

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

**DISEÑO DE UNA LUMINARIA TIPO LED PARA ILUMINACIÓN ORNAMENTAL
ALIMENTADA CON TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA**

Trabajo de grado presentado ante la Ilustre Universidad Técnica del Norte previo a la
obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico

Autor:

Emerson Adrian Mejia Llore

Director:

MSc. Jhonny Javier Barzola Iza

Ibarra – Ecuador

2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401672233		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Mejia Llore Emerson Adrián		
DIRECCIÓN:	Daniel Proaño Pasaje B y los Incas		
EMAIL:	eamejial@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062215030	TELÉFONO MÓVIL:	0983634239

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"DISEÑO DE UNA LUMINARIA TIPO LED PARA ILUMINACIÓN ORNAMENTAL ALIMENTADA CON TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA"
AUTOR (ES):	Mejia Llore Emerson Adrian
FECHA: DD/MM/AAAA	06/02/2024
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Jhonny Javier Barzola Iza MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 6 días del mes de febrero de 2024

EL AUTOR:

Mejia Llore Emerson Adrián

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO

Yo, Jhonny Javier Barzola Iza en calidad de tutor del señor estudiante Emerson Adrián Mejía Llore certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **"DISEÑO DE UNA LUMINARIA TIPO LED PARA ILUMINACIÓN ORNAMENTAL ALIMENTADA CON TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA"**.

Para obtención del título de ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, aprobando la defensa, impresión y empastado.



Ing. Jhonny Javier Barzola Iza MSc.

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mi papá Juan Mejia ya que, con su esfuerzo, trabajo duro tiempo dedicación y motivación me ha ayudado a superar cada uno de los obstáculos de la vida. También a mi esposa Vero que me acompañado en el transcurso del proyecto siendo un apoyo fundamental e incondicional, también dedico a mi hija Susan que ha sido la motivación y el combustible para continuar a pesar de las dificultades.

“Nada es imposible, todo es posible”.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Universidad Técnica del Norte por la experiencia y los conocimientos obtenidos del transcurso de la carrera.

A la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico por permitirme adquirir los conocimientos de todos los excelentes docentes que forman cada día a nuevos profesionales.

Agradezco a mi director de tesis al Ing. Jhonny Barzola quien con su tiempo consejos y asesorías, me ayudo a culminar el proyecto.

A mis amigos, compañeros, que fueron importantes de la carrera universitaria.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS	V
TABLA DE CONTENIDOS.....	VI
INDICE DE FIGURAS	XIII
INDICE DE TABLAS.....	XVI
Resumen.....	XVIII
Abstract	XIX
INTRODUCCIÓN	20
Contextualización.....	20
Planteamiento del problema.....	22
Formulación del problema	22
Objetivo General	23
Objetivos Específicos.....	23
Alcance	23
Justificación	23
Viabilidad de la investigación	24
CAPÍTULO 1.....	25

Luminaria LED con tecnología fotovoltaica	25
1.1. Energía solar fotovoltaica	25
1.1.1. El sol fuente de energía	25
1.1.2. La radiación solar	25
1.1.3. Paneles solares	26
1.1.4. Celdas Fotovoltaicas	26
1.1.5. Clasificación de los paneles fotovoltaicos.....	28
1.1.5.1.Sistemas fotovoltaico-aislados.....	28
1.1.5.2.Sistemas fotovoltaicos conectados a la red	29
1.1.6. Baterías	29
1.2. Conversores de potencia DC/DC	31
1.2.1. Conversor elevador	31
1.2.2. Conversor reductor.....	32
1.3. Luminarias	33
1.3.1. Clasificación de iluminación.....	33
1.3.2. Lámpara	33
1.3.3. Luminaria	34
1.3.4. Control automático	35
1.3.5. Clasificación de luminarias	36
1.3.6. Características de luminarias LED	43

1.4. Circuitos de propuestas de luminarias	46
1.4.1 Circuito de luminaria basado en Raspberry e IOT	46
1.4.2 Circuito de potencia transistorizado para manejo de luminarias LED	48
1.4.3 Sistema de luminaria fotovoltaico basado en microcontroladores	49
CAPÍTULO 2.....	52
Diseño de la luminaria LED.....	52
2.1 Descripción del lugar de estudio	52
2.2 Metodología	52
2.3 Equipos y herramientas	53
2.3.1 SolidWorks.....	53
2.3.2 SolidWorks PCB.....	53
2.3.3 Matlab y Simulink	54
2.3.4 Dialux evo	54
2.4 Requerimientos de diseño	54
2.5 Esquema del proyecto	54
2.6 Diseño de la propuesta de la luminaria.....	55
2.6.1 Controlador del sistema	58
2.6.2 Selección del controlador.....	58
2.6.3 Alimentación de los encapsulados LED.....	59

2.6.4	Alimentación de la electrónica de control	60
2.6.5	Interruptor electrónico con transistor para el control de la luminaria ..	61
2.6.6	Sensor de la iluminación ambiental.....	61
2.6.7	Sensor del flujo de peatones.....	62
2.6.8	Comparador de histéresis.....	63
2.6.9	Voltaje de referencia para la histéresis	63
2.6.10	Protección a bajo voltaje	64
2.6.11	Protección a cortocircuito.....	64
2.7	Parámetros para la determinación de los lúmenes para la luminaria	64
2.7.1	Simulación por medio del software Dialux.....	65
2.7.2	Simulación de la intensidad luminosa de la luminaria propuesta.....	66
2.7.3	Flujo luminoso de la luminaria propuesta.....	69
2.8	Parámetros para la selección de los componentes electrónicos	71
2.8.1	Sistema de control de energía	71
2.8.2	Selección de los paneles solares para la luminaria	71
2.8.3	Determinación del consumo del sistema	72
2.9	Parámetros para determinar el consumo de corriente de los encapsulados LED	72
2.10	Parámetros para determinar el consumo de corriente del controlador	74
2.10.1	Consumo de corriente de los sensores HC-SR501	74

2.10.2	Consumo de corriente del módulo de medición de luz ambiental	75
2.10.3	Consumo de corriente en la fuente de alimentación del controlador..	75
2.10.4	Consumo de corriente total en el controlador.....	75
2.11	Parámetros para la determinación de las baterías.....	76
2.11.1	Demanda de amperios y autonomía del sistema	76
2.12	Parámetros para modelar el convertidor elevador de los paneles solares	77
2.12.1	Diseño del oscilador para elevador con el CI 555.....	81
2.13	Parámetros para la determinación de la salida PWM del control de la luminaria	82
2.14	Parámetros para el circuito de protección de bajo voltaje	83
2.15	Determinación de los lúmenes y cantidad de LEDs de la luminaria	85
2.16	Determinación del consumo de corriente en las ramas de los LEDs	85
2.17	Determinación del consumo de corriente en el controlador	87
2.18	Determinación de la capacidad de la batería	87
2.19	Determinación de los valores de los componentes del convertidor elevador.	88
2.20	Determinación de los valores de los componentes del oscilador.....	90
2.21	Determinación de los parámetros del circuito de protección de bajo voltaje..	90
2.22	Determinación del fusible para cortocircuito.....	91
2.23	Lógica de funcionamiento de la luminaria.....	92
2.23.1	Control de la luminaria en función de la luz ambiental.....	92

2.23.2	Lógica del contador de peatones	93
2.23.3	Niveles de iluminación y flujo peatonal	94
2.23.4	Control de la luminosidad con PWM	95
2.23.5	Diagrama de flujo del sistema de control de la luminaria.....	97
2.24	Diseño del hardware de la luminaria	98
2.24.1	Circuito de potencia del convertidor elevador y alimentación del sistema de control	98
2.24.2	Circuito del oscilador del convertidor elevador.....	99
2.24.3	Circuito de control de la luminaria	99
2.24.4	Circuito de los LEDs de la luminaria	100
2.25	Diseño de las tarjetas PCB.....	101
2.26	Simulación de la electrónica de la luminaria.....	103
2.26.1	Simulación de la etapa de alimentación del sistema	103
2.26.2	Simulación de consumo de corriente de la luminaria	105
2.26.3	Simulación del circuito de protección de bajo voltaje.....	106
2.27	Diseño CAD de la luminaria.....	106
2.27.1	Ensamble de la luminaria.....	107
2.27.2	Dimensiones de la luminaria.....	108
CAPÍTULO 3	110
Costo de la luminaria propuesta y análisis económico	110

3.1. Evaluación de costos del proyecto.....	110
3.2. Costos de implementación de la luminaria	110
3.2.1. Costos de componentes	110
3.2.2. Costos de PCB	112
3.2.3. Costos de soldadura	112
3.2.4. Costos de la estructura	112
3.2.5. Costos de transporte	113
3.2.6. Costos de mano de obra.....	113
3.2.7. Costos totales de inversión.....	113
3.3. Ahorro energético en vida útil.....	114
3.4. Comparación de luminaria y lámparas a precios comerciales	116
3.4.1 Comparación de costos de la luminaria	116
3.5. Análisis económicos.....	117
3.5.1. Indicador VAN.....	118
3.5.2. Indicador TIR	119
3.5.3. Relación costo beneficio	123
CONCLUSIONES	125
RECOMENDACIONES	126
REFERENCIAS	127

ANEXOS.....	131
--------------------	------------

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Panel solar con células de silicio policristalino.....	27
Fig. 2: Panel solar de células de silicio monocristalino	27
Fig. 3: Esquema de un sistema solar aislado de la red eléctrica	28
Fig. 4: Esquema de un sistema conectado a red eléctrica	29
Fig. 5: Esquema del convertidor elevador	32
Fig. 6: Esquema del convertidor reductor.....	32
Fig. 7: Clasificación de la iluminación	33
Fig. 8: Clasificación de luminarias.....	36
Fig. 9: Partes que conforman una luminaria incandescente.....	37
Fig. 10: Componentes de la luminaria fluorescente	39
Fig. 11: Espectrograma de la luz producida por una lámpara de mercurio de alta presión	40
Fig. 12: Relación rendimiento luminoso - presión en lámparas de mercurio a 10 minutos	40
Fig. 13: Tipos de LEDs.....	41
Fig. 14: Distribución de potencia espectral para un LED blanco	44
Fig. 15: Diagrama de cromaticidad CIE 1931	45
Fig. 16: Circuito de potencia para el control de luminarias de 110V	47
Fig. 17: Esquema conceptual del proyecto de luminaria IOT	48
Fig. 18: Circuito de potencia con transistores.....	49

Fig. 19: Esquema de la luminaria micro controlada y alimentada por energía fotovoltaica	50
Fig. 20: Diagrama de control del microcontrolador PIC16F887 y sus salidas para la luminaria .	51
Fig. 21: Diagrama metodológico	53
Fig. 22: Esquema propuesto para la luminaria	55
Fig. 23: Bosquejo del proyecto de la luminaria LED.	57
Fig. 24. Circuito de protección para la batería	58
Fig. 25: Circuito integrado 7812	60
Fig. 26: Circuito integrado 7805	61
Fig. 27. Amplificador operacional LM358	63
Fig. 28. Zener programable TL431	64
Fig. 29: Simulación en Dialux de una luminaria para una parada de bus	66
Fig. 30: Plano de iluminación.....	67
Fig. 31: Parámetros y simulación a 20 luxes	67
Fig. 32: Parámetros y simulación 35 luxes	68
Fig. 33: Parámetros y simulación a 50 luxes	68
Fig. 34: Configuración básica de un elevador de voltaje boost-converter	78
Fig. 35: Configuración 555 como astable	81
Fig. 36 Comparador con histéresis	83
Fig. 37: Rama de 3 encapsulados con su resistencia	86
Fig. 38: Rama de 2 encapsulados con su resistencia	87
Fig. 39 Curva de carga de la batería de acido	91

Fig. 40: Diagrama de flujo para medir la iluminación ambiental	93
Fig. 41: Diagrama de flujo para el conteo de personas	94
Fig. 42: Diagrama de flujo del interruptor de luces.....	96
Fig. 43: Diagrama del flujo del control luminoso	97
Fig. 44: Esquema electrónico del convertidor elevador.....	98
Fig. 45: Esquema electrónico 555.....	99
Fig. 46: Esquema de conexión del controlador.....	100
Fig. 47: Esquema de las ramas de iluminación LED.....	101
Fig. 48: Tarjeta electrónica del controlador	102
Fig. 49: Tarjeta electrónica del módulo de iluminación	102
Fig. 50 Diseño CAD del circuito de protección de bajo voltaje.	103
Fig. 51: Simulación de los circuitos de alimentación de la luminaria	104
Fig. 52: Grafica de entrada y salida de voltajes.....	104
Fig. 53: Simulación de una de las tarjetas de iluminación LED de la luminaria.....	105
Fig. 54: Modelo de luminaria propuesta	107
Fig. 55: Partes de la luminaria diseñadas en CAD.....	108
Fig. 56: Dimensiones de la luminaria propuesta	109

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 CARACTERÍSTICAS DE BATERIAS.....	30
Tabla 1. 2 CARACTERÍSTICAS DE LÁMPARAS FLUORESCENTES.....	38
Tabla 1. 3 CARACTERÍSTICAS DE LÁMPARAS DE MERCURIO DE BAJA PRESIÓN.....	39
Tabla 1. 4 CARACTERÍSTICAS DE LÁMPARAS DE MERCURIO DE ALTA PRESIÓN.....	40
Tabla 1. 5 CARACTERÍSTICAS DE LÁMPARAS DE BAJA PRESIÓN	41
Tabla 1. 6 CARACTERÍSTICAS DE LOS DIODOS EMISORES DE LUZ	41
Tabla 1. 7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ILUMINACIÓN LED.....	42
Tabla 2. 1 TABLA COMPARATIVA ENTRE DIFERENTES TIPOS DE CONTROLADORES	59
Tabla 2. 2 TABLA COMPARATIVA DE SENSORES DE ILUMINACIÓN AMBIENTAL	62
Tabla 2. 3 TABLA COMPARATIVA DE SENSORES PARA EL FLUJO DE PEATONES	63
Tabla 2. 4 CARACTERÍSTICAS DE LOS PANELES SOLARES SELECCIONADOS	72
Tabla 2. 5 RELACIÓN ENTRE LUXES Y PEATONES	94
Tabla 3. 1 LISTADO DE COMPONENTES Y PRECIO EN EL MERCADO	111
Tabla 3. 2 PRECIOS DE MANUFACTURA PARA PBC.....	112
Tabla 3. 3 PRECIOS PARA SOLDADURA ELECTRÓNICA.....	112
Tabla 3. 4 PRECIO DE ESTRUCTURA DE LUMINARIA.....	113
Tabla 3. 5 COSTOS TOTALES DE INVERSION.....	114
Tabla 3. 6 PLIEGO TARIFARIO SEGÚN LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD.....	114

Tabla 3. 7 CONSUMO ENERGETICO DE LA LUMINARIA LED PROPUESTA	114
Tabla 3. 8 COMPARATIVA DE CONSUMO ENERGETICO DE LA LUMINARIAS LED, FLUORESCENTES E INCANDESCENTES.....	115
Tabla 3. 9 TABLA COMPARATIVA DE COSTOS DE INVERSIÓN DE PROYECTOS DE ILUMINACIÓN	116
Tabla 3. 10 TABLA COMPARATIVA DE COSTOS DE LA LUMINARIA.....	117
Tabla 3. 11 CONSUMO ECONÓMICO ANUAL DE LA LUMINARIA ORNAMENTAL PROPUESTA.....	117
Tabla 3. 12 TABLA DE PRECIOS DEL CONTROLADOR Y LA BATERIA	118
Tabla 3. 13 TABLA DE PRECIOS DEL CONTROLADOR Y LA BATERIA	118
Tabla 3. 14 ESCENARIO 1: FLUJO DE EFECTIVO NETO, VAN Y TIR PARA 28 MESES	121
Tabla 3. 15 ESCENARIO 2: FLUJO DE EFECTIVO NETO, VAN Y TIR PARA 7 AÑOS.....	123

Resumen

Las luminarias son dispositivos que tienen el propósito de iluminar áreas o zonas donde la intensidad de la luz ambiente no es suficiente para la vida cotidiana de las personas. Son elementos imprescindibles que en la actualidad funcionan en base a corriente eléctrica, normalmente provista por una central eléctrica, por lo que está sujeta a costos de la tarifa eléctrica, constituyendo un costo adicional al consumo energético. Sin embargo, es posible utilizar fuentes de energías alternativas y renovables como es la energía fotovoltaica, que, por medio de un sistema especializado, es capaz de suministrar a las luminarias de la corriente necesaria para su funcionamiento, almacenando el excedente para su uso cuando los paneles solares no son capaces de entregar la energía necesaria, ahorrando costos eléctricos en la factura de luz. Debido también al auge que la tecnología LED ha generado gracias a las enormes ventajas en vida útil, consumo energético e intensidad de luz, se ha decidido utilizarlos para el desarrollo de este proyecto, buscando obtener un mejor resultado en comparación con luminarias fluorescentes e incandescentes, seleccionando los componentes electrónicos para el control de la luminaria acordes al uso de los LEDs. Por último, en el aspecto económico se presenta un análisis el cual busca exponer el ahorro económico producto del uso de esta luminaria.

Palabras claves: CAD, Control, Dialux, Fotovoltaico, LEDs, Luminaria, PWM, SolidWorks

Abstract

Luminaires are devices that have the purpose of lighting areas or zones where the intensity of ambient light is not sufficient for people's daily lives. They are essential elements that currently work based on electric current, normally provided by a power plant, so it is subject to electricity tariff costs, constituting an additional cost to energy consumption. However, it is possible to use alternative and renewable energy sources such as photovoltaic energy, which, through a specialized system, could of supplying the lights with enough current to work, saving the excess for use when the Solar panels are not capable of delivering the necessary energy, saving electricity costs on the electricity bill. In addition, because of the boom that LED technology has generated thanks to the enormous advantages in useful life, energy consumption and light intensity, it has been decided to use them for the development of this project, seeking to obtain a better result compared to fluorescent and incandescent lights. selecting the electronic components for the control of the luminaire according to the use of the LEDs. Finally, in the economic aspect, an analysis is presented which seeks to expose the economic savings resulting from the use of this luminaire.

Keywords: CAD, Control, Dialux, Photovoltaic, LEDs, Luminaire, PWM, SolidWorks

INTRODUCCIÓN

Contextualización

Hoy en día, la definición que describe a la eficiencia energética es “el consumo inteligente de la energía”, es decir, atender una necesidad con la menor cantidad de energía. Las fuentes de energía son finitas y la demanda es creciente por lo que su correcta utilización se presenta como una necesidad vista hacia el futuro (CNEL, 2012).

Una de las alternativas por la cual la generación de energía transaccionará es el desarrollo de la energía solar fotovoltaica. En los últimos años, la potencia fotovoltaica instalada acumulada en todo el mundo no ha dejado de crecer un año tras otro, La fuente de esta energía es imparable y alcanza a todo el planeta (Mártil, 2016).

Ecuador es un país que goza de una privilegiada posición geográfica con elevados niveles de irradiación solar anual en prácticamente en su totalidad del territorio, lo que hace que sea especialmente atractiva de cara a abaratar los costes de la energía producida (Mártil, 2016).

La introducción de sistemas fotovoltaicos de iluminación representa un importante ahorro energético y económico, así como una significativa reducción de las emisiones de CO₂. Los sistemas de iluminación fotovoltaicos permiten un considerable ahorro en materiales, cableado y zanjas inherentes a la construcción de sistemas de alumbrado público convencional (Vargas et al., 2014).

En el año 2012, la composición de las luminarias empleadas en el alumbrado público correspondía a 86% de lámparas de sodio de alta presión, 10% de las luminarias de vapor de mercurio. El restante 4% de las luminarias se reparte entre sistemas de inducción, lámparas incandescentes y mixtas, basadas en tecnología LED (Light Emitting Diode por sus siglas en inglés) y luminarias reflectantes (Vargas, Guevara, & Ríos, 2014).

Con el paso del tiempo las luminarias LED irán sustituyendo a los actuales como en su tiempo los fluorescentes a los incandescentes, hasta que no se creen normas para la iluminación en hogares poca gente aceptará un cambio para buscar una distribución lumínica fuera de la típica de un foco por habitación con la cual la mayoría de la gente se siente conforme, aunque se sugiera que exista más iluminación para un óptimo desempeño de actividades (Aguilar-castro & David, 2017).

La iluminación LED no solo ha llegado para perfeccionar la manera en la que se iluminan los espacios, sino que ha generado un gran cambio económico y ambiental, permitiendo disminuir costos, aumentar sus aplicaciones y generar un uso más responsable de los recursos naturales disponibles en la actualidad (Cevallos, 2018).

Con respecto a su vida útil, es mayor y libre de mantenimiento. Los LEDs de alta potencia pueden llegar a una vida útil de 50.000 horas a un 70% de luminosidad de acuerdo con las especificaciones de cada fabricante. Esto produce un ahorro de materias primas, siendo necesario fabricar 20 bombillas incandescentes para igualar la duración de una bombilla LED equivalente (Cevallos, 2018).

Los focos LED son más eficientes en términos de consumo eléctrico. Comparando la iluminación LED, está entre 80 y 90% menor a la de los focos incandescentes y un 65% menos que los focos de bajo consumo fluorescentes. En la actualidad la opción de iluminación de interiores está a cargo de los focos fluorescentes. Esto representa 64% de la iluminación generada eléctricamente y el 45% de la energía eléctrica usada en iluminación. (Aguilar-castro & David, 2017).

El sistema de alumbrado público puede ser optimizado con el empleo de nuevas tecnologías de iluminación, como las luminarias LED. Asimismo, existen sistemas compactos de iluminación pública, compuestos por sistemas fotovoltaicos y luminarias LED (Vargas et al., 2014).

Es por ello por lo que en el presente proyecto de grado se busca diseñar una luminaria autosostenible en base a la energía solar fotovoltaica como fuente de energía para su alimentación, utilizando la tecnología de la iluminación LED como elemento de iluminación.

Planteamiento del problema

En la actualidad la iluminación es una parte importante para la humanidad debido a que es un elemento indispensable para la vida diaria de las personas. La iluminación ornamental es una de las formas en las que el ser humano emplea la iluminación para un fin creativo, con el cual se busca embellecer o resaltar un área, fuentes, etc. Sin embargo, el uso de esta iluminación conlleva consigo un consumo de energía el cual se debe suministrar continuamente. Esto conlleva en muchos casos al uso de la energía provista por la red eléctrica como fuente de alimentación para la luminaria implicando un consumo adicional. Si la zona que se desea iluminar es amplia, como son los parques, iglesias, calles y decoración urbana, el consumo energético resultante también es grande. Es por ello por lo que es deseable el uso de algún tipo de energía renovable que permita reducir el consumo de energía de la red eléctrica y que además permita el funcionamiento de las luminarias ornamentales de forma continua.

La energía solar es una alternativa muy atractiva para suministrar energía a las luminarias. Se puede aprovechar la energía del sol utilizando paneles fotovoltaicos los cuales generan un potencial eléctrico durante el día que se puede utilizar y almacenar en baterías para así ahorrar costos extensos en las planillas de luz eléctricas debido al uso de alumbrado ornamental.

La utilización de generación de energía eléctrica mediante módulos fotovoltaicos en el campo de iluminación ornamental no se está aprovechando al máximo debido a los diseños de las luminarias y su uso no orientado a la energía solar.

Debido al interés existente en la reducción del consumo energético, se plantea como un punto importante el uso de tecnologías de bajo consumo para la iluminación como es la iluminación LED, el cual en comparación con la iluminación fluorescente o incandescente es mucho más eficiente.

Formulación del problema

¿Cómo diseñar una luminaria LED para iluminación ornamental utilizando tecnología fotovoltaica?

Objetivo General

Diseñar una luminaria tipo LED ornamental con tecnología fotovoltaica para el ahorro de consumo de energía eléctrica.

Objetivos Específicos

- Estudiar los distintos tipos de circuitos para el desarrollo de una luminaria LED alimentada a través de tecnología fotovoltaico.
- Diseñar la luminaria con la alimentación fotovoltaica.
- Realizar el estudio económico del desarrollo de la luminaria LED utilizando tecnología fotovoltaica.

Alcance

- Se investigará el uso y la aplicación de las luminarias ornamentales en espacios abiertos y el impacto que tiene en el medio ambiente.
- Se diseñará un sistema de control de la luminaria dependiendo del flujo de personas que circulen por el sector.
- Se realizará la simulación de la luminaria mediante DIALUX.
- Se simulará el diseño de la luminaria con el panel fotovoltaico utilizando Matlab.
- Se realizará el estudio económico del desarrollo de la luminaria LED utilizando tecnología fotovoltaica.

Justificación

La principal motivación para la realización de esta propuesta tecnológica surge como un aporte a la línea de investigación de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, para lo cual se busca desarrollar un proyecto en el cual se apliquen los conocimientos adquiridos en la carrera. En la actualidad se está buscando una transición hacia el uso de fuentes de energías renovables que reemplacen a las fuentes de energías fósiles debido a los problemas medio ambientales que estos generan. Debido al interés existente en estas fuentes de energía limpia, este proyecto busca su aplicación en la iluminación ornamental empleando como recurso la energía solar. Por otro lado, la importancia en la calidad de servicio y eficiencia del alumbrado ornamental apuntan al uso constantes de nuevas tecnologías que permitan aumentar los beneficios y disminuir costos de energía y por mantenimientos.

Por estas razones, la realización de este proyecto es de gran beneficio tanto para el medio ambiente como para el ahorro económico en iluminación ornamental presentando ventajas en el aspecto debido al ahorro de energía y mantenimientos económicos.

Viabilidad de la investigación

Tiene gran impacto con las energías renovables que cada vez avanzan a pasos agigantados en el correcto aprovechamiento de la energía eléctrica.

Es un aprovechamiento de la energía eléctrica y no tendrá que pagarse por facturas de consumo eléctrico por las empresas distribuidoras y también tendrá una sola inversión en la adquisición de los equipos la cual no requieren de mantenimientos continuos.

El diseño de la luminaria LED es viable ya que se aprovecha el uso de energía solar fotovoltaica como fuente de alimentación y se emplearon simulaciones para determinar que su funcionamiento y consumo energético sea amigable con el medio ambiente, además de que al implementar el proyecto se economizarían recursos.

CAPÍTULO 1

Luminaria LED con tecnología fotovoltaica

En este capítulo se estudiará las definiciones y fundamentos que se utilizarán posteriormente en el desarrollo del proyecto de investigación como tecnología fotovoltaica, iluminación de luminarias con el propósito de comprensión, así como también la recopilación bibliográfica de los temas que intervienen en el desarrollo de una luminaria.

1.1. Energía solar fotovoltaica

En la actualidad la tecnología fotovoltaica se encuentra reemplazando a las fuentes de energía tradicionales, la cual nos entrega una corriente directa por medio de elementos semiconductores, cuando existe una iluminación por un haz de fotones. Mientras que la iluminación se enfoca en el panel fotovoltaico se produce una tensión, al momento de existir poca iluminación la tensión decrece (Macías Centeno et al., 2018).

1.1.1. El sol fuente de energía

El sol es indispensable para el mundo, ya que ha sido aprovechado por las personas de distintas maneras, su temperatura se aproxima a los 6000 grados centígrados, la concentración de toda la energía del sol se encuentra en su núcleo, por sus condiciones extremas se liberan grandes cantidades de energía. Esta energía se puede percibir en el planeta como radiación electromagnética (Grande, 2014).

Además, la energía solar tiene el mayor potencial para proporcionar energía limpia, segura y confiable, que ilumina sobre los continentes de la Tierra es más de 200 veces la energía comercial anual total que utilizan actualmente los seres humanos (González et al., 2017).. El costo del panel solar, reducido al 50%, lo que haría que el costo de la electricidad alimentada por energía solar sea comparable con otros tipos de combustible, es posible en la próxima década (Macías Centeno et al., 2018).

1.1.2. La radiación solar

La distancia del sol a la tierra es aproximadamente 149.5 millones de km y su radiación electromagnética tarda en llegar alrededor de 8.3 minutos a la velocidad de la luz, esta

radiación llega al área del globo terráqueo y se dirige por todo el espacio en varias direcciones (Norberto & Andrés, 2013). La radiación es la energía solar que llega a la Tierra, la cual tiene longitudes de onda entre los 300 y los 2500 nm. La radiación solar no es más que el conjunto de ondas electro-magnéticas emitidas por el sol, el cual llega a tener una temperatura cercana a los 5700 a 6000 grados Celsius (Martínez, 2016).

1.1.3. Paneles solares

Los paneles solares son un conjunto de varias celdas con el fin de obtener un mayor voltaje; se agrupan dependiendo de la aplicación eléctrica y el voltaje que se desee conseguir. Hoy en día los paneles solares se fabrican en módulos independientes, grandes y pequeños, para un sin número de aplicaciones dependiendo del caso, es una tecnología limpia, no contamina, no emite humo, no emite CO₂, No emite gases de efecto negativos (Arencibia-Carballo, 2016).

1.1.4. Celdas Fotovoltaicas

Las celdas fotovoltaicas están formadas por metales sensibles a la luz, funcionan mediante la absorción de los rayos de luz que inciden sobre ellos, y desprenden electrones generando energía eléctrica. Están formados por celdas hechas a base de silicio puro con adición de impurezas de ciertos elementos químicos, siendo capaces de generar cada una de 2 a 4 Amperios, a un voltaje de 0.46 a 0.48 Voltios. Las células de silicio se clasifican en policristalino y monocristalino (Arencibia-Carballo, 2016).

- Células de silicio policristalino

Este tipo de células se las conoce como policristalinos porque la solidificación no la realiza en un solo cristal sino en múltiples. Así como también no necesita un arduo control de temperatura en la solidificación del componente del silicio. Esta célula se encuentra en el rendimiento del siete y ocho por ciento teniendo una ventaja en la fabricación de forma cuadrada aprovechando de una mejor manera el espacio comparado con las de silicio monocristalino que comúnmente las fabrican de forma circular (Fernando, 2020), en la Fig. 1 se muestra un panel solar a partir de células de silicio policristalino.



Fig. 1: Panel solar con células de silicio policristalino.

Fuente: (Fernando, 2020).

- Células de silicio monocristalino

Son aquellas células fotovoltaicas más comúnmente utilizadas, alrededor de la mitad de las células fotovoltaicas instaladas son de este tipo, por su buen funcionamiento y sus bajos costos. Esto puede deberse al gran uso de silicio en las industrias, siendo el principal componente en la elaboración de elementos electrónicos, así como también teniendo en cuenta que existe en grandes cantidades en la tierra, siendo este después del oxígeno (Fernando, 2020), como se puede apreciar en la Fig. 2.

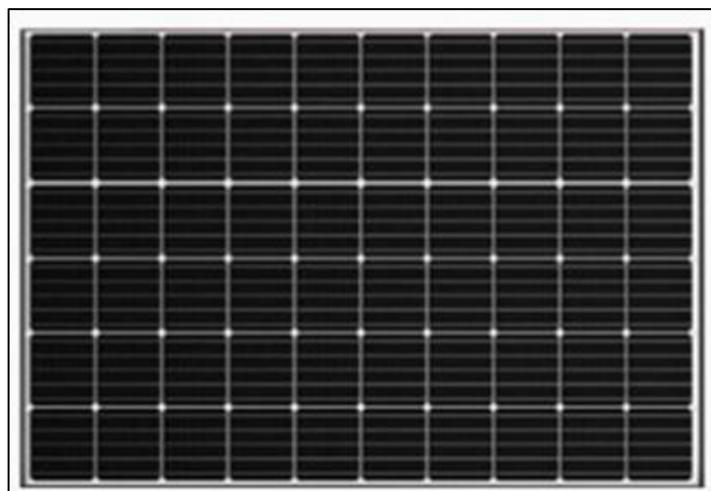


Fig. 2: Panel solar de células de silicio monocristalino

Fuente: (Fernando, 2020)

1.1.5. Clasificación de los paneles fotovoltaicos

Se sabe que para la instalación de un sistema fotovoltaico los componentes se conforman de mecánicos, eléctricos y electrónicos que en conjunto realizan una sola función en transformar la energía solar en energía eléctrica. (Roberto, 2016).

Las instalaciones fotovoltaicas se pueden dividir en dos sistemas, como primer sistema constituye las instalaciones aisladas a la red eléctrica, por lo general estos sistemas son implementados en donde es difícil el acceso a la red eléctrica o si como también independizar sistemas de cargas que sean autosustentables. El segundo sistema se da cuando se conecta a la red eléctrica convencional ya se para recibir o proporcionar energía, la cual no es utilizada lugar de la instalación. (Roberto, 2016)

1.1.5.1. Sistemas fotovoltaico-aislados

En los sistemas aislados, las cargas se alimentan de un banco de baterías o directamente del panel solar dependiendo del nivel de carga en el que se encuentren. Estos se pueden aplicar en lugares rurales o lejanos, antenas de telecomunicaciones, etc. Se componen de diferentes elementos para captar la energía y convertirla en energía que sea utilizada por el usuario. A continuación, se detalla los componentes en la Fig. 3 que lo conforman (Domínguez & Salvatierra, 2016).

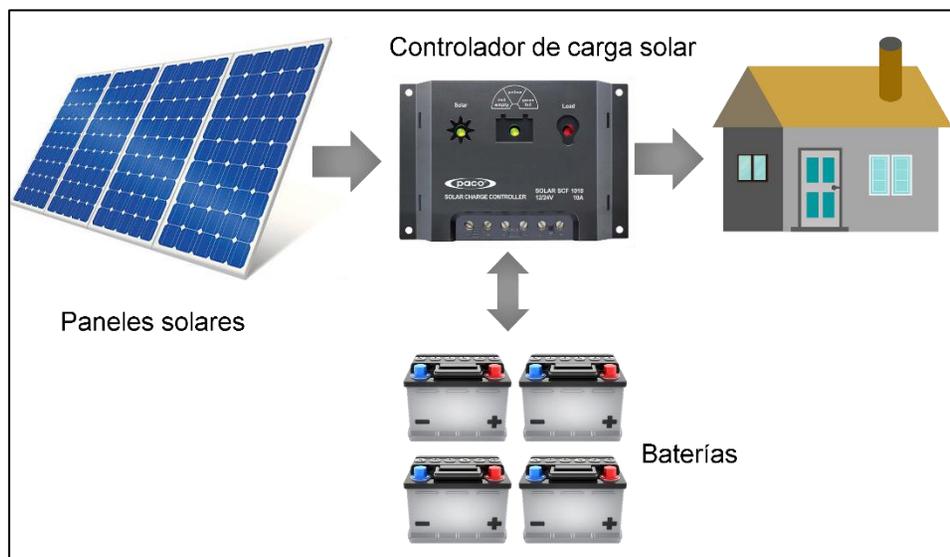


Fig. 3: Esquema de un sistema solar aislado de la red eléctrica

Fuente: (SunSupply, 2017)

1.1.5.2. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Los sistemas que se conectan a la red producen su propia energía o gran parte de sus cargas, se enlazan con la red para intercambiar energía con las empresas distribuidoras. Comúnmente estos sistemas se los encuentran en lugares de alto consumo eléctrico, de esta manera reducen costos de energía eléctrica. En este tipo de instalaciones el sistema se mantiene enlazado permanente cuando la irradiación es bastante buena entrega energía, pero si la radiación es nula o escasa es la red quien entrega energía. A continuación, en la Fig. 4 se detalla los componentes que lo conforman a este sistema. (Domínguez & Salvatierra, 2016).

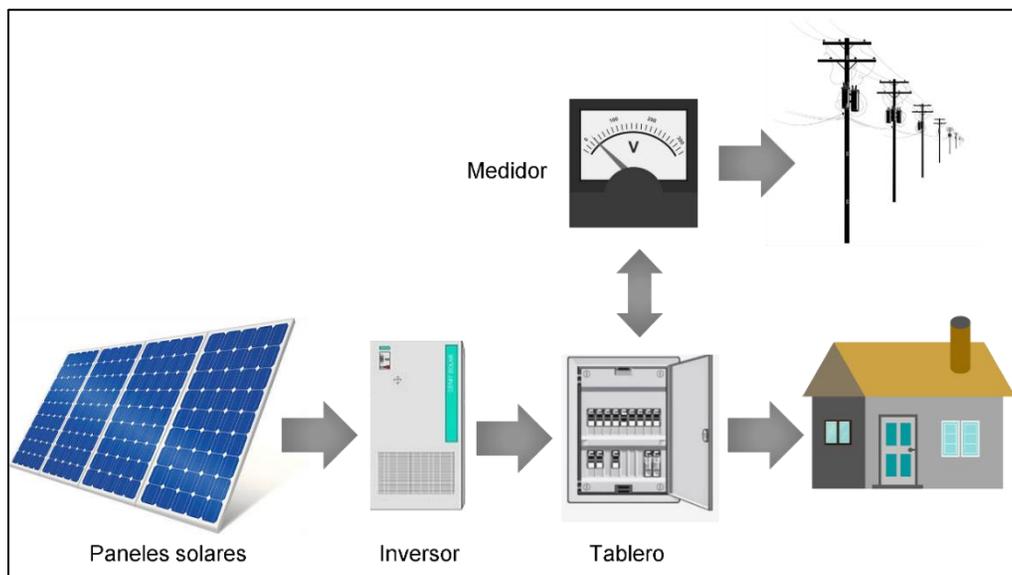


Fig. 4: Esquema de un sistema conectado a red eléctrica
Fuente: (SunSupply, 2017)

1.1.6. Baterías

El principio de funcionamiento de las baterías es que tiene un polo positivo, negativo y un electrolito que puede transportar iones en los dos sentidos del electrodo teniendo por medio un aislante eléctrico, hoy en día existen algunos tipos de almacenamiento de energía ya se por su voltaje o corriente dependiendo del sistema a utilizarse (Sales, 2019).

Los principales tipos de baterías que existen en el mercado se detallan en la Tabla 1. 1

Tabla 1. 1
 CARACTERISTICAS DE BATERIAS

Baterías	Características principales
Plomo - Antimonio	<ul style="list-style-type: none"> • Está compuesta de láminas tubulares. • Comúnmente se las utiliza para medianas y grandes cargas. • Soporta Descargas de hasta el 80%. • El tiempo de vida se encuentra alrededor de 10 a 15 años.
Plomo - Acido	<ul style="list-style-type: none"> • Es de bajo coste • El electrolito es liquido de ácido sulfúrico. • Poseen un peso elevado. • Ciclo profundo.
Plomo – Calcio	<ul style="list-style-type: none"> • No necesita mantenimiento. • No descarga superior al 40%. • Fácil de traslado. • Precio considerable.
Níquel - Cadmio	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de vida prolongada. • Soportan bajas temperaturas. • Niveles de descarga superiores a las otras baterías. • Soportan fallas de electricidad sin ser deterioradas. • Su coste es alto.
Herméticas (Plomo-Ácido, Níquel-cadmio)	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajan altas temperaturas. • Tiempo de vida corto. • No exponen gases. • Ideales para cuando los tiempos de descarga son pequeños.

