
- [20] S. V. C. Seijas, *Apuntes de Electrónica 3*, Valencia, Carabobo, 2010.
- [21] N. Mohan, *Power Electronics*, 3era edición., Editorial Willey & Sons., 2013.
- [22] L. Dixon, *Average Current Mode Control for Switching Power Supplies*, 1999.
- [23] Bridgelux, *Bridgelux Blue Power Die*, 2014.
- [24] G. B. B. H. P. S. Mashkov P., *Led lamp - Design and thermal management investigations*, Ruse, Bulgaria, 2012.
- [25] TALAT, «Aluminium: Physical Properties, characteristics and alloys.,» 1999.
- [26] TFKable, *Ficha Técnica de Cable H05RN-F*.

- [27] S. Kapalkjian, *Manufacturing Engineering and Technology*. 7a edición., Prentice Hall, 2013.
- [28] Index Mundi, «<http://www.indexmundi.com/>,» [En línea]. Available: <http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=aluminio&meses=180&moneda=vef>. [Último acceso: 30 07 2015].
- [29] Shanghai Metals Market, « <http://www.metal.com/>,» [En línea]. Available: <http://www.metal.com/metals/aluminum/prices>. [Último acceso: 30 07 2015].
- [30] D. Y. H. T. M. C. P. Zeng, «Hygro-Thermo-Mechanical Modeling of Led Luminaires,» de *14th International Conference on Electronic Packaging Technology*, 2013.
- [31] Y. A. H. A. T. Gao, «LED Fluorescent Lamp Design,» 2011.
- [32] N. Linder, «Advanced Industrial Design Methods for LED,» de *OSRAM Opto Semiconductors. NUSOD 2006.*, Regensburg, Germany, 2006.

Anexos

A.1. Formato para la lista de materiales

Materiales y Componentes	Fabricantes	Cantidad
Carcasa		
Lámina Aluminio		
Abrazaderas		
Asa		
Tornillos		
Chips		
Drivers		
Cables		
Vidrio		
Goma		
Capacitores		
Inductores		
Transformadores		
Puente rectificador		
Circuito control		
Switch IGBT		

A.2. Formato para la lista de herramientas menores y equipamiento del proceso de fabricación.

Herramientas	
Nombre	Cantidad
Destornillador de estría	
Llave Allen	
Cautín	
Estaño	
Silicón gris	
Grapas	
Multímetro	

A.3. Competencias técnicas del personal involucrado en la fabricación.

Las personas encargadas del ensamblaje del reflector, deben tener instrucción técnica en electricidad de manera obligatoria como requisito mínimo.

Las personas encargadas de llevar el almacén deben tener instrucción técnica en administración de manera obligatoria como requisito mínimo.

Las personas encargadas del área de troqueles y del torno, deben tener instrucción técnica en mecánica obligatoriamente. Estarán ahí, para solventar problemas y brindar apoyo en su área.

Las personas encargadas de empacar el equipo deben tener por lo menos instrucción en cualquier rama técnica para realizar este trabajo. Deberá coordinar con almacén para llevar un control de los equipos que salen respecto del material que entra.

Los supervisores deben tener cargo de técnico electricista como mínimo. Se recomienda que la persona encargada de supervisar sea un ingeniero en electrónica o electricista.

A.4. Listado de fabricantes por proceso de fabricación.

Pieza	Fabricante
Carcasa	Xiamen Stick Industry Co.
Lámina	Flamingo
Abrazadera	Acrilum
Asa	Acrilum
Tornillos	Nanchang Nande Industrial Co.
Chips	Bridgelux
Drivers	Meanwell
Cables	TFKable
Vidrio	Taian Saintly Glass Co.
Goma	Dongguan Universe Plastic Co.

Capacitores	RichartForYou
Inductores	PartsDIY
Transformadores	-

Puente rectificador	Amico
Circuito control	Linear Technologies
Switch IGBT	Amico

A.5. Circuito Integrado para Control de Corriente Promedio.



FEATURES

- High Power Factor Over Wide Load Range with Line Current Averaging
- International Operation Without Switches
- Instantaneous Overvoltage Protection
- Minimal Line Current Dead Zone
- Typical 250µA Start-Up Supply Current
- Rejects Line Switching Noise
- Synchronization Capability
- Low Quiescent Current: 9mA
- Fast 1.5A Peak Current Gate Driver

APPLICATIONS

- Universal Power Factor Corrected Power Supplies
- Preregulators Up To 1500W

DESCRIPTION

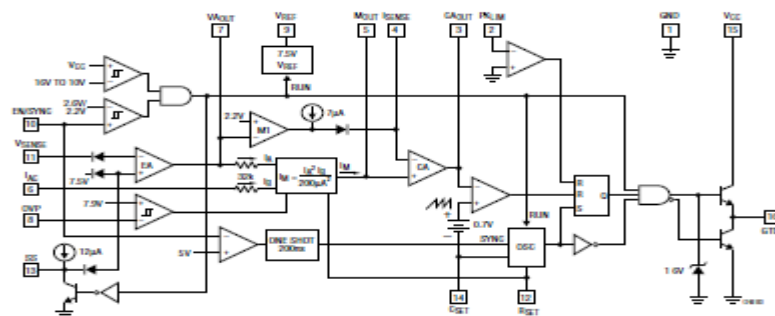
The LT[®]1248 provides active power factor correction for universal off-line power systems. By using fixed high frequency PWM current averaging, without the need for slope compensation, the LT1248 achieves far lower line current distortion with a smaller magnetic element than systems that use either peak-current detection or zero current switching approaches in both continuous and discontinuous modes of operation.

The LT1248 uses a multiplier containing a square gain function from the voltage amplifier to reduce the AC gain at light output load and thus maintains low line current distortion and high system stability. The LT1248 also provides filtering capability to reject line switching noise which can cause instability when fed into the multiplier. Line current dead zone is minimized with low bias voltage at the current input to the multiplier.

The LT1248 provides many protection features including peak current limiting and overvoltage protection, and can be operated at frequencies as high as 300kHz.

LT, LTC and LT are registered trademarks of Linear Technology Corporation.