Gel	<ul style="list-style-type: none"> • Contiene un sistema que minimiza la liberación de gases y pérdidas de agua. • Contiene ácido fosfórico el cual mejora la profundidad de descarga, así como también evitan la oxidación de rejillas.
-----	--

Fuente: (Vasquez, 2015)

La función principal de las baterías en los sistemas fotovoltaicos es almacenar la energía para después poder suministrar independiente de la red eléctrica, existen algunos factores que interrumpen el correcto funcionamiento de los paneles fotovoltaicos como es la radiación solar en la noche que es escasa cuando estos eventos suceden los acumuladores de energía son los que alimentan la carga (Moreira Jhonatan Alberto, 2015).

1.2. Conversores de potencia DC/DC

Un convertidor DC/DC transforma de una fuente de corriente continua de un nivel de voltaje no regulado a un nivel de voltaje regulado controlado y deseado. Este sistema puede ser de un voltaje alto a un voltaje bajo o, al contrario, así como también se obtiene una potencia de entrada comparada con la potencia de salida en un mejor rendimiento. (Majid Jamil, 2017).

1.2.1. Conversor elevador

En el convertidor tipo elevador de voltaje, las características del capacitor y el inductor es acumular la energía para después elevar la corriente que recibe de la fuente de voltaje y después utilizarla para inyectarle al condensador, como producto se obtendrá un mayor voltaje en la carga comparada con la de la fuente de voltaje en la Fig. 5 se puede observar el circuito del conversor elevador. (Valderrama, Moreno, & Vega, 2011).

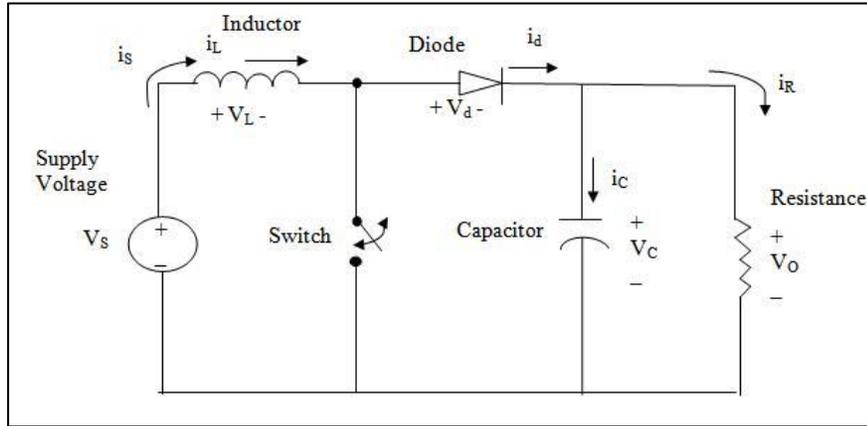


Fig. 5: Esquema del convertidor elevador
 Fuente: (Cardona & Ospina, 2015)

1.2.2. Conversor reductor

En el convertidor reductor el voltaje que alimenta siempre va a hacer menor al voltaje de la resistencia en la carga, el primer principio de funcionamiento es cuando el transistor o MOSFET se encuentra en el tiempo cero por medio del controlador. La corriente de entrada se dirige por el inductor, el capacitor y la resistencia de carga. El segundo funcionamiento es en la desconexión, el diodo conduce debido a la corriente que se disminuye el inductor lo que la corriente fluye por el inductor el capacitor y la resistencia en la Fig. 6 se puede observar el circuito de conversor reductor. (Valderrama, Moreno, & Vega, 2011)

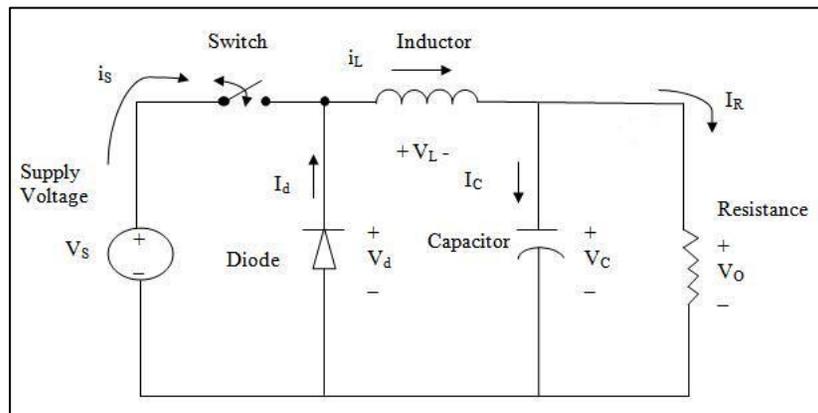


Fig. 6: Esquema del convertidor reductor
 Fuente: (Cardona & Ospina, 2015)

1.3. Luminarias

La innovación tecnológica tiene la promesa de catalizar la reducción de los impactos ambientales a través de una mayor eficiencia energética, un diseño de productos que promueva la reutilización y el uso de materiales benignos. Sin embargo, a medida que surgen nuevas tecnologías, es fácil perder de vista la carga ambiental asociada con la transición tecnológica y el reemplazo prematuro de tecnología. Si bien la rotación de productos puede generar ganancias en la eficiencia energética, también puede contribuir a la creación de flujos de desechos expandidos y diversificados.

1.3.1. Clasificación de iluminación

Los aparatos de iluminación se diferencian por construcción, funcionalidad y características como: consumo de energía eléctrica, flujo luminoso, eficacia luminosa, duración del tiempo de vida, depreciación del flujo luminoso, propiedades calorimétricas, características de atenuación, tiempo de conmutación y otros. De esta manera en (Saavedra, 2017), se menciona que la clasificación de la iluminación es como se aprecia en la Fig. 7

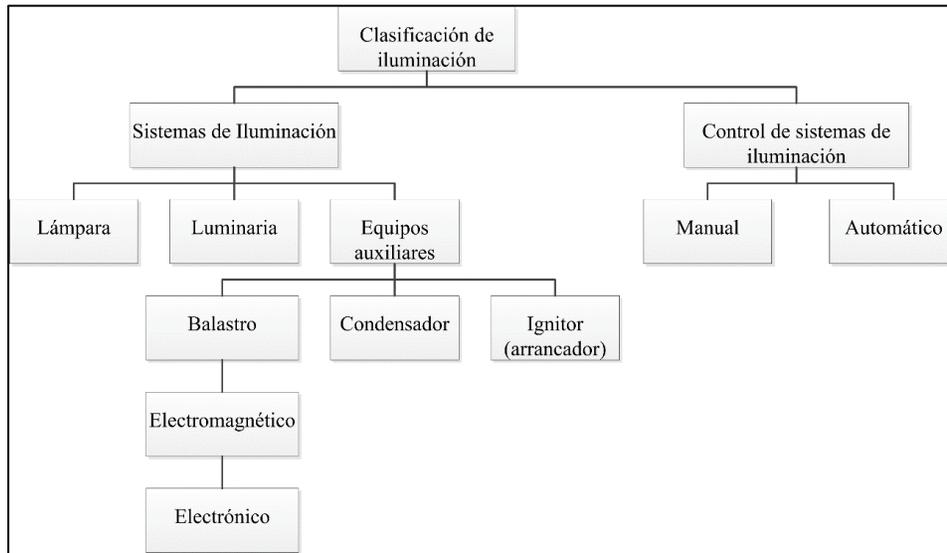


Fig. 7: Clasificación de la iluminación

Fuente: (Saavedra, 2017)

1.3.2. Lámpara

Estas funcionan de forma similar a los tubos fluorescentes lineales. Se conforman de 2, 4 o 6 pequeños tubos fluorescentes, estos pueden ser integrados o no. Las lámparas integradas

poseen una base común adjunta al balasto, mientras que las no integradas se conectan a una luminaria que incluye el balasto.

1.3.3. Luminaria

El objetivo primordial de las luminarias es distribuir, difundir y dirigir la luz emitida por las lámparas sobre una superficie específica. La eficiencia de una luminaria se evalúa por la relación de la salida de luz de la luminaria respecto al salida de luz de las lámparas y se expresa como un porcentaje (de Oliveira Grando & Ghisi, 2021).

1.3.3.1. Equipos auxiliares

- **Balasto:** Son primordiales en todas las lámparas de descarga para otorgar el encendido y funcionamiento, y también influyen en la eficacia de la propia lámpara. Existen 2 categorías de balastos: Electromagnético y electrónico.
- **Ignitor (arrancador):** Se emplean en varias lámparas fluorescentes. Al momento de aplicar voltaje a la lámpara fluorescente, el arrancador permite que la corriente fluya a través de los filamentos en los extremos del tubo. La corriente hace que los contactos del arrancador se calienten y se abran, de esta manera se interrumpe el flujo de corriente, y así la lámpara se enciende.
- **Condensadores:** El balasto ocasiona una potencia reactiva, que es cobrada por la empresa eléctrica, así esto se convierte en un tema de real importancia para los usuarios. El condensador logra solventar esta generación de potencia reactiva mediante la corrección del factor de potencia. La regulación de la iluminación en respuesta a las necesidades de los usuarios puede ser manual o automática:

1.3.3.2. Control manual

Este tipo de control es propenso a grandes desperdicios de energía debido a la falta de oportunidad de la operación de encendido y apagado de la iluminación, así como su atenuación. Según (Pasolini et al., 2019) se puede clasificar en:

- **Interruptor de encendido/apagado:** Por acción manual directa, en tiempo real.
- **Temporizador de desconexión:** Desconecta y conecta el sistema de iluminación tras una previa configuración del temporizador.

- Regulador (dimmer): Adapta los perfiles de potencia y la salida de luz gradualmente a lo largo de un intervalo determinado.

1.3.4. Control automático

Controlan la iluminación con soporte en la tecnología. Los sistemas cambian automáticamente según los cambios en la ocupación o en la luz natural. La conmutación también puede ser aceptable cuando los ocupantes son transitorios o para la realización de tareas exigentes. Los sistemas de conmutación son en varias ocasiones apropiados para atrios, pasillos, entradas, almacenes y centros de tránsito, sobre todo cuando existe demasiada luz natural, este tipo de control representa un ahorro energético considerable (Valetti et al., 2021).

1.3.5. Clasificación de luminarias

La fuente de luz, llamada luminaria, tiene la función de emitir luz al espacio o parte de él. La calidad de la iluminación depende de la calidad de la fuente de luz. Las luminarias son fundamentales para la seguridad de los vehículos durante la noche, permitiendo una correcta señalización durante el día. En la Fig. 8, se aprecia la clasificación de las luminarias:

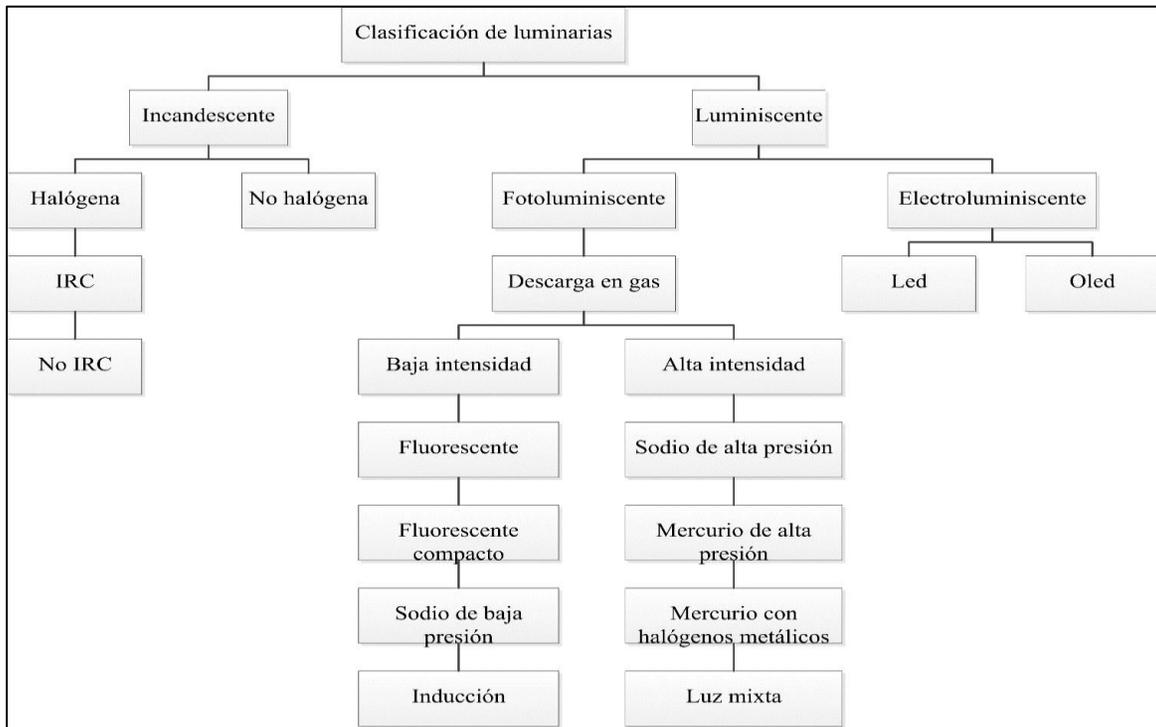


Fig. 8: Clasificación de luminarias

Fuente: (Saavedra, 2017)

1.3.5.1. Luminarias Incandescentes

La bombilla incandescente es una bombilla eléctrica por la que pasa una corriente eléctrica a través de un filamento de tungsteno, (Farrás, 2012), dentro de un vidrio que puede estar vacío o lleno de un gas inerte para evitar la evaporación del tungsteno y reducir el ennegrecimiento del globo, pueden tener diversas formas. calentándolo hasta que se vuelve incandescente y produce luz (INEN, 2013).

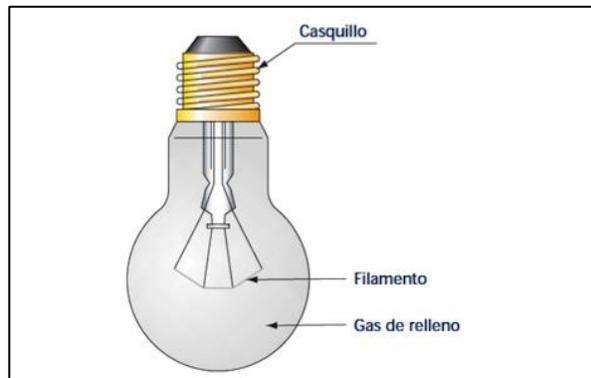


Fig. 9: Partes que conforman una luminaria incandescente

Fuente: (Farrás, 2012),

Las ventajas de las luminarias incandescentes son las siguientes:

- 30 % de luz más blanca
- Más pequeñas
- No pierden intensidad lumínica, no se oscurecen
- Mayor rendimiento lumínico

Como principales desventajas de las luminarias incandescentes se tienen las siguientes

- Uso de transformadores para lámparas de 12 V
- Calentamiento excesivo
- No se pueden tocar directamente con los dedos. Por el contacto con la piel, se altera la composición del cuarzo. "Desvitrificación"

Las lámparas incandescentes se dividen en dos grupos:

- Halógena

En (Perko et al., 2017) se expone que es una lámpara incandescente con bombilla de cuarzo y un relleno de gas que incluye una halógena. El halógeno se combina con el tungsteno evaporado del filamento caliente para formar un compuesto que es atraído hacia el filamento, extendiendo así la vida del filamento. También se evita que el tungsteno evaporado se condense en la bombilla y la oscurezca, un efecto que reduce la salida de luz de las lámparas incandescentes ordinarias.

- No halógena

Son conocidas también como lámparas de servicio de iluminación general, poseen el filamento de tungsteno, es la tecnología de iluminación tradicional que todavía domina el mercado en la mayoría de los países. En (López Arias, 2015) se menciona que, en 2010, alrededor del 52% de las ventas de lámparas en Estados Unidos eran de este tipo. No obstante, si se comparan con las tecnologías de iluminación modernas estas resultan ser ineficientes.

1.3.5.2. Luminarias Luminiscentes

En (Soori & Vishwas, 2013), se menciona que la iluminación de salida fotoluminiscente se ha utilizado durante años en planos, trenes y barcos para ayudar en las evacuaciones, especialmente cuando hay un corte de energía. Los componentes no requieren electricidad ya que absorben energía de la luz ambiental y la vuelven a emitir cuando la luz está apagada. Las lámparas luminiscentes se clasifican en las siguientes:

- Lámparas fluorescentes

Son lámparas de mercurio de baja presión que están disponibles en versiones de cátodo caliente y frío, las de cátodo caliente son de uso convencional y las de cátodo frío se suelen usar en letreros y anuncios, son de color azul pálido. Necesitan un pequeño circuito para el arranque (cebado) y control de la corriente. Existe una amplia gama de coloraciones y reproducciones del color (Farrás, 2012). Son más eficientes que las Lámparas incandescentes alcanzando hasta 104 lm/W (International, 2018).

Tabla 1. 2
CARACTERÍSTICAS DE LÁMPARAS FLUORESCENTES

Características	
Vida útil	4000 a 8000 hs
Excelente eficacia luminosa	104 lm/W
La eficiencia supera	20%

Fuente: (International, 2018).

En la Fig. 10 se puede observar un esquema de las partes que componen internamente una luminaria luminiscente.

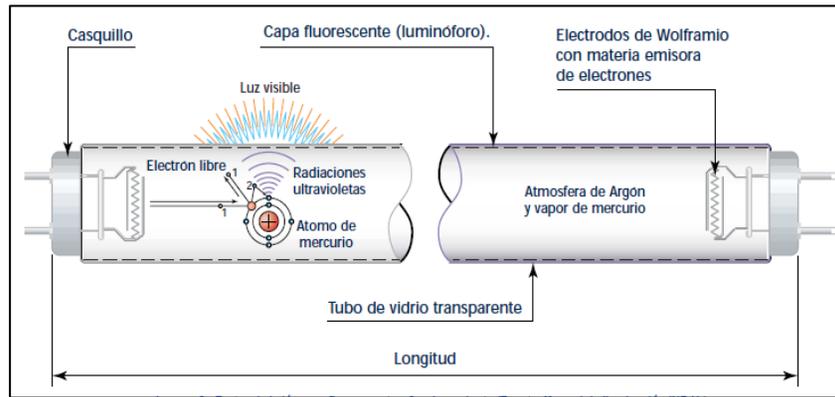


Fig. 10: Componentes de la luminaria fluorescente
Fuente: (Luminotècnics)

- Lámparas de mercurio de baja presión

Son lámparas de mercurio de baja presión con revestimientos troposféricos y cuya producción de luz es similar a la de las lámparas fluorescentes, trabaja con altas frecuencias (2,5 MHz). La vida útil se determina por la fiabilidad de la electrónica (Farrás, 2012). El sistema cuenta con dos componentes, el Generador Patentado de Inducción Magnética y la lámpara. Entre las ventajas más relevantes tenemos: encendido de la lámpara inmediato, produce todo su flujo desde el primer instante y elimina los parpadeos (Luzteca, 2012).

Tabla 1. 3
CARACTERÍSTICAS DE LÁMPARAS DE MERCURIO DE BAJA PRESIÓN

Vida útil	100000 has
Rendimiento lumínico	70 a 80 lm/W
Temperatura	2900°K (luz cálida)

Fuente: (Luzteca, 2012).

- Lámparas de mercurio de alta presión

Las lámparas de Mercurio de alta presión ver Fig. 11. trabajan desde 2 a 4 bares y carece de emisión en rojo, precisa de tiempos de 4-5 minutos hasta alcanzar el equilibrio de funcionamiento (Secades, 2007). Al aumentar la presión en la lámpara de mercurio aumenta de forma muy importante el rendimiento luminoso como se muestra en la Fig. 11. Los encendidos en

caliente son complicados, ya que necesitan arrancadores electrónicos porque necesitan voltajes de cebado de más de 1000 V.

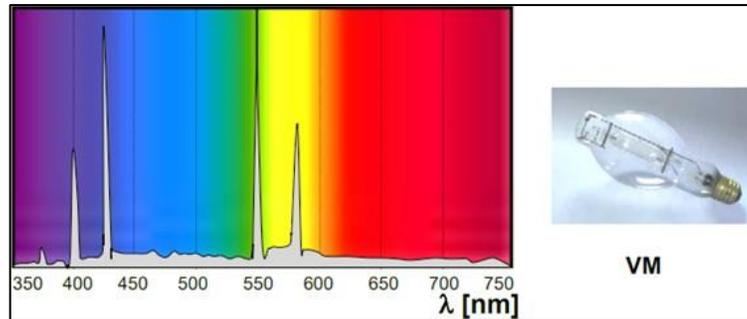


Fig. 11: Espectrograma de la luz producida por una lámpara de mercurio de alta presión
Fuente: (Secades, 2007).

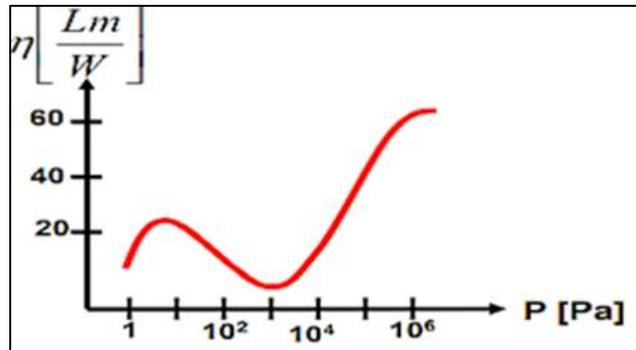


Fig. 12: Relación rendimiento luminoso - presión en lámparas de mercurio a 10 minutos
Fuente: (Secades, 2007).

Tabla 1. 4

CARACTERÍSTICAS DE LÁMPARAS DE MERCURIO DE ALTA PRESIÓN

Características	
Vida útil	25000 hs
Rendimiento lumínico	70 a 60 lm/W
Temperatura	3500-4500°K (con fósforos)

Fuente: (Secades, 2007).

- Lámparas de sodio de baja presión

Están hechas de un vidrio especial con una capa interior resistente al sodio, son también tubos largos como las lámparas fluorescentes, son las más eficaces que existen y necesitan cebarse. Para funcionar correctamente necesitan circuitos extra, ya sea un balastro o un transformador. Requieren 400-600 V para encender. Para obtener beneficios de rendimiento luminoso es necesario subir por encima de los 100 kHz, la luz que produce es casi enteramente

amarilla (Farrás, 2012).

Tabla 1. 5
CARACTERÍSTICAS DE LÁMPARAS DE BAJA PRESIÓN

Características	
Vida útil	6000 has
Rendimiento lumínico	183 lm/W
Temperatura	2000°K (con fósforos)

Fuente: (Farrás, 2012).

- Luminarias Electroluminiscentes

En (Wagiman et al., 2020) se menciona que cuando un material luminiscente puede excitarse mediante la aplicación de un voltaje eléctrico, se habla de electroluminiscencia. Para convertir la energía eléctrica del voltaje aplicado en radiación, se deben considerar tres pasos: excitación por el campo aplicado, transporte de energía al centro luminiscente y emisión desde este centro. Su bajo consumo energético convierte a la iluminación electroluminiscente en un competidor de otras tecnologías, como la iluminación de neón o fluorescente en la Fig. 13 se puede observar los diferentes ejemplos. Dentro de esta categoría se encuentran las luminarias tipo LED, a continuación, se otorga información relevante de este tipo de luminarias.

Tabla 1. 6
CARACTERÍSTICAS DE LOS DIODOS EMISORES DE LUZ

Características	
Vida útil	30000 a 50000 hs
Rendimiento lumínico	94 a 119 lm/W
Temperatura de color	2700°K a 3500°K

Fuente: (Wagiman et al., 2020)

Los LEDs pueden presentarse en diversas formas y tamaño dependiendo de la aplicación a la que este diseñado. En la Fig. 13 se puede observar diferentes formatos de LEDs existentes en el mercado.



Fig. 13: Tipos de LEDs

Fuente: (LEDBOXBLOGS)

Tabla 1. 7
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ILUMINACIÓN LED

Iluminación LED	
Ventajas	Desventajas
Fuente luminosa energéticamente eficiente	En iluminación de exteriores con variaciones de temperatura puede ser poco fiable.
Alto índice de reproducción de los colores	Su regulación no está tan perfeccionada
Vida útil muy larga, resistencia a un enorme número de ciclos (encendido/apagado).	Con el paso del tiempo la luminosidad se va reduciendo.
Baja emisión de calor no emite radiación infrarroja ni emite radiación ultravioleta	Deben usarse grandes disipadores de calor.
Respuesta instantánea	La vida útil anunciada es difícilmente comprobable.
Poco contaminante	Precio más alto
Resistencia muy superior a la de las lámparas los tubos fluorescentes	Los metales de tierras raras utilizados pueden ser objeto de monopolios de control de precios.
Naturaleza direccional permite iluminar a cortas distancias y áreas pequeñas	Gran número de productos en el mercado cuya calidad es difícil de comparar.

Fuente: (Wagiman et al., 2020)

Para generar luz blanca mediante los LED existen diferentes técnicas, según (Contreras, 2019) estas son:

- Conversión mediante fósforos

Actualmente, es el sistema más comúnmente usado, en los modelos más comunes un LED azul se cubre parcialmente con uno o varios fósforos. Los fósforos son sustancias que se excitan por la luz azul y emiten luz amarilla de amplio ancho de banda, o luz amarilla y roja. Este al ser excitado permite tener longitudes de onda más largas. La luz amarilla, o amarilla y roja de los fósforos, mezclada con la azul del LED, da como resultado una luz de apariencia

blanca.

- Sistema de mezcla de colores

Consiste en mezclar la luz de tres o cuatro LED monocromáticos para producir luz de apariencia blanca de distintas tonalidades, Además es posible tener el control del tono de la luz jugando con la potencia relativa de cada emisor monocromático, por esto es muy usado en el campo de la decoración y es un método que ayuda a mejorar la productividad de los trabajadores.

- Sistemas híbridos

Mezclan la luz de LED blancos convencionales, a partir de LED azules con fósforo amarillo o verde, con otros monocromáticos, normalmente rojos, para mejorar el índice de reproducción cromática y la eficiencia. El uso de un LED rojo en vez de un fósforo que convierta la luz azul en roja tiene como ventaja que no se desperdicie luz en longitudes de onda donde el ojo humano es poco sensible, ya que la emisión del LED tiene un ancho de banda menor.

1.3.6. Características de luminarias LED

Los diodos emisores de luz (LED) son una fuente de iluminación de estado sólido que se utiliza cada vez más en la retroiluminación de pantallas, las comunicaciones, los servicios médicos, la señalización y la iluminación general (Ramírez & Salazar, 2015). Además, tienen una mejor resistencia al impacto mecánico en comparación con la iluminación tradicional, también son productos ecológicos sin mercurio y de bajo impacto en la salud debido a la baja radiación UV. Los LED que tienen un solo color son diez veces más eficientes que las lámparas incandescentes, los de colores blancos son más del doble de eficientes que las lámparas incandescentes (Herranz & Ollé, 2011).

Cada color de LED está representado por coordenadas x-y únicas, como se muestra en la figura 14. Las coordenadas de cromaticidad CIE (Comisión Internacional de Iluminación) de x, y y z son una proporción del rojo estimulación de luz azul, verde y azul en comparación con la cantidad total de estimulación roja, verde y azul. La suma de los valores RGB ($x + y + z$) es igual a 1. El área blanca del diagrama de cromaticidad se puede expandir y se agregan límites para crear cada rango de color. Las temperaturas de color y el lugar geométrico de Planck (curva de cuerpo negro) muestran cómo se relacionan con las coordenadas de cromaticidad (Serrano-Tierz et al., 2015).

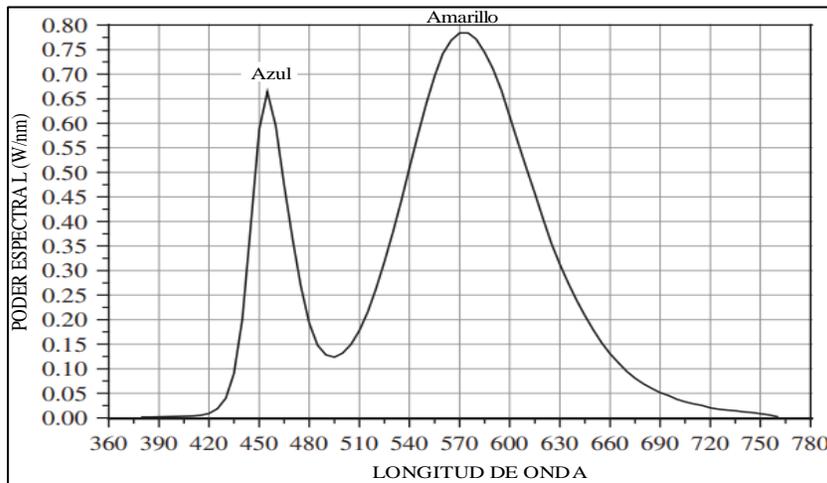


Fig. 14: Distribución de potencia espectral para un LED blanco

Fuente: (Serrano-Tierz et al., 2015).

La temperatura de color de una luz blanca se define como la temperatura de un radiador de cuerpo negro Planckiano ideal que irradia luz de un tono comparable a esa fuente de luz blanca. La temperatura de color de la luz es igual a la temperatura de la superficie de un radiador de cuerpo negro ideal en Kelvin calentado por radiación térmica. Cuando el radiador de cuerpo negro se calienta a altas temperaturas, el cuerpo negro calentado emite colores que comienzan en rojo y progresan a través de naranja, amarillo, blanco y finalmente a blanco azulado. El lugar geométrico de Planck comienza en el rojo, luego se mueve a través del naranja y el amarillo, y finalmente ingresa a la región blanca. La temperatura de color de una fuente de luz se considera como la temperatura de un radiador de cuerpo negro planckiano que tiene las mismas coordenadas de cromaticidad. A medida que aumenta la temperatura del cuerpo negro, la ubicación de la cromaticidad se mueve desde el rango de longitud de onda rojo hacia el centro del diagrama en la Fig. 15.

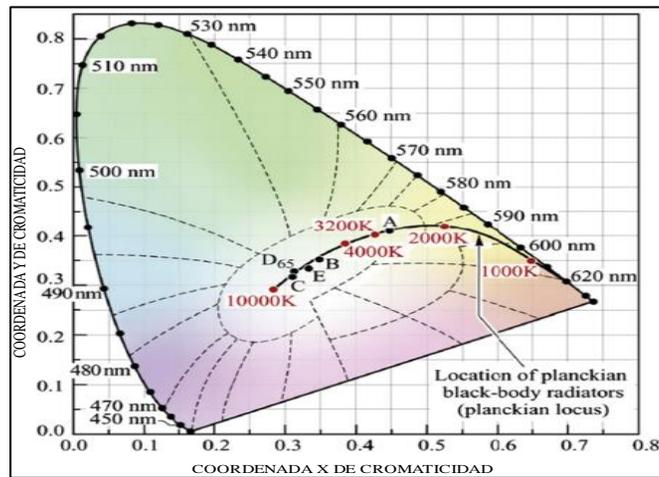


Fig. 15: Diagrama de cromaticidad CIE 1931

Fuente: (Serrano-Tierz et al., 2015).

Las áreas de aplicación de LED incluyen luces de fondo LCD, pantallas, iluminación de equipos de transporte e iluminación general. Los LED se utilizan como fuente de luz para la retroiluminación de LCD en productos como teléfonos móviles, cámaras, reproductores multimedia portátiles, portátiles, monitores y televisores. Las aplicaciones de iluminación general se dividen en iluminación interior (p. ej., bombillas LED, iluminación de escritorio e iluminación de superficie), iluminación exterior (p. ej., iluminación decorativa, iluminación de calles/puentes e iluminación de estadios) e iluminación especial (ej., iluminación de ascensores e iluminación de electrodomésticos). El uso de LED en la iluminación general ha aumentado, comenzando con el alumbrado público en áreas públicas y pasando a la iluminación comercial/empresarial y las aplicaciones de consumo (Gonzalez, 2020).

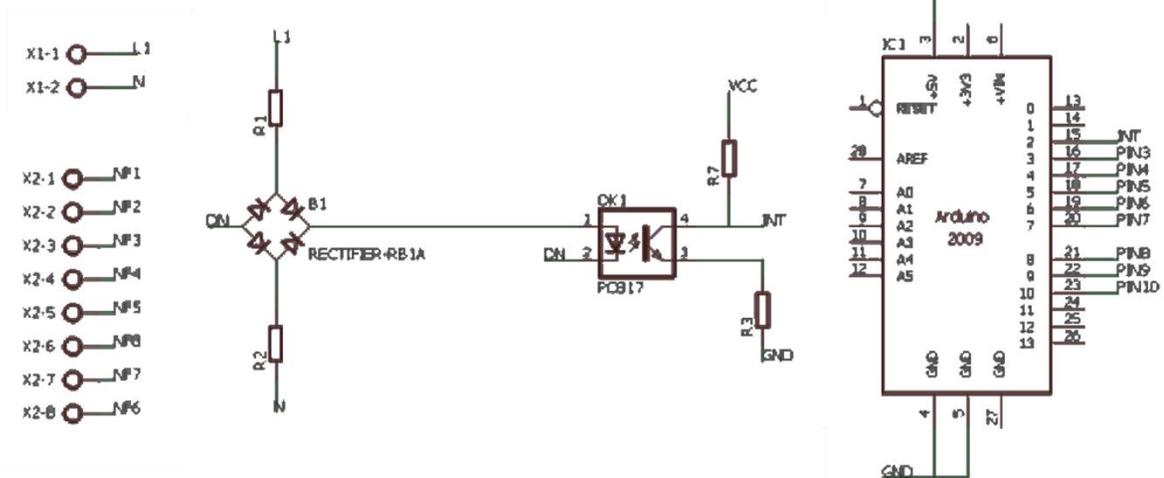
Los LED se clasifican en dos tipos según la salida de color: LED blancos y LED RGB. Los paquetes de LED blancos pueden usar fósforos rojos/verdes/azules/naranjas/amarillos con chips LED azules para producir luz blanca. Los paquetes de LED RGB incluyen paquetes de LED rojos, paquetes de LED verdes, paquetes de LED azules y paquetes de LED con múltiples troqueles en un solo paquete que produce luz blanca usando una combinación de troqueles de LED rojos, verdes y azules (Ramírez & Salazar, 2015).

1.4. Circuitos de propuestas de luminarias

Para el correcto diseño del circuito de la luminaria, es necesario conocer y estudiar los sistemas que normalmente se utilizan para este tipo de aplicación, de tal forma que se pueda determinar qué elementos del sistema son realmente necesarios para el proyecto, que circuitos utilizar, adaptar o mejorar, y plantear una solución óptima para llevar a cabo el sistema de la luminaria

1.4.1 Circuito de luminaria basado en Raspberry e IOT

Este es un sistema de luminaria de utiliza el IOT (internet de las cosas) para la adquisición de información de sensores para su funcionamiento. También permite su control y monitorización de forma remota por medio de un enlace vía Node-RED. Este circuito está diseñado para manejar salidas de luminarias de 110V, empleando un TRIAC o relé de estado sólido para manejar la etapa de potencia.(De et al., 2022)



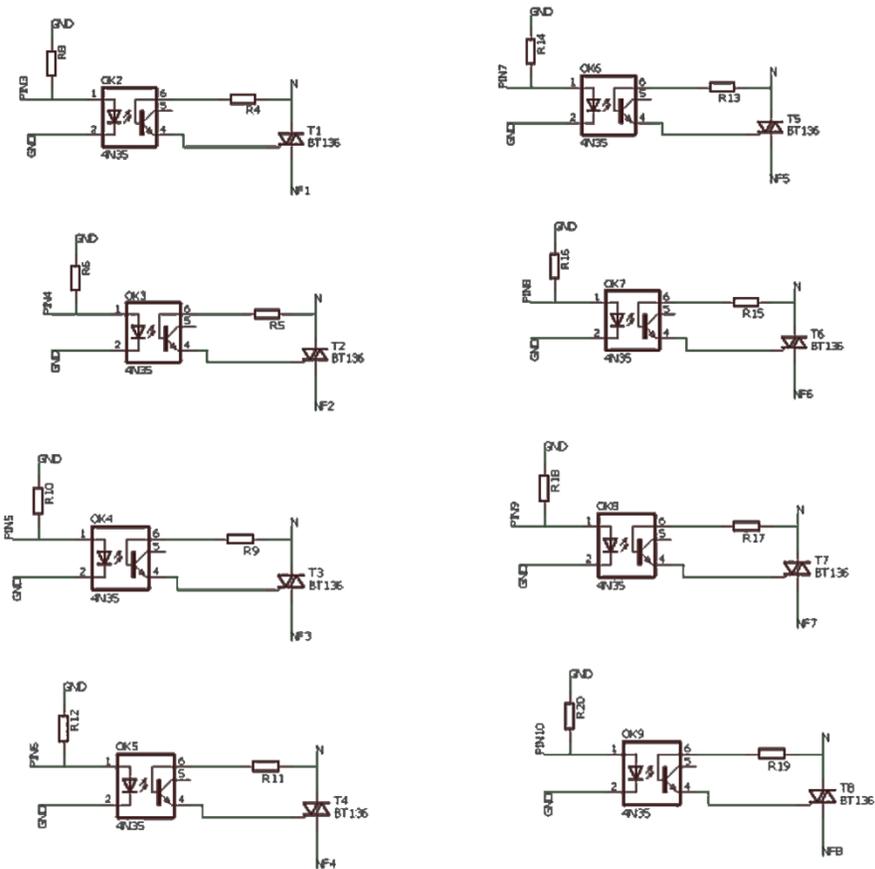


Fig. 16: Circuito de potencia para el control de luminarias de 110V
Fuente: (De et al., 2022)

La principal ventaja de este circuito es su capacidad de manejo de voltajes y corrientes altas, así como su control remoto y monitorización del sistema. Sin embargo, este sistema no está diseñado para trabajar con paneles solares, y el uso de luminarias de 110V implica que para su adaptación a un proyecto de energía fotovoltaica se requiere el uso de un inversor.