BLOCK DIAGRAM



LT1248

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

(Note 1)

Supply Voltage	27V
GTDR Current Continuous	0.5A
GTDR Output Energy(Per Cycle)	5 μ J
I _{AC} , R _{SET} , PK _{LIM} Input Current	20mA
V _{SENSE} , EN/SYNC, OVP Input Voltage	V _{MAX}
I _{SENSE} , M _{OUT} Input Current	\pm 5mA
Operating Junction Temperature Range	
LT1248C	0°C to 100°C
LT1248I	-40°C to 125°C
Thermal Resistance (Junction-to-Ambient)	
N Package	100°C/W
S Package	120°C/W
Storage Temperature Range	-65°C to 150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	300°C

PACKAGE/ORDER INFORMATION

<p>TOP VIEW</p> <p>N PACKAGE 16-LEAD PDIP</p> <p>S PACKAGE 16-LEAD NARROW PLASTIC SO</p> <p>T_{MAX} = 125°C, θ_{JA} = 100°C/W (N) T_{MAX} = 125°C, θ_{JA} = 120°C/W (S)</p> <p>Consult factory for Military grade parts.</p>	ORDER PART NUMBER
	LT1248CN LT1248IN LT1248CS LT1248IS

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

The ● denotes specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at T_A = 25°C. Maximum operating voltage (V_{MAX}) = 25V, V_{CC} = 18V, R_{SET} = 15k to GND, C_{SET} = 1nF to GND, I_{AC} = 100 μ A, I_{SENSE} = 0V, CA_{OUT} = 3.5V, VA_{OUT} = 5V, OVP = 7.5V, no load on any outputs, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Overall						
Supply Current (V _{CC} in Undervoltage Lockout)	V _{CC} = Lockout Voltage - 0.2V	●	0.25	0.45	mA	
Supply Current (inactive)	EN/SYNC = 0V, V _{CC} \leq V _{MAX}	●	0.5	1.5	mA	
Supply Current, On	11.5V \leq V _{CC} \leq V _{MAX} , CA _{OUT} = 1V	●	8.5	12.0	mA	
V _{CC} Turn-On Threshold (Undervoltage Lockout)		●	15.5	16.5	17.5	V
V _{CC} Turn-Off Threshold		●	9.5	10.5	11.5	V
EN/SYNC Threshold, Rising		●	2.2	2.6	2.85	V
EN/SYNC Threshold Hysteresis			0.40		V	
EN/SYNC Input Current	EN/SYNC = 0V 3V \leq EN/SYNC \leq 7V	●	-5	-1	5	μ A
Voltage Amplifier						
Voltage Amp Offset Voltage	VA _{OUT} = 3.5V	●	-8	8	mV	
Input Bias Current	V _{SENSE} = 0V to 7V	●	-25	-250	nA	
Voltage Gain			70	100	dB	
Voltage Amp Unity-Gain Bandwidth			3		MHz	
Voltage Amp Output High (Internally Clamped)		●	11.3	13.3	V	
Voltage Amp Output Low		●	1.1	2	V	
Voltage Amp Short-Circuit Current	VA _{OUT} = 0V	●	5	14	30	mA
SS Current	SS = 2.5V	●	5	12	30	μ A
Current Amplifier						
Current Amp Offset Voltage		●	\pm 1	\pm 4	mV	
I _{SENSE} Bias Current		●	-25	-250	nA	
Current Amp Voltage Gain			80	110	dB	
Current Amp Unity-Gain Bandwidth			3		MHz	
Current Amp Output High		●	7.2	8.5	V	
Current Amp Output Low		●	1.1	2	V	

LT1248

ELECTRICAL CHARACTERISTICS The ● denotes specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at $T_A = 25^\circ\text{C}$. Maximum operating voltage (V_{MAX}) = 25V, $V_{CC} = 18\text{V}$, $R_{SET} = 15\text{k}$ to GND, $C_{SET} = 1\text{nF}$ to GND, $I_{AC} = 100\mu\text{A}$, $I_{SENSE} = 0\text{V}$, $C_{AOUT} = 3.5\text{V}$, $V_{AOUT} = 5\text{V}$, $OVP = 7.5\text{V}$, no load on any outputs, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Current Amplifier						
Current Amp Short-Circuit Current	$C_{AOUT} = 0\text{V}$	●	5	14	30	mA
Input Range, I_{SENSE} , M_{OUT} (Linear Operation)		●	-0.3		1	V
Reference						
Reference Output Voltage	$I_{REF} = 0\text{mA}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		7.39	7.50	7.60	V
V_{REF} Load Regulation	$-5\text{mA} < I_{REF} < 0\text{mA}$			5		mV
V_{REF} Line Regulation	$11.5\text{V} < V_{CC} < V_{MAX}$	●	-20	5	20	mV
V_{REF} Short-Circuit Current	$V_{REF} = 0\text{V}$	●	12	28	50	mA
V_{REF} Worst Case	Load, Line, Temperature	●	7.32	7.5	7.68	V
Current Limit						
PK_{LM} Offset Voltage		●	-15		15	mV
PK_{LM} Input Current	$PK_{LM} = -0.1\text{V}$	●		-60	-100	μA
PK_{LM} to GTDR Propagation Delay	PK_{LM} Falling from 50mV to -50mV			400		ns
Multiplexer						
Multiplexer Output Current	$I_{AC} = 100\mu\text{A}$, $R_{SET} = 15\text{k}$			35		μA
Multiplexer Output Current Offset	$R_{AC} = 1\text{M}$ from I_{AC} to GND	●		-0.05	-0.5	μA
Multiplexer Maximum Output Current	$I_{AC} = 450\mu\text{A}$, $R_{SET} = 15\text{k}$, $V_{AOUT} = 7\text{V}$, $M_{OUT} = 0\text{V}$	●	-286	-260	-235	μA
Multiplexer Gain Constant (Note 2)				0.035		V^{-2}
I_{AC} Input Resistance	I_{AC} from 50 μA to 1mA		15	32	50	k Ω
Oscillator						
Oscillator Frequency	$R_{SET} = 15\text{k}$, $C_{SET} = 1000\text{pF}$ $R_{SET} = 15\text{k}$, $C_{SET} = 1500\text{pF}$	●	85	100	115	kHz
C_{SET} Ramp Peak-to-Peak Amplitude			4.35	4.7	5.0	V
C_{SET} Ramp Valley Voltage			1.25	1.4	1.55	V
Synchronization Pulse Threshold on EN/SYNC Pin	Pulse Low = 3.5V, High = 7V, Width > 200ns		4.5	5.6	6.5	V
Synchronization Frequency Range	$R_{SET} = 15\text{k}$, $C_{SET} = 1000\text{pF}$	●	1.2		1.6	f _{NOM}
Overvoltage Comparator						
Comparator Trip Voltage Ratio (V_{TRIP}/V_{REF})		●	1.04	1.05	1.06	
Hysteresis				0.35		V
OVP Bias Current	$OVP = 7.5\text{V}$	●		-50	-250	nA
OVP Propagation Delay				100		ns
Gate Driver						
Max GTDR Output Voltage	0mA Load, $18\text{V} < V_{CC}$	●	12	15	17.5	V
GTDR Output High	-200mA Load, $11.5\text{V} < V_{CC} < 15\text{V}$	●	$V_{CC} - 3.0$			V
GTDR Output Low (Device Unpowered)	$V_{CC} = 0\text{V}$, 50mA Load (Sinking)	●		0.9	1.5	V
GTDR Output Low (Device Active)	200mA Load (Sinking) 10mA Load	●		0.5	1	V
		●		0.2	0.4	V
Peak GTDR Current	10nF from GTDR to GND			2		A
GTDR Rise and Fall Time	1nF from GTDR to GND			25		ns
GTDR Max Duty Cycle			90	96		%