El esquema conceptual de este proyecto de luminaria IOT y los principales elementos que la componen se puede observar en la Fig. 17.

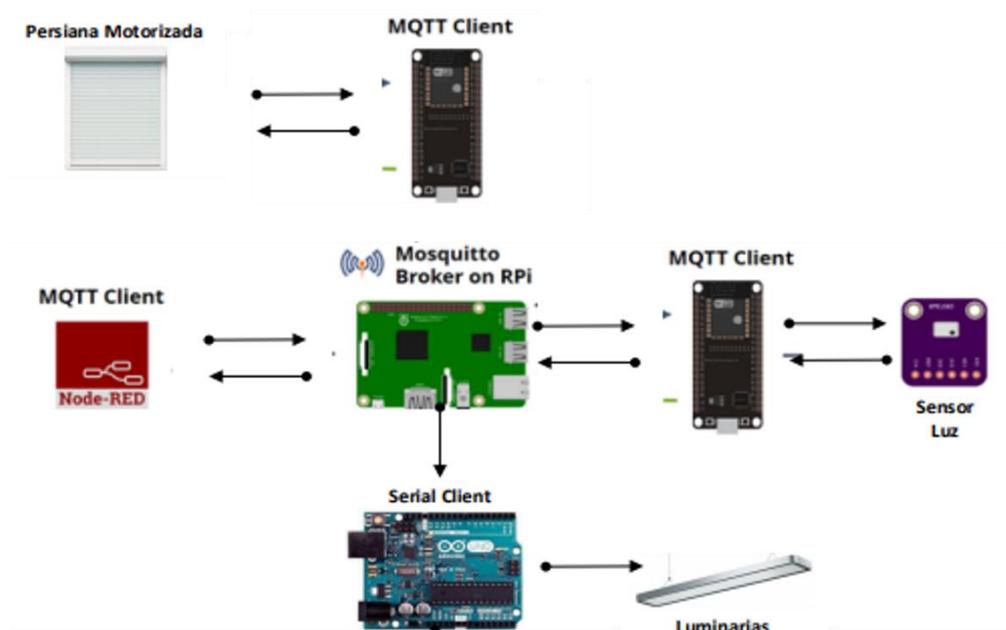


Fig. 17: Esquema conceptual del proyecto de luminaria IOT

Fuente: (De et al., 2022)

1.4.2 Circuito de potencia transistorizado para manejo de luminarias LED

Este circuito es una etapa de encargada de manejar luminarias con altas corrientes empleando transistores MOSFET para este fin. La alimentación de este circuito está pensada para voltajes de 35V e incluye un limitador de corriente máxima para evitar sobrecargas.(Eléctrico et al., 2018)

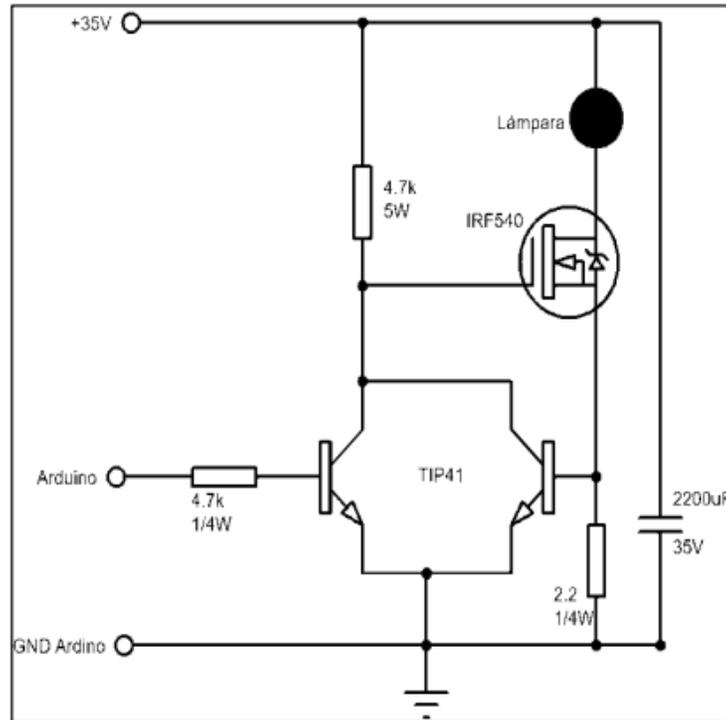


Fig. 18: Circuito de potencia con transistores
 Fuente: (Eléctrico et al., 2018)

1.4.3 Sistema de luminaria fotovoltaico basado en microcontroladores

Este sistema para la luminaria delega el control de la iluminación a un microcontrolador debidamente programado el cual tiene control de la luminosidad por medio de la técnica de modulación de ancho de pulso (PWM). El microcontrolador activa o desactiva la luminaria empleando para ello un control remoto y empleando un driver que sirve de puente entre las señales de bajo voltaje a las salidas de potencia. La alimentación del circuito se obtiene de un sistema fotovoltaico que emplea paneles solares para la captación de la energía del sol, baterías para almacenar el excedente y suministrar la corriente necesaria cuando los paneles no están en funcionamiento, y un regulador de carga solar para gestionar todo el sistema. Los circuitos de control se alimentan a través de un regulador a 5V, mientras que la luminaria se alimenta directamente desde la salida del regulador de carga solar.

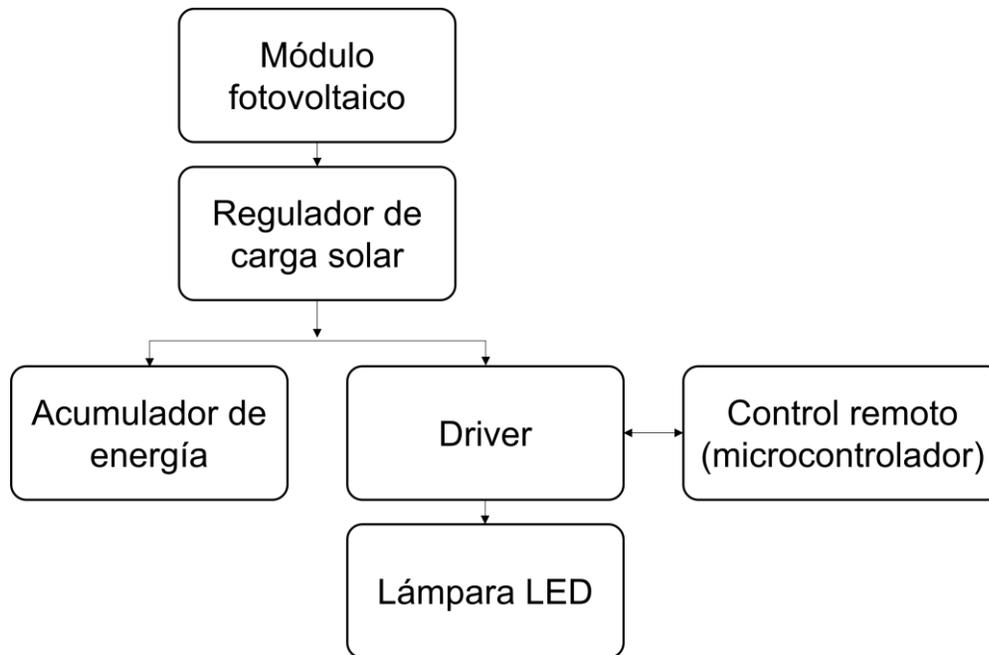


Fig. 19: Esquema de la luminaria micro controlada y alimentada por energía fotovoltaica

Fuente: (Montalvo Ureta, 2016)

El esquemático del circuito de control se puede observar en la Fig. 20 el cual emplea un microcontrolador PIC16F887 de Microchip. Este microcontrolador está programado para generar varias salidas de PWM de acuerdo con una señal recibida por un pin de entrada. Estas salidas se pre amplifican con un transistor y se conectan al driver correspondiente para cada luminaria.

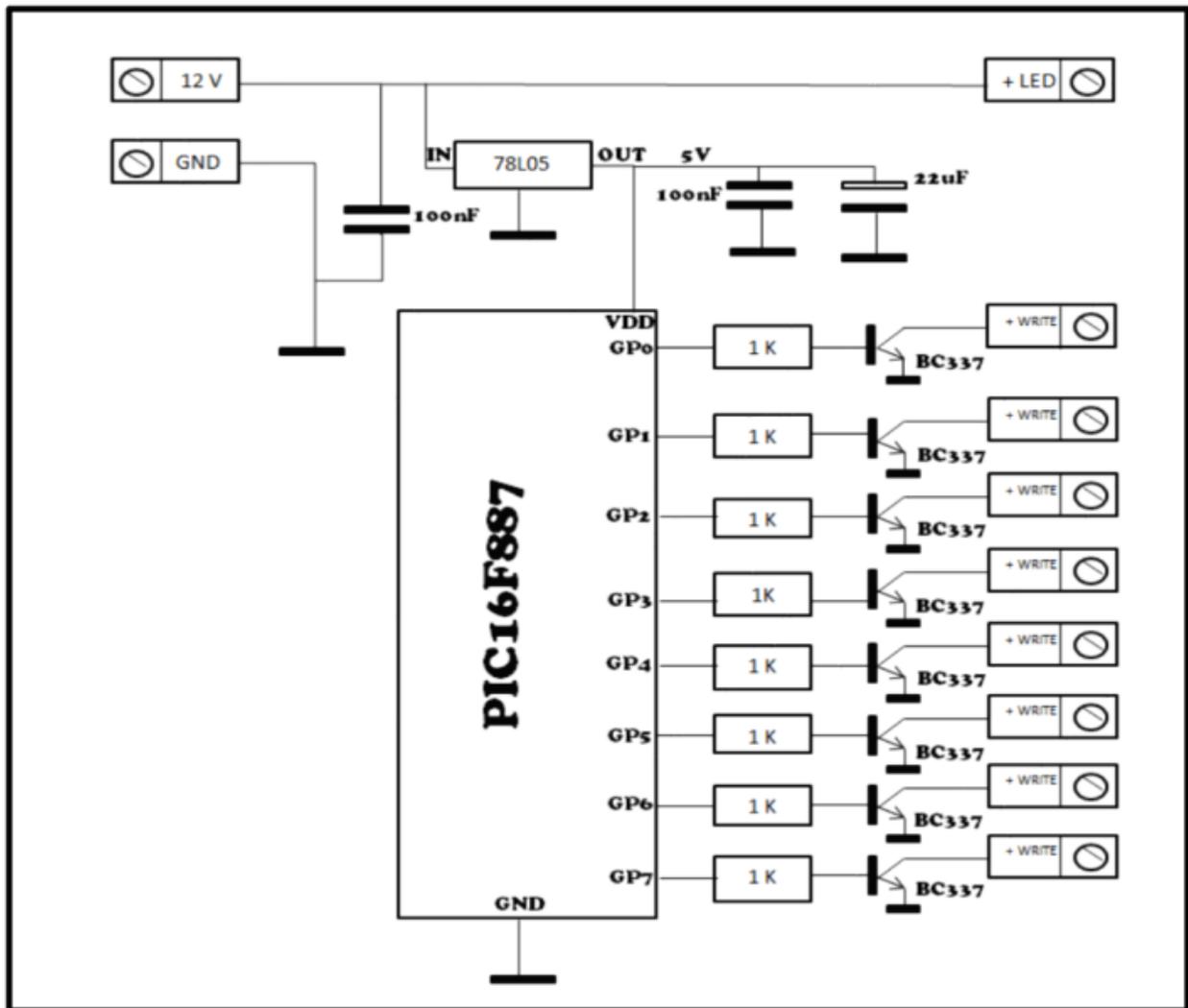


Fig. 20: Diagrama de control del microcontrolador PIC16F887 y sus salidas para la luminaria

Fuente: (Montalvo Ureta, 2016)

CAPÍTULO 2

Diseño de la luminaria LED

En este capítulo se presenta el diseño y desarrollo de una luminaria LED ornamental alimentada con tecnología fotovoltaica. El diagrama metodológico planteado para el proyecto es el presentado en la Fig. 21 y establece la secuencia lógica que a seguir para el cumplimiento de los objetivos establecidos anteriormente. Se detallan los criterios para el diseño de la luminaria y los cálculos realizados para el dimensionamiento y selección de los componentes electrónicos. Se emplearon como herramientas de software Matlab/Simulink para la simulación de los circuitos electrónicos, SolidWorks PCB para el diseño de las placas electrónicas y Dialux para la realización de las fotometrías de iluminación.

2.1 Descripción del lugar de estudio

El lugar de estudio establecido para este proyecto corresponde a las instalaciones de la Universidad Técnica del Norte, específicamente lugares con bajos requerimientos de iluminación como son jardines y senderos.

2.2 Metodología

La metodología de trabajo se puede observar en la Fig. 21 la cual consiste en establecer una serie de requerimientos de diseño que debe cumplir el proyecto en el aspecto electrónico, consumo energético, características de la iluminación y bajo costo. Con estos datos se realizó la selección de componentes y se realizó el diseño electrónico asegurando su correcto funcionamiento por medio de simulaciones. Posteriormente se diseñó el PCB del proyecto por medio de la herramienta software SolidWorks PCB y, por último, el diseño de la estructura del prototipo se realizó en SolidWorks.

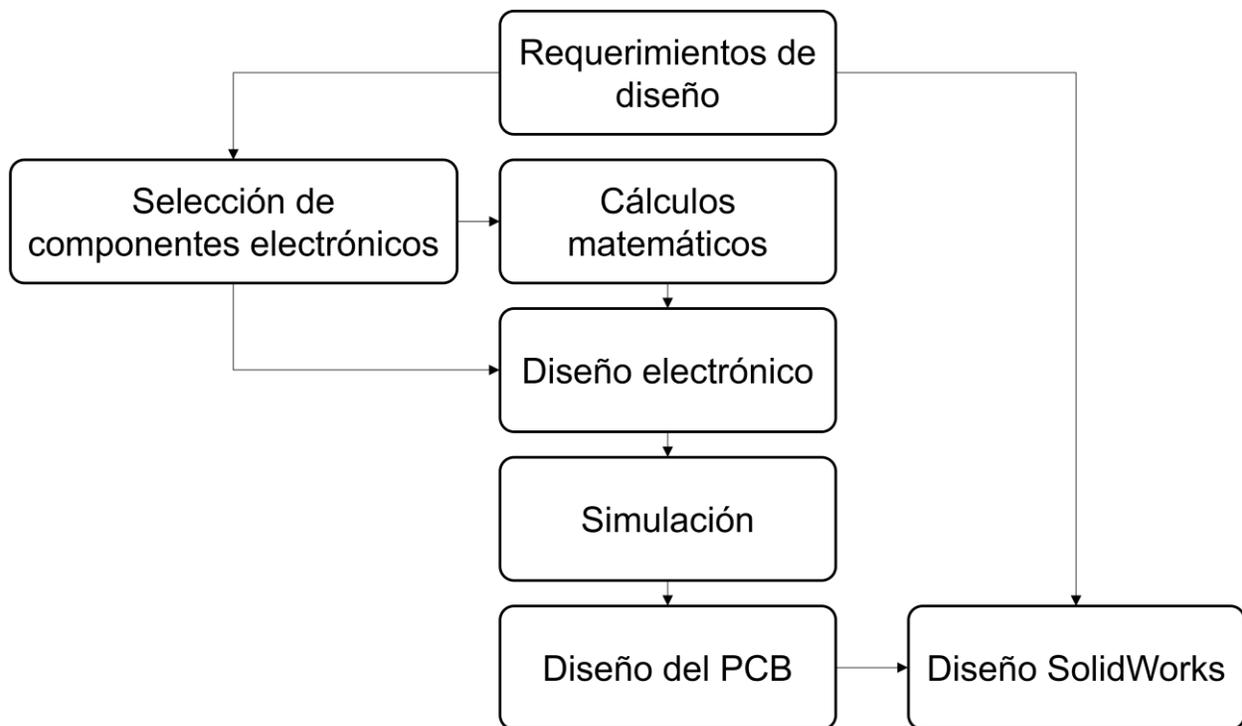


Fig. 21: Diagrama metodológico

Fuente: (El Autor, 2022)

2.3 Equipos y herramientas

Las herramientas utilizadas para el desarrollo de este proyecto son softwares de simulación y diseño CAD, las cuales se utilizaron para comprobar el correcto funcionamiento del sistema electrónico, la determinación de los lúmenes y la elaboración de la estructura mecánica final.

2.3.1 SolidWorks

Es un software privado que diseña y modela prototipos a construirse teniendo así una referencia de como quedaría el proyecto final. Se utilizó para modelar y realizar el ensamble de la luminaria con todos sus componentes que la conforman.

2.3.2 SolidWorks PCB

Es un programa en donde se diseñan placas circuitos electrónicos y mecánicos se lo utilizó para los circuitos de la luminaria como es el inversor las placas de LEDs los controladores de como iría la placa electrónica.

2.3.3 Matlab y Simulink

Simulink es una extensión de Matlab la cual permite analizar, diseñar, simular una amplia variedad aplicaciones dinámicas, mecánico, eléctrico entre otros fue utilizado en su forma estudiantil para la simulación del convertidor con el panel fotovoltaico y la luminaria.

2.3.4 Dialux evo

Es un software libre que permite simular las fotométricas y ángulos de iluminación de su amplio catálogo de luminarias que existen en el mercado de iluminación, Se simuló la iluminación en luxes de la luminaria.

2.4 Requerimientos de diseño

Los requerimientos de diseño son todos aquellos objetivos que se busca alcanzar en el desarrollo del proyecto. Los requerimientos de diseño establecidos para el proyecto son los siguientes:

- Cantidad de lúmenes adecuada para iluminación ornamental
- Bajo consumo de energía
- Bajo costo del prototipo
- Uso de un microcontrolador para controlar el sistema
- Programación fácil del controlador
- Uso de paneles solares como fuente principal de energía
- Uso de baterías para el almacenamiento de energía extra y funcionamiento continuo del prototipo
- Utilización de luminarias electroluminiscentes (LEDs) para la iluminación
- Circuitos de protección a bajo voltaje y a cortocircuitos

2.5 Esquema del proyecto

La propuesta planteada para el desarrollo de este proyecto se puede dividir en los siguientes bloques funcionales:

- La alimentación del sistema conformada por los paneles solares, el controlador de carga solar y las baterías.
- El control de la luminaria que contiene a los distintos circuitos electrónicos y los sensores ambientales y de flujo de personas
- La propia luminaria

El esquema que muestra la relación que existe entre los diferentes bloques se puede

observar en la Fig. 22.

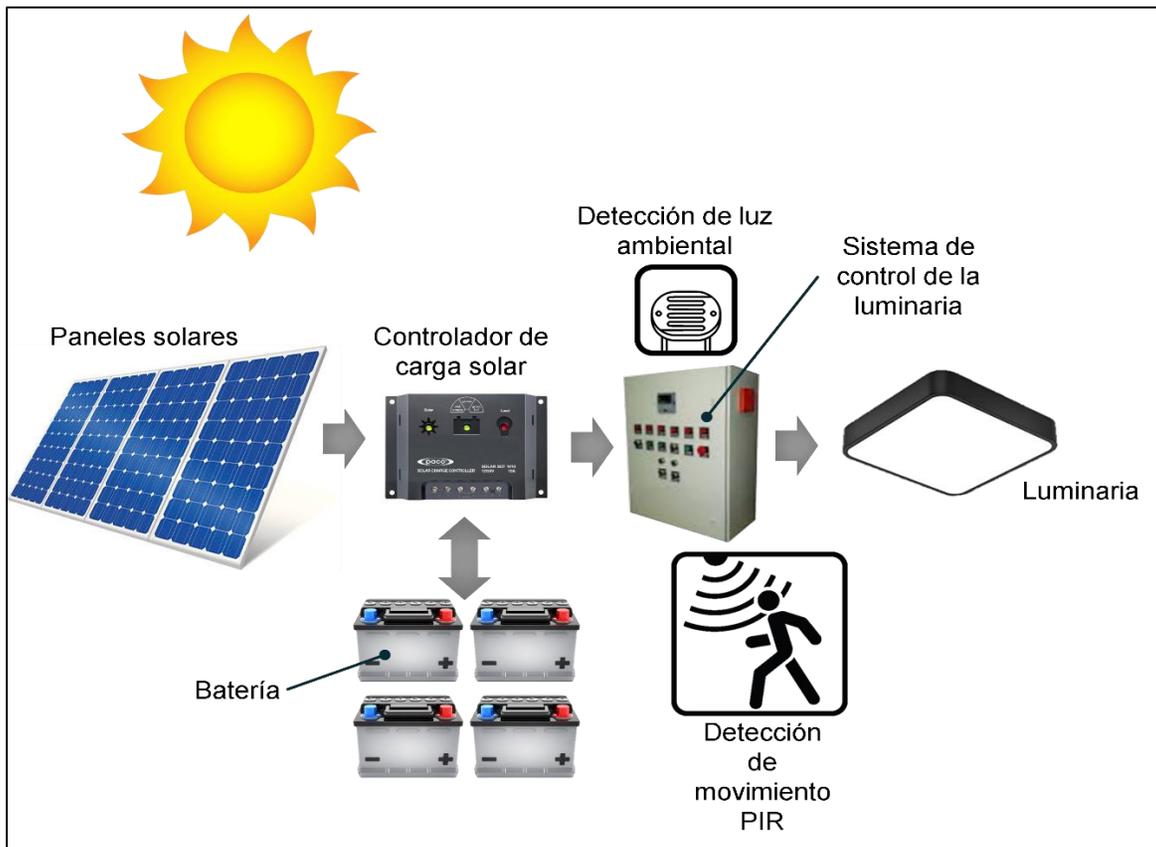


Fig. 22: Esquema propuesto para la luminaria

Fuente: (El Autor, 2022)

2.6 Diseño de la propuesta de la luminaria

El diseño propuesto para la luminaria se puede observar en la Fig. 23, en el cual se pueden observar los siguientes bloques fundamentales:

- Bloque del conversor-elevador y carga de batería
- Bloque de alimentación
- Bloque de control
- Sensores
- Luminaria
- Protección de la batería

Estos bloques trabajan en conjunto con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del proyecto. La propuesta presenta un sistema de alimentación basado en paneles solares el cual posee una etapa de potencia para elevar el voltaje de entrada a un valor acorde al necesario

para cargar las baterías, de tal forma que estas puedan acumular energía a la vez que se alimenta toda la luminaria. Esta etapa se encuentra protegida a voltaje inverso por medio de un diodo, y evita que la batería se descargue por medio de los paneles solares. La función de la batería es de suministrar energía a los circuitos cuando los paneles no se encuentren en funcionamiento. La luminaria está pensada para trabajar con voltajes de 12V para los LEDs, mientras que el bloque de control con un voltaje de 5V. Para ello, se emplea una serie de reguladores de voltaje lineales conectados con la batería y el bloque del conversor-elevador. El bloque de control es el encargado de controlar los LEDs en función de las señales recibidas por los sensores conectados a sus entradas y en base a una lógica programada en su memoria. Se alimenta con 5V obtenidos del regulador correspondiente y genera una salida de PWM para manipular la potencia y brillo en la luminaria. Para ello emplea un transistor como interruptor electrónico con suficiente capacidad de manejo de corriente conectado en la salida del controlador del bloque de control.

Los sensores tienen el propósito de brindar información al controlador sobre la cantidad de luz ambiental y la presencia de personas cerca de la luminaria, permitiéndole tomar decisiones acerca de la activación o no de las luces de la luminaria, la potencia a utilizar, etc.

Para garantizar la durabilidad y la vida útil de la batería es crucial el uso de una protección de bajo voltaje. Este circuito monitoriza constantemente la tensión de la batería de la batería de plomo-ácido y activa una desconexión cuando el voltaje cae por debajo de un umbral predefinido, evitando así una descarga excesiva que podría dañar irreparablemente la batería. La característica de histéresis permite que la desconexión sea temporalmente mantenida incluso después de que la tensión vuelva a subir, evitando activaciones y desactivaciones repetitivas. Este diseño proporciona una protección esencial para las baterías de plomo-ácido, asegurando su confiabilidad y prolongando su vida útil en aplicaciones críticas

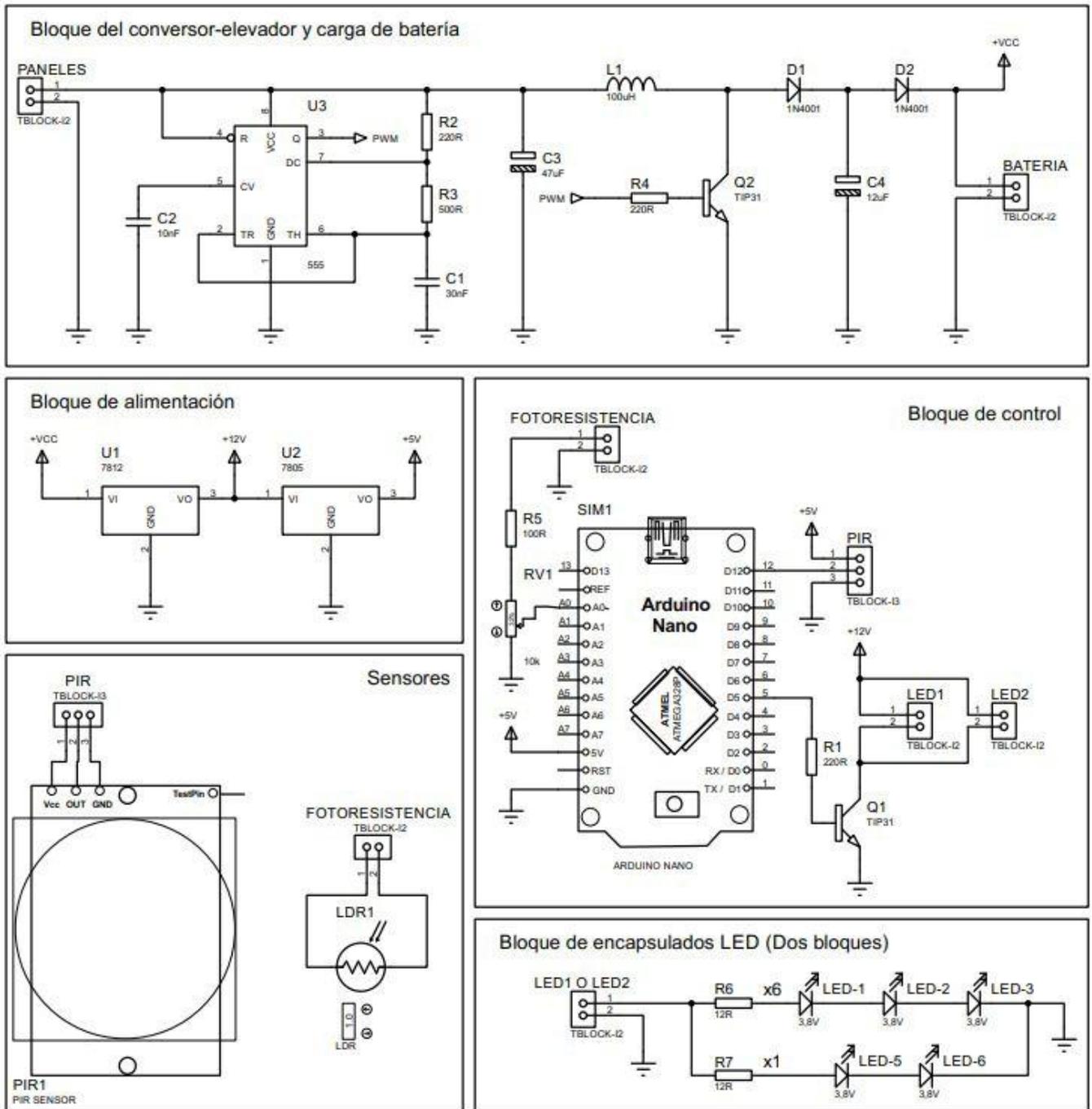


Fig. 23: Bosquejo del proyecto de la luminaria LED.

Fuente: (El Autor, 2022)

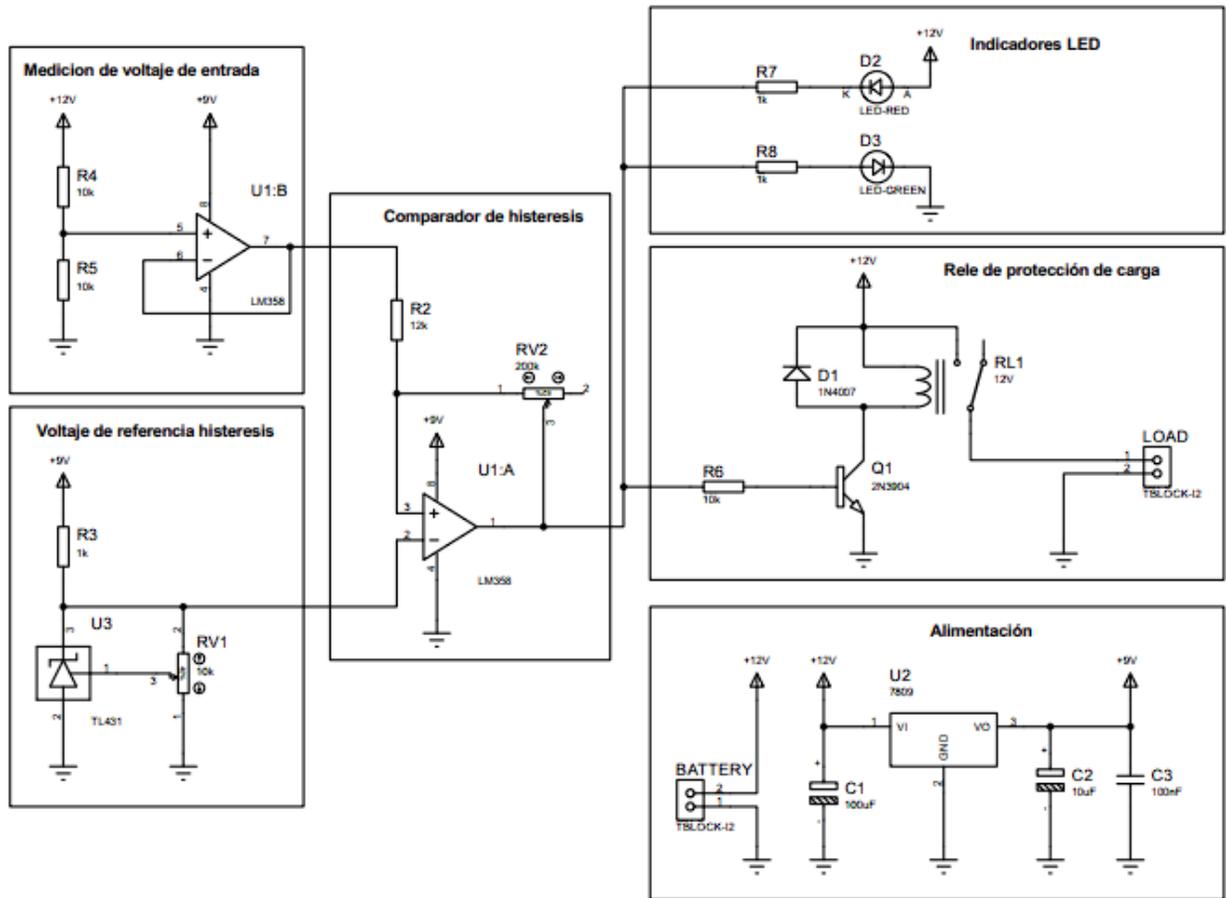


Fig. 24. Circuito de protección para la batería

Fuente: (El Autor, 2022)

2.6.1 Controlador del sistema

El controlador es un elemento cuya función es la de manipular y controlar otros subsistemas, leer sensores y tomar decisiones en función de unos datos. Existen muchos tipos de controladores y pueden ser programables como no programables. El hardware de un controlador pues basar su funcionamiento en microcontroladores, microprocesadores, FPGAs, PLCs o construirse sobre una tarjeta de desarrollo.

2.6.2 Selección del controlador

Para la selección de un controlador se consideró la Tabla 2. 1 el cual compara características importantes para el proyecto entre diferentes controladores existentes en el mercado. De acuerdo con los requerimientos de bajo consumo y reducido tamaño, se determinó que el controlador óptimo que cumple con los requerimientos establecidos es el

Arduino Nano. Adicionalmente se resalta la importancia de utilizar un controlador con salidas PWM, esto debido a que se utilizaron para la generación de una señal de control para la intensidad de luz de las luminarias.

El Arduino Nano es una tarjeta de desarrollo de hardware libre basada en el controlador ATmega328p el cual es un microcontrolador de 8 bits el cual funciona a una frecuencia de trabajo de 16 MHz. La tarjeta se programa por medio de software libre y cuenta con una gran cantidad de documentación que facilita su utilización.

Tabla 2. 1
TABLA COMPARATIVA ENTRE DIFERENTES TIPOS DE CONTROLADORES

	Arduino uno	Arduino Nano	Raspberry
Precio	\$10	\$7	\$90
Voltaje de funcionamiento	5V	5V	5V
Corriente de funcionamiento	19 mA	19 mA	3A
Salidas PWM	Si por hardware	Si por hardware	Si por software
Tamaño	55.1 x 24.9 mm;	18 x 45 mm	56.5 mm x 85.6 mm

Fuente: (El Autor, 2022)

2.6.3 Alimentación de los encapsulados LED

Debido a que el sistema que se encarga de entregar la energía de los paneles a la luminaria está pensado para cargar batería. En consecuencia, los ciclos de carga y descarga que se producen en consecuencia del consumo de energía de la batería pueden alterar el brillo normal de la luminaria, ocasionando que los LEDs no iluminen de forma adecuada. Es por eso que es necesario que el voltaje se regule antes de llegar a los encapsulados LEDs, por lo que para este fin se utilizará el regulador de voltaje 7812 que se puede observar en la Fig. 25. Este dispositivo entrega un voltaje continuo de 12V adecuado para el circuito de iluminación, permitiendo que el control de luminosidad sea mucho más estable.

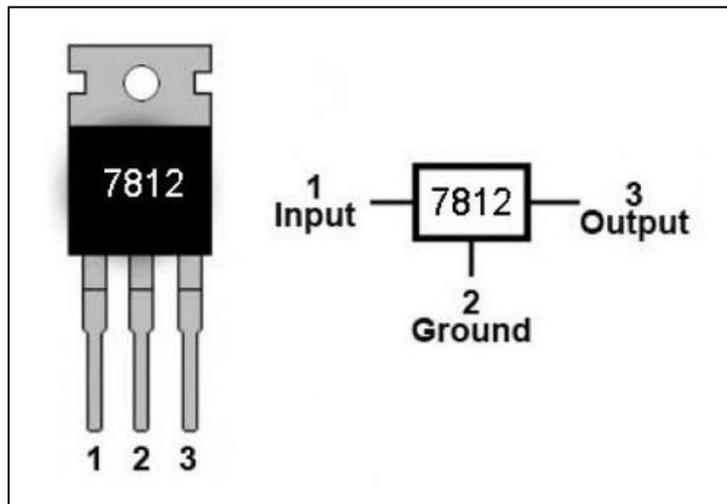


Fig. 25: Circuito integrado 7812
Fuente: (Components, 1997)

2.6.4 Alimentación de la electrónica de control

La tarjeta Arduino Nano funciona con 5 VDC, por lo que para alimentar al dispositivo se utilizó un regulador de voltaje 7805 el cual es un regulador lineal de 3 pines comúnmente utilizado para este tipo de aplicaciones y sus principales características se pueden observar en el Anexo B. Este regulador es capaz de entregar hasta 1000 mA de corriente por lo es utilizado también para alimentar otros subsistemas del control de iluminación.

Debido a que este regulador toma como entrada de voltaje los 12V entregados por la batería y el regulador de carga solar, es necesario colocar un disipador de calor para evitar daños por exceso de temperatura, el cual se debe sujetar mediante tornillo y tuerca aprovechando un agujero pasante presente en el encapsulado del regulador. El regulador 7805 y su diagrama de pines se puede observar en la Fig. 26.

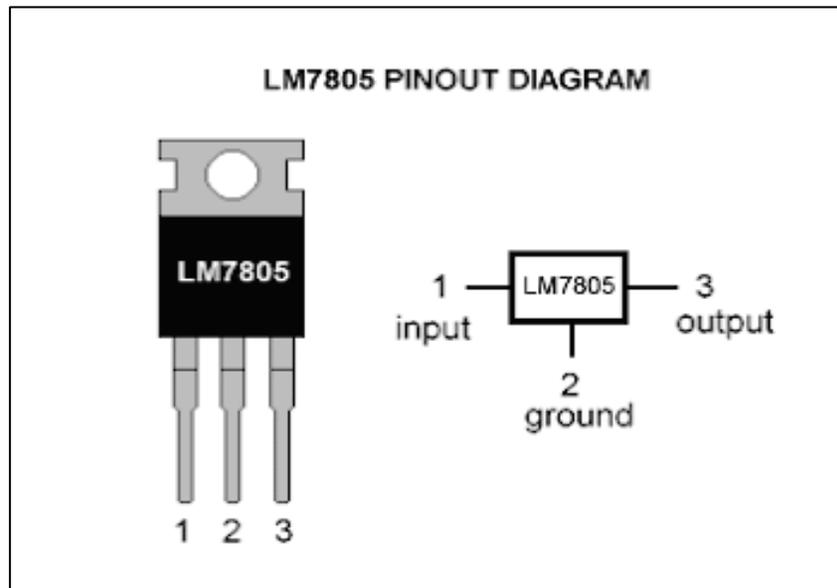


Fig. 26: Circuito integrado 7805
Fuente: (Components, 1997)

2.6.5 Interruptor electrónico con transistor para el control de la luminaria

El interruptor electrónico es un dispositivo que como su nombre lo indica, funciona como un switch que permite o no el paso de corriente según reciba una señal de control. Debido a que, para el proyecto de la luminaria, se utilizara PWM para el control de la luminosidad, este interruptor debe ser capaz de funcionar con la frecuencia de esta señal, la cual, según la hoja de datos de Arduino, es por defecto de un valor de 980 Hz. Adicionalmente debe permitir una corriente mayor a 0,672 A y soportar un voltaje mayor a 12 V, correspondientes al consumo energético de los encapsulados LED. Teniendo en cuenta estos requerimientos, se seleccionó un transistor genérico BJT de potencia serie TIP31A, el cual permite activar cargas de hasta 40 V y 3 A con un ancho de banda de 3 MHz, necesitando únicamente una corriente de 10 mA a 5V en su base para ser activado en saturación (Silicon, s.f.).