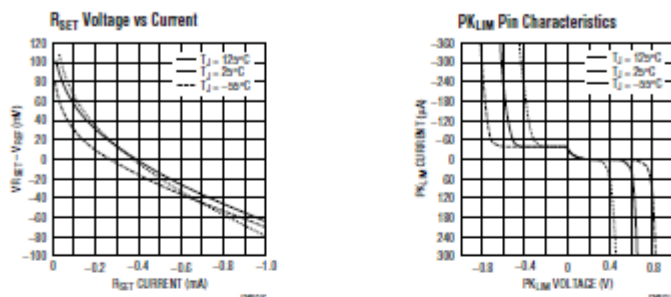
Note 1: Absolute Maximum Ratings are those values beyond which the life of a device may be impaired

Note 2: Multiplexer Gain Constant: $K = \frac{I_M}{I_{AC}(V_{AOUT} - 2)^2}$



LT1248

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS



PIN FUNCTIONS

Pin 1 (GND).

Pin 2 (PKLIM): The threshold of the peak current limit comparator is GND. To set current limit, a resistor divider can be connected from VREF to current sense resistor.

Pin 3 (CAOUT): This is the output of the current amplifier that senses and forces the line current to follow the reference signal that comes from the multiplier by commanding the pulse width modulator. When CAOUT is low, the modulator has zero duty cycle.

Pin 4 (ISENSE): This is the inverting input of the current amplifier. This pin is clamped at -0.6V by an ESD protection diode.

Pin 5 (MOUT): This is the multiplier high impedance current output and the noninverting input of the current amplifier. This pin is clamped at -0.6V and 2V .

Pin 6 (IAC): This is the AC line voltage sensing input to the multiplier. It is a current input that is biased at 2V to minimize the crossover dead zone caused by low line voltage. At the pin, a 32k resistor is in series with the current input, so that a lowpass RC can be used to filter out the switching noise from the high impedance lines.

Pin 7 (VAOUT): This is the output of the voltage error amplifier. The output is clamped at 13.5V . When the output goes below 2.5V , the multiplier output current is zero.

Pin 8 (OVP): This is the input to the overvoltage comparator. The threshold is 1.05 times the reference voltage. When the comparator trips, the multiplier is quickly inhibited and outputs no current. Figure 4 in the Applications Information section shows how to set overvoltage threshold with only one additional resistor.

Pin 9 (VREF): This is the 7.5V reference. When either VCC or EN/SYNC goes low, VREF will stay at 0V . VREF biases most of the internal circuitry and can source up to 5mA externally.

Pin 10 (EN/SYNC): This pin has two functions. When it goes below 2.6V , the chip goes into shutdown mode and draws little current. Pulses at this pin that go below the 5V threshold will synchronize the chip. The synchronizing pulses should have an on-time of at least 200ns for the LT1248 resetting circuit to work.

Pin 11 (VSENSE): This is the inverting input to the voltage amplifier.

PIN FUNCTIONS

Pin 12 (R_{SET}): A resistor from R_{SET} to GND sets the oscillator charging current and the maximum multiplier output current which is used to limit the maximum line current.

$$I_{M(MAX)} = 3.75V/R_{SET}$$

Pin 13 (SS): Soft-Start. When either V_{CC} or EN/SYNC goes low, the SS pin will stay at 0V. With a capacitor from the pin to GND, the 12μA charging current slowly brings up the SS to 8V; below 7.5V SS is the reference input to the voltage amplifier. At supply dropout or EN/SYNC low, the soft start capacitor will be quickly discharged.

Pin 14 (C_{SET}): The capacitor from this pin to GND, and R_{SET}, determine oscillator frequency. The oscillator ramp is 5V, and the frequency = 1.5/(R_{SET} • C_{SET}).

Pin 15 (V_{CC}): This is the supply for the chip. The LT1248 has a very fast gate driver required to fast charge high power MOSFET gate capacitance. High current spikes occur during charging. For good supply bypass, a 0.1μF ceramic capacitor in parallel with a low ESR electrolytic capacitor, 56μF or higher is required in close proximity to IC GND.

Pin 16 (GTDR): The MOSFET gate driver is a 1.5A fast totem pole output. It is clamped at 15V, but capacitive loads like MOSFET gates may cause overshoot. A gate series resistor of at least 5Ω will prevent the overshoot.

APPLICATIONS INFORMATION

Error Amplifier

The error amplifier has a 100dB DC gain and 3MHz unity-gain frequency. The output is internally clamped at 13.5V. The noninverting input is tied to the 7.5V V_{REF} through a diode and can be pulled down from the SS (soft-start) pin.

Current Amplifier

The current amplifier has a 110dB DC gain, 3MHz unity-gain frequency, and a 2V/μs slew rate. It is internally clamped at 8.5V. Note that in the current averaging operation, high gain at twice the line frequency is necessary to minimize line current distortion. Because C_{AOUT} may need to swing 5V over one line cycle at high line condition, 14mV AC will be needed at the inputs of the current amplifier for a gain of 350 at 120Hz. Especially at light load when the current loop reference signal is small, lower gain will distort the reference signal and line current. If signal gain at switching frequency is too high, the system behaves more like a current mode system and can cause subharmonic oscillation. Therefore, the current amplifier should be compensated to have a gain of less than 15 at the switching frequency, but more than 250 at twice the line frequency.

Multiplier

The multiplier is a current multiplier with high noise immunity in a high power switching environment. The current gain is: $I_M = (I_{AC} \cdot I_{EA}^2) / (200\mu A)^2$, with $I_{EA} = (V_{AOUT} - 2V) / 25k$. With a square function, because of the lower gain at light power load, system stability is maintained and line current distortion caused by the line frequency AC

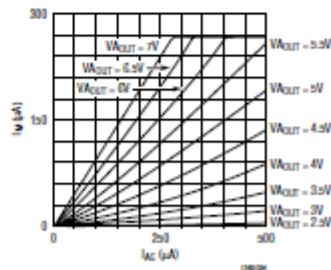


Figure 1. Multiplier Current I_M vs I_{AC} and V_{AOUT}

LT1248

APPLICATIONS INFORMATION

ripple fed back to the error amplifier is minimized. Note that switching ripple on the high impedance lines could get into the multiplier from the I_{AC} pin and cause instability. The LT1248 provides an internal 25k resistor in series with the low impedance multiplier current input so that only a capacitor from the I_{AC} pin to GND is needed to filter out the noise. The maximum multiplier output current, which limits the system line current, is set by the R_{SET} according to the formula: I_{M(MAX)} = 3.75V/R_{SET}.

Oscillator Frequency and Maximum Line Current Settling

Oscillator frequency is set by R_{SET} and C_{SET}. Ramp amplitude is 5V and C_{SET} charging current is set by V_{REF}/R_{SET}. Typical discharging time for C_{SET} = 1nF is 250ns. R_{SET} should always be determined first to set the maximum multiplier output current for system line current limit. For a 300W preregulator, with R_{SET} = 15k, I_{M(MAX)} = 3.75V/15k = 250µA. With a 4k resistor R_{REF} from M_{OUT} to the 0.2Ω line current sense resistor R_S, the line current limit is: (I_M • 4k)/R_S. As a general rule, R_S is chosen according to:

$$R_S = \frac{I_{M(MAX)} \cdot R_{REF} \cdot V_{LINE(MIN)}}{K(1.414)P_{OUT(MAX)}}$$

where P_{OUT(MAX)} is the maximum power output and K is usually between 1.1 and 1.3 depending on efficiency and resistor tolerance. With R_{SET} selected, C_{SET} can then be determined by: C_{SET} = 1.5/(Frequency • R_{SET}). For 100kHz, C_{SET} = 1.5/(100kHz • 15k) = 1nF. For optional double protection, the LT1248 provides a current limit comparator. When the comparator trips at 0V, the GTDR pin quickly goes low to shut off the MOS switch. A resistor divider from V_{REF} to R_S (Figure 2) senses the voltage across the line current sense resistor and the current limit is set by: I_{LINE} = [(7.5V/R1) + 50µA](R2/R_S), where 50µA is I_{PKLIM}.

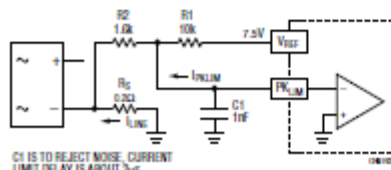


Figure 2

With I_{LINE} and R_S chosen, let R1 = 10k, then R2 = (I_{LINE} • R_S)/0.8mA.

Always use R_{SET} to set the primary line current limit. The PK_{LIM} comparator is only for secondary protection. The secondary limit should be higher than the primary limit; 6.5A is good (5A for primary limit) for a 300W regulator. When line current reaches the primary limit, V_{OUT} drops to keep the line current constant, and system stability is still maintained by the current loop which is controlled by the current amplifier. When line current reaches the secondary limit, the comparator controls the system and loop hysteresis may occur and can cause audible noise.

Synchronization

The LT1248 can be synchronized to a frequency that is up to 1.6 times the natural frequency. With a 200ns one-shot timer on-chip, the LT1248 provides flexibility on the synchronizing pulse width. Because the EN/SYNC pin also serves the chip shutdown function, the pulses at the pin should not go below 3V and must go below 5V with widths greater than 200ns. The Figure 3 circuit will synchronize the LT1248.

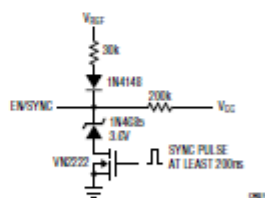


Figure 3

Overvoltage Protection

Because of the slow loop response necessary for power factor correction, output overshoot can occur with sudden load removal or reduction. To protect the power components and output load, the LT1248 provides an overvoltage comparator which senses the output voltage and quickly shuts off the current switch. In Figure 4, because there is no DC current going through R3, R1 and R2 set the regulator output DC level: V_{OUT} = V_{REF}[(R1 + R2)/R2], with R1 = 1M, R2 = 20k, V_{OUT} is 382V.