2.6.6 Sensor de la iluminación ambiental

Para medir la cantidad de iluminación en el ambiente se ha utilizado una fotorresistencia el cual es un sensor que posee una alta sensibilidad al cambio de luz incidente siendo capaz de captar un amplio rango de frecuencias de luz como son la luz visible, ultravioleta (UV) e infrarroja (IR) lo que lo convierte en ideal para aplicaciones que requieran de rigurosos controles de luminosidad. Para su uso, se necesita que este sensor este en serie con un potenciómetro formando un circuito divisor de voltaje, esto con el propósito de generar un

mecanismo de calibración y ajuste de sensibilidad. Según (Components, 1997) estos componentes cambian su resistencia según la iluminación ambiental en un rango de entre 400Ω y 10000Ω. Este componente también se encuentra en módulos lo cual facilita su uso durante el desarrollo de proyectos, sin embargo, debido al tamaño de estos módulos no es adecuado para los requerimientos de la luminaria además de tener un precio mayor. Otra alternativa existente en el mercado son los fotodiodos los cuales permiten detectar luz infrarroja también presente en la luz ambiente. Sin embargo, estos componentes no presentan las mismas ventajas de sensibilidad a luz como las fotorresistencias.

Tabla 2. 2
TABLA COMPARATIVA DE SENSORES DE ILUMINACIÓN AMBIENTAL

	Fotorresistencia	Módulo de Fotorresistencia	Fotodiodos
Precio	\$ 0.60	\$ 2.50	\$1
Rango de detección	Luz visible, UV, IR	Luz visible, UV, IR	Luz infrarroja
Voltaje de trabajo	5V	5V	5V
Tamaño	13 mm diámetro	32 mm x 14 mm x 7 mm	5 mm diámetro

Fuente: (El Autor, 2022)

2.6.7 Sensor del flujo de peatones

Para determinar el flujo de peatones que circulan en los alrededores de la luminaria, se empleó un sensor PIR (pasivo infrarrojo) el cual tiene como principales ventajas su amplio rango de detección, producto de su alcance de entre 3m a 7m y una cobertura de hasta 110°. Estos sensores a diferencia de los ultrasónicos y los de módulos básicos de proximidad están diseñados específicamente para activarse con la presencia de seres humanos lo cual los convierte en los ideales para la aplicación de la luminaria.

El sensor HC-SR501, ver en el Anexo C, es un dispositivo PIR que se encuentra fácilmente en el mercado. Este sensor cuenta con 3 terminales, dos de alimentación y un tercer terminal para la señal. Su modo de funcionamiento consiste en generar un pulso cada vez que una persona se coloca en su zona de detección. Esta señal se conecta a cualquier microcontrolador por medio de un pin digital y puede ser leída como si se tratara de un pulsador. Para configurar el pulso del PIR, el sensor cuenta también con dos potenciómetros de precisión que permiten ajustar el tiempo de pulso cuando un objeto es detectado (3 s a 5 min) y la sensibilidad del sensor (3 m a 7 m). Para este caso el tiempo debe ajustarse al mínimo de 3 segundos y la distancia de detección será acorde al criterio del diseñador del proyecto de iluminación (“HC-SR501 PIR MOTION DETECTOR”, s.f.).

Tabla 2. 3

TABLA COMPARATIVA DE SENSORES PARA EL FLUJO DE PEATONES

	PIR HC-SR501	HC-SR04	Sensor de proximidad
Precio	\$ 2.99	\$ 5.85	\$2.50
Rango de detección	3 -7m con un cono de detección de 110°	2 - 400cm con un cono de detección de 15°	20 – 300mm con un cono de detección de 35°
Voltaje de trabajo	5 -20V	5V	3.3 – 5V
Tamaño	32mm x 24 mm Dimensión del lente: 23 mm de diámetro	45 x 20 x15mm	31 x 15 x 7mm

Fuente: (El Autor, 2022)

2.6.8 Comparador de histéresis

Para el comparador se puede utilizar cualquier amplificador operacional de uso general. Para este trabajo se seleccionó el LM358 por su disponibilidad en el mercado y su bajo costo de alrededor de 50 cts. Posee dos amplificadores de uso general los cuales se aprovecharán para crear un buffer de voltaje para la medición y el propio comparador.



Fig. 27. Amplificador operacional LM358

2.6.9 Voltaje de referencia para la histéresis

Para la creación de un voltaje de referencia se utilizó el circuito integrado TL431, el cual es un diodo Zener programable de alta precisión, capaz de ajustar un voltaje por medio de un divisor de voltaje en su entrada de referencia. El voltaje entre este pin y tierra siempre es de

2.5V, por lo que este es el voltaje mínimo que puede entregar. Para este propósito, se utilizará en conjunto con un potenciómetro para ajustar de forma precisa el voltaje necesario para la operación del comparador.

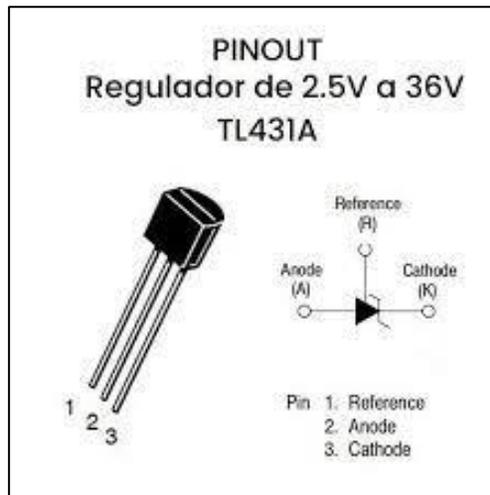


Fig. 28. Zener programable TL431

2.6.10 Protección a bajo voltaje

El circuito de protección de bajo voltaje se basa en un sistema que utiliza un relé y un comparador con amplificador operacional en configuración de histéresis. Los límites de activación y desactivación se ajustan acorde a la batería a utilizar y pueden ser configurados por medio de un voltaje de referencia y la ganancia del amplificador. Es importante que el voltaje de alimentación del circuito sea regulado, debido a que este valor influye en la histéresis del circuito, por lo que se utilizó un integrado 7809 para este fin. Debido a que el voltaje a medir es mayor al voltaje de alimentación, se utilizó un divisor de voltaje donde la salida es equivalente a la mitad del voltaje de entrada.

2.6.11 Protección a cortocircuito

La protección a cortocircuito se utiliza para evitar que la batería se dañe ante una carga de corriente muy alta. Debido a que el sistema únicamente alimentara a los LEDs, no se requiere un limitador sofisticado por la baja carga que estos representan. Debido a ello se utilizará únicamente un fusible cuyo valor puede ser establecido en función de la corriente máxima de consumo de los LEDs.

2.7 Parámetros para la determinación de los lúmenes para la luminaria

Para la determinación de la cantidad de lúmenes adecuada para la luminaria se optó por la

comparación de los resultados fotométricos de una simulación de 3 niveles de iluminación producidas por luminarias comerciales sobre una zona. En la simulación se empleó un área cuadrada en cuyo centro se colocó la fuente de luz y se rodeó a distintas distancias con entidades que representaban a personas y objetos. El criterio de selección consistió en determinar cuál de estas fuentes de luz iluminaba toda el área de forma correcta sin sobrepasar la zona establecida, punto en el cual implicaba que los lúmenes estaban sobredimensionados.

2.7.1 Simulación por medio del software Dialux

Dialux es un software de libre acceso utilizado para el estudio lumínico de lámparas y luminarias en un entorno 3D diseñado con herramientas CAD, permitiendo estudiar como la luz se comporta en diferentes superficies. El uso de este software para el desarrollo de este proyecto se basa en el autor (Diseño et al., 2015), el cual lo utiliza para analizar el comportamiento de un sistema de iluminación para una parada de bus y su valla informativa para la ciudad de Cuenca, Ecuador. La simulación que se observa en la Fig. 29 se puede apreciar cómo se planteó el proyecto de la luminaria, detallando dimensiones y parámetros permitiendo obtener un resultado cercano a la realidad esperada. La geometría, dimensiones de la estructura, inclinación, agrupación de luminarias y muchos parámetros más se pueden modificar con el fin de obtener los resultados que se ajusten a los requerimientos de iluminancias de un área de trabajo específica. (Diseño et al., 2015)

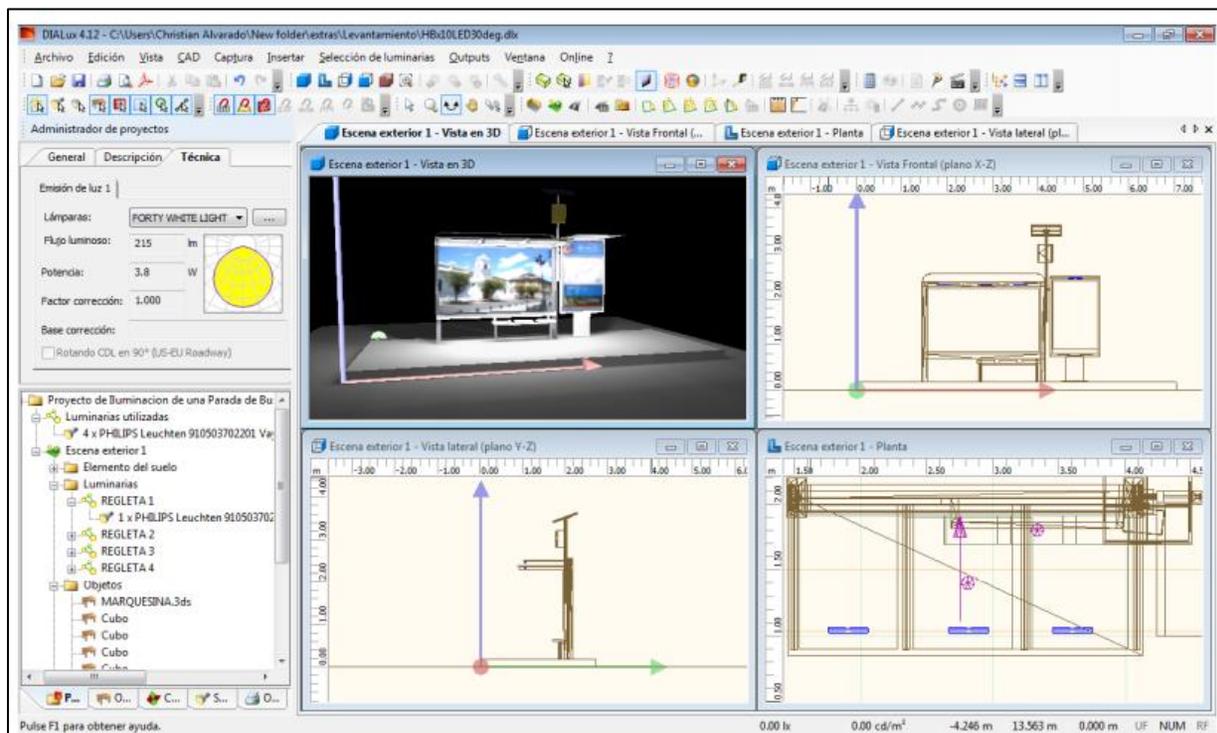


Fig. 29: Simulación en Dialux de una luminaria para una parada de bus

Fuente: (Diseño et al., 2015)

2.7.2 Simulación de la intensidad luminosa de la luminaria propuesta

El software Dialux Evo es una excelente herramienta para el análisis de proyectos de iluminación. En este proyecto se realiza la simulación con la luminaria Performance in Lighting 306061 AMON MINI SOFT S/EW 41W 840 AN-96 1-10 V. Anexo F, en 3 niveles de luxes predeterminados, las cuales son:

- 20 luxes
- 35 luxes
- 50 luxes

El área tiene una dimensión de 3m x 3m el cual es acorde a la oferta disponible en el mercado (LEDex, 2019)(LEDvance, 2021)(Silvania, 2019), los cuales establecen una área de iluminación de 9m², con una altura aproximada para la fuente de luz de 100 cm desde el suelo y los objetos que esta contiene se pueden apreciar en la Fig. 30, la cual representa el plano de iluminación planteado para el proyecto. Se observan dos bancas ubicadas en la parte superior izquierda y en la parte inferior derecha, en la parte superior derecha se representa un árbol mientras que el resto de las entidades son personas. En la parte central se ubica la luminaria.

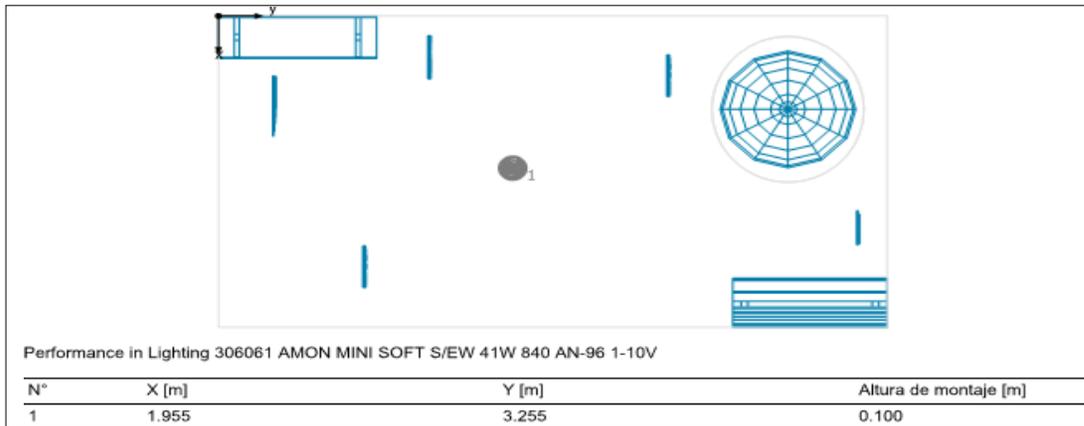


Fig. 30: Plano de iluminación
Fuente: (El Autor,2022)

Los parámetros de la simulación de la luminaria con una media de 20 luxes se puede apreciar en el lado izquierdo de la Fig. 31. Estos parámetros fueron establecidos con respecto al plano de forma perpendicular. El alcance de la luz se representa con patrones circulares alrededor de la fuente de luz y se dividen en regiones las cuales representan la intensidad por medio de una escala de brillo. En esta simulación se observa que la fuente de luz no alcanza de manera satisfactoria a las personas u objetos representados en el mapa. Las fotometrías de esta simulación se encuentran en el Anexo G.

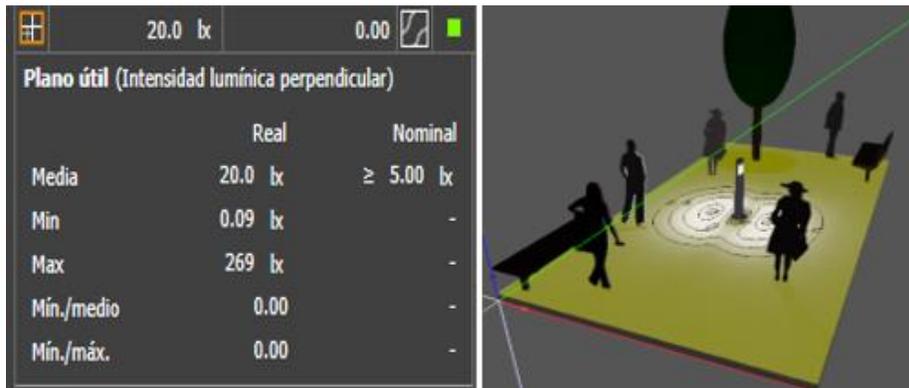


Fig. 31: Parámetros y simulación a 20 luxes
Fuente: (El Autor, 2022)

Para el caso de la simulación de la luminaria a 35 luxes, Fig. 32, el alcance es notablemente mayor con respecto a la primera simulación. Se observa que la zona que abarca la laminación comprende todo el centro del área alcanzando dos entidades cercanas y de forma más leve a las entidades distantes. Las fotometrías de esta simulación se encuentran en el Anexo H.

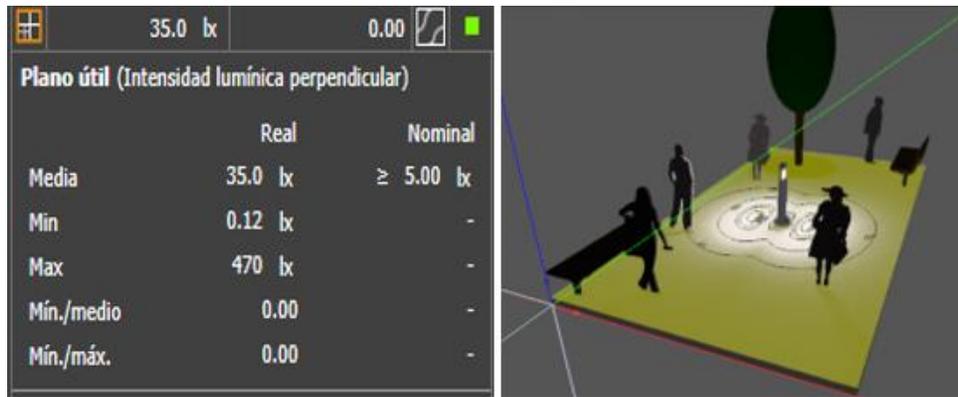


Fig. 32: Parámetros y simulación 35 luxes

Fuente: (El Autor,2022)

Con respecto a la simulación de la luminaria a 50 luxes, Fig. 33, no existió una diferencia notable con respecto a su antecesora. De igual manera se logró cubrir el área del centro con un alcance apenas superior a la luminaria con a 35 luxes. Las fotometrías de esta simulación se encuentran en el Anexo I.

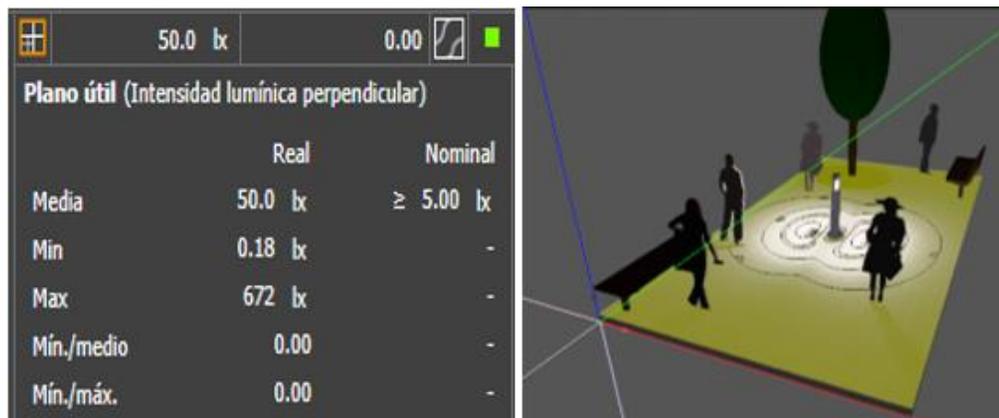


Fig. 33: Parámetros y simulación a 50 luxes

Fuente: (El Autor,2022)

A partir de estas simulaciones se determinó que la iluminación de la luminaria a 20 luxes era muy débil mientras que las intensidades de 35 y 50 luxes iluminaban el área de maneras similares.

Para propósitos de este proyecto, se diseñará la luminaria con un valor de iluminación máximo de 50 luxes representando un encendido completo, mientras que un valor de 0 luxes representará a la luminaria apagada.

2.7.3 Flujo luminoso de la luminaria propuesta

Las luminarias en espacios exteriores deben ser capaces de producir una iluminancia de entre 20 y 50 luxes, si se maneja valores inferiores a los 20 luxes, distinguir los senderos puede volverse una tarea complicada; por el contrario, si se aplica valores por sobre los 50 luxes la iluminación puede causar deslumbramiento en los peatones (Ballester, 2006). En este proyecto se diseña la luminaria tomando el valor de 50 luxes como el límite máximo que debe alcanzar la luminaria, esto debido a que el sistema cuenta con un mecanismo de atenuación del flujo luminoso en función de las personas que circulen junto a la luminaria.

El flujo luminoso deseado se puede determinar por medio de los luxes y un área establecida, para lo cual se utiliza la (1)

$$\varphi L = A * E \quad (1)$$

Fuente: (Ballester, 2006).

Donde:

- φL : El flujo luminoso de la luminaria expresado en lúmenes
- A: El área que se espera iluminar con cada luminaria expresada en metros cuadrados
- E: La iluminancia que se desea obtener expresada en luxes

El flujo luminoso de los LEDs se define como el producto de la intensidad luminosa por el ángulo de visión expresado en estereorradianes siguiendo la (2).

$$\varphi E = I * \Omega \quad (2)$$

Fuente: (Ballester, 2006).

Donde:

- φE : El flujo luminoso de cada encapsulado expresado en lúmenes
- I: La intensidad luminosa de cada encapsulado expresada en candelas
- Ω : El ángulo de visión expresado en estereorradianes

Y la relación entre estereorradianes y grados es la expresada por la

$$\Omega = 2 * \pi * \left(1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right) \quad (3)$$

Donde:

- θ : es el ángulo expresado en grados

Fuente: (Ballester, 2006).

Se ha mencionado que el flujo luminoso objetivo es 450 lúmenes. En el mercado se puede encontrar diodos LED de distintas características geométricas, eléctricas, térmicas y lumínicas por lo que se utilizará por conveniencia y su facilidad de adquisición LEDs de la serie 3528, el cual posee como características un ángulo de visión (120°) e intensidad luminosa de hasta 5500 micro candelas consumiendo una corriente de apenas 60 mA como se muestran en el Anexo B. (Ninex, 2004). Es posible determinar la cantidad de LEDs por medio de la (4), la cual relaciona los lúmenes deseados y los emitidos por cada LED.

$$N_E = \frac{\phi_L}{\phi_{Ef}} \quad (4)$$

Donde:

- N_E : Es el número de encapsulados que se debe colocar en la luminaria.
- ϕ_{Ef} : Es el flujo luminoso final de cada LED
- ϕ_L : Es el flujo luminoso que se espera de la luminaria.

Fuente: (Ballester, 2006).

Adicionalmente se debe considerar la atenuación de un LED producto de atravesar un material o trabajar en un valor menor al 100% de su capacidad se determina por medio de la (5)

$$\phi_{Ef} = \phi_E * \text{Atenuación}(\%) \quad (5)$$

Fuente: (Ballester, 2006).

Conociendo que no es recomendable llevar a los dispositivos electrónicos a trabajar al

100% de su capacidad se optó por someter a los LEDs únicamente al 80% de su capacidad. Adicionalmente, en la iluminación con diodos LED, los encapsulados no iluminan directamente el ambiente debido a que su luz atraviesa una cubierta o un material difusor que cubre los cubre antes de iluminar el ambiente deseado. Esto causa que la luz atraviese un proceso de transmisión, donde una parte de la luz emitida por los encapsulados se pierde. El material empleado como difusor es el acrílico debido a su fácil adquisición, uso común en aplicaciones de luminarias y por sus características ópticas que permiten mostrar un flujo luminoso más uniforme.

Según (FROSTED SATIN ICE ACRYLIC SHEET, 2022) las láminas de acrílico son capaces de transmitir un 83 % de la luz.

2.8 Parámetros para la selección de los componentes electrónicos

Esta sección presenta el fundamento matemático utilizado para determinar los parámetros óptimos de los componentes electrónicos de los circuitos, tomando como base las características de los LEDs a utilizar, el consumo energético y los requerimientos de alimentación, así como las recomendaciones dadas por los fabricantes en las respectivas hojas de datos.

2.8.1 Sistema de control de energía

El sistema de control de energía es el encargado de gestionar la corriente suministrada por el panel solar, almacenarla y entregarla al sistema de control de la luminaria. Este sistema posee en un controlador de carga solar basado en un elevador de voltaje el cual cargará las baterías cuando exista una sobreproducción de energía por parte de los paneles y entregará un voltaje de 12V constante por medio de un regulador independientemente de la existencia de luz solar. Es importante considerar que la corriente que suministra en promedio los paneles se usa en su mayor parte para cargar las baterías, por lo que son estas últimas las que se deben dimensionar acorde al consumo de los LEDs de la luminaria y su respectivo sistema de control. El módulo de elevación de voltaje es necesario para subir desde los 6V del panel hasta 14V necesarios para cargar las baterías del sistema y posee las debidas protecciones para garantizar su funcionamiento.

2.8.2 Selección de los paneles solares para la luminaria

La selección de los paneles solares se realizó considerando como características voltaje de funcionamiento de 12V, corriente de consumo de la luminaria con el sistema de control y un

tamaño del panel cómodo. Debido a que la mayoría de los paneles solares de 12V encontrados en el mercado son demasiados grandes, se optó por utilizar un panel de 6V con un elevador de voltaje, ver anexo D, con el fin de satisfacer los 12V requeridos.

Las características del panel solar seleccionado son las que se pueden observar en la Tabla 2. 4.

Tabla 2. 4
CARACTERISTICAS DE LOS PANELES SOLARES SELECCIONADOS

Voltaje	6 V
Potencia	3,5 W
Corriente	580 mA
Ancho	16,5 cm
Largo	13,5 cm

Fuente: (El Autor, 2022)

Considerando que en Ecuador la luz del sol está presente durante 12 horas en diferentes niveles de intensidad y que los 580 mA que se muestran en la Tabla 2. 4 corresponde a la corriente máxima en condiciones ideales, se tuvo que considerar que en promedio se trabajará con una corriente del 50 % de su valor máximo, teniendo una corriente aproximadamente de 290 mA. Como se verá más adelante, este valor de corriente es insuficiente para el convertidor por lo que se utilizará dos paneles solares conectados en paralelo.

2.8.3 Determinación del consumo del sistema

El consumo de energía de la luminaria es la suma del consumo de cada dispositivo que forma parte de los circuitos del sistema. Es decir, se debe considerar el consumo del controlador, de los sensores de luz ambiental, del sensor de los peatones y de la fuente de alimentación.

2.9 Parámetros para determinar el consumo de corriente de los encapsulados LED

Los encapsulados LED 3528 trabajan en un rango de 3,2 V a 3,8 V con una corriente máxima de 60 mA por cada encapsulado (Ninex, 2004). Los 40 LEDs se distribuyen en 10 Para limitar el flujo de corriente hacia los LEDs es necesario colocar una resistencia de tal forma que la corriente no supere el valor máximo en cada rama del circuito. En este proyecto se ha

distribuido el flujo luminoso en dos placas situadas en caras opuestas de la luminaria donde cada placa contará con 20 encapsulados. Estas se distribuyen en 6 ramas con 3 encapsulados y una más con 2 encapsulados, implicando que se debe determinar una resistencia limitadora para dos casos, La ecuación que permite conocer el valor de la resistencia es dada por la (6).

$$R = \frac{V_R}{I_R} \quad (6)$$

Donde:

- V_R : El voltaje en la resistencia.
- I_R : La corriente en la resistencia.
- R : El valor de la resistencia.

Fuente: (Diseño et al., 2015)

La (6) depende del voltaje de caída en la resistencia y la corriente que circulara a través de la rama. El voltaje en la resistencia es la diferencia entre el voltaje que alimenta la rama y la suma de las caídas de voltaje por cada encapsulado y está dada por la (7).

$$V_R = V_{rama} - N_{Led} * V_{led} \quad (7)$$

Donde:

- V_{rama} = Voltaje en la rama
- N_{LED} = El número de LEDs en la rama.
- V_{LED} = Voltaje en el LED
- V_R = Voltaje en la resistencia

Fuente: (Diseño et al., 2015)

La hoja de datos de los encapsulados 3528 indican que la corriente máxima que pueden soportar es de 60 mA, por lo que por seguridad se utilizó el 80 % de su capacidad, de acuerdo

como se calculó con la (8).

$$I_R = I_{maxima} * Porcentaje \quad (8)$$

Donde

- I_{maxima} : Es la corriente máxima que puede aplicarse en los encapsulados.
- Porcentaje: Es la capacidad de funcionamiento de los encapsulados.
- I_R : Es la corriente que se va a consumir.

Fuente: (Diseño et al., 2015)

Por otro lado, la corriente total de todos los encapsulados se puede determinar por la multiplicación de la corriente I_R por la cantidad total de ramas del circuito. La ecuación que define la corriente total es la

$$L = N_{ramas} * I_{rama} \quad (9)$$

Donde

- N_{ramas} : Es el número de ramas totales.
- I_{rama} : Corriente de cada rama
- I_L : Es la corriente total de las ramas

Fuente: (Diseño et al., 2015)

2.10 Parámetros para determinar el consumo de corriente del controlador

La tarjeta de desarrollo Arduino Nano es un circuito que funciona con 5V el cual según la hoja de datos cuenta con un consumo de corriente de apenas 15 mA, valor que se utilizará como su consumo de corriente.

2.10.1 Consumo de corriente de los sensores HC-SR501

Según (“HC-SR501 PIR MOTION DETECTOR”, s.f.) estos sensores trabajan en un rango de voltaje de 5 a 20 voltios con un consumo de corriente de 50 uA. Como se utilizaron dos sensores, entonces el consumo total es el doble siendo en este caso de 0,1 mA.

2.10.2 Consumo de corriente del módulo de medición de luz ambiental

La fotorresistencia y el potenciómetro tendrán un consumo de corriente variable según el valor de resistencia eléctrica en cada uno de estos. Para determinar su consumo se ha evaluado el valor que estos componentes tendrían en las condiciones más desfavorables, es decir se trabajará con los valores que impliquen el mayor consumo permisible por estos componentes, para ello, se asume que la foto resistencia no ejerce resistencia cuando está completamente iluminada, por lo que la corriente que circula a través de ella queda limitada únicamente por la resistencia en serie al sensor y el potenciómetro. Tomando como referencia el bosquejo en la Fig. 23, se toma de valor para la resistencia 100 ohm y para el potenciómetro de 10 Kohm, por lo que empleando la (10 se puede determinar el valor de la corriente.

$$I_{ml} = \frac{5V}{(100\Omega + 10K\Omega)} \quad (10)$$

Donde:

- I_{ml} : Es el consumo de corriente por parte del módulo de medición de luz.

Fuente: (Diseño et al., 2015)

Se tiene entonces que el valor teórico de la corriente en el módulo de medición de luz es de 4.55 mA.

2.10.3 Consumo de corriente en la fuente de alimentación del controlador

Según (Semiconductor, s.f.) los reguladores de voltaje de la serie 78xx consumen una pequeña corriente de entre 5mA y 8 mA, por lo que para asegurar un correcto funcionamiento del regulador se tomó el valor de 8 mA por regulador. Debido a que en este proyecto se estableció el uso de dos reguladores de voltaje, en total se utilizarán 16 mA para los cálculos.

2.10.4 Consumo de corriente total en el controlador

Para conocer el consumo de corriente resultante en todo el sistema de control de iluminación se debe sumar el consumo de corriente de cada uno de sus componentes. Por lo tanto, la corriente del controlador de la luminaria estará dada por la (11

$$I_C = I_A + I_S + I_{ml} + I_f \quad (11)$$

Donde:

- I_C : Es el consumo de corriente por parte de todo el sistema de control.
- I_A : Es el consumo de corriente por parte de la tarjeta Arduino.
- I_S : Es el consumo de corriente por parte de los sensores HC-SR501.
- I_m : Es el consumo de corriente por parte del módulo de medición de luz.
- I_r : Es el consumo de corriente de los reguladores de voltaje de 12V y 5V

Fuente: (Diseño et al., 2015)

2.11 Parámetros para la determinación de las baterías

Para la selección de la batería se consideraron dos aspectos importantes los cuales son el voltaje de funcionamiento y la capacidad de la batería. El primer punto no resultó en un problema debido a que las baterías consideradas para el proyecto en la Tabla 1. 1 cumplen con el voltaje requerido. Por otro lado, la capacidad es un parámetro que depende del consumo de corriente, por lo que se calculó en función al consumo del sistema.

2.11.1 Demanda de amperios y autonomía del sistema

Para dimensionar la autonomía de la luminaria se ha considerado que los encapsulados deben ser capaces de permanecer encendidos al menos 5 horas en el nivel de iluminación intermedio (35 luxes). Para determinar la corriente de consumo se utiliza la (12)

$$I_{LI} = \frac{\text{Lux}}{\text{Lux}_{\max}} \times \text{LEDCurrent(A)} \quad (12)$$

Donde

- I_{LI} : Corriente de consumo
- Lux: Los luxes deseados
- Lux max: Los luxes máximos de la luminaria
- LEDCurrent: La corriente de los LEDs en A

Fuente: (Vasquez, 2015)

La demanda de amperios que requieren un circuito son el producto del número de horas de autonomía deseada y la corriente de consumo. La ecuación utilizada para determinar los Ah (amperios hora) que necesita el sistema es la (13).

$$Ah = I * h_{dia} \quad (13)$$

Donde

- Ah: Amperios hora del sistema de control.
- I: La corriente del circuito
- h_{dia}: Número de horas al día.

Fuente: (SunSupply, 2017)

La (14) permite determinar la demanda total de amperios AHT de un sistema corresponde la cual es el resultado de la suma individual de las demandas de corriente de cada parte que lo compone.

$$Ah_T = Ah_1 + Ah_2 + \dots + Ah_n \quad (14)$$

Donde

- Aht: Amperios hora total de un sistema
- Ah₁, Ah₂, Ah_n: Amperios hora de cada elemento del sistema

Fuente: (SunSupply, 2017)

2.12 Parámetros para modelar el convertidor elevador de los paneles solares

Para el diseño del convertidor elevador se usará la configuración de un boost-converter, ver Fig. 34, el cual es un arreglo de una bobina, un transistor, un diodo y un capacitor que en conjunto con un controlador que utiliza PWM (modulación por ancho de pulso) es capaz de elevar un nivel de voltaje DC a otro. Para el correcto funcionamiento de este convertidor es necesario definir de forma correcta, la corriente en la salida, el voltaje de entrada, el voltaje de salida y el porcentaje de rizado en el voltaje de salida y un valor adecuado de inductancia para la bobina. Una vez que se haya definido estos datos se calcularon los valores para el capacitor, la corriente de entrada del convertidor, parámetros adecuados para controlador del convertidor como son la frecuencia de conmutación del interruptor y el ciclo de trabajo del oscilador.

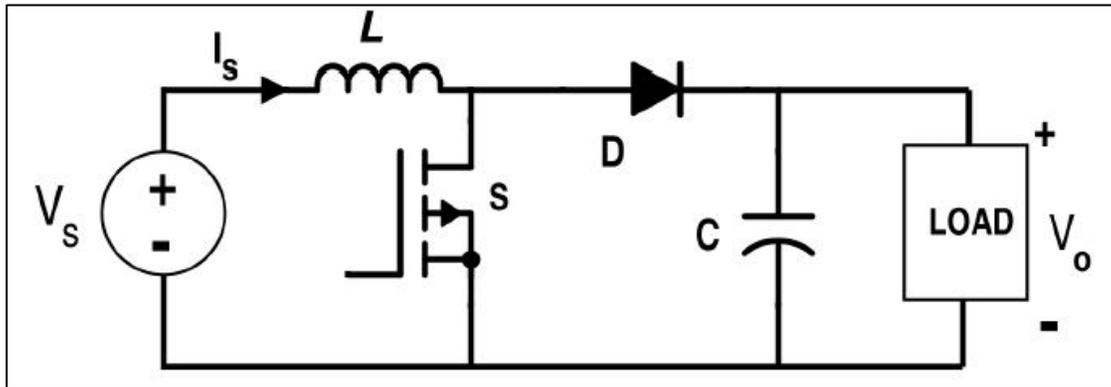


Fig. 34: Configuración básica de un elevador de voltaje boost-converter
Fuente: (El Autor, 2022)

La ecuación (15) permite determinar la corriente de salida del convertidor a partir de la demanda de energía calculada con la (14), la cual es además la capacidad mínima calculada para la batería, y el número de horas al día que debe estar funcionando el sistema.

$$I_o = \frac{AHT}{H\text{día}} \quad (15)$$

Donde

- I_o : Es la corriente en la salida.

Fuente: (Valderrama, Moreno, & Vega, 2011)

El voltaje de salida se determinó en función del voltaje de carga de la batería, el cual tiene un valor de 14 V. Se debe considerar que por medida de seguridad se colocó un diodo de protección a corriente inversa a la salida del convertidor, por lo que el voltaje total es la suma del voltaje deseado y la caída del voltaje del diodo. La ecuación que permite calcular el voltaje de salida es la (16).

$$V_o = V_{cb} + V_{diodo} \quad (16)$$

Donde

- V_{cb} : Es el voltaje de carga de la batería.
- V_{diodo} : Voltaje en el diodo.

Fuente: (Valderrama, Moreno, & Vega, 2011)

El ciclo de trabajo es un parámetro del PWM que permite al controlador establecer de forma correcta el voltaje de salida del elevador. Su valor oscila entre 0 y 1, y se calcula por medio de la (17)

$$C_T = 1 - \frac{V_i}{V_o} \quad (17)$$

Donde

- CT: Ciclo de trabajo
- Vi: Voltaje en la entrada
- Vo: Voltaje en la salida

Fuente: (Valderrama, Moreno, & Vega, 2011)

El valor de la inductancia se puede establecer en un valor de 100 uH la cual es una adecuada inductancia la cual se recomienda por (Freddy Fernando Valderrama, 2011), según este mismo autor, para el dimensionamiento del resto de componentes del elevador se debe considerar el 125 % del valor de diseño, por lo que la inductancia se puede determinar por la (18)

$$L_D = \frac{L_R}{1.25} \quad (18)$$

Donde

- LD: Inductancia de diseño
- LR: Inductancia real

Fuente: (Valderrama, Moreno, & Vega, 2011)

Para realizar el cálculo de la frecuencia de trabajo se debe, conocer también el valor de la resistencia en la carga del convertidor R_L , esta resistencia está dada por la (19), mientras que la frecuencia se calcula por la (20).

$$R_L = \frac{V_o^2}{\frac{I_o}{1 - C_T} * V_s} \quad (19)$$

$$f = \frac{V_s^2 * R_L * C_T}{V_o^2 * 2 * L_D} \quad (20)$$

Donde

- f: Frecuencia del oscilador.
- R_L : Resistencia de la carga del convertidor.
- L_D : Inductancia del diseño
- V_s : Voltaje de entrada

Fuente: (Valderrama, Moreno, & Vega, 2011)

La corriente en la entrada del convertidor I_i será la corriente que demanda este a los paneles solares, esta corriente está dada por:

$$I_s = \frac{V_o^2}{R_L * V_s} \quad (21)$$

Donde

- I_s : Corriente de entrada del elevador

Fuente: (Valderrama, Moreno, & Vega, 2011)

Para definir el valor del capacitor se utiliza la (22) la cual toma en consideración el porcentaje de voltaje de rizado. El autor (Freddy Fernando Valderrama, 2011) en su trabajo decide utilizar con un voltaje de rizado de 5 %, sin embargo, para este proyecto se ha establecido un valor de 2 %, para reducir las fluctuaciones de voltaje en la salida del convertidor

$$C_o = \frac{V_o * \frac{C_T}{f}}{r * V_o * 2\%} \quad (22)$$

Donde

- C_o : Es el capacitor de filtro en la salida del elevador

Fuente: (Valderrama, Moreno, & Vega, 2011)

2.12.1 Diseño del oscilador para elevador con el CI 555

El oscilador del elevador es el circuito que se encarga de elevar el voltaje por medio de la generación de una señal PWM con una frecuencia y un ciclo de trabajo adecuado aplicado sobre un transistor, como se puede ver en la Fig. 34. Existen diferentes opciones disponibles en el mercado para realizar esta función, sin embargo, por su facilidad en la implementación y su bajo costo. se utilizará el circuito integrado 555. Véase Anexo. D.