APPLICATIONS INFORMATION

Note that V_{SENSE} is the summing node and it stays at 7.5V. When overshoot occurs on V_{OUT} , the overcurrent from R1 will go through R2 as well as R3. Amplifier feedback will keep V_{SENSE} locked at 7.5V. The equivalent AC resistance, seen by the comparator input pin OVP, is R2 in parallel with R3, which is 10k. Therefore, with the comparator trip level of $1.05V_{REF}$ and R3 of 20k, the comparator trips when V_{OUT} overshoot exceeds 10%. Overvoltage trip level:

$$\%V_{OUT} = 5\% \left(\frac{R2 + R3}{R3} \right)$$

M_{OUT} is a high impedance current output. In the current loop, offset line current is determined by multiplier offset current and input offset voltage of the current amplifier. A $-4mV$ current amplifier V_{OS} translates into 20mA line current and 5W input power for 250V line if 0.2Ω sense resistor is used. Under no load or when the load power is less than this offset input power, V_{OUT} would slowly charge up to an overvoltage state because the overvoltage comparator can only reduce multiplier output current to zero. This does not guarantee zero output current if the current amplifier has offset. To regulate V_{OUT} under this condition, the amplifier M1 (see Block Diagram), becomes active in the current loop when $V_{A_{OUT}}$ goes down to 2.2V. The M1 can put out up to 7μA to the resistor at the I_{SENSE} pin to cancel any current amplifier negative V_{OS} and keep V_{OUT} error to within 2V.

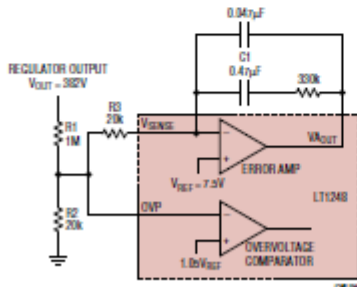


Figure 4

Undervoltage Lockout

The LT1248 turns on when V_{CC} is higher than 16V and remains on until V_{CC} falls below 10V, whereupon the chip enters the lockout state. In the lockout state, the LT1248 only draws 250μA, the oscillator is off, and the V_{REF} and the GTDR pins remain low to keep the power MOSFET off.

Start-Up and Supply Voltage

The LT1248 draws only 250μA before the chip starts at 16V on V_{CC} . To trickle start, a 90k resistor from the power line to V_{CC} supplies the trickle current and C4 holds the V_{CC} up while switching starts. Then the auxiliary winding takes over and supplies the operating current. Note that D3 and the large value C3, in both Figures 5 and 6, are only necessary for systems that have sudden large load variation down to minimum load and/or very light load conditions. Under these conditions, the loop may exhibit a start/restart mode because switching remains off long enough for C4 to discharge below 10V. The C3 will hold V_{CC} up until switching resumes. For less severe load variations, D3 is replaced with a short and C3 is omitted. The turns ratio between the primary winding and the auxiliary winding determines V_{CC} according to:

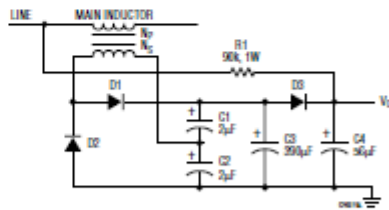


Figure 5

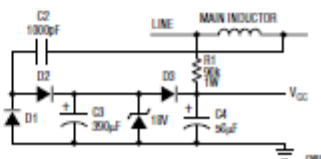


Figure 6

LT1248

APPLICATIONS INFORMATION

$$V_{OUT}/(V_{CC} - 2V) = Np/Ns.$$

For 382V V_{OUT} and 18V V_{CC} , $Np/Ns = 19$.

In Figure 6, a new technique for supply voltage eliminates the need for an extra inductor winding. It uses capacitor charge transfer to generate a constant current source which feeds a Zener diode. Current to the Zener is equal to $(V_{OUT} - V_Z)/(C)(f)$, where V_Z is Zener voltage and f is switching frequency. For $V_{OUT} = 382V$, $V_Z = 18V$, $C = 1000pF$, and $f = 100kHz$, Zener current will be 36mA. This is enough to operate the LT1248, including the FET gate drive. Normally soft-start is not needed because the LT1248 has overcurrent limit and overvoltage protection. If soft-start is used with a 0.01 μF capacitor on SS pin, V_{OUT} ramps up slower during start-up. Then C4 has to hold V_{CC} longer, and the circuit may not start. Increasing C4 to 100 μF ensures start-up, but start-up time will be extended if the same 90k trickle charge resistor is used.

Output Capacitor

The peak-to-peak 120Hz output ripple is determined by:

$$V_{P-P} = (2) (I_{LOAD(DC)})(Z)$$

where $I_{LOAD(DC)}$: DC load current.

Z: capacitor impedance at 120Hz.

For 180 μF at 300W load, $I_{LOAD(DC)} = 300W/385V = 0.78A$, $V_{P-P} = 2 \cdot 0.78A \cdot 7.4\Omega = 11.5V$. If less ripple is desired, higher capacitance should be used. The selection of the output capacitor should also be based on the operating ripple current through the capacitor. The ripple current can be divided into three major components. The first is at 120Hz; it's RMS value is related to the DC load current as follows:

$$I_{1RMS} = 0.71 \cdot I_{LOAD(DC)}$$

The second component contains the PF switching frequency ripple current and its harmonics. Analysis of the ripple is complicated because it is modulated with a 120Hz signal. However computer numerical integration and Fourier analysis approximate the RMS value reasonably close to the bench measurements. The RMS value is about 0.82A at a typical condition of 120VAC, 200W load. This ripple is line-voltage dependent, and the worst case is at low line.

$$I_{2RMS} = 0.82A \text{ at } 120VAC, 200W$$

The third component is the switching ripple from the load, if the load is a switching regulator.

$$I_{3RMS} = I_{LOAD(DC)}$$

For the United Chemicon KMH 400V capacitor series, ripple current multiplier for currents at 100kHz is 1.43. The equivalent 120Hz ripple current can be then found:

$$I_{RMS} = \sqrt{(I_{1RMS})^2 + (I_{2RMS}/1.43)^2 + (I_{3RMS}/1.43)^2}$$

For a typical system that runs at an average load of 200W and 385V output:

$$I_{LOAD(DC)} = 0.52A$$

$$I_{1RMS} = 0.71 \cdot 0.52A = 0.37A$$

$$I_{2RMS} = 0.82A \text{ at } 120VAC$$

$$I_{3RMS} = I_{LOAD(DC)} = 0.52A$$

$$I_{RMS} = \sqrt{(0.37A)^2 + (0.82A/1.43)^2 + (0.52A/1.43)^2} = 0.77A$$

The 120Hz ripple current rating at 105°C ambient is 0.95A for the 180 μF KMH 400V capacitor. The expected life of the output capacitor may be calculated from the thermal stress analysis:

$$L = L_0 \cdot 2^{\frac{(105^\circ C + \Delta T_0) - (T_A + \Delta T_0)}{10}}$$

where:

L: expected life time

L_0 : hours of load life at rated ripple current and rated ambient temperature.

ΔT_K : Capacitor internal temperature rise at rated condition. $\Delta T_K = (I^2 R)/(KA)$. Where I is the rated current, R is capacitor ESR, and KA is a volume constant.

T_A : Operating ambient temperature.

ΔT_0 : Capacitor internal temperature rise at operating condition.

In our example $L_0 = 2000$ hours and $\Delta T_K = 10^\circ C$ at rated 0.95A. ΔT_0 can then be calculated from:

$$\Delta T_K = (I_{RMS}/0.95A)^2 \cdot \Delta T_K = (0.77A/0.95A)^2 \cdot 10^\circ C = 6.6^\circ C$$

Assuming the operating ambient temperature is 60°C, the approximate life time is:

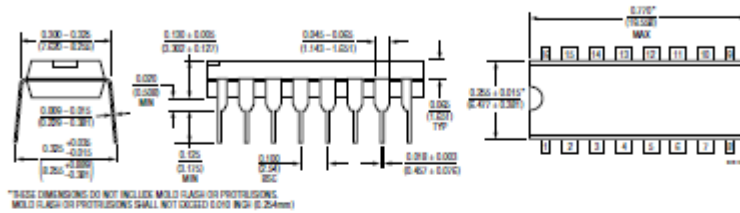
$$L_0 = 2000 \cdot 2^{\frac{(105^\circ C + 10^\circ C) - (60^\circ C + 6.6^\circ C)}{10}} = 57,000 \text{ hours}$$

For longer life, a capacitor with a higher ripple current rating or parallel capacitors should be used.

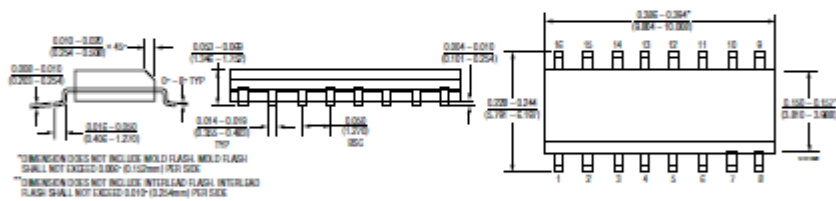
LT1248

PACKAGE DESCRIPTION Dimensions in inches (millimeters) unless otherwise noted.

N Package
16-Lead PDIP (Narrow 0.300)
 (LTC DWG # 05-08-1510)



S Package
16-Lead Plastic Small Outline (Narrow 0.150)
 (LTC DWG # 05-08-1610)



RELATED PARTS

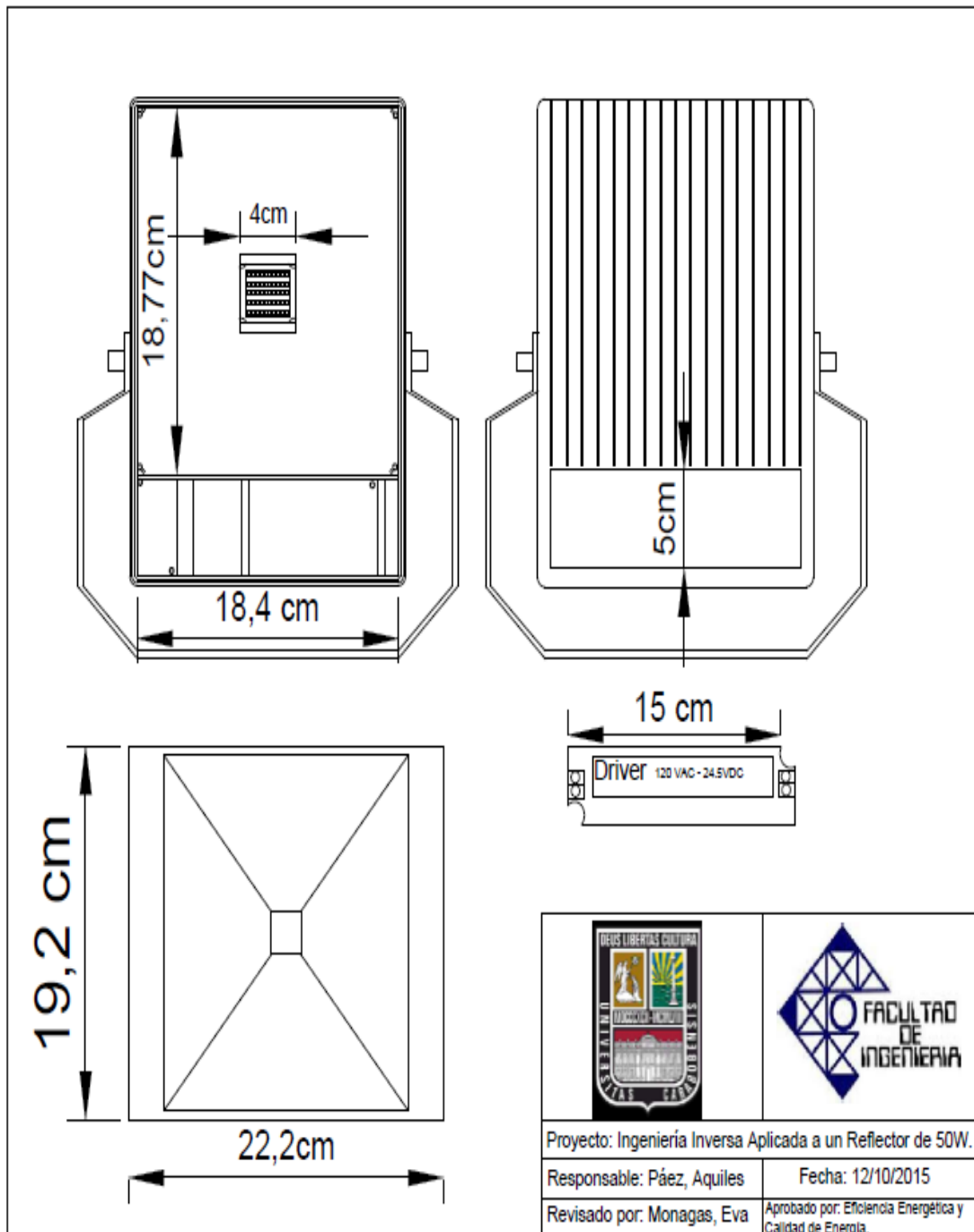
PART NUMBER	DESCRIPTION	COMMENTS
LT1103	Off-Line Switching Regulator	Universal Off-Line Inputs with Outputs to 100W
LT1249	PFC In SO-8	Simplified PFC Design with Minimal Part Count
LT1508	Power Factor and PWM Controller	Voltage Mode PWM, Simplified PFC Design
LT1509	Power Factor and PWM Controller	Complete Solution for Universal Off-Line Switching Power Supplies