Como indica la hoja de datos de este encapsulado, se pueden trabajar con frecuencias de hasta 100 kHz sin problema lo cual es adecuado para la frecuencia de 38,821 KHz anteriormente calculada. La configuración utilizada con el 555 para la generación del PWM es la mostrada en la Fig. 35 el cual es un modo de funcionamiento astable que se puede configurar por medio de un capacitor y un par de resistencias.

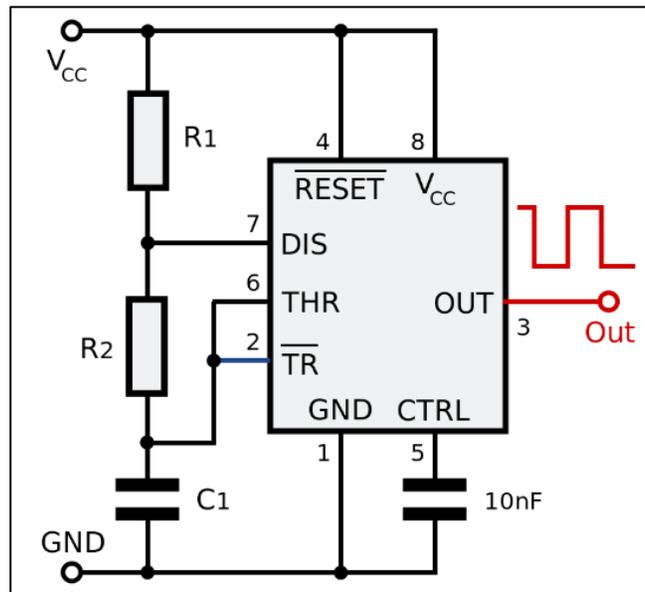


Fig. 35: Configuración 555 como astable
Fuente: (Freddy Fernando Valderrama, 2011),

Esta configuración impide ciclos de trabajo mayores o iguales a 0,5, sin embargo, se puede utilizar una salida negada por lo que el ciclo de trabajo se debe recalcular para este modo de operación. Para ello se utiliza la (23).

$$C_{TN} = 1 - C_T \quad (23)$$

Fuente: (Freddy Fernando Valderrama, 2011),

Para el cálculo de las resistencias R1 y R2 se puede establecer una de ellas arbitrariamente y calcular la otra por medio de la (24).

$$R_1 = \frac{R_2}{C_{TN}} - 2 * R_2 \quad (24)$$

Fuente: (Freddy Fernando Valderrama, 2011),

Y el capacitor C₅₅₅ que complementa el funcionamiento del circuito integrado 555 se determina por la (25).

$$C_{555} = \frac{1.44}{f * (R_A + 2 * R_B)} \quad (25)$$

Fuente: (Freddy Fernando Valderrama, 2011),

2.13 Parámetros para la determinación de la salida PWM del control de la luminaria

Por medio de programación es posible asignar un valor de PWM a una salida estableciendo valores enteros de 0 a 255 según (Banzi, 2007). Estos valores son equivalentes a salidas de 0 y 5V respectivamente por lo que de esta manera se puede controlar la intensidad de la luminosidad.

Como se diseñó el circuito de la luminaria tomando como valor máximo una luminosidad de 50 luxes y conociendo que este valor se alcanza con un PWM al máximo, se puede determinar cuánto tiene que ser esta señal de PWM para generar cualquier nivel de luminosidad. La ecuación que relaciona el ciclo de trabajo del PWM y los luxes deseados para la luminaria es la (26).

$$PWM_{luxes} = \frac{NLuxes}{NL\ máximo} * PWM_{maxima} \quad (26)$$

Donde:

- PWM_{luxes}: Es la respuesta de la onda PWM en la comparación con el voltaje
- NLuxes: Número de luxes requeridos

- NLmaximo: Es el número máximo de luxes que se va a utilizar.
- PWMmaxima: Es el número máximo de entrada al Arduino.

Fuente: (Banzi, 2007)

2.14 Parámetros para el circuito de protección de bajo voltaje

El circuito de la Fig. 36 corresponde a un comparador con histéresis, también denominado Schmitt Trigger. El amplificador operacional se encuentra alimentado entre +Vcc y -Vcc y posee retroalimentación positiva a través de R2. Para este proyecto se usa únicamente una alimentación simple por lo que el valor de -Vcc pasa a ser de 0V. La salida del amplificador operacional oscila entre los dos estados de saturación posibles, +Vcc y 0V, según si la señal de entrada Vg supera los límites de histéresis los cuales corresponden al voltaje mínimo de la batería a proteger y un voltaje de activación, siendo ambos escogidos aproximadamente al 20% de la capacidad de la batería para el límite mínimo y el 50% para el límite superior.

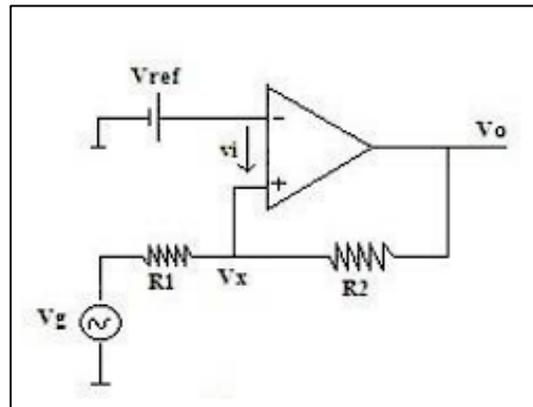


Fig. 36 Comparador con histéresis

Despejando el valor de Vx empleando para ello el teorema de superposición de fuentes, se obtiene que:

$$V_x = V_g \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_o \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (27)$$

Fuente: (CIRCUITO COMPARADOR CON HISTÉRESIS, 2023)

Por simplificación, se puede hacer un cambio de variable donde $R_2 = \beta \times R_1$, por lo que la ecuación 26 se convierte en:

$$R2 = \beta \times R1 \quad (27)$$

$$V_x = V_g \times \frac{\beta}{1 + \beta} + V_o \times \frac{1}{1 + \beta} \quad (28)$$

Fuente (CIRCUITO COMPARADOR CON HISTÉRESIS, 2023)

Para la transición de la salida de voltaje de 0V a VCC, se tiene que V_g debe ser igual al límite superior el cual se denominara V_H , mientras que V_x debe ser equivalente al V_{ref} . Además, $V_o = 0V$ debido al estado inicial. La condición de transición es que el voltaje en la entrada no inversora debe ser superior o igual a la entrada inversora por lo que la ecuación 28 se transforma en:

$$V_{ref} \leq V_H \times \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (29)$$

Fuente (CIRCUITO COMPARADOR CON HISTÉRESIS, 2023)

Para la transición del VCC a 0V, se tiene que V_g debe ser igual al límite inferior denominado V_L , $V_o = VCC$ y $V_x = V_{ref}$, siendo la condición de transición el voltaje en la entrada no inversora menor a la de la inversora. Se obtiene que:

$$V_{ref} \geq V_L \times \frac{\beta}{1 + \beta} + V_{cc} \times \frac{1}{1 + \beta} \quad (29)$$

Fuente (CIRCUITO COMPARADOR CON HISTÉRESIS, 2023)

Realizando una igualación y despejando β se tiene que:

$$\beta = \frac{V_{cc}}{V_H - V_L} \quad (30)$$

Fuente (CIRCUITO COMPARADOR CON HISTÉRESIS, 2023)

2.15 Determinación de los lúmenes y cantidad de LEDs de la luminaria

Sustituyendo los valores en la (1 se determina que la luminaria debe emitir un flujo luminoso de 450 lúmenes.

$$\phi_L = 450 \text{ lúmenes}$$

Empleando la (2 y la (3 y conociendo que los LEDs tienen una intensidad luminosa de 5500 mili candelas, posible determinar la cantidad de lúmenes que emite cada LED, el cual da como resultado un valor de 17.28 lúmenes

$$\phi_E = 17.28 \text{ lúmenes}$$

Por lo que empleando la (5, se obtiene que el flujo luminoso final de cada encapsulado después de atravesar el difusor y a un 80% de su capacidad nominal es de 11.47 lúmenes.

$$\phi_{Ef} = 11.47 \text{ lumenes}$$

Como el número de encapsulados debe ser un número entero se debe aproximar el resultado decimal al entero inmediato superior una demanda de 40 encapsulados.

$$N_E = 39.23 \approx 40$$

2.16 Determinación del consumo de corriente en las ramas de los LEDs

Conociendo que el voltaje en cada rama es de 12V y el voltaje de cada LED es de 3.8V, además de que el número de encapsulados por rama es de 3 y 2 respectivamente se obtiene por medio de la (7 que el voltaje en cada resistencia es de:

$$V_{R1} = 0.6V$$

$$V_{R2} = 4.4V$$

Por medio de la (8 se encuentra que la corriente en cada rama es de:

$$I_R = 48mA$$

Empleando el voltaje de 0.6V y la corriente de 48 mA calculados para la rama de 3 de LEDs y por medio de la (6 se determinó que la resistencia limitadora de los encapsulados es de:

$$R = 12 \Omega$$

Y su circuito queda definido por la Fig. 37.

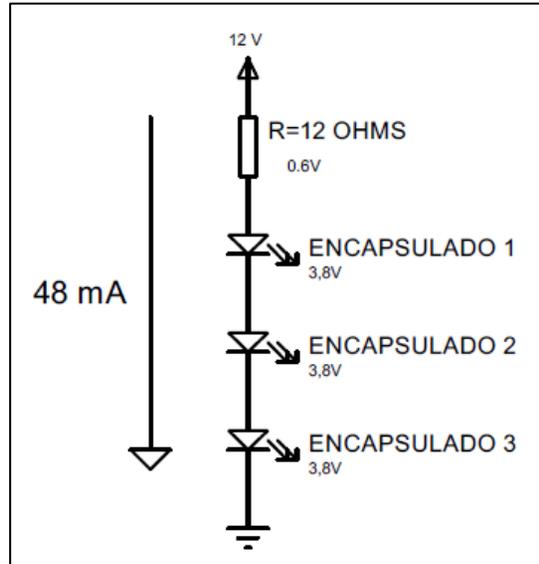


Fig. 37: Rama de 3 encapsulados con su resistencia
Fuente: (El Autor,2022)

Mientras que la resistencia limitadora para la rama de 2 encapsulados con un voltaje 4.4V y 48 mA de corriente es de:

$$R2 = 91 \Omega$$

Y su circuito queda definido por la Fig. 38.

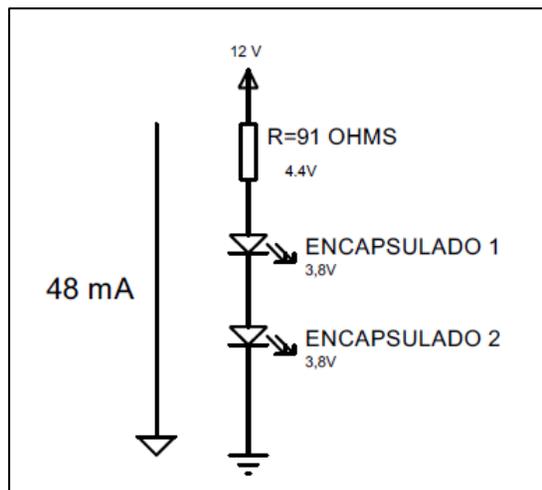


Fig. 38: Rama de 2 encapsulados con su resistencia

Para calcular la corriente total entonces se debe considerar que la luminaria cuenta con 14 ramas y por cada una de ellas circula una corriente de 48 mA, por lo que empleando la (9 se determina que la corriente total de todas las ramas de la luminaria es de:

$$I_L = 0.672 A$$

Y la corriente que circulará por cada placa tendrá un valor de 0.336 A, es decir, la mitad del valor calculado.

2.17 Determinación del consumo de corriente en el controlador

Reemplazando los valores calculados para las corrientes y empleando la (11 se encuentra que la corriente total del controlador es de 0,0365 A.

$$I_C = 35.65 mA = 0.03565 A$$

2.18 Determinación de la capacidad de la batería

Conociendo que el consumo de corriente de los encapsulados LED I_L es de 0,672 amperios funcionando con el nivel máximo de iluminación (50 luxes) y empleando la Ecu.12, el consumo de corriente I_{LI} en nivel intermedio (35 luxes) será de:

$$I_{LI} = 0.470 A$$

Reemplazando los datos en la (13, se obtiene que el consumo de los LEDs es de para un trabajo de 4 horas de funcionamiento es de:

$$AH_L = 1.88 Ah$$

y para 12 horas es de:

$$AH_L = 5.64 Ah$$

El sistema de control de la luminaria necesita una corriente de I_C de 0,0365 amperios el cual debe suministrarse de manera constante las 24 horas del día. Empleando la (13 se obtiene que la demanda de amperios del controlador es de:

$$Ah_C = 0.876 \text{ Ah}$$

La demanda total de amperios del sistema también corresponde a la capacidad mínima de la batería a utilizar. Para calcularla se emplea la (14 y las demandas de corriente de los LEDs y el controlador anteriormente calculadas, dando como resultado un valor para 4 horas de:

$$Ah_T = 2.75 \text{ Ah}$$

Mientras que para 12 horas es de:

$$Ah_T = 6.516 \text{ Ah}$$

Una vez determinada la capacidad mínima requerida y el voltaje necesario para la batería y se seleccionó una batería que cumpla con estos parámetros, siendo la seleccionada una batería Ultracell UL7-12 que es capaz de entregar 12 V y posee una capacidad de 7 amperios hora, lo cual deja un pequeño margen de autonomía.

2.19 Determinación de los valores de los componentes del convertidor elevador

Como el propósito del convertidor elevador es subir el voltaje de los paneles solares a un voltaje de trabajo que se utilizará para cargar la batería y alimentar la luminaria, se establece entonces que el voltaje de entrada V_s del convertidor será igual al voltaje de salida de los paneles solares:

$$V_s = 6V$$

La corriente en la salida del convertidor debe ser capaz de satisfacer la demanda de corriente de la batería la cual es de 2.75 Ah. Estableciendo un periodo de funcionamiento de 12 horas y utilizando la (15 se determina que la corriente I_o en la salida será:

$$I_o = \frac{2.75 \text{ Ah}}{12 \text{ h}}$$

Como indica (Ultracell, s.f.) Anexo E, para cargar la batería UL7-12 al 100 % de su capacidad es necesario proporcionarle un voltaje de 14 V. Tomando en cuenta que la caída de voltaje de un diodo de silicio es de 0,7 V y utilizando la (16 se tiene que el voltaje de salida V_o en el convertidor está dado por:

$$V_o = 14.7V$$

Una vez calculado el voltaje de salida y conociendo el voltaje de entrada del convertidor, se puede determinar el ciclo de trabajo C_T el cual está dado por la (17).

$$C_T = 0.5918$$

El valor L_R que se ha establecido es de 100 μH debido a que no es difícil encontrar inductores de este valor por menos de un dólar en cualquier tienda de electrónica local. De acuerdo con la (18, este valor será el valor real de la inductancia, por lo que el valor de inductancia para diseño LD será:

$$L_D = 80 \mu H$$

La resistencia de carga del convertidor R_L , se puede determinar por medio de la (19 y su valor es de:

$$R_L = 63 \Omega$$

La frecuencia de trabajo del convertidor elevador está definida por la (20 y su valor es de:

$$f = 38821 \text{ Hz}$$

Como se determinó en la sección 2.8.2, se tomó únicamente el 50 % de la corriente nominal del panel solar como valor de diseño. Utilizando la (21 se determina que la corriente de entrada necesaria es de:

$$I_s = 0.571 \text{ A}$$

Sin embargo, conociendo que la corriente del panel solar es $I_o = 0.229 \text{ A}$, se determinó que para satisfacer la demanda 0,571 A es necesario conectar dos paneles en paralelo de modo que la corriente total de ambos paneles sea el doble, obteniendo así una corriente de 0,580 A.

Considerando que un capacitor de mayor valor producirá un menor voltaje de rizado, y utilizando la (22 se tiene que el valor de capacitancia C_o estará dado por:

$$C_o = 12 \mu f$$

Debido a que el voltaje máximo en el capacitor es de 14,7 V se optó por utilizar un capacitor de 25 V y 12 μF para no tener problemas por sobrevoltaje.

2.20 Determinación de los valores de los componentes del oscilador

Calculando el nuevo ciclo de trabajo con la (23 para una salida negada se tiene que el valor de C_{TN} es:

$$C_{TN} = 0.41$$

Estableciendo un valor arbitrario de 500Ω , como lo indica (instruments, 2015), para R2 se puede calcular el valor de R1 empleando la (24.

$$R_1 = \frac{500}{0.41} - 2 * 500$$

$$R_1 = 220 \Omega$$

Y conociendo la frecuencia f de 38821Hz y los valores de resistencia R1 y R2, se tiene que el capacitor C_{555} definido por (25 es de:

$$C_{555} = 30 \text{ nf}$$

2.21 Determinación de los parámetros del circuito de protección de bajo voltaje

Para la alimentación del comparador de histéresis se utiliza un voltaje regulado de 9V, esto debido a que la batería a utilizar suministrara un voltaje entre 11V a 14V. Los limites VH y VL se establece acorde a la hoja de datos de la Fig. 39 donde se tiene que:

- VH (50%) = 12V
- VL (20%) = 11V

Como se utiliza un divisor de voltaje donde la salida es equivalente a la mitad del voltaje de entrada, se tiene que los límites con los que se calculara el comparador son:

- VH (50%) = 6V
- VL (20%) = 5.5V

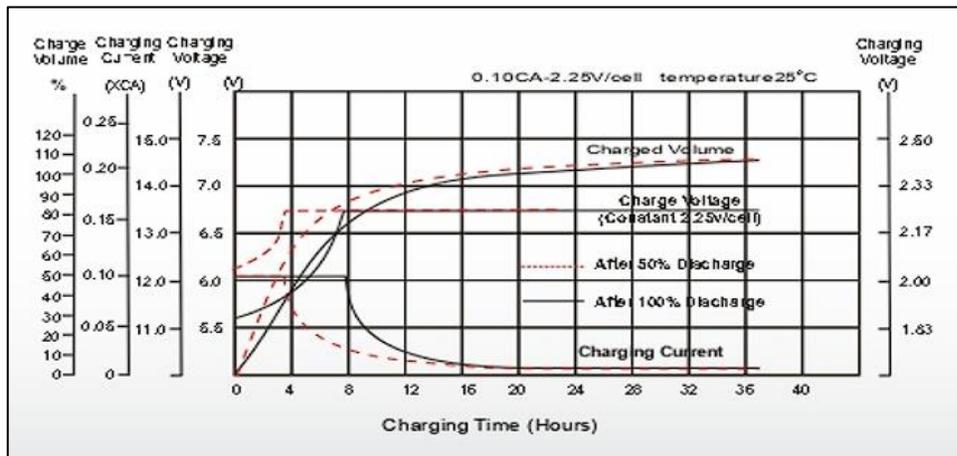


Fig. 39 Curva de carga de la batería de ácido

Utilizando la ecuación 30 y calculando β se obtiene un valor de:

$$\beta = 16$$

Y reemplazando en la ecuación 29 se obtiene que V_{ref} es de:

$$V_{ref} = 5.65V$$

Asumiendo el valor inicial de $R1 = 12K$, se obtiene por medio de la ecuación 27 que $R2$:

$$\beta = 192 K$$

2.22 Determinación del fusible para cortocircuito

El valor del fusible debe ser superior a la corriente de consumo de los circuitos de iluminación. Este valor es de 0.672A por lo que se puede escoger un fusible de 1A o incluso de 1.5A.

2.23 Lógica de funcionamiento de la luminaria

El modo de funcionamiento de la luminaria depende de dos factores. El primero de ellos es la luz ambiental, la cual se detecta por medio de la fotorresistencia. Cuando el nivel de luz en el ambiente es alto, el sistema determina que no es necesario activar la luminaria, lo cual permite ahorrar energía que de otro modo sería consumida de forma innecesaria. Para que el sistema de iluminación se active se requiere que el nivel de luz baje de un umbral, el cual será configurable por medio del potenciómetro de sensibilidad. Cuando el sistema está activo, su funcionamiento dependerá del segundo factor el cual es la presencia de flujo peatonal en la

zona de la luminaria. Dependiendo de cuantas personas se detecten en un lapso de 1 minuto, el sistema ajustara su nivel de luminosidad de forma que, a mayor cantidad de personas detectadas, el nivel de luz también aumentara.

2.23.1 Control de la luminaria en función de la luz ambiental

Este control basa su funcionamiento en la presencia o ausencia de luz ambiental. Cuando la luz ambiente supera un valor de intensidad predefinido en el programa, el sistema se deshabilitará. En el caso contrario, cuando la luz ambiente caiga por debajo de un umbral, se indicará al sistema que debe activarse. Este control es general y tiene por objetivo no permitir la activación de la luminaria durante el día, momento en el cual el nivel de luz ambiente es más que suficiente para iluminar la zona de la luminaria. La Fig. 40 muestra el diagrama de flujo empleado para el diseño de este control.

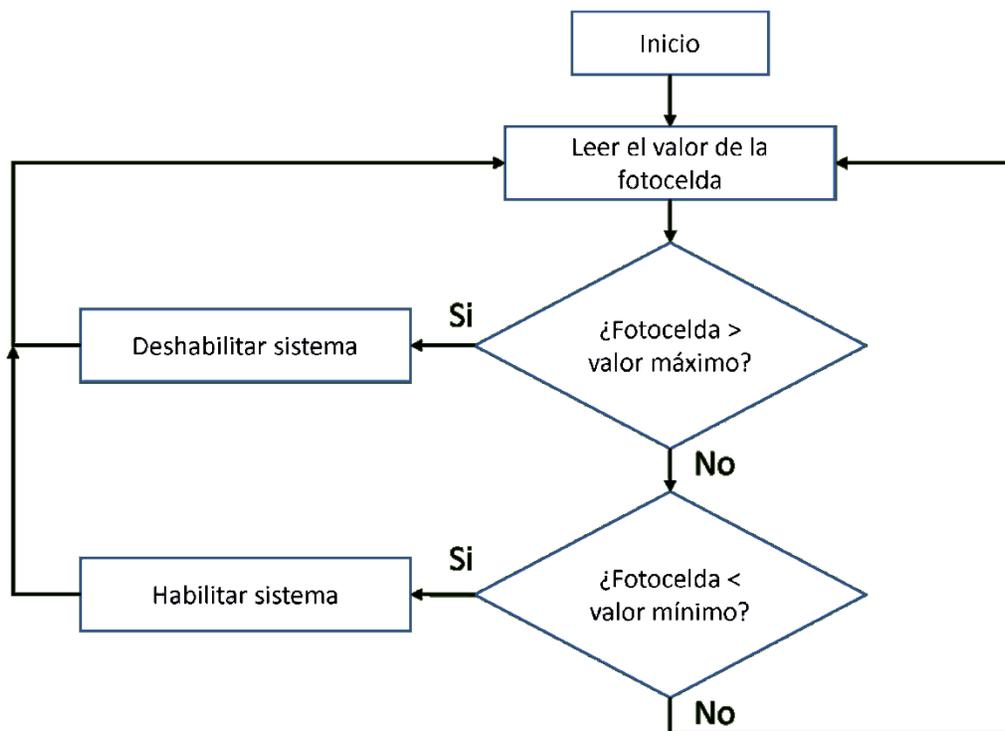


Fig. 40: Diagrama de flujo para medir la iluminación ambiental

Fuente: (El Autor,2022)

2.23.2 Lógica del contador de peatones

La Fig. 41 muestra el diagrama de flujo que utiliza el controlador para determinar la cantidad de peatones que circula en la zona de la luminaria en el rango de un 1 min. Cada vez que ocurre un evento de detección, se incrementa un contador el cual indica el número de peatones que circulo en la zona. Debido a que el sensor tiene un tiempo de pulso de 3S, se espera a que transcurra este tiempo antes de contabilizar una nueva detección. Adicionalmente se espera 1S más para la estabilización del sensor. Una vez transcurrido el tiempo de 1m, el contador y el reloj interno encargado de temporizar la cuenta se reinician, repitiendo el ciclo.

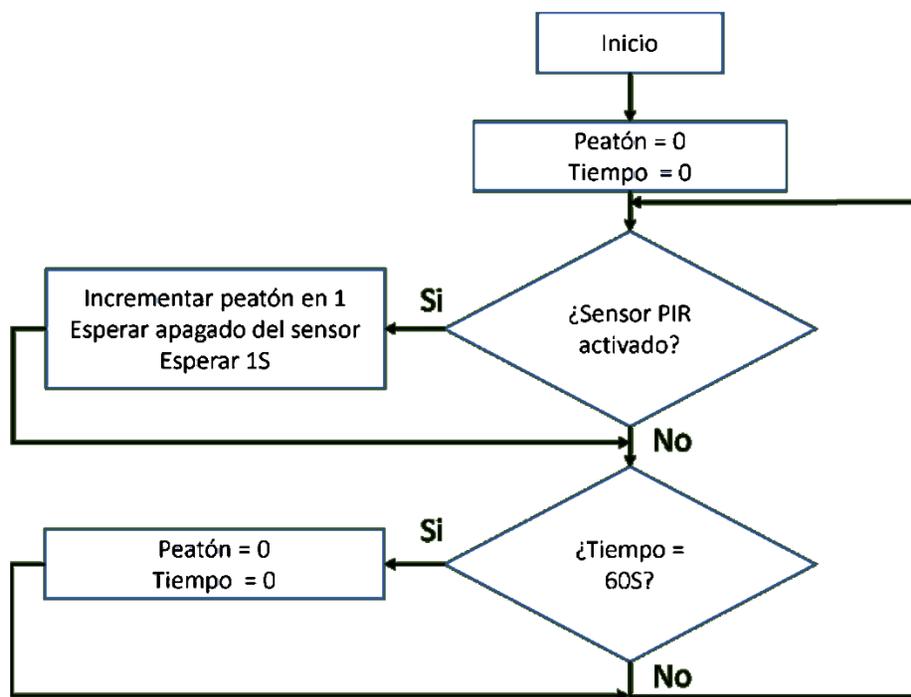


Fig. 41: Diagrama de flujo para el conteo de personas

Fuente: (El Autor,2022)

2.23.3 Niveles de iluminación y flujo peatonal

Los niveles de iluminación están relacionados con la cantidad de peatones detectados por el sistema. De acuerdo con la asignación dada por la Tabla 2. 5, se tendrán 3 niveles de iluminación en función de la cantidad de peatones detectados por minuto. Adicionalmente, un nivel de 0 luxes implica que la luminaria estará apagada por lo que este es el estado en el que permanecerá el sistema cuando no se detectan peatones. La ubicación de las luminarias se encuentra separadas cada 3 metros, trabajando en el rango recomendado por (Ballester, 2006).

Tabla 2. 5
RELACIÓN ENTRE LUXES Y PEATONES

Luxes	Peatones contados en un minuto
20	1 a 5
35	6 a 10
50	mayor a 10

Fuente: (El Autor,2022)

2.23.4 Control de la luminosidad con PWM

Para controlar el nivel de luminosidad que actúa sobre los encapsulados LEDs de la luminaria se utiliza un control con PWM (Modulación por ancho de pulso), el cual permite controlar la potencia que atraviesa una carga por medio del ciclo de trabajo de esta señal. La tarjeta Arduino Nano posee salidas PWM con una frecuencia por defecto de 980 Hz, de las cuales se emplea una de ellas conectada al interruptor con transistor que maneja la luminaria.

Como se conoce que un valor de 255 en la salida PWM encenderá los 40 encapsulados produciendo 50 luxes, y de acuerdo con la Tabla 2. 5, en la que se indica que los niveles de 20 y 30 luxes serán utilizados en el control de luminosidad, se determinó el ciclo de trabajo del PWM para estos valores, empleando para ello la (26).

El PWM para 20 luxes:

$$PWM_{20luxes} = 102$$

El PWM para 35 luxes:

$$PWM_{35luxes} = 179$$

Una vez determinado el PWM para cada uno de los casos de la Tabla 2. 5, se realizó el diagrama de flujo que describe el funcionamiento de la luminaria en función del flujo peatonal. En el diagrama que se puede observar en la Fig. 42 se presenta que la lógica de control utilizada para el control de luminosidad.

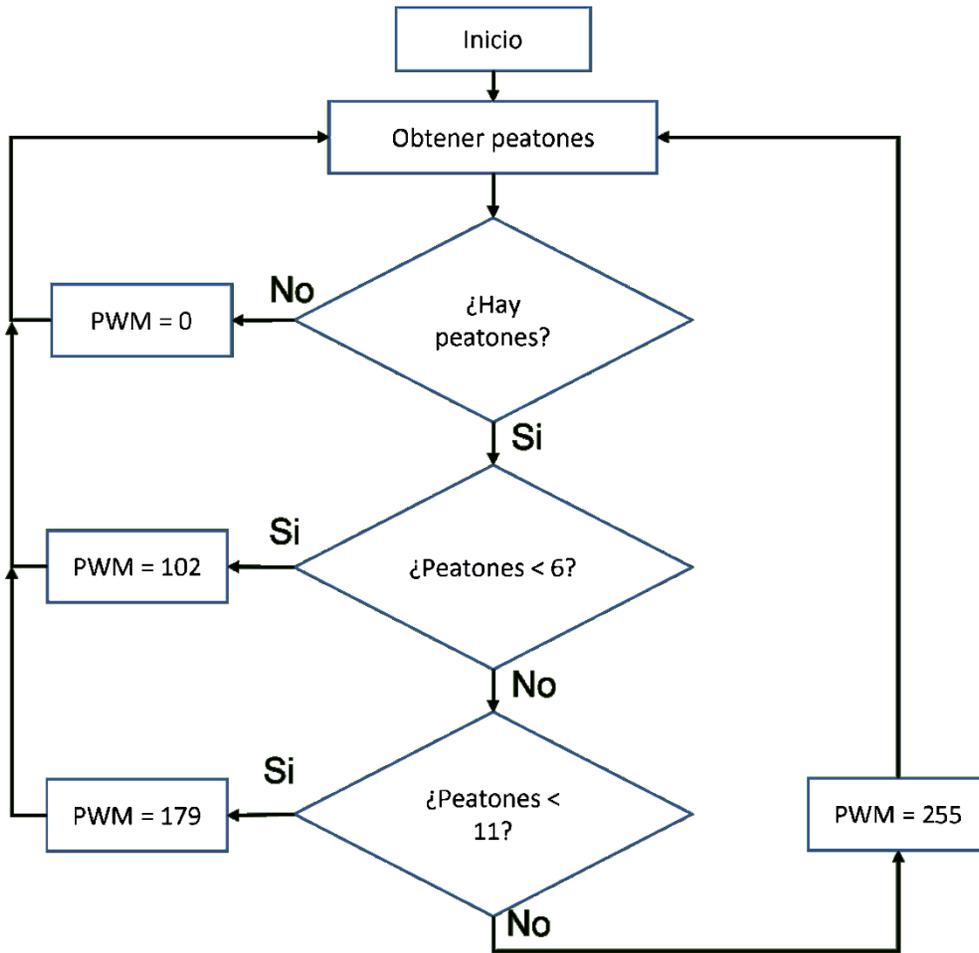


Fig. 42: Diagrama de flujo del interruptor de luces
 Fuente: (El Autor,2022)

2.23.5 Diagrama de flujo del sistema de control de la luminaria

El diagrama de flujo del sistema de control combina todas las lógicas antes presentadas de forma secuencial, siendo el control de la luminaria en base a la luz ambiental el encargado de activar o desactivar todo el sistema de forma general. Cuando el sistema esta activado, se utiliza el conteo de peatones para determinar el nivel de luminosidad que deben generar los LEDs, ajustando para ello la señal de PWM según los valores calculados en la sección 2.23.4. En la Fig. 43 se puede observar el diagrama de flujo total del sistema de control.

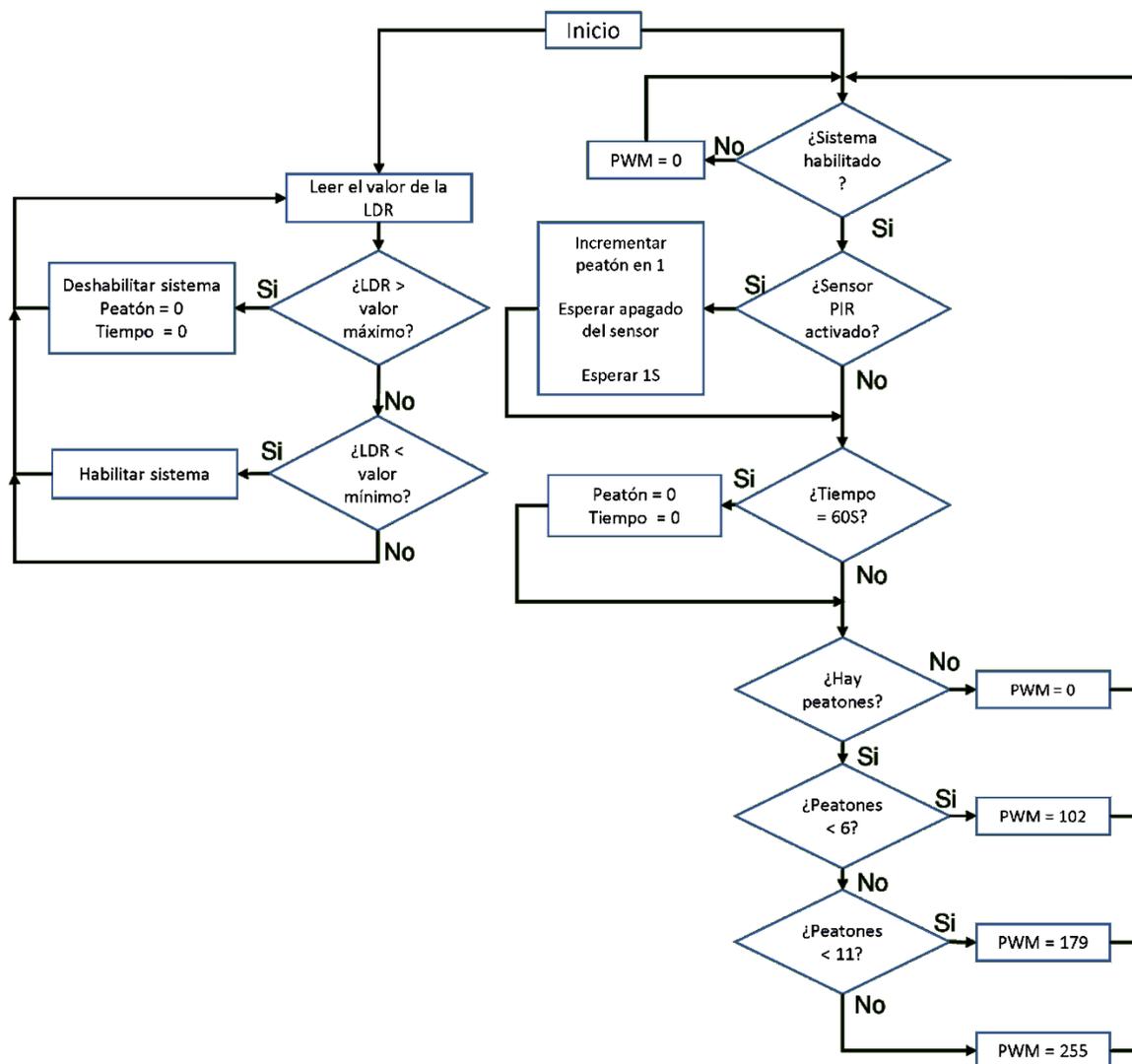


Fig. 43: Diagrama del flujo del control luminoso
Fuente: (El Autor, 2022)

2.24 Diseño del hardware de la luminaria

El hardware de la luminaria corresponde a la electrónica que componen los distintos circuitos de la luminaria. Estos circuitos en su conjunto permitirán el funcionamiento normal del sistema, permitiendo alimentarlo y controlarlo bajo la lógica establecida en la Fig. 43. La base utilizada para el diseño está establecida en el bosquejo de la Fig. 23.

2.24.1 Circuito de potencia del convertidor elevador y alimentación del sistema de control

Este circuito está basado en el modelo establecido por la Fig. 34 y es el encargado de elevar el voltaje de los paneles solares a un voltaje de trabajo adecuado para cargar las baterías y suministrar energía a los circuitos de la luminaria. La batería se encuentra en paralelo con la salida del convertidor y este está protegido de voltaje inverso por medio de un diodo en la línea positiva de la alimentación. De la línea positiva de la batería se alimentan los LEDs de la luminaria a través de un regulador de voltaje 7812 y a su vez, se conecta el regulador de voltaje 7805 el cual produce los 5V necesarios para el funcionamiento del sistema de control.