12 Linear Technology Corporation
 1630 McCarthy Blvd., Milpitas, CA 95035-7417
 (408)432-1900 • FAX: (408)434-0607 • www.linear-tech.com

1248B LT1248 0799 2K REV D - PRINTED IN USA

 © LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION 1993

A.6. Plano del modelo de Luminaria y sus partes.



A.7. Ficha Técnica del Reflector.



LEDS ACADÉMICOS
RIF: J- 5.158.127

REFLECTOR 50W ESPECIFICACIONES



- ⇒ Rango de voltaje de Entrada aceptado internacionalmente: 120V~47~63Hz
- ⇒ Nuevo diseño con carcasa delgada
- ⇒ Fuente de poder de corriente continua con larga vida útil y alta eficiencia.
- ⇒ Chip LED importado de alta eficiencia luminosa y alta potencia, hasta 100lumens/W.
- ⇒ Carcasa y disipador integrados, reflector de aluminio resistente a la corrosión.
- ⇒ Certificado CE, RoHS and FCC Aprobado
- ⇒ IP66

Aplicaciones: talleres, galpones, almacenes, publicidad, estacionamientos.



I. Lámpara Especificaciones

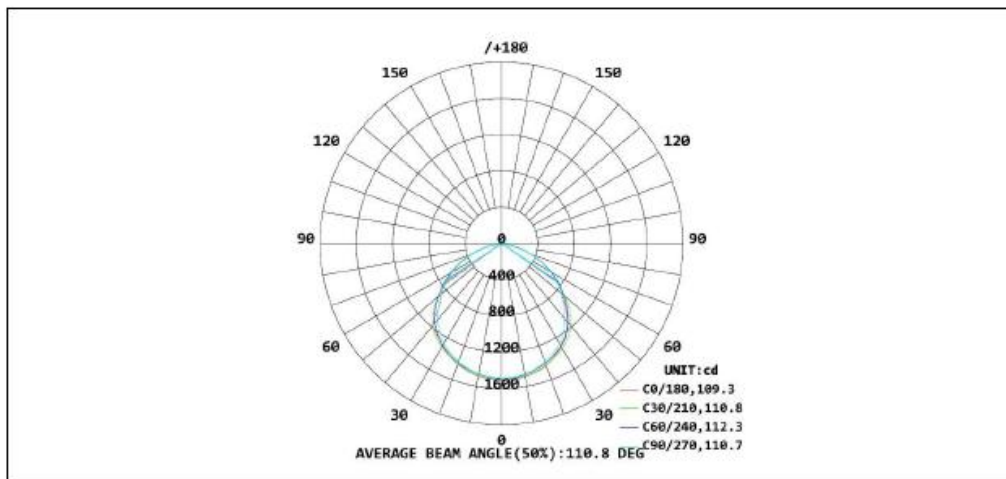
Ítem	REFLECTOR LED
Rango de Voltaje de operación	120 ~
Rango de Frecuencia	47-63 Hz
Factor de Potencia	>0.95
Voltaje del LED	22-28VDC
Consumo del LED	47
Consumo de la lámpara	54
Eficiencia Luminosa del LED	90
Eficiencia inicial del LED	4500
Temperatura de Color	2800 °K / 4000 °K /6000 °K
Índice de reproducción de Color	Ra > 70
Angulo de Apertura	160°
Temperatura de Operación	-20°C ~ +50°C
Peso Neto	3.48 Kg
Vida útil	50000



LEDS ACADÉMICOS
RIF: J- 5.158.127

REFLECTOR 50W ESPECIFICACIONES

II. Curva de Distribución:



¿Quieres una iluminación más limpia y eficiente? Siguenos en Instagram para que veas nuestro portafolio @LEDUc, y en Twitter para estar actualizado de las últimas novedades en Eficiencia Energética y Energías Renovables, en @TuLEDUC. Nuestros proyectos: www.flickr.com/photos/LEDUc

A.8. Entrevista al Ingeniero Flavio D’Auria. Presidente de Funyara C.A.

La empresa Funyara está ubicada en el parque Industrial de Chivacoa, estado Yaracuy. Su presidente, es el ingeniero mecánico Flavio D’Auria. A través de conversaciones telefónicas, se ha comentado brevemente el proyecto de carcasas LED que desea planificar y ejecutar la empresa SAGET C.A. La visita fue efectuada el día 01/06/2015, aprovechando la oportunidad de discutir aspectos técnicos de diseño concernientes a la carcasa del reflector LED de 50W.

A continuación, se presenta en forma de preguntas y respuestas, la charla técnica que tuvo lugar en la empresa. Todo esto fue gratuito y no hubo ninguna inversión que cancelar, el Ingeniero ofreció su ayuda para el proyecto de esta manera.

Aquiles: ¿Puede hacer una prueba de aleación del reflector?

Flavio: Sí, tenemos el equipo diseñado para hacerlo. Solo que desafortunadamente no podemos porque se encuentra dañado y está siendo reparado.

A: En ese caso, ¿qué puede decirme sobre la aleación de la carcasa? ¿De qué material suelen estar hechas?

F: Ellas suelen estar hechas usualmente de aluminio, debido a que este metal facilita la conducción de calor. Sin embargo, con el aluminio puro no se tiene suficiente resistencia mecánica. Es por esto que suele alearse con otros metales, para que gane resistencia mecánica sin comprometer sus propiedades térmicas.

A: ¿Cuál sería la aleación de aluminio del reflector?

F: El metal más usado para alearse con aluminio en este tipo de productos es el silicio, el porcentaje en el que se consigue está usualmente entre el 10% y el 24% del total de la aleación. De entrada notamos que solo la carcasa está hecha de este material, por su rigidez y dificultad cuando se le aplica torsión. El asa y las abrazaderas por otro lado son endebles, y pueden doblarse muy fácilmente. Estas están hechas de aluminio puro, muy rara vez están hechas de otro material.

A: ¿Qué necesita la empresa Funyara para realizar esta pieza?

F: No podemos. El nivel de detalle en la pieza nos indica un acabado muy preciso, en Funyara trabajamos por el método de Gravedad. Esta carcasa se obtiene únicamente por inyección de metales, a través de un molde especial para esto.

A: Entendido. En ese caso, ¿qué necesitaría cualquier empresa de fundición para obtener este tipo de piezas?

F: Muchas cosas. Necesitas la materia prima, que son metales aleados, y esos no se consiguen en Venezuela. Si quieres metales aleados debes ir a Brasil, España, Alemania o a China. Que en teoría es el mismo aluminio de Venezuela, solo que ellos nos lo vuelven a vender.

Necesitas el equipo de inyección que llena el molde del metal fundido, y también el molde. Cada molde debe estar en un valor cercano a los 13K\$ y usualmente estos te permiten obtener 50.000 piezas aproximadamente. Al acabado final, le añades el proceso de mecanizado para poder ajustar tornillos y otras piezas.

A: ¿Quién en Venezuela está capacitado para realizar esta labor?

F: Todas las empresas de fundición en el país, el problema no es de capacitación, sino de equipos y escasez de materia prima. El país está muy mal económicamente, y las pocas empresas que hacen inyección de aluminio solo lo hacen para procesos internos y no para 3eros. Y esto si es que todavía es viable hacer piezas por este método aquí. Porque bien puedes tener el equipo y el molde, pero si no tienes el material sigues teniendo un serio problema. La mayoría de empresas que hacen esto, hacen todo el proceso: El diseño del molde, la inyección de aluminio y además te proveen con la aleación del metal que vas a usar.

A: Entendido, sobre las otras piezas entonces, ¿alguna se puede hacer aquí?

F: Sí. Hay que consultar, pero es posible que sí. El asa y las abrazaderas son perfiles de aluminio que se obtienen por extrusión. La lámina reflectora está también hecha de aluminio, pero por su alta reflectividad, debe ser tratada por anodización porque el aluminio por sí solo no tiene semejantes propiedades reflectivas. Las láminas de aluminio se obtienen al troquelar una lámina y luego esta pasa por el proceso de anodización. Existe una buena posibilidad de que puedan elaborarse aquí, pero en este país hay que ir un día a la vez. Como están las cosas, puede que hoy puedas encontrar empresas que elaboren perfiles de aluminio, pero mañana quizá no tengas la misma suerte.

Una pregunta, ¿este canal que está aquí, qué va ahí? (señala el canal en donde se coloca la goma y posteriormente el espacio destinado al driver).

A: Ese canal es usado para una goma plástica que permite cerrar herméticamente el reflector. Según los fabricantes, tiene un grado IP de 66. Muy bueno para la intemperie, porque está fuertemente protegido contra partículas de polvo y rocíos muy fuertes de agua. El otro es para el dispositivo eléctrico encargado de alimentar el semiconductor.

F: Entiendo.

A: ¿Sabe cómo se obtienen las gomas plásticas? De formas determinadas.

F: Es un proceso muy similar al de inyección de metales. Solo que en vez de trabajar con un metal puro o una aleación, inyectas polímeros. Aquí hay empresas que hacen eso, como Gomalnca por ejemplo. Muy recomendados de mi parte.

¿Las aletas forman parte de la carcasa?

A: Sí, no es una pieza que pueda separarse, está integrada y es parte del molde por lo que puedo entender ahora.

F: Sí, debe ser parte del molde, pero para el tamaño del dispositivo que emite el calor, creo que tu disipador podría estar sobre dimensionado. Una fuente de calor de 4.5cm de largo y 4.5cm de ancho para estas aletas puede ser excesivo, ¿qué temperatura emite?

A: Según el fabricante, la temperatura máxima de unión es de 150°C. La Resistencia térmica según mis cálculos debe estar cercana a 2.3 °/W.

F: Entiendo. Creo que deberías revisar las aletas, podría hacérsele un trabajo de re-ingeniería. Para rediseñar el diseño del disipador. En caso de que vayas a construirlo aquí, y que la hipótesis sea cierta y el área del disipador pueda reducirse, se traduciría en una reducción del costo económico por materia prima, que al mayor puede ser valor importante. Consigue cámaras termográficas, gente de materiales que pueda ayudarte con ese análisis.

A: Anotado. Interesante observación. Usar simulaciones de computadora es otra opción pero se requiere de mayor tiempo también, pero es otra herramienta para diseñar.

F: También podría serlo, pero ambas deben complementarse si quieres hacer un estudio más académico. Para darle validez. Con la cámara termográfica y un ingeniero de materiales, podrías llegar a las conclusiones también.

A: Por supuesto. ¿Alguna recomendación final?

F: Búscalos en china. Es muy fácil allá, y el precio no es tan excesivo. Ellos poseen la tecnología y la materia prima, que en parte, nosotros le brindamos y que desgraciadamente ellos nos revenden.

A: Entendido señor Flavio. Muchas gracias por esta charla, ha sido muy aclaratoria y de mucho provecho.

F: A tu orden, el gusto fue nuestro.