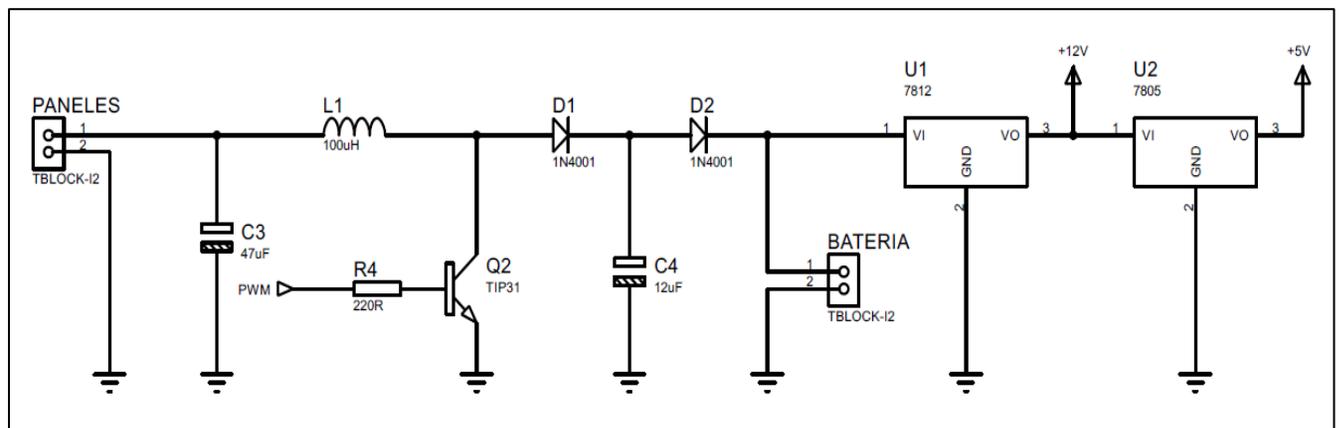


Fig. 44: Esquema electrónico del convertidor elevador

Fuente: (El Autor,2022)

2.24.2 Circuito del oscilador del conversor elevador

La función de oscilador es realizada por un circuito integrado 555 en configuración astable, ver Fig. 35, el cual genera una señal de PWM hacia el circuito de potencia del conversor elevador, ajustada en ciclo de trabajo que permite elevar el voltaje desde los 6V de los paneles hasta los 12V necesarios para el trabajo. El diagrama final de este oscilador se puede ver en la Fig. 45.

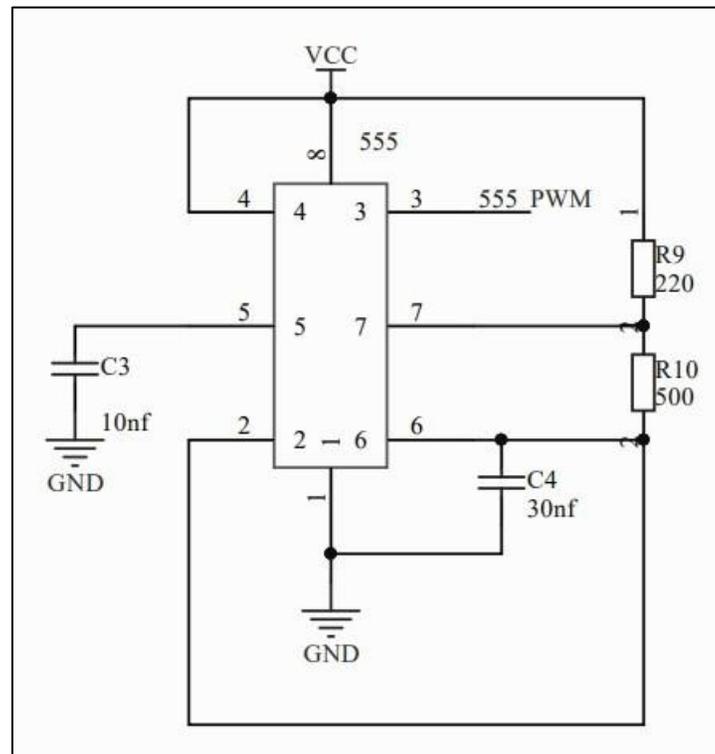


Fig. 45: Esquema electrónico 555
Fuente: (El Autor, 2022)

2.24.3 Circuito de control de la luminaria

Este es el principal circuito encargado del control de la luminaria. Este circuito es simple y está basado en la tarjeta programable Arduino Nano el cual posee un microcontrolador ATmega328p y es fácilmente programable por medio de interfaz USB. El circuito posee como entradas la señal del sensor de luz ambiental formado por el divisor de voltaje entre fotorresistencia y su potenciómetro de sensibilidad; y la señal del sensor PIR para la detección del flujo peatonal. La salida de control de luminosidad de los LEDs se encuentra en el pin 23 del Arduino, el cual es una salida PWM conectada a un transistor de potencia. Para conectar todas las entradas y salidas se utilizan conectores que faciliten la conexión de estos

dispositivos. El esquemático del circuito de control es el que se puede observar en la Fig. 46.

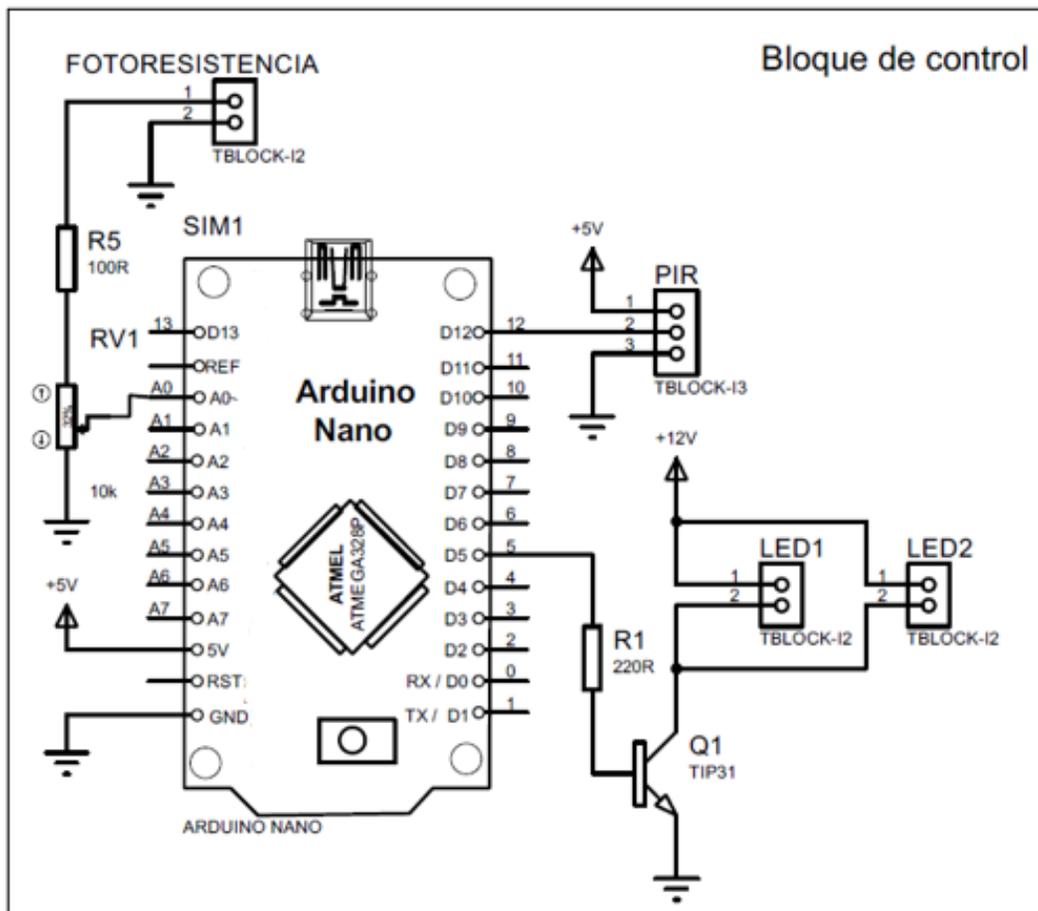


Fig. 46: Esquema de conexión del controlador

Fuente: (El Autor,2022)

2.24.4 Circuito de los LEDs de la luminaria

Este circuito está conformado por ramas de LEDs conectadas en paralelo que conectan un total de 20 LEDs repartidas en 6 ramas de 3 LEDs y 1 rama de 2 LEDs. Este circuito debe ser duplicado para formar un conjunto de 40 LEDs y se conecta por medio de una bornera con el circuito de control.

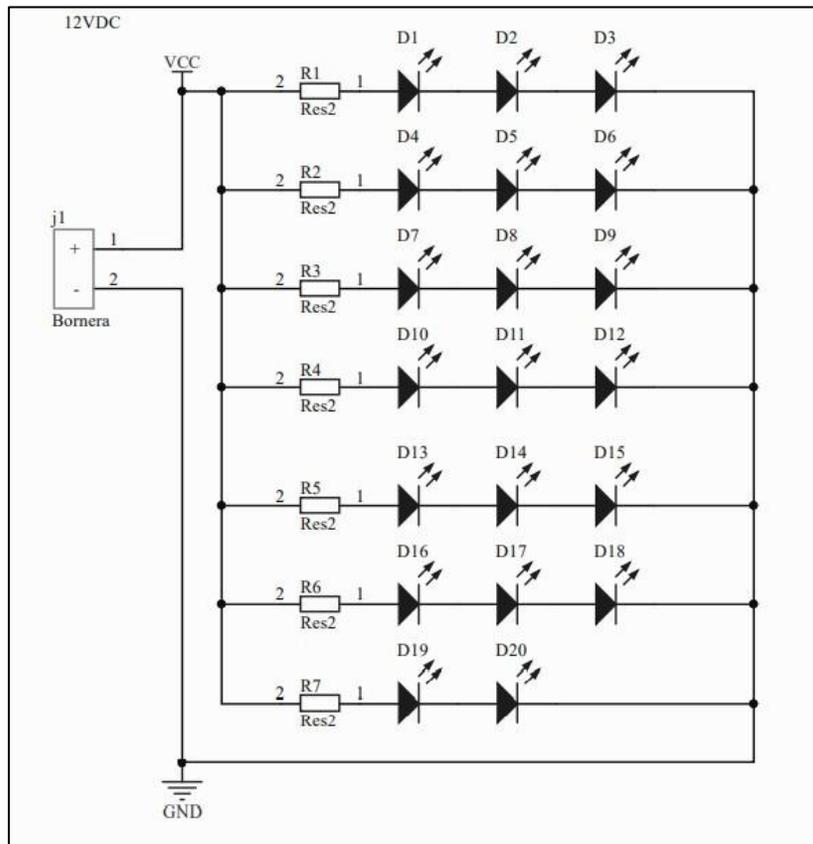


Fig. 47: Esquema de las ramas de iluminación LED
Fuente: (El Autor, 2022)

2.25 Diseño de las tarjetas PCB

Para este proyecto se han realizado dos diseños PCB: el PCB del controlador cuyo diseño CAD se muestra en la Fig. 48 y el PCB de los módulos de iluminación cuyo modelo CAD se muestran en la Fig. 49. En la tarjeta electrónica del controlador se han integrado los diagramas electrónicos mostrados en las Fig. 44, Fig. 45 y Fig. 46; mientras que la tarjeta electrónica de los encapsulados LED contiene únicamente el esquema electrónico mostrado en la Fig. 47.

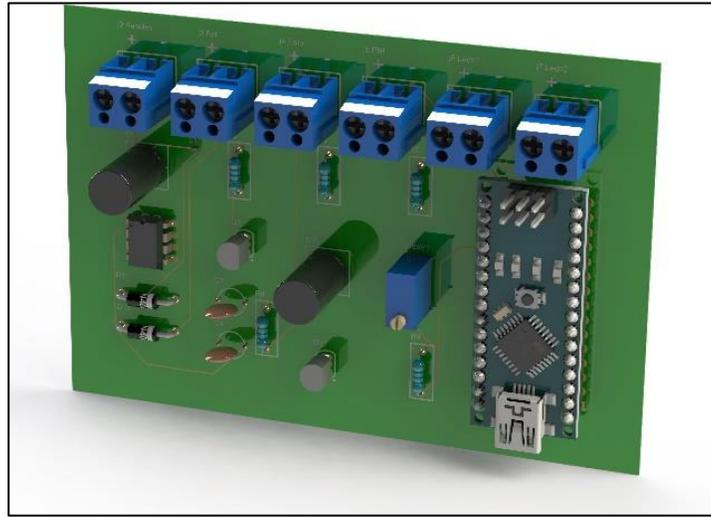


Fig. 48: Tarjeta electrónica del controlador
Fuente: (El Autor,2022)

Estos diseños se realizaron por medio del software SolidWorks PCB y los archivos correspondientes pueden encontrarse en el Anexo A.

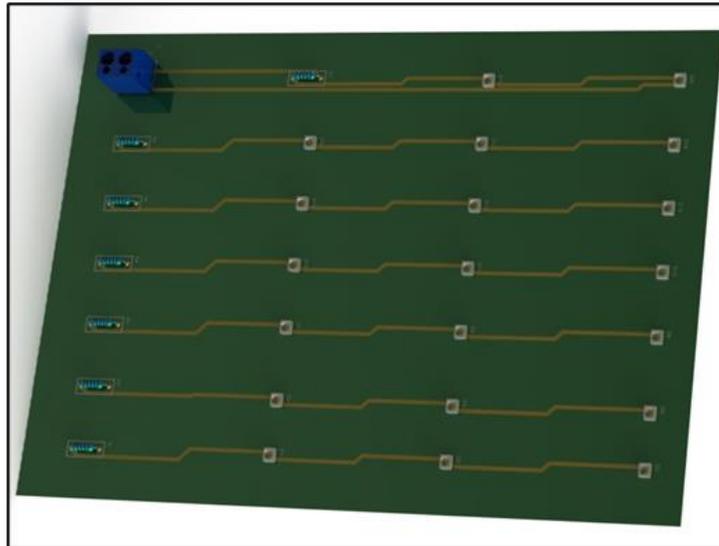


Fig. 49: Tarjeta electrónica del módulo de iluminación
Fuente: (El Autor,2022)

El diseño CAD del circuito de protección de bajo voltaje queda como se observa en la Fig. 50. Se observa la disposición de sus componentes, así como los borneras de conexión a la batería y a la carga.

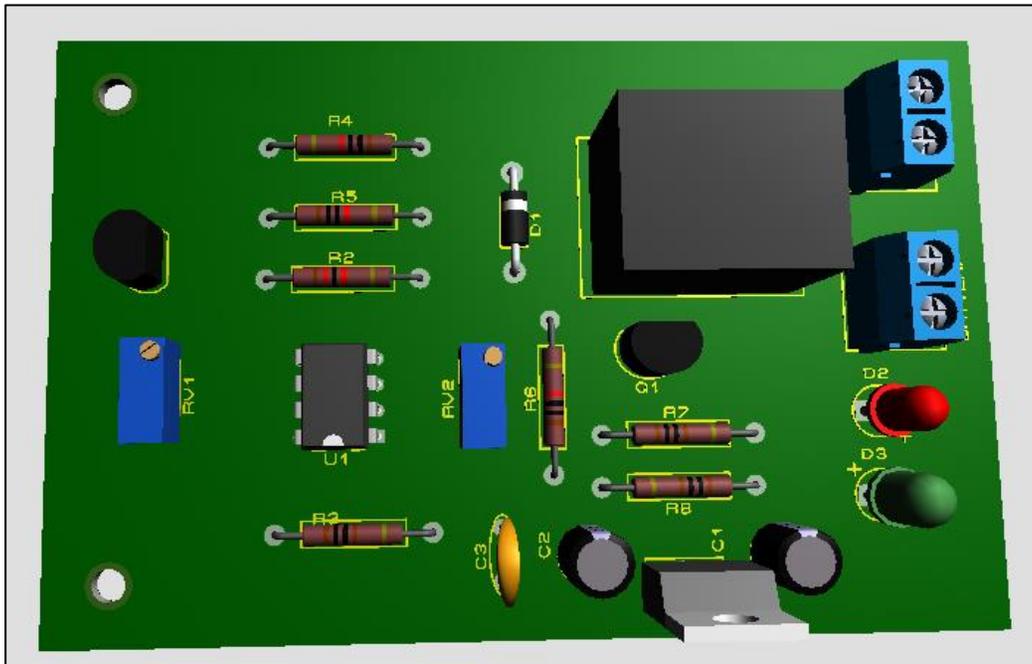


Fig. 50 Diseño CAD del circuito de protección de bajo voltaje.

Fuente el autor

2.26 Simulación de la electrónica de la luminaria

Para corroborar que el proyecto funcione de manera adecuada con los esquemas de circuitos diseñados y los parámetros calculados, se hace uso de la herramienta de simulación MATLAB/Simulink, la cual permite analizar y comprobar si los valores de voltajes y corrientes son los esperados en el circuito. La simulación es realizada para los circuitos del control de la alimentación conectados al panel solar y el convertor, así como a los circuitos que alimentan a la carga de la luminaria, es decir, los encapsulados LEDs. De esta forma se puede asegurar que el sistema funcionará acorde a los valores establecidos en los cálculos sin necesidad de construir un primer prototipo físico.

2.26.1 Simulación de la etapa de alimentación del sistema

La simulación de los circuitos de alimentación se divide en la entrada de voltaje por parte del panel solar, el circuito del convertor elevador y la etapa de salida. Empleando el esquema observado en la Fig. 44 y ajustando los parámetros de la simulación calculados para el convertor elevador, se obtiene la simulación observada en la Fig. 51. Se puede observar que para un voltaje de entrada de 6v se obtiene un voltaje de salida de 14,7v a 14,95v.

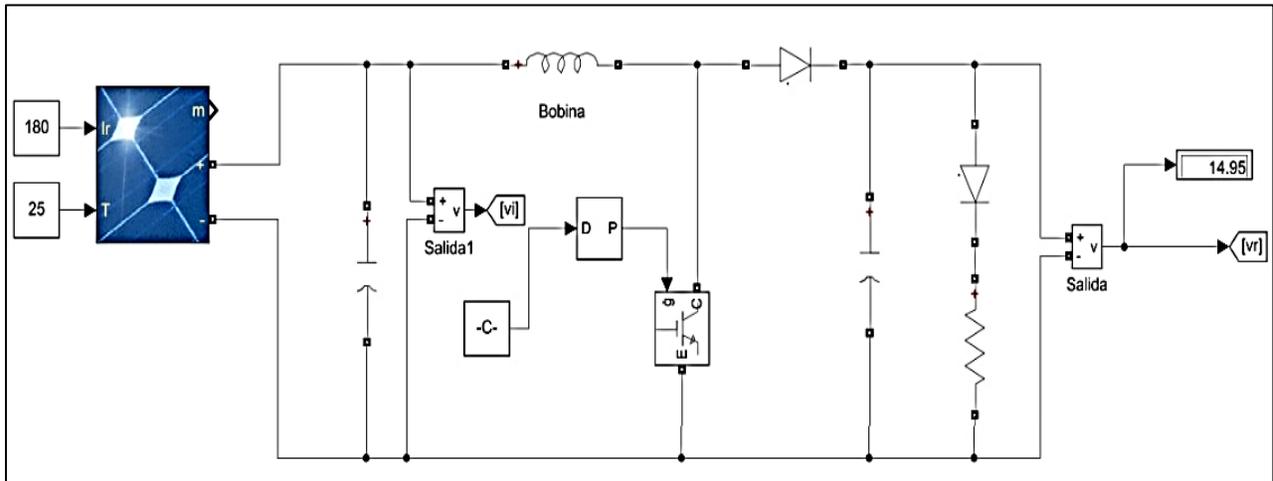


Fig. 51: Simulación de los circuitos de alimentación de la luminaria
 Fuente: (El Autor,2022)

En la Fig. 52 se puede observar los voltajes de entrada y salida correspondientes a esta etapa del circuito, donde la señal 1 es el voltaje de entrada y la señal 2 es el voltaje de salida. Se puede observar también en el lado inferior derecho que estos niveles de voltaje son los esperados para la simulación lo cual es una indicación del correcto funcionamiento del sistema.

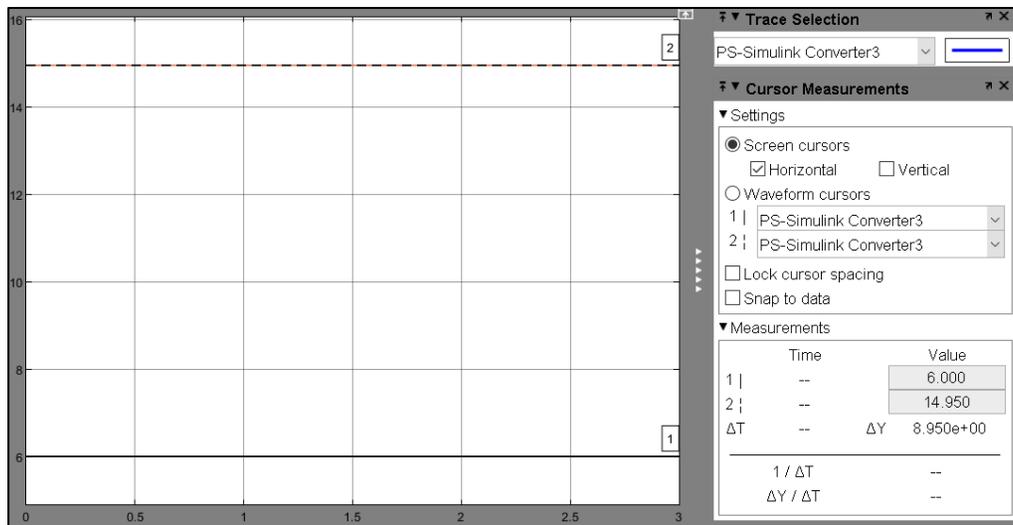


Fig. 52: Grafica de entrada y salida de voltajes
 Fuente: (El Autor,2022)

2.26.2 Simulación de consumo de corriente de la luminaria

En esta simulación tiene por propósito comprobar que el consumo de corriente se encuentre en el valor esperado, esto debido a que el diseño del circuito se realizó con respecto al consumo esperado. La simulación se realiza utilizando el esquema de la Fig. 47 y se puede observar como el consumo de una rama es de 48 mA, mientras que el consumo de una sola tarjeta de LEDs es de 335.7 mA \approx 0.336 A.

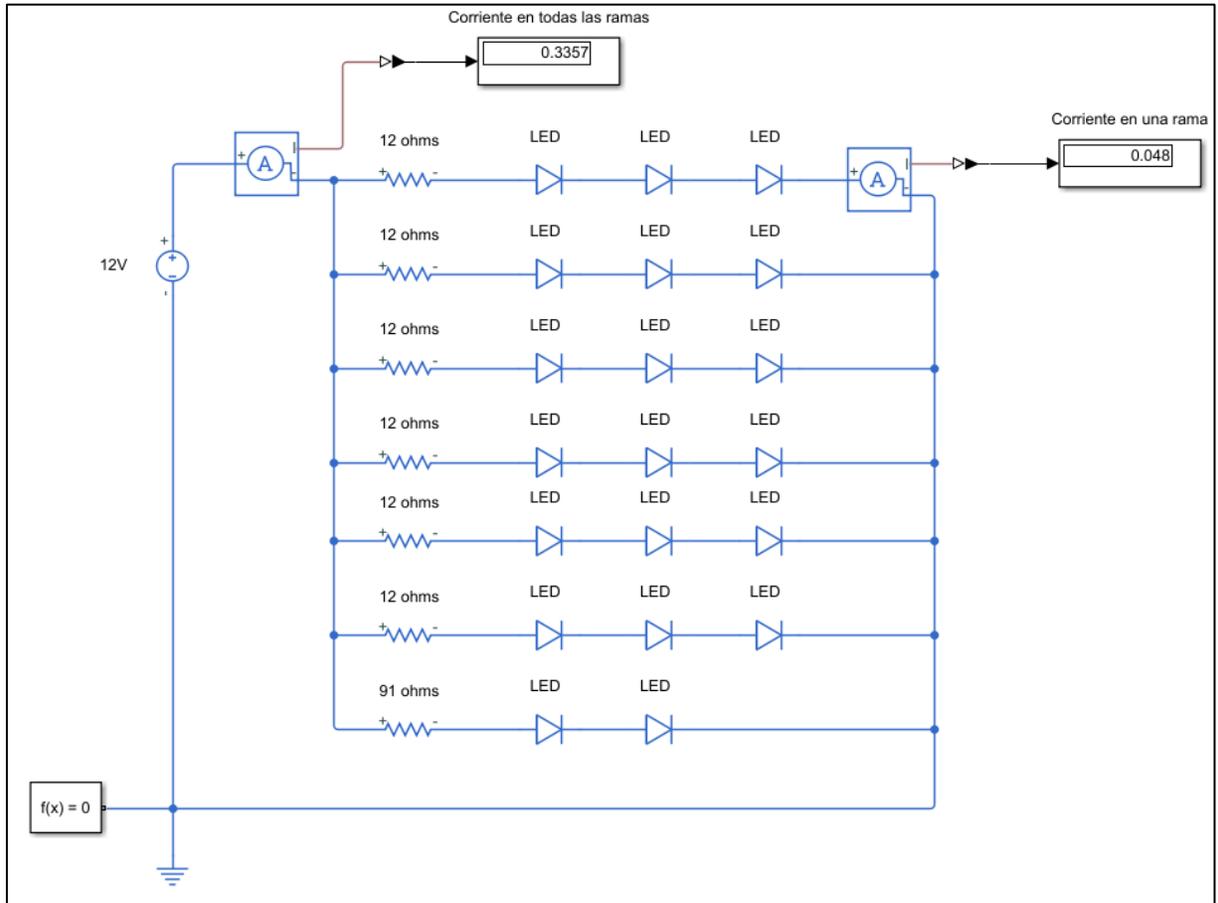
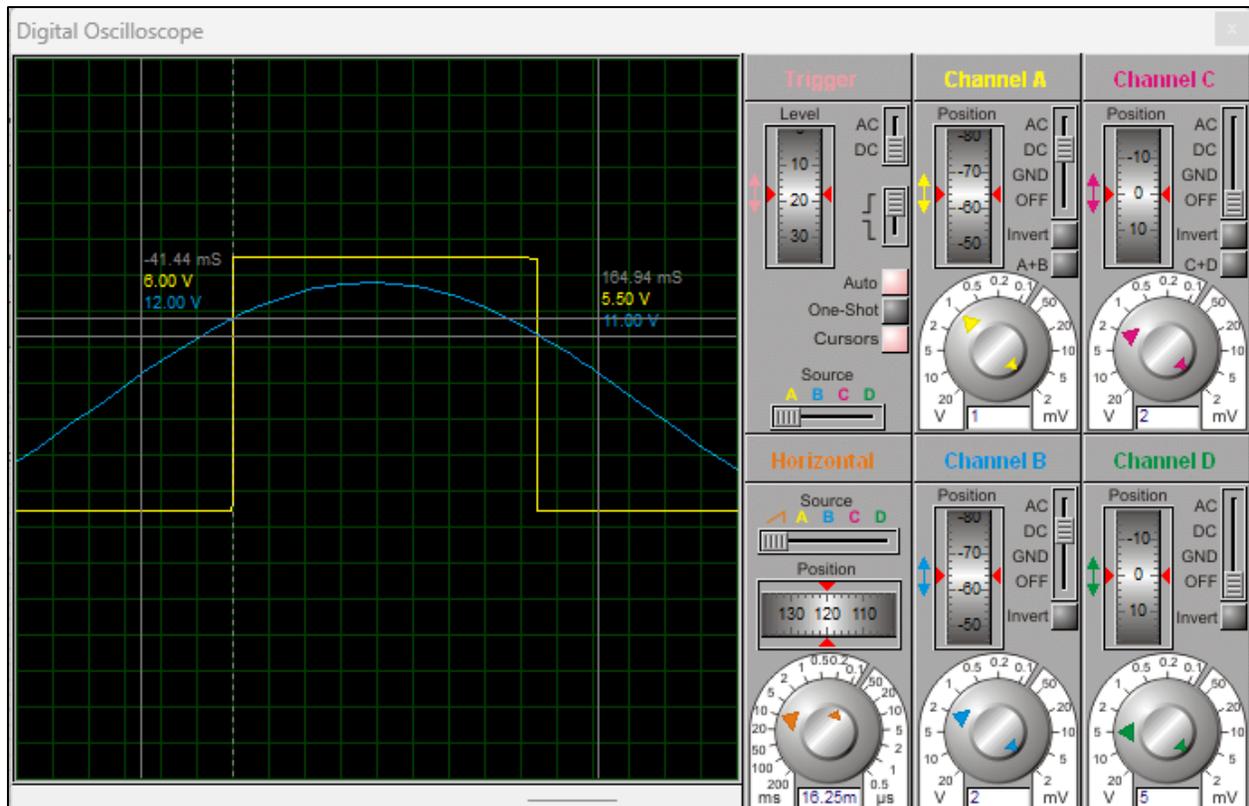


Fig. 53: Simulación de una de las tarjetas de iluminación LED de la luminaria

Fuente: (El Autor, 2022)

2.26.3 Simulación del circuito de protección de bajo voltaje

La simulación se realizó en proteus, configurando el comparador con los parámetros calculados y empleando una entrada de voltaje senoidal (línea azul). Se encontró que el voltaje de activación y desactivación del comparador coincidió con los establecidos por lo que el sistema funciona de forma correcta.



2.27 Diseño CAD de la luminaria

Por facilidad y practicidad del proyecto, la geometría diseñada para la luminaria es tipo pilar, la cual posee como ventajas que los paneles solares se ubicaran en la zona superior para mejorar la captación de luz solar, y reparte la iluminación en los laterales de la luminaria por medio de las dos tarjetas de iluminación.

Las tapas laterales de la luminaria están construidas en aluminio pulido mientras que las tapas frontales y superior están hechas con madera tratada para exteriores para darle una apariencia agradable a la luminaria. Para su sujeción a la superficie, la luminaria cuenta en la parte inferior con dos pestañas y 6 agujeros pasantes. El modelo del diseño CAD final se puede observar en la Fig. 54 y se ha desarrollado por medio de SolidWorks. Los archivos

correspondientes se encuentran en el Anexo A.



Fig. 54: Modelo de luminaria propuesta
Fuente: (El Autor,2022)

2.27.1 Ensamble de la luminaria

En la Fig. 55 se observa un desglose donde se indican las partes que componen la luminaria y su ubicación en el proyecto diseñada en CAD. Este diseño se basa en la luminaria comercial Performance in Lighting 306061 AMON MINI SOFT S/EW 41W 840 AN-96 1-10 V. Anexo F. La ubicación del sensor de luz se encuentra en una perforación en la zona superior y los sensores HC-SR501 se encuentra en cada tapa lateral de aluminio. La batería y la tarjeta electrónica de control se ubican en la zona inferior interna, protegida de la intemperie y para su sujeción se emplean tornillos. Las tarjetas de iluminación con los encapsulados LED se encuentran en la zona superior de las tapa frontal y trasera, en un área perforada cuadrada cubierta con acrílico transparente para protección de los encapsulados.

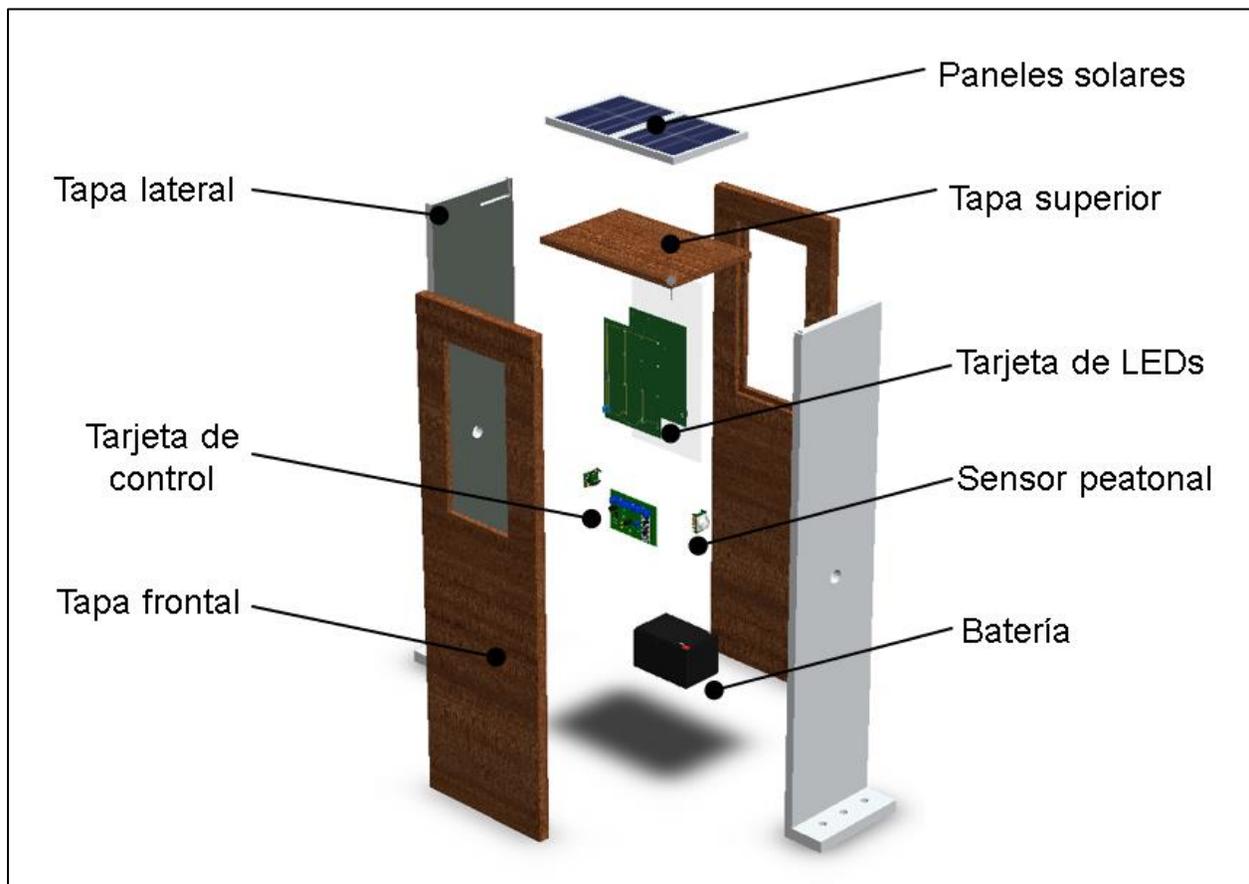


Fig. 55: Partes de la luminaria diseñadas en CAD
 Fuente: (El Autor,2022)

2.27.2 Dimensiones de la luminaria

Las dimensiones de la luminaria están pensadas para que la luz emitida tenga la cobertura esperada por las simulaciones en DIALUX. La altura del diseño es de 1.2 m, la cual fue establecida tomando como referencia la luminaria Performance in Lighting 306061 AMON MINI SOFT S/EW 41W 840 AN-96 1-10 V. Anexo F, mientras que el ancho y alto se tomaron acorde a la electrónica del proyecto, la cual debe ser capaz de caber dentro del cuerpo de la luminaria, teniendo valores son de 40 cm x 20 cm. La apertura para los encapsulados LEDs tiene dimensión de 40 cm x 20 cm el cual abarca toda la dimensión de la tarjeta de iluminación.

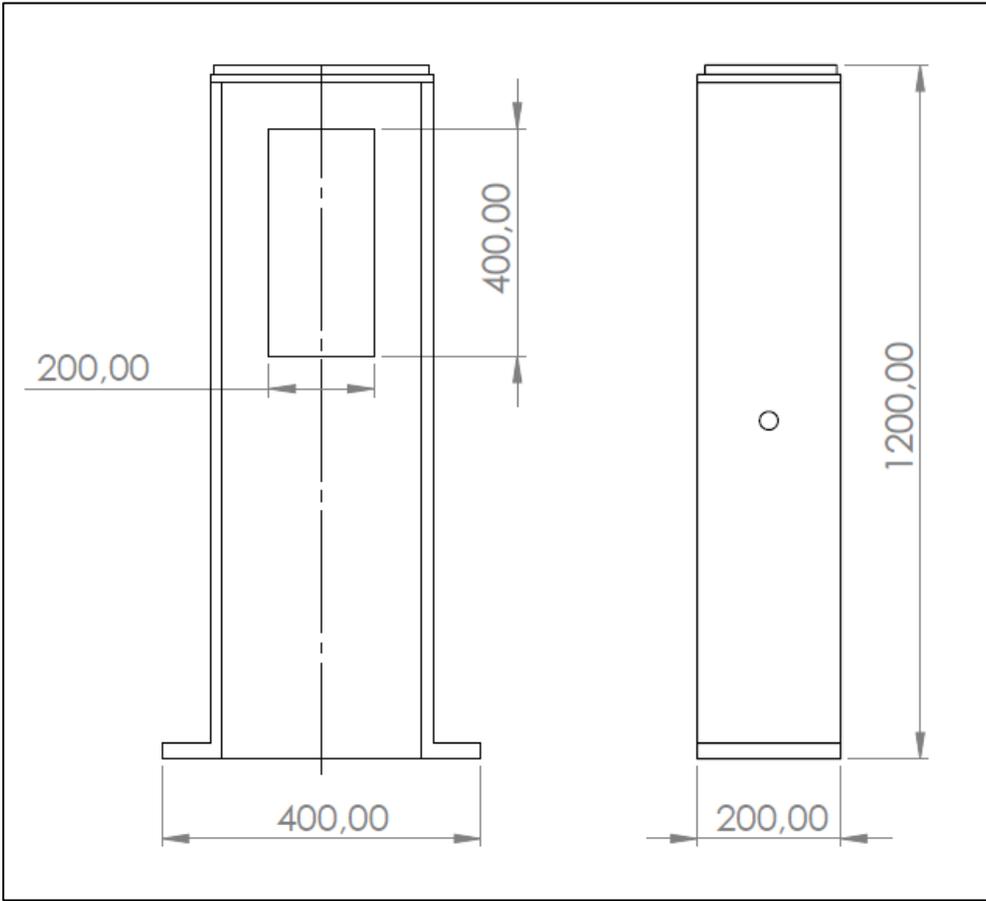


Fig. 56: Dimensiones de la luminaria propuesta
Fuente: (El Autor,2022)

CAPÍTULO 3

Costo de la luminaria propuesta y análisis económico

En este capítulo se presenta el análisis económico realizado para el proyecto de luminarias LED alimentadas por paneles solares fotovoltaicos. En este estudio se busca calcular el ahorro de consumo de energía eléctrica a lo largo de una vida útil de funcionamiento de 10000 horas, comparándolo con luminarias incandescentes y fluorescentes, determinando de esta forma su factibilidad.

3.1. Evaluación de costos del proyecto

Para evaluar los costos del proyecto es necesario determinar los diferentes tipos de costos que intervienen durante la implementación de este. Estos costos consideran la inversión y costos de mantenimiento, Para los costos de inversión, se deben tomar en cuenta la adquisición de componentes, la fabricación de los circuitos impresos y el manufacturado de los elementos de la luminaria. Por otro lado, los costos de mantenimiento se refieren a cuanto se invierte en garantizar el funcionamiento de la luminaria durante su vida útil, analizándose para ello un periodo de 10000 horas de uso.

3.2. Costos de implementación de la luminaria

Para este análisis se consideraron tres puntos de vital relevancia en el proyecto debido a que influyen directamente en el costo total de la luminaria. Estos puntos corresponden a los costos por componentes, costos del PCB y costos de la construcción de la luminaria. La suma de estos costos individuales corresponde a la inversión en material que se debe realizar para poder implementar el proyecto.

3.2.1. Costos de componentes

Los costos de componentes toman por referencia los costos del mercado local a presente fecha de realizado este trabajo. Se consideró la adquisición de componentes en la ciudad de Ibarra y en principales tiendas electrónicas encontradas en el país. El listado de componentes utilizados para el desarrollo del proyecto, así como sus actuales precios puede observarse en la Tabla 3. 1.

Tabla 3. 1

LISTADO DE COMPONENTES Y PRECIO EN EL MERCADO

Componente	Cantidad	Precio unidad	Precio total	Proveedor
IC 555	1	\$0,25	\$0,25	Electronics Quito-Ecuador
Arduino Nano	1	\$7.00	\$7.00	Wiltronic Ambato-Ecuador
Capacitor 25V 47uf	1	\$0,25	\$0,25	Megatronic Quito-Ecuador
Capacitor 25V 12uf	1	\$0,25	\$0,25	Megatronic Quito-Ecuador
Capacitor 12V 10uf	1	\$0,25	\$0,25	Megatronic Quito-Ecuador
Capacitor 12V 30uf	1	\$0,25	\$0,25	Megatronic Quito-Ecuador
LED SMD 3528	40	\$0,17	\$6,67	Megatronic Quito-Ecuador
Diodo 1N4001	2	\$0,14	\$0,28	Wolfelectronics Quito-Ecuador
Fotorresistencia	1	\$0,60	\$0,60	Megatronic Quito-Ecuador
Bornerakf-301-2p	7	\$0,25	\$8,75	Tecnología Robótica Quito-Ecuador
Transistor TIP31A	2	\$0,75	\$1,50	Megatronic Quito-Ecuador
Inductor 100 uH	1	\$0,50	\$0,50	Wolfelectronics Quito-Ecuador
Resistencias 1W	11	\$0,10	\$1,10	Megatronic Quito-Ecuador
Potenciómetro de precisión	1	\$0,50	\$0,50	Wolfelectronics Quito-Ecuador
Sensor HC-SR501	2	\$2,50	\$5,00	MGSysyem Quito-Ecuador
Panel Solar 6V	2	\$6,00	\$12,00	Sigma Electronik Quito-Ecuador
TBatería 12v 7AH	1	\$12,50	\$12,50	Tecnic Solution Quito-Ecuador
Total			\$53,65	

Fuente: (Autor,2022)

3.2.2. Costos de PCB

Para la fabricación del circuito impreso (PCB por sus siglas en inglés), se optó por el método de fresado CNC. Para ello se hace uso de un servicio de manufactura disponible en el Ecuador, los cuales ofrecen un costo por tamaño del mecanizado, es decir, por el tamaño de la tarjeta. Los diseños de PCB para el proyecto tienen dimensiones de 7,5 cm x 5 cm para la tarjeta del controlador y de 12,5 cm x 17 cm para la tarjeta de los LEDs. Los costos por fabricación de los PCB se pueden observar en la Tabla 3. 2.

Tabla 3. 2
PRECIOS DE MANUFACTURA PARA PCB

PCB	Cantidad	Precio unidad	Precio total	Proveedor
PCB del Controlador	1	\$3,00	\$3,00	Plexylab Cuenca-Ecuador
Módulo de iluminación	2	\$2,50	\$5,00	Plexylab Cuenca-Ecuador
Total			\$8,00	

Fuente: (Autor,2022)

3.2.3. Costos de soldadura

Son los costos de realizar la soldadura de los componentes electrónicos en las tarjetas PCB. Estos costos contemplan el estaño, la pasta de soldar y el tipo de soldadura, ya que las tarjetas de los módulos de iluminación emplean LEDs tipo SMD (Montaje superficial), que requieren mucho más cuidado al momento de soldar. Los costos por soldadura se pueden observar en la Tabla 3. 3.

Tabla 3. 3
PRECIOS PARA SOLDADURA ELECTRÓNICA

Soldadura	cantidad	Precio unidad	Precio total	Proveedor
Controlador	1	\$1	\$1	Saltech Atuntaqui-Ecuador
Módulo de iluminación	2	\$1	\$2	Saltech Atuntaqui-Ecuador
			\$3	

Fuente: (Autor,2022)

3.2.4. Costos de la estructura

Los costos de la estructura de la luminaria se observan en la Tabla 3. 4. Se consideraron proveedores locales en el cantón de Ibarra para facilitar la adquisición de las piezas y disminución de costos.

Tabla 3. 4
PRECIO DE ESTRUCTURA DE LUMINARIA

Parte	cantidad	P. unidad	P. total	Proveedor
Tapa frontal	2	\$3,00	\$6,00	DomEs muebles Atuntaqui-Ecuador
Tapas de acrílico	2	\$4,00	\$8,00	DomEs muebles Atuntaqui-Ecuador
Tapa Superior	1	\$2,00	\$2,00	DomEs muebles Atuntaqui-Ecuador
Tapa lateral	2	\$2,00	\$4,00	Metálicas Cabrera Natabuela-Ecuador
Soporte para módulo LEDs	2	\$1,00	\$2,00	Metálicas Cabrera Natabuela-Ecuador
Soporte para Batería y controlador	1	\$2,00	\$2,00	Metálicas Cabrera Natabuela-Ecuador
Total			\$24,00	

Fuente: (Autor,2022)

3.2.5. Costos de transporte

Los costos de transporte corresponden a gestión de envíos, movilización y adquisición, así como la utilización de distintos servicios destinados a obtener los componentes físicos de los distintos proveedores en todo el país. Los costos de se han establecido por conveniencia en un valor de \$10, puesto que dependen de la zona y el local de adquisición.

3.2.6. Costos de mano de obra

Para ensamblar la luminaria, se ha contactado a Nommada Ingeniería, en la ciudad de Ibarra. Este local cuenta con experiencia en interpretación y manipulación de componentes electrónicos, por lo que es ideal para la tarea designada de poner en funcionamiento la luminaria. El costo de mano de obra que ofrecen por el ensamble de cada luminaria es de \$5.

3.2.7. Costos totales de inversión

Conociendo los costos individuales del proyecto se pueden encontrar los costos totales del proyecto. El costo total representa para este caso los costos de inversión, por lo que se utilizará para el análisis económico.

Tabla 3. 5
COSTOS TOTALES DE INVERSION

Costo de componentes	Costo de PCB	Costos de soldadura	Costos de estructura	Costos de transporte	Costos de mano de obra	Costos totales
\$53,65	\$8,00	\$3,00	\$24,00	\$10,00	\$5,00	\$103,65

Fuente: (El Autor,2022)

3.3. Ahorro energético en vida útil

Para el análisis del ahorro energética, se consideraron los siguientes aspectos:

- Tarifa eléctrica residencial
- Potencia de la luminaria
- Horas de vida útil

La metodología del análisis consiste en la comparación del consumo energético del proyecto de la luminaria con respecto a las luminarias fluorescentes e incandescentes de uso común. Para el caso del proyecto, la energía consumida representa el ahorro energético de electricidad, esto debido a que este consumo se suministra por parte de los paneles solares. Por otro lado, este análisis considera una vida útil de 10000 horas para el proyecto. La Tabla 3. 6 muestra la tarifa actual de la energía eléctrica en el Ecuador la cual tiene un precio de \$0.092 por Kwh.

Tabla 3. 6
PLIEGO TARIFARIO SEGÚN LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD

Pliego tarifario	Energía (USD/kWh)
Tarifa residencial	0,092

Fuente: Elaborada por el autor, adaptada de (ARCERNR,2022)

Por otro lado, se sabe cuánto es el consumo energético de la luminaria LED, el cual es de 6.516 Ah. Sin embargo, esto corresponde al de las luminarias y el controlador. Por lo que para este análisis se utiliza los dos consumos, el de los LEDs es de 5.64Ah.

Tabla 3. 7
CONSUMO ENERGETICO DE LA LUMINARIA LED PROPUESTA

Consumo en Ah	Voltaje de trabajo	Consumo en Wh	Consumo en KWh
6.516	12	78.192	0.078192
5.64	12	67.68	0.06758

Fuente: (El Autor,2022)

Se debe considerar que la vida útil de las luminarias fluorescentes e incandescentes es menor a las de las luminarias LED, es decir, que para realizar una comparativa más realista, es necesario utilizar más de una luminaria para estos casos, de tal forma que en conjunto alcancen la vida útil de 10000 horas. Esto en la vida cotidiana implica un cambio de luminaria, por lo que ya representa una desventaja inicial. Por otro lado, la luminaria incandescente se consigue únicamente con un flujo luminoso normal de alrededor de 1200 lúmenes. Sin embargo, esto no representa una ventaja real en comparación con otros tipos de luminaria, esto debido a que la potencia que necesita para funcionar es también alta y su vida útil baja, resultando en un consumo mayor.

La luminaria fluorescente es la que en comparación con la luminaria propuesta tiene un consumo menor. Sin embargo, su vida útil es superior a la de los focos incandescentes, por lo que para alcanzar la vida útil de una luminaria LED es necesario el uso de 3 luminarias, las cuales tienen un consumo conjunto de mayor.

Tabla 3. 8

COMPARATIVA DE CONSUMO ENERGETICO DE LA LUMINARIAS LED, FLUORESCENTES E INCANDESCENTES

Tipo de luminaria	Potencia watts (w)	Flujo luminoso (Lm)	Vida útil en horas	Potencia total en (kWh)	Precio de la energía (USD/kWh)	Precio (USD)	Referencia para las 10000h	Precio (USD)
Luminaria LED	5,63	450	10000	56,3	0,092	5,18	1	5,18
Luminaria fluorescente	13	430	8000	104	0,092	9,56	1.25	11,95
Luminaria incandescente	50	450	1000	50	0,092	4,6	10	46
Luminaria halógena	25	300	3000	75	0,092	6,9	3,33	22,97

Fuente: (El Autor,2022)

De la Tabla 3. 8 se puede decir que la principal ventaja de la luminaria propuesta es su vida útil, la cual sobrepasa a las luminarias convencionales las cuales deben ser reemplazadas durante todo ese periodo de uso. La mayor diferencia en ahorro energético se encuentra con respecto a las luminarias incandescentes, producto de que su costo energético bajo la tarifa actual eléctrica es de \$92, comparados con los \$21,16 de la luminaria LED. La luminaria

fluorescente tiene un costo apenas superior al de la luminaria LED siendo la diferencia de alrededor de \$1.

3.4. Comparación de luminaria y lámparas a precios comerciales

Esta comparación busca determinar la factibilidad económica en la aplicación de este proyecto comparado con otros casos similares de luminarias. La tabla muestra la comparación entre tres proyectos de luminarias LED potencia de la luminaria propuesta que se conoce de 6,516w.

Tabla 3. 9

TABLA COMPARATIVA DE COSTOS DE INVERSIÓN DE PROYECTOS DE ILUMINACIÓN

Luminaria Ornamental	Costos de inversión	Potencia de la luminaria	Flujo luminoso	Modo de iluminación	Alimentación
Bolardo solar felice	\$109,90	2w	280	Luminaria comercial LED	Autónoma, por paneles solares
Bolardo solar fiorina	\$105,30	2w	280	Luminaria comercial LED	Autónoma, por paneles solares
Proyecto de luminaria LED. Fuente: (El autor)	\$100,65	6,516w	450	Encapsulados LED	Autónoma, por paneles solares

Fuente: (El Autor,2022)

3.4.1 Comparación de costos de la luminaria

La luminaria del proyecto presenta la ventaja que los encapsulados LEDs se encuentran en una tarjeta aparte al sistema de control, permitiendo que se intercambien los encapsulados LED en caso de ser necesario. El uso de luminarias LED permite que los costos sean menores comparados de la adquisición de otros tipos de tecnologías de iluminación. En la Tabla 3. 10 se puede observar una comparación de costos de luminarias según el tipo de tecnología para una vida útil de 10000 horas.

Tabla 3. 10

TABLA COMPARATIVA DE COSTOS DE LA LUMINARIA

Tipo de luminaria	Costo unitario	Cantidad de luminarias para 10000h	Costo total
Luminaria LED	\$28,17	1	\$28,17
Luminaria fluorescente	\$8	1.25	\$10,00
Luminaria incandescente	\$3	10	\$30,00
Luminaria halógena	\$9	3.33	29,97

Fuente: (El Autor,2022)

De la Tabla 3. 8 se puede decir que la principal ventaja de la luminaria propuesta es su vida útil, la cual sobrepasa a las luminarias convencionales las cuales deben ser reemplazadas durante todo ese periodo de uso. La mayor diferencia en ahorro energético se encuentra con respecto a las luminarias incandescentes, esto debido a que para alcanzar el tiempo de iluminación de una luminaria LED es necesario emplear un total de 10 luminarias. La luminaria fluorescente tiene un costo apenas inferior al de la luminaria LED siendo la diferencia de alrededor de \$18,17.

3.5. Análisis económicos

En este apartado se realiza el estudio de la rentabilidad económica del proyecto, analizando los indicadores económicos como el flujo de caja, el VAN y el TIR, con el propósito de determinar la viabilidad económica.

Tabla 3. 11

CONSUMO ECONÓMICO ANUAL DE LA LUMINARIA ORNAMENTAL PROPUESTA

Luminaria Ornamental	Potencia de la luminaria en (w)	Tiempo de consumo en horas	Consumo al día (Kw/h)	Consumo al mes (Kw/h)	Consumo al año (Kw/h)	Precio de la energía en (USD/Kwh)	Precio mes (USD)	Precio Año (USD)
Propuesta	6,516	12	0,07819	2,3457	28,539	0,092	0,2158	2,625

Fuente: (El Autor,2022)

Escenario 1. Para este análisis se considera el precio total de la batería, el valor del controlador y los paneles solares a un 33% para el análisis de 10000 horas de trabajo.

Tabla 3. 12
TABLA DE PRECIOS DEL CONTROLADOR Y LA BATERIA

Luminaria Ornamental	Precio de la batería (USD)	Precio del controlador (USD)	Precio de los paneles solares	Precio total (USD)
Propuesta	12.50	2.31	3.96	18.77

Fuente: (El Autor,2022)

Escenario 2. En cambio, para este análisis se utiliza el precio de 3 baterías y el precio total del controlador y los paneles solares para 30000 horas de trabajo.

Tabla 3. 13
TABLA DE PRECIOS DEL CONTROLADOR Y LA BATERIA

Luminaria Ornamental	Precio de la batería (USD)	Precio del controlador (USD)	Precio de los paneles solares	Precio total (USD)
Propuesta	37.5	7	12	56.50

Fuente: (El Autor,2022)

3.5.1. Indicador VAN

Este indicador permite conocer si el proyecto es rentable o no. Para ello hace uso del flujo de caja del proyecto y se utiliza la (28). El VAN depende también de una tasa de descuento, la cual, por referencia del banco central del Ecuador es de un valor de 9,33%.

$$VAN = -I + \sum_{j=1}^n \frac{FNCj}{(1+i)^n} \quad (28)$$

Donde:

- FNCj: Flujo de caja proyectado
- I: tasa de descuento

- N: periodo (tiempo de vida del proyecto)
- I: inversión inicial

Con el análisis del VAN se busca determinar si el proyecto es viable en el tiempo, permitiendo conocer si se generan ganancias económicas. Por medio del VAN se busca tomar las mejores decisiones en la inversión. La forma de determinar el VAN es por medio de los siguientes criterios:

- Si $VAN < 0$. El proyecto generara ganancia económica
- Si $VAN = 0$. El proyecto no generara ganancia ni pérdida económica
- Si $VAN > 0$. El proyecto generara pérdidas económicas

3.5.2. Indicador TIR

La tasa interna de retorno es un indicador que permite determinar cuándo una inversión es rentable al compararse con la tasa de descuento. La TIR se calcula con el flujo de caja, el tiempo de inversión y la inversión inicial. Para que el proyecto sea rentable, la TIR debe ser superior a la tasa de descuento y se debe calcular para un VAN de 0.

$$TIR = r1 + (r2 - r1) \left[\frac{VAN1}{VAN1 - VAN2} \right] \quad (29)$$

Donde:

- r1: tasa de actualización del VAN1
- r2: tasa de actualización del VAN2
- VAN1: VAN Positivo
- VAN2: VAN Negativo

La tasa de descuento en Ecuador tiene un valor de 9,33%, por lo que la TIR debe ser superior a ese valor para que el proyecto genere una ganancia económica.

Criterios

- Si $TIR \geq$ tasa de descuento (9,33%). El proyecto generara ganancia económica
- Si $TIR <$ tasa de descuento (9,33%). El proyecto generara pérdida económica

Escenario 1: Aplicando la (28 y (288 se obtiene como resultado el VAN y TIR del proyecto como se presenta en la Tabla 3.12, así como también el flujo caja correspondiente para los 28 meses dividiendo la tasa de descuento para los 12 meses del año con un valor de 0,775%.

$$VAN = -18,77 + \sum_{j=1}^{28} \frac{0,2158}{(1 + 0,7775\%)^{28}}$$

Donde:

- FNCj: 0,2158
- I: 0,7775% por mes
- N: 28 meses
- I: 18,77

Mientras que en el caso del TIR se tiene que:

$$TIR = r1 + (r2 - r1) \left[\frac{VAN1}{VAN1 - VAN2} \right]$$

Donde:

- r1: tasa de actualización del VAN1
- r2: tasa de actualización del VAN2
- VAN1: VAN Positivo
- VAN2: VAN Negativo

Tabla 3. 14

ESCENARIO 1: FLUJO DE EFECTIVO NETO, VAN Y TIR PARA 28 MESES

Meses	Ingresos	Egresos	Flujo de efectivo neto	Tasa de interés
0		-18,77		0,7775%
1	0,2158		0,2158	
2	0,2158		0,2158	
3	0,2158		0,2158	
4	0,2158		0,2158	
5	0,2158		0,2158	
6	0,2158		0,2158	
7	0,2158		0,2158	
8	0,2158		0,2158	
9	0,2158		0,2158	
10	0,2158		0,2158	
11	0,2158		0,2158	
12	0,2158		0,2158	
13	0,2158		0,2158	
14	0,2158		0,2158	
15	0,2158		0,2158	
16	0,2158		0,2158	
17	0,2158		0,2158	
18	0,2158		0,2158	
19	0,2158		0,2158	
20	0,2158		0,2158	
21	0,2158		0,2158	
22	0,2158		0,2158	
23	0,2158		0,2158	
24	0,2158		0,2158	
25	0,2158		0,2158	
26	0,2158		0,2158	
27	0,2158		0,2158	
28	0,2158		0,2158	

VAN	-9.58
TIR	-7%

Fuente: (El Autor,2022)

Se obtiene de esta forma un valor del VAN de \$50.83 y de TIR del 14%

Escenario 2: Utilizando la Ecuación 28 y 29 se calcula el VAN Y TIR con los valores de la Tabla 3.13 para 7 años como se puede observar en la Tabla 3. 15

$$VAN = -37,50 + \sum_{j=1}^7 \frac{2,625}{(1 + 9,33\%)^j}$$

Donde:

- FNCj: 2,625
- I: 9,33%
- N: 7 años
- I: 37.50

Mientras que en el caso del TIR se tiene que:

$$TIR = r1 + (r2 - r1) \left[\frac{VAN1}{VAN1 - VAN2} \right]$$

Donde:

- r1: tasa de actualización del VAN1
- r2: tasa de actualización del VAN2
- VAN1: VAN Positivo
- VAN2: VAN Negativo

Tabla 3. 15
 ESCENARIO 2: FLUJO DE EFECTIVO NETO, VAN Y TIR PARA 7 AÑOS

Años	Ingresos	Egresos	Flujo de efectivo neto	Tasa de interés
0		-37,50		9,33%
1	2,625		2,625	
2	2,625		2,625	
3	2,625		2,625	
4	2,625		2,625	
5	2,625		2,625	
6	2,625		2,625	
7	2,625		2,625	
VAN	-5,30			
TIR	-15%			

Fuente: (El Autor,2022)

3.5.3. Relación costo beneficio

El índice de productividad o relación costo beneficio permite conocer la relación que existe entre los beneficios generados por el proyecto con respecto a los costos o inversión inicial para llevarlo a cabo. Esto permite conocer si el proyecto generará ganancias económicas en contraste con el costo de llevarlo a cabo, lo cual es útil para tomar la decisión de continuar con el desarrollo.

La (30) permite conocer la relación costo beneficio a partir de los ingresos netos obtenidos del flujo de caja y la inversión inicial.

$$RBC = \frac{\sum \text{Ingresos netos}}{\text{Inversor inicial}} \quad (30)$$

Donde:

- RBC: Relación costo beneficio

Si la relación costo beneficio tiene un valor superior a 1, se considera que la inversión es viable y genera ganancia. Si su valor es igual a 0, no se genera ganancias ni pérdidas. Si es menor a 1, se generan pérdidas.

Criterios

- Si $RBC > 1$ la inversión generará ganancias económicas.
- Si $RBC = 0$ la inversión no generará ni ganancias ni pérdidas económicas.
- Si $RBC < 1$ la inversión generará pérdidas económicas.

Escenario 1. Con la Ecuación 29 se realiza para un total de 28 meses con el ingreso de la tabla del consumo Tabla 3. 16.

$$RBC = \frac{\sum 0,2158}{18,77}$$

$$RBC = 0,32$$

En este caso se obtuvo que es menor a 1 por lo cual no generará ingresos a largo plazo

Escenario 2. Con la Ecuación 29 se realiza para un total de 7 años con el ingreso de la tabla del consumo al año Tabla 3. 17.

$$RBC = \frac{\sum 2,625}{37,50}$$

$$RBC = 0,49$$

En este caso se puede observar al igual que el anterior resultado no se generará ingresos a largo plazo concluyendo que el proyecto no es rentable por alto costo a realizarse y la energía que actualmente en el país es económica, por otro lado, la potencia de la luminaria es muy baja como para realizar la comparativa de las baterías, el controlador y los paneles fotovoltaicos.

CONCLUSIONES

En el diseño de una luminaria impulsada con energía fotovoltaica, el uso de LEDs brinda una gran ventaja desde el punto de vista del ahorro energético, tiempo de vida útil y flexibilidad en el diseño de los circuitos de control. La tecnología de las luminarias LEDs le permite utilizar bajos voltajes y corrientes, lo cual facilita su control con microcontroladores, sin necesidad de utilizar una gran cantidad de electrónica de potencia para su control, disminuyendo el consumo adicional que se podría generar por los sistemas de control, lo cual le permite ser una opción viable para un sistema autosustentable basado en energía fotovoltaica.

Con respecto al flujo luminoso, es importante que la luminaria sea capaz de producir una iluminancia de entre 20 y 50 luxes, esto debido a que si se maneja valores inferiores a los 20 luxes, distinguir los senderos puede volverse una tarea complicada; por el contrario, si se aplica valores por sobre los 50 luxes la iluminación puede causar deslumbramiento en los peatones.

Su relación costo beneficio determino que el ahorro energético producto de la energía fotovoltaica producida no cubre los costos de construcción del prototipo a lo largo del tiempo. Debido al bajo costo de energía eléctrica que tiene el país y el alto coste de los materiales electrónicos para su construcción para elaborar un solo prototipo de luminaria.

RECOMENDACIONES

Aunque este proyecto cumple con los requisitos establecidos durante su etapa de diseño, se debe considerar que es posible implementar mejoras con el fin de alcanzar mejores resultados finales. En el mercado se pueden encontrar módulos que reemplacen funciones del circuito propuesto, como controladores de carga solar con características de voltaje y corriente más flexibles y potentes, así como módulos DC-DC que pueden realizar el trabajo de elevación de voltaje más eficientemente e integrando protecciones que garanticen la integridad de los circuitos. Emplear estos módulos para un proyecto de iluminación a mayor escala es una recomendación importante debido a que ahorran tiempo y recursos en la etapa de diseño.

Los materiales utilizados para la estructura de la luminaria están seleccionados para presentar un buen acabado superficial que brinde un diseño atractivo para las personas, por lo que se ha utilizado una combinación entre aluminio y madera para este fin. Sin embargo, el proyecto está pensado para un uso exterior donde se facilite su exposición a la luz solar para obtener energía, lo cual implica que el prototipo estará expuesto a la intemperie. Es por ello por lo que es recomendable aplicar algún tipo de protección al sistema que proteja la madera de la humedad y al aluminio de la corrosión, empleando para ello algún tipo de sellador o barniz, pintura, etc.

Con respecto a la inversión inicial, es posible que el uso de módulos ya fabricados para el sistema de alimentación pueda reducir aún más los costos de material, por lo que es recomendable el uso de tarjetas electrónicas simples para diseñar un sistema complejo con un costo menor.

REFERENCIAS

- Contreras, J. (2019). *Implementación de un sistema automatizado para el ayuntamiento de aves en un campo de plantas de melocotón en la comunidad San Pedro de Pallac, Huaral, Lima*. 1–135.
- Cumbajín, M., Ramírez, L., & Gordón, C. (2019). Integración de energías renovables en sistemas de energía eléctrica convencionales basados en confiabilidad computacional. *RISTI: Iberian Journal on Information Systems & Technologies / Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação, E19*, 391-391–402.
- De, F., En, I., Aplicadas, C., De, C., Eléctrico, M., Fernando, D., Paspuezan, P., Francisco, M., & Cobo, R. N. (2022). *IOT para la supervisión y control de circuitos de iluminación*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12049>
- de Oliveira Grando, F., & Ghisi, E. (2021). Assessment of public lighting systems considering mesopic vision. *Journal of Cleaner Production, 279*, 123369. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123369>
- Diseño, ", Construcción, Y., Un, D. E., De, S., René, C., & Guanín, A. (2015). *Diseño y construcción de un sistema de iluminación autosustentable fotovoltaico para una parada de buses y su valla informativa del sistema integrado de transporte de Cuenca*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/11352>
- Eléctrico, M., Rojas, C., & Fernando, J. (2018). *Diseño de un sistema de control de iluminación exterior en zonas rurales lejanas*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8439>
- Gonzalez, M. (2020). *Elementos del discurso científico. Caso de la lámpara LED*.
- González, O., Pavas, A., & Sánchez, A. (2017). Cuantificación del ahorro de energía eléctrica en clientes residenciales mediante acciones de gestión de demanda Quantification of electrical energy savings in residential customers through demand management strategies. *UIS Ingenierías, 16(2)*, 217–225.
- Herranz, C., & Ollé, J. (2011). La Iluminación Con Led Y El Problema De La Contaminación Lumínica. *Astronomía, 144*, 36–43.

- López Arias, S. (2015). Iluminación Y Alumbrado Público. *Informe De Regulaciones a. P.*, 21.
- Macías Centeno, J. E., Valarezo Molina, L. A., & Loor Castillo, G. (2018). Los diferentes costos que tiene la energía eléctrica en el Ecuador considerando los cambios de la estructura actual. *Revista de Investigaciones En Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, 3(2), 29. <https://doi.org/10.33936/riemat.v3i2.1628>
- Montalvo Ureta, D. V. (2016). *Análisis y diseño del alumbrado en espacio exteriores utilizando lámparas LED microcontroladas, alimentadas por un sistema de energía solar fotovoltaico*. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/6641>
- Pasolini, G., Toppan, P., Zabini, F., De Castro, C. D., & Andrisano, O. (2019). Design, deployment and evolution of heterogeneous smart public lighting systems. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(16). <https://doi.org/10.3390/app9163281>
- Perko, Z., Topić, D., & Perko, J. (2017). Standardized system for monitoring and control of public lighting networks. *Proceedings of International Conference on Smart Systems and Technologies 2017, SST 2017, 2017-Decem*, 45–50. <https://doi.org/10.1109/SST.2017.8188668>
- Ramírez, H., & Salazar, F. (2015). Caracterización de una lámpara LED. *ECORFAN-Spain*, 1(1), 138.
- Saavedra, E. (2017). *Sistemas de iluminación, situación actual y perspectivas*.
- Serrano-Tierz, A., Martínez-Iturbe, A., Guarddon-Muñoz, O., & Santolaya-Sáenz, J. L. (2015). Analysis of energy saving in industrial LED lighting: A case study. *DYNA (Colombia)*, 82(191), 231–239. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n191.45442>
- Soori, P. K., & Vishwas, M. (2013). Lighting control strategy for energy efficient office lighting system design. *Energy and Buildings*, 66, 329–337. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.039>
- Valetti, L., Floris, F., & Pellegrino, A. (2021). Renovation of public lighting systems in cultural landscapes: Lighting and energy performance and their impact on nightscapes. *Energies*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/en14020509>

- Wagiman, K. R., Abdullah, M. N., Hassan, M. Y., Mohammad Radzi, N. H., Abu Bakar, A. H., & Kwang, T. C. (2020). Lighting system control techniques in commercial buildings: Current trends and future directions. *Journal of Building Engineering*, 31(February), 101342. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101342>
- Arencibia Carballo, G. (2016). La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica. , 17(9).
- Ballester, J. (2006). Iluminación artificial de las zonas verdes. *Hojas Divulgadoras(2121HD)*, 6.
- Components, R. (1997). Light dependent resistors.
- de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), I. N. (2015). Iluminación en el puesto de trabajo.criterios para la evaluación y acondicionamiento de los puestos. Ministerio de empleo y seguridad social.
- EBSA. (2010). Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público “retilap”. Empresa de energía de Boyacá S.A. E.S.P..
- Farrás, J. G. (2012). Iluminación. *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo*.
- Freddy Fernando Valderrama, H. M. V., Henry Moreno C. (2011). Análisis, simulación y control de un convertidor de potencia dc-dc tipo boost. *Ingenium*.
- Frosted satin ice acrylic sheet. (2022). Descargado 2022-03, de www.canalplastic.com/products/0d010-df-frosted-satin-ice-acrylic-sheet?variant=32918342606 (2022)
- Grande, J. R. (2014). Iluminación con LEDs. *Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial*.
- Hc-sr501 pir motion detector. (s.f.).
- INEN. (2013). Lámparas incandescentes de filamento de tungsteno para alumbrado general. requisitos e inspección. *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo*.
- instruments, T. (2015). Lm555 timer.
- International, M. (2018). Iluminación de alta eficiencia. Guía para la Evaluación de Elegibilidad de Financiación de Proyectos de Eficiencia Energética.

LEDex. (2019). Focos LED LEDex iluminación eficiente. LEDvance. (2021). Lighting solutions for entire buildings. Luzteca. (2012). Lámparas de inducción magnética.

MSc. Jorge Luis Díaz Rodríguez, I. E. Y. R. C., PhD. Aldo Pardo García. (2009). Implementación de una modulación pwm optimizada para el control de un motor trifásico de inducción usando la tarjeta dsp - tms320c6416 dsk. , 1(13).

Ninex. (2004). 3528 flash white color smd type LED.

Secades, M. R. (2007). Sistemas electrónicos para iluminación.

UNIOVI-GEI:Grupo de Electrónica Industrial.

Semiconductor, F. (s.f.). Mc78xx/lm78xx/mc78xxa 3-terminal 1a positive voltage regulator. Silicon. (s.f.). Product specification tip31/31a/31b/31c. Silicon NPN Power Transistors.

Sylvania. (2019). Luminarias LED catálogo 2019-2020.

Ultracell. (s.f.). UI7-12 12v 4ah general series.

Banzi, M., Barragin, H., Cuartielles, D., Todd, T. I., & Mellis, K. D. (2007). Arduino: Manual de Programación 2 Datos del documento original.

ANEXOS

Anexo A: Datasheet de los encapsulados 3528

3528 Flash White Color SMD Type LED	
--	---

3528 Size Flash White Color SMD Type LED

Part Number : S3528WH-EA

2004. 12. 7

	Composition	Check	Approval
NINEX			
	/	/	/
	/	/	/

NiNEX Co., Ltd.

<http://www.ninex.biz>

Head Quarter/ Factory:

#449-12, Mogok-Dong, PyongTack-Si, Kyongki-Do, Korea

Tel: 82-31-660-0800, Fax: 82-31-611-9048

Marketing Office

#358-1, Korea Exchange Bank Building 5F

Yitap-Dong, Bundang-Ku, Sungnam-Si, Kyongki-Do, Korea

Tel: 82-31-703-2606-7, Fax: 82-31-704-2607

3528 Flash White Color SMD Type LED



2. Specification

2-1. Absolute Maximum Rating

($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Maximum Rating	Units
Power Dissipation	P_D	240	mW
Forward Current	I_f	60	mA
Peak Forward Current ^{*1}	I_{f_PEAK}	250	mA
Reverse Voltage	V_R	5	V
Operation Temperature	T_{OP}	-30 ~ +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	T_{ST}	-40 ~ +100	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature	T_{SOL}	Reflow soldering (lead free): 260 $^\circ\text{C}$ for 5sec. Reflow soldering (lead): 240 $^\circ\text{C}$ for 5sec	

*1: Duty ratio = 1/10, Pulse width = 10ms

2-2. Electrical and Optical Characteristics

($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Test Condition	Min	Max	Units
Forward Voltage ^{*1}	V_f	$I_f = 60\text{mA}$	3.0	3.8	V
Luminous Intensity ^{*2}	I_v	$I_f = 60\text{mA}$	2.5	5.5	cd
Color Coordinate ^{*3}	x	$I_f = 60\text{mA}$	0.29	0.35	
	y	$I_f = 60\text{mA}$	0.26	0.39	
Reverse Current	I_R	$V_R = 5\text{V}$		100	μA

*1: 0.05V tolerance for the forward voltage may be caused by measurement inaccuracy.

*2: 10% tolerance for luminous intensity may be caused by measurement inaccuracy.

*3: The measurement tolerance of color coordinate is 0.01

Anexo B: Datasheet del regulador de voltaje TO- 220/7805.



www.fairchildsemi.com

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

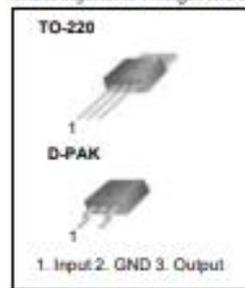
3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

Features

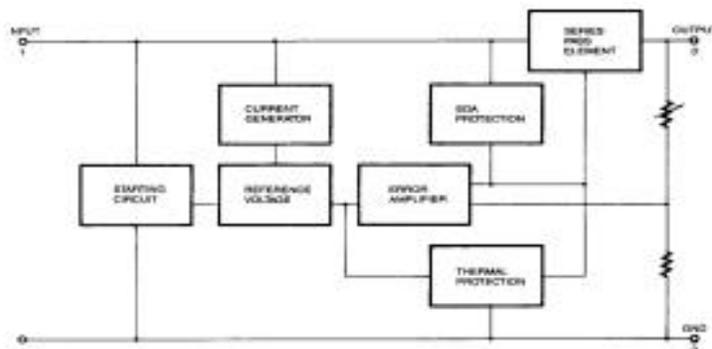
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

Description

The MC78XX/LM78XX/MC78XXA series of three terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

©2001 Fairchild Semiconductor Corporation

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$) (for $V_O = 24V$)	V_I	35	V
	V_I	40	V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	$R_{\theta JC}$	5	$^{\circ}C/W$
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}C/W$
Operating Temperature Range	T_{OPR}	0 – +125	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 – +150	$^{\circ}C$

Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)

(Refer to test circuit, $0^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$, $I_O = 500mA$, $V_I = 10V$, $C_I = 0.33\mu F$, $C_O = 0.1\mu F$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}C$	4.8	5.0	5.2	V	
		$5.0mA \leq I_O \leq 1.0A$, $P_O \leq 15W$ $V_I = 7V$ to $20V$	4.75	5.0	5.25		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}C$	$V_O = 7V$ to $25V$	-	4.0	100	mV
			$V_I = 8V$ to $12V$	-	1.6	50	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}C$	$I_O = 5.0mA$ to $1.5A$	-	9	100	mV
			$I_O = 250mA$ to $750mA$	-	4	50	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}C$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5mA$ to $1.0A$	-	0.03	0.5	mA	
		$V_I = 7V$ to $25V$	-	0.3	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5mA$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}C$	
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10Hz$ to $100KHz$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	42	-	$\mu V/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120Hz$ $V_O = 8V$ to $18V$	62	73	-	dB	
Dropout Voltage	V_{Dreg}	$I_O = 1A$, $T_J = +25^{\circ}C$	-	2	-	V	
Output Resistance	r_O	$f = 1KHz$	-	15	-	m Ω	
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35V$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	230	-	mA	
Peak Current	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}C$	-	2.2	-	A	

Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Anexo C: Datasheet del sensor PIR HC-SR501

Product Discription

HC-SR501 is based on infrared technology, automatic control module, using Germany imported LH1778 probe design, high sensitivity, high reliability, ultra-low-voltage operating mode, widely used in various auto-sensing electrical equipment, especially for battery-powered automatic controlled products.

Specification:

- Voltage: 5V – 20V
- Power Consumption: 65mA
- TTL output: 3.3V, 0V
- Delay time: Adjustable (3->30s)
- Lock time: 0.2 sec
- Trigger methods: L – disable repeat trigger, H enable repeat trigger
- Sensing range: less than 120 degree, within 7 meters
- Temperature: – 15 – +70
- Dimension: 32*24 mm, distance between screw 28mm, M2, Lens dimension in diameter: 23mm

Application:

Automatically sensing light for Floor, bathroom, basement, porch, warehouse, Garage, etc, ventilator, alarm, etc.

Features:

- Automatic induction: to enter the sensing range of the output is high, the person leaves the sensing range of the automatic delay off high, output low.
- Photosensitive control (optional, not factory-set) can be set photosensitive control, day or light intensity without induction.
- Temperature compensation (optional, factory reset): In the summer when the ambient temperature rises to 30 ° C to 32 ° C, the detection distance is slightly shorter, temperature compensation can be used for performance compensation.
- Triggered in two ways: (jumper selectable)
 - non-repeatable trigger: the sensor output high, the delay time is over, the output is automatically changed from high level to low level;
 - repeatable trigger: the sensor output high, the delay period, if there is human activity in its sensing range, the output will always remain high until the people left after the delay will be high level goes low (sensor module detects a time delay period will be automatically extended every human activity, and the starting point for the delay time to the last event of the time).
- With induction blocking time (the default setting: 2.5s blocked time): sensor module after each sensor output (high into low), followed by a blockade set period of time, during this time period sensor does not accept any sensor signal. This feature can be achieved sensor output time "and" blocking time "interval between the work can be applied to interval detection products; This function can inhibit a variety of interference in the process of load switching. (This time can be set at zero seconds – a few tens of seconds).
- Wide operating voltage range: default voltage DC4.5V-20V.
- Micropower consumption: static current <50 microamps, particularly suitable for battery-powered automatic control products.
- Output high signal: easy to achieve docking with the various types of circuit.

Adjustment:

- Adjust the distance potentiometer clockwise rotation, increased sensing distance (about 7 meters), on the contrary, the sensing distance decreases (about 3 meters).
- Adjust the delay potentiometer clockwise rotation sensor the delay lengthened (300S), on the contrary, shorten the induction delay (5S).

Instructions for use:

- Sensor module is powered up after a minute, in this initialization time intervals during this module will output 0-3 times, a minute later enters the standby state.
- Should try to avoid the lights and other sources of interference close direct module surface of the lens, in order to avoid the introduction of interference signal malfunction; environment should avoid the wind flow, the wind will cause interference on the sensor.
- Sensor module with dual probe, the probe window is rectangular, dual (A B) in both ends of the longitudinal direction
 - so when the human body from left to right or right to left through the infrared spectrum to reach dual time, distance difference, the greater the difference, the more sensitive the sensor,
 - when the human body from the front to the probe or from top to bottom or from bottom to top on the direction traveled, double detects changes in the distance of less than infrared spectroscopy, no difference value the sensor insensitive or does not work;
- The dual direction of sensor should be installed parallel as far as possible in line with human movement. In order to increase the sensor angle range, the module using a circular lens also makes the probe surrounded induction, but the left and right sides still up and down in both directions sensing range, sensitivity, still need to try to install the above requirements.

- 1 working voltage range :DC 4.5-20V
- 2 Quiescent Current :50uA
- 3 high output level 3.3 V / Low 0V
- 4. Trigger L trigger can not be repeated / H repeated trigger
- 5. circuit board dimensions :32 * 24 mm
- 6. maximum 110 ° angle sensor
- 7. 7 m maximum sensing distance

Product Type	HC-SR501 Body Sensor Module
Operating Voltage Range	5-20VDC
Quiescent Current	<50uA
Level output	High 3.3 V /Low 0V
Trigger	L can not be repeated trigger/H can be repeated trigger(Default repeated trigger)
Delay time	5-300S(adjustable) Range (approximately .35sec -5Min)
Block time	2.5S(default)Can be made a range(0.xx to tens of seconds
Board Dimensions	32mm*24mm
Angle Sensor	<110 ° cone angle
Operation Temp.	-15-+70 degrees
Lens size sensor	Diameter 23mm(Default)

Application scope

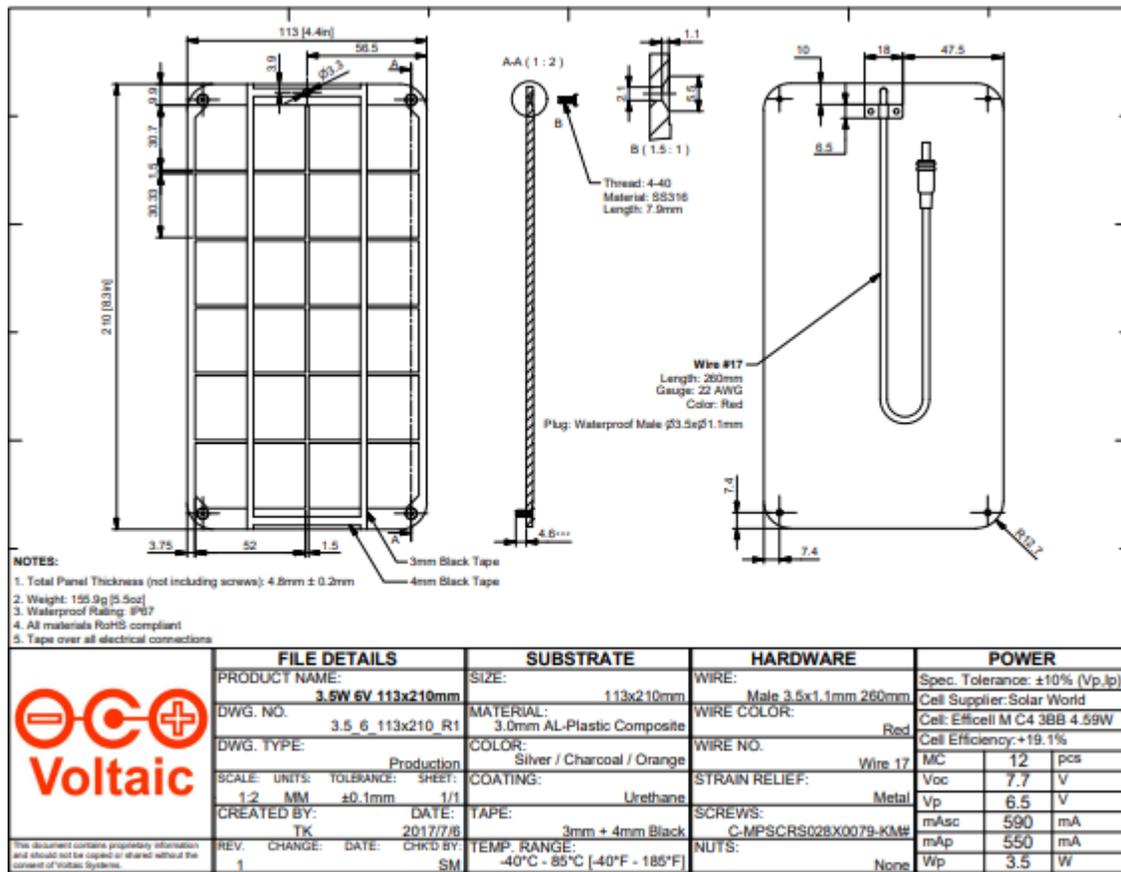
- Security products
- Body induction toys
- Body induction lamps
- Industrial automation control etc

Pyroelectric infrared switch is a passive infrared switch which consists of BISS0001 ,pyroelectric infrared sensors and a few external components. It can as open all kinds of equipments, including incandescent lamp, fluorescent lamp, intercom, automatic, electric fan, dryer and automatic washing machine, etc. It is widely used in enterprises, hotels, stores, and corridor and other sensitive area for automatical lamplight, lighting and alarm system.

Instructions

Induction module needs a minute or so to initialize. During initializing time, it will output 0-3 times. One minute later it comes into standby.
 Keep the surface of the lens from close lighting source and wind, which will introduce interference.
 Induction module has double -probe whose window is rectangle. The two sub-probe (A and B) is located at the two ends of rectangle. When human body r to right, or from right to left, Time for IR to reach to reach the two sub-probes differs.The lager the time difference is, the more sensitive this module is. Wh body moves face-to probe, or up to down, or down to up, there is no time difference. So it does not work. So instal the module in the direction in which mor activities behaves, to guarantee the induction of human by dual sub-probes. In order to increase the induction range, this module uses round lens which c from all direction. However, induction from right or left is more sensitivity than from up or down.

Anexo D: Datasheet del panel solar



Anexo E: Datasheet de la batería UL7-12

UL 7-12
12V 7AH
General

Ultracell®
"Quality in Every Language"

UL7-12



Physical Specification

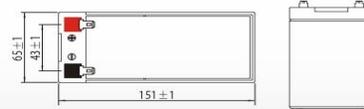
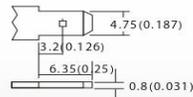
Part Number:	UL7-12
Length:	151 ± 2 mm (3.54 inches)
Width:	65 ± 2 mm (2.76 inches)
Container Height:	93.5 ± 2 mm (3.98 inches)
Total Height (with terminal):	99 ± 2 mm (4.21 inches)
Approx Weight:	Approx 2.05 kg

Specifications

	Nominal Voltage	12V
	Nominal Capacity (20HR)	7AH
Terminal Type	Standard Terminal	F1
	Optional Terminal	F2
Container Material	Standard Option	ABS
	Flame Retardant Option (FR)	ABS (UL94:VO)
Rated Capacity	7.00 AH/0.350A	(20hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)
	6.51 AH/0.653A	(10hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)
	6.00 AH/1.20A	(5hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)
	5.37 AH/1.79A	(3hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)
	4.55 AH/4.55A	(1hr, 1.60V/cell, 25°C / 77°F)
Max Discharge Current	105A (5s)	
Internal Resistance	Approx 23mΩ	
Discharge Characteristics	Operating Temp. Range	Discharge: -15 ~ 50°C (5 ~ 122°F)
		Charge: 0 ~ 40°C (5 ~ 104°F)
		Storage: -15 ~ 40°C (5 ~ 104°F)
	Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)
	Cycle Use	Initial Charging Current less than 2.1A. Voltage 14.4V ~ 15.0V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -30mV/°C
	Standby Use	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.5V ~ 13.8V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -20mV/°C
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F)	103%
	25°C (77°F)	100%
	0°C (32°F)	86%
Design Floating Life at 20°C	5 Years	
Self Discharge	Ultracell batteries may be stored for up to 6 months at 25°C(77°F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.	

Dimensions

F1 Terminal



1

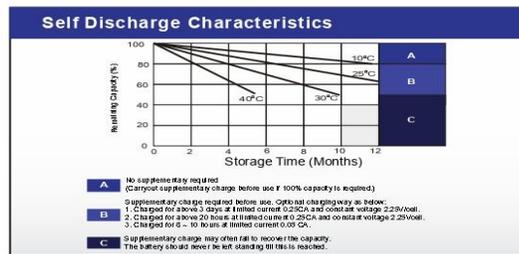
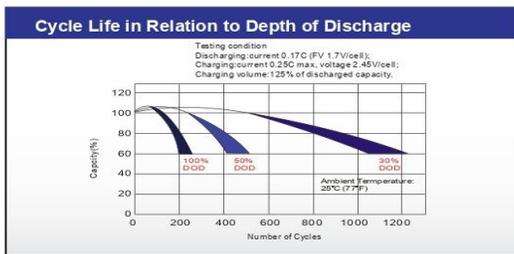
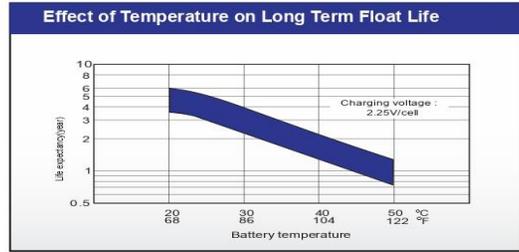
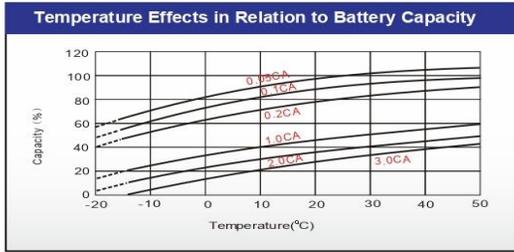
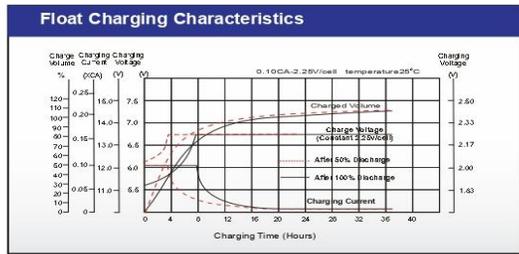
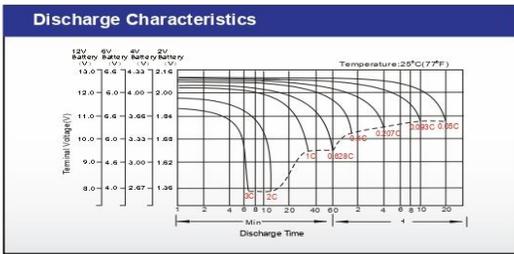
Ultracell (UK) Ltd | Vesty Business Park | Vesty Road | Liverpool | L30 1NY | United Kingdom
Tel: +44 (0) 151 523 2777 Fax: +44 (0) 151 523 0855 Email: info@ultracell.co.uk
www.ultracell.co.uk

ALL DATA IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE



Constant Current Discharge (Amperes) at 25 °C (77°F)															
F.V/Time	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	18.0	12.8	10.48	8.79	6.53	4.79	3.86	2.29	1.69	1.36	1.14	0.98	0.774	0.640	0.345
1.80V/cell	21.4	14.3	11.4	9.44	6.94	5.05	4.03	2.38	1.74	1.40	1.17	1.01	0.791	0.653	0.350
1.75V/cell	24.2	15.6	12.2	10.0	7.29	5.27	4.18	2.45	1.79	1.43	1.20	1.03	0.805	0.663	0.357
1.70V/cell	26.7	16.7	12.9	10.5	7.59	5.46	4.32	2.51	1.83	1.46	1.22	1.05	0.817	0.672	0.361
1.65V/cell	28.8	17.7	13.5	10.9	7.86	5.62	4.46	2.57	1.86	1.48	1.23	1.06	0.826	0.680	0.365
1.60V/cell	30.6	18.6	14.1	11.3	8.09	5.76	4.55	2.61	1.89	1.50	1.25	1.07	0.834	0.685	0.367

Constant Power Discharge (Watts) at 25 °C (77°F)															
F.V/Time	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	34.2	24.5	20.2	17.1	12.8	9.44	7.64	4.56	3.37	2.72	2.29	1.99	1.565	1.296	0.701
1.80V/cell	40.2	27.2	21.9	18.3	13.5	9.91	7.96	4.72	3.47	2.79	2.34	2.03	1.593	1.318	0.708
1.75V/cell	45.1	29.5	23.3	19.3	14.2	10.3	8.23	4.85	3.55	2.85	2.39	2.06	1.616	1.334	0.719
1.70V/cell	49.2	31.3	24.5	20.1	14.7	10.6	8.48	4.96	3.62	2.89	2.42	2.09	1.633	1.347	0.725
1.65V/cell	52.6	32.9	25.5	20.8	15.2	10.9	8.73	5.05	3.68	2.93	2.45	2.11	1.649	1.359	0.731
1.60V/cell	55.5	34.3	26.3	21.5	15.5	11.2	8.88	5.12	3.72	2.96	2.47	2.13	1.660	1.367	0.734



2

Ultracell (UK) Ltd | Vesty Business Park | Vesty Road | Liverpool | L30 1NY | United Kingdom
 Tel: +44 (0) 151 523 2777 Fax: +44 (0) 151 523 0855 Email: info@ultracell.co.uk
 www.ultracell.co.uk

ALL DATA IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE

NCP ISO9001 VdS PG CE RU

Anexo D: Datasheet del integrado 555

LM555 Timer

1 Features

- Direct Replacement for SE555/NE555
- Timing from Microseconds through Hours
- Operates in Both Astable and Monostable Modes
- Adjustable Duty Cycle
- Output Can Source or Sink 200 mA
- Output and Supply TTL Compatible
- Temperature Stability Better than 0.005% per °C
- Normally On and Normally Off Output
- Available in 8-pin VSSOP Package

2 Applications

- Precision Timing
- Pulse Generation
- Sequential Timing
- Time Delay Generation
- Pulse Width Modulation
- Pulse Position Modulation
- Linear Ramp Generator

3 Description

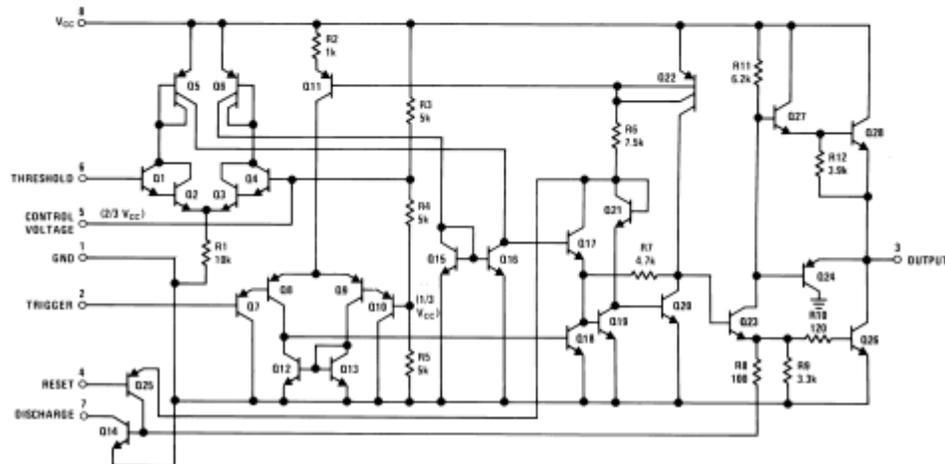
The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For a stable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200 mA or drive TTL circuits.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM555	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
	PDIP (8)	9.81 mm × 6.35 mm
	VSSOP (8)	3.00 mm × 3.00 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

Schematic Diagram



6.5 Electrical Characteristics

($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 5\text{ V to }15\text{ V}$, unless otherwise specified)⁽¹⁾⁽²⁾

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Supply Voltage		4.5		16	V
Supply Current	$V_{CC} = 5\text{ V}$, $R_A = \infty$		3	6	mA
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $R_A = \infty$ (Low State) ⁽³⁾		10	15	
Timing Error, Monostable					
Initial Accuracy			1 %		
Drift with Temperature	$R_A = 1\text{ k to }100\text{ k}\Omega$,		50		ppm/°C
	$C = 0.1\ \mu\text{F}$, ⁽⁴⁾				
Accuracy over Temperature			1.5 %		
Drift with Supply			0.1 %		V
Timing Error, Astable					
Initial Accuracy			2.25		
Drift with Temperature	$R_A, R_B = 1\text{ k to }100\text{ k}\Omega$,		150		ppm/°C
	$C = 0.1\ \mu\text{F}$, ⁽⁴⁾				
Accuracy over Temperature			3.0%		
Drift with Supply			0.30 %		/V
Threshold Voltage			0.667		x V_{CC}
Trigger Voltage	$V_{CC} = 15\text{ V}$		5		V
	$V_{CC} = 5\text{ V}$		1.67		V
Trigger Current			0.5	0.9	μA
Reset Voltage		0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4	mA
Threshold Current	⁽⁵⁾		0.1	0.25	μA
Control Voltage Level	$V_{CC} = 15\text{ V}$		9	10	V
	$V_{CC} = 5\text{ V}$		2.6	3.33	
Pin 7 Leakage Output High			1	100	nA
Pin 7 Sat ⁽⁶⁾					
Output Low	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_L = 15\text{ mA}$		180		mV
Output Low	$V_{CC} = 4.5\text{ V}$, $I_L = 4.5\text{ mA}$		80	200	mV
Output Voltage Drop (Low)	$V_{CC} = 15\text{ V}$				
	$I_{\text{LOAD}} = 10\text{ mA}$		0.1	0.25	V
	$I_{\text{LOAD}} = 50\text{ mA}$		0.4	0.75	V
	$I_{\text{LOAD}} = 100\text{ mA}$		2	2.5	V
	$I_{\text{LOAD}} = 200\text{ mA}$		2.5		V
	$V_{CC} = 5\text{ V}$				
	$I_{\text{LOAD}} = 5\text{ mA}$				V
	$I_{\text{LOAD}} = 5\text{ mA}$		0.25	0.35	V

(1) All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.

(2) **Absolute Maximum Ratings** indicate limits beyond which damage to the device may occur. **Recommended Operating Conditions** indicate conditions for which the device is functional, but do not ensure specific performance limits. **Electrical Characteristics** state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which ensure specific performance limits. This assumes that the device is within the **Recommended Operating Conditions**. Specifications are not ensured for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

(3) Supply current when output high typically 1 mA less at $V_{CC} = 5\text{ V}$.

(4) Tested at $V_{CC} = 5\text{ V}$ and $V_{CC} = 15\text{ V}$.

(5) This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for 15 V operation. The maximum total ($R_A + R_B$) is 20 M Ω .

(6) No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

Anexo E: Programación en el Arduino

```
// Definiciones del programa
#define MinLight 200           // Valor mínimo de luz. Se puede modificar según necesario
#define MaxLight 800          // Valor máximo de luz. Se puede modificar según necesario
#define CountTimeRefresh 60000 // Refresco que reinicia el contador de personas. Ajustado a 60S
#define PIRTimeRefresh 1000   // Refresco que brinda 1S de retardo al sensor PIR antes de realizar un nuevo conteo

// Constantes del programa
const int U_Control = 5;      // Salida de control de PWM
const int PIR_In = 12;       // Entrada del sensor PIR
const int LDR = A0;          // Entrada de la fotocelda

// Variables de programa
int CountPerson = 0; // Variable que almacena el numero de personas contadas
bool FlagPIR = true; // Bandera que indica que se ha realizado un conteo e impide un nuevo conteo hasta ser borrada
bool LDREnable = false; // Variable que indica cuando hay insuficiente luz para habilitar el uso de la luminaria

// Variables de control de ejecución *****
unsigned long CurrentTime = 0; // Tiempo actual de sistema
unsigned long CountTime = 0; // Control del tiempo del contador
unsigned long PIRDeathTime = 0; // Control del tiempo del PIR

void setup() {
  // Configuración de entradas y salidas
  pinMode(U_Control, OUTPUT); // Salida de PWM
  pinMode(PIR_In, INPUT); // Entrada del PIR

  // Estado inicial de las salidas
  analogWrite(U_Control, 0); // Inicia el PWM apagado
}

// Control de la señal del PIR
void PIRControl() {
  if (digitalRead(PIR_In) == HIGH) { // Si se detecta un pulso alto, se registra en el contador
    PIRDeathTime = CurrentTime; // Mantiene el contador de tiempo de espera del PIR en 0 mientras este presente el pulso alto
    if (FlagPIR) { // Registra un solo disparo del sensor y evita que se vuelva a registrar uno nuevo
      FlagPIR = false;
      CountPerson++; // Incremento del contador
    }
  }
}

// Control de la luminaria
// Establece los valores de PWM acorde a los niveles de luz calculados, el numero de peatones detectados y el estado de la fotocelda
void LuminariaControl() {
  if (LDREnable) {
    // Si no hay peatones, se mantiene apagada la luminaria
    if (CountPerson == 0) {
      analogWrite(U_Control, 0);
    }
    // Si hay entre 1 a 6 peatones, se activa la luminaria a 20 lux
    if ((CountPerson >= 1) && (CountPerson < 6)) {
      analogWrite(U_Control, 102);
    }
    // Si hay entre 6 a 11 peatones, se activa la luminaria a 35 lux
    if ((CountPerson >= 6) && (CountPerson < 11)) {

```

```

    analogWrite(U_Control, 179);
  }
  // Si hay más de 11 peatones, se activa la luminaria a 50 lux
  if (CountPerson > 11) {
    analogWrite(U_Control, 255);
  }
} else {
  // Si hay suficiente luz ambiente (LDREnable = false), entonces se mantiene la luminaria apagada
  analogWrite(U_Control, 0);
}
}
// Control de la señal de la fotocelda con histeresis
// Permite la activación y desactivación de la luminaria acorde a los niveles de luz ambiente
// El control de histeresis permite englobar el tiempo de funcionamiento, esto debido a que se asocia el comienzo de la
// noche con la disminución de luz ambiente y el inicio de la mañana con el incremento de la luz
void ReadLDR() {
  int LDRValue = analogRead(LDR);
  if (LDRValue > MaxLight) { // Cuando la luz ambiente supera un valor maximo, se determina que es de día y no se activa la luminaria
    LDREnable = false;
  }
  if (LDRValue < MinLight) { // Cuando la luz disminuye un valor mínimo, se determina que es de noche y se habilita el control de la luminaria
    LDREnable = true;
  }
}
void loop() {
  // Actualización de tiempo de sistema *****
  CurrentTime = millis();

  // Controlador de la fotocelda
  // Cuando la fotocelda recibe luz sobre un umbral, entonces la luminaria se deshabilita
  // Cuando la fotocelda recibe luz bajo un umbral, entonces la luminaria se habilita
  ReadLDR();

  // Control del contador del PIR
  // Cuando el estado logico es alto es 1, se incrementa el contador. Solo se permite incrementar el
  // contador si ha transcurrido 1S despues de que el estado lógico vuelva a bajo.
  PIRControl();

  // Control de tiempo de espera *****
  // Si transcurre un tiempo de 1S (1000 mS) despues de que el sensor PIR pasa a estado lógico bajo,
  // se permite que el sensor incremente de nuevo el contador
  if (!FlagPIR) {
    if ((CurrentTime - PIRDeathTime) > PIRTimeRefresh) {
      FlagPIR = true;
    }
  }
}

// Controlador de conteo de personas *****
// Si transcurre un tiempo de 60s (60000 mS) entonces se reinicia el contador de personas
if ((CurrentTime - CountTime) > CountTimeRefresh) {
  CountPerson = 0;
  CountTime = CurrentTime;
}

// Controlador de la luminaria
// Si hay suficiente luz ambiente, mantiene la luminaria apagada.
// Si hay poca luz ambiente, activa la lumiaria segun el numero de peatones detectado
LuminariaControl();
}

```

Anexo F: Características de la luminaria Performance in Lighting 306061 AMON MINI SOFT.

Parque

17/5/2022

DIALux

Performance in Lighting 306061 AMON MINI SOFT S/EW 41W 840 AN-96 1-10V 1xAMON MINI SOFT S/EW 41W 840
Performance in Lighting - AMON MINI SOFT S/EW 41W 840 AN-96 1-10V (1xAMON MINI SOFT S/EW 41W 840)

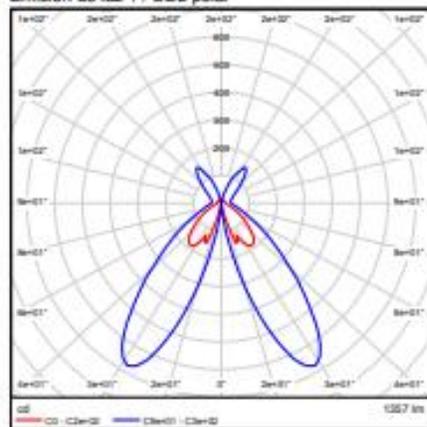
Performance in Lighting 306061 AMON MINI SOFT S/EW 41W 840 AN-96 1-10V 1xAMON MINI SOFT S/EW 41W 840



Fotometría absoluta
Flujo luminoso de las luminarias: 1357 lm
Potencia: 41.0 W
Rendimiento lumínico: 33.1 lm/W

Indicaciones colorimétricas
1xAMON MINI SOFT S/EW 41W 840: CCT 4000 K, CRI 80

Emisión de luz 1 / CDL polar



Serie de aparatos para exteriores en poste, constituidos por:

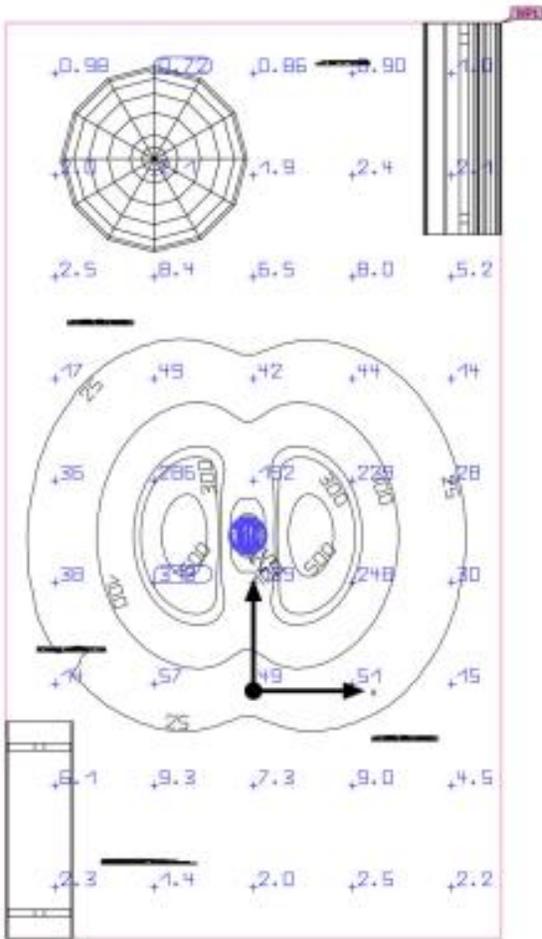
- Cuerpo de aluminio extruido pintado
- Difusor en vidrio plano extraclaro templado y satinado internamente
- Las versiones SOFT tienen un difusor en policarbonato estabilizado UV con acabado satinado
- Compartmento óptico en aluminio fundido pintado
- Grupo óptico compuesto por lentes en tecnopolímero de elevada transparencia o por reflectores en aluminio pulido y oxidado según los modelos
- Junta de silicona anti-envejecimiento
- Conexión eléctrica mediante caja de derivación
- Perfil en aluminio fundido a presión pintado
- Driver regulable 1-10 V
- Tornillería externa de acero inoxidable
- Compartmento para cableado en aluminio fundido pintado
- Brida para la fijación al suelo en acero pintado
- Cubrebrida estética para la base de fijación, en aluminio fundido a presión pintado, disponible como accesorio
- Para la instalación está disponible como accesorio una contrabrida de acero inoxidable para el anclaje en el cemento
- Equipado con dispositivo adicional de protección contra las sobretensiones de red hasta 10 kV (DNI)
- Disponibles bajo solicitud versiones regulables DALI

Anexo G: Resultados en Dialux de 50 luxes

Parque



(Light scene 1)
Summary



. (Light scene 1)

Summary

Results

	Symbol	Calculated	Target	Check	Index
Working plane	$E_{\text{perpendicular}}$	50.0 lx	≥ 5.00 lx	✓	WP1
	g _i	0.004	-	-	WP1
Consumption values	Consumption	360 kWh/a	max. 1050 kWh/a	✓	
Room	Lighting power density	1.39 W/m ²	-	-	
		2.77 W/m ² /100 lx	-	-	

Utilisation profile: General circulation areas at outdoor workplaces, Walkways exclusively for pedestrians

Luminaire list

pcs.	Manufacturer	Article No.	Article name	P	Φ	Luminous efficacy
1	Performance in Lighting	306061	AMON MINI SOFT S/EW 41W 840 AN-96 1-10V	41.0 W	2452 lm	59.8 lm/W

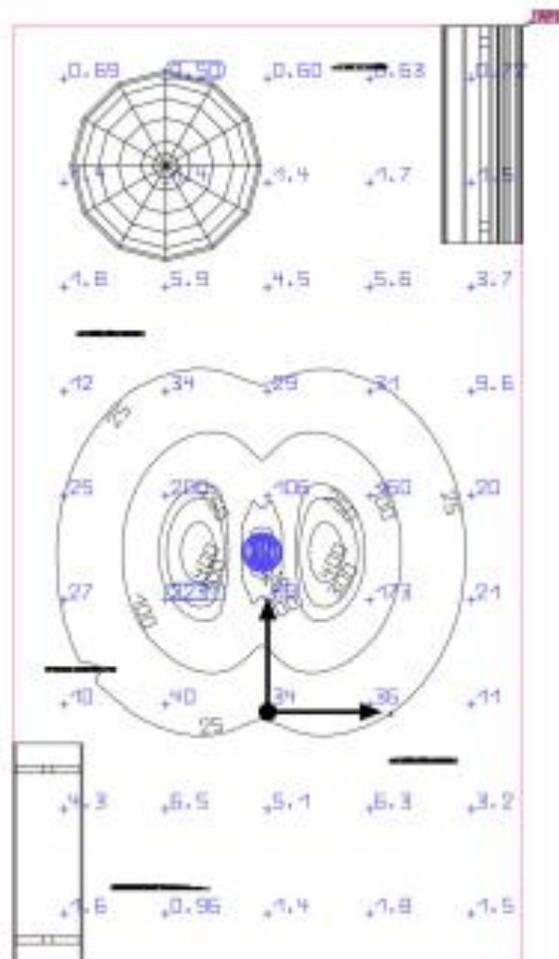
Anexo H: Resultados en Dialux en 35 luxes

Parque

DIALux

(Light scene 1)

Summary



. (Light scene 1)

Summary

Results

	Symbol	Calculated	Target	Check	Index
Working plane	$E_{\text{perpendicular}}$	35.0 lx	≥ 5.00 lx	✓	WP1
	g_1	0.003	-	-	WP1
Consumption values	Consumption	360 kWh/a	max. 1050 kWh/a	✓	
Room	Lighting power density	1.39 W/m ²	-	-	
		3.96 W/m ² /100 lx	-	-	

Utilisation profile: General circulation areas at outdoor workplaces, Walkways exclusively for pedestrians

Luminaire list

pcs.	Manufacturer	Article No.	Article name	P	Φ	Luminous efficacy
1	Performance in Lighting	306061	AMON MINI SOFT S/EW 41W 840 AN-96 1-10V	41.0 W	1716 lm	41.9 lm/W

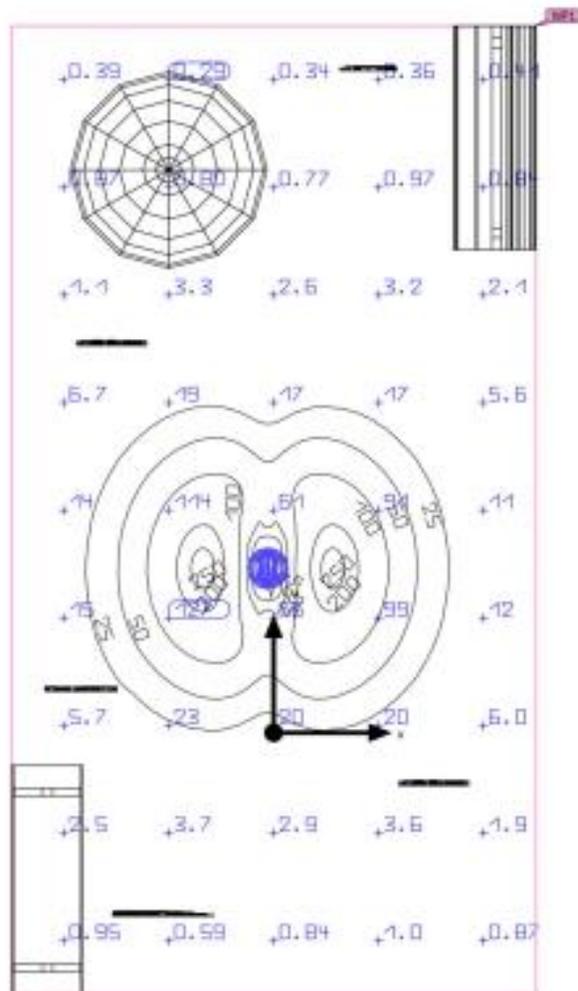
Anexo I: Resultados en Dialux en 20 luxes

Parque



(Light scene 1)

Summary



. (Light scene 1)

Summary

Results

	Symbol	Calculated	Target	Check	Index
Working plane	$E_{\text{perpendicular}}$	20.0 lx	≥ 5.00 lx	✓	WP1
	g_1	0.004	-	-	WP1
Consumption values	Consumption	360 kWh/a	max. 1050 kWh/a	✓	
Room	Lighting power density	1.39 W/m ²	-	-	
		6.93 W/m ² /100 lx	-	-	

Utilisation profile: General circulation areas at outdoor workplaces, Walkways exclusively for pedestrians

Luminaire list

pcs.	Manufacturer	Article No.	Article name	P	Φ	Luminous efficacy
1	Performance in Lighting	306061	AMON MINI SOFT S/EW 41W 840 AN-96 1-10V	41.0 W	980 lm	23.9 lm/W

Anexo J: Luminarias fluorescentes

Lámparas Ahorradoras de Energía

Imagen	Código Producto	Descripción Comercial	Unidades / Empaque	Potencia (W)	Voltaje (V)	Base	Tc (K)	Flujo (Lm)	IRC (Ra)	** Tipo
--------	-----------------	-----------------------	--------------------	--------------	-------------	------	--------	------------	----------	---------

	GENIE									
	929689916346	CFL 5W GENIE WW BL 24PK	24	5	110-127	E27	2700	250	82	A
	929689916646	CFL 8W GENIE CDL BL 24PK	24	8	110-127	E27	6500	400	80	B
	929689916546	CFL 8W GENIE WW BL 24PK	24	8	110-127	E27	2700	420	82	A
	929689916846	CFL 11W GENIE CDL BL 24PK	24	11	110-127	E27	6500	400	80	C
	929689916746	CFL 11W GENIE WW BL 24PK	24	11	110-127	E27	2700	420	82	C
	929689917001	CFL 14W GENIE CDL BL2 12PK	12	14	110-127	E27	6500	760	80	B
	929689917046	CFL 14W GENIE CDL BL 24PK	24	14	110-127	E27	6500	760	80	A
	929689916946	CFL 14W GENIE WW BL 24PK	24	14	110-127	E27	2700	810	82	B

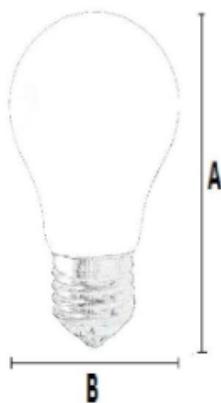
	TWISTER									
	929689957801	CFL 13W T3 TWISTER CDL BOX 24PK	24	13	120	E27	6500	900	82	A
	929689917646	CFL 15W T3 TWISTER CDL BL 24PK	24	15	120	E27	6500	900	80	C
	929689917546	CFL 15W T3 TWISTER WW BL 24PK	24	15	120	E27	2700	950	82	A
	929689937246	CFL 20W T3 TWISTER CDL BL 24PK	24	20	120	E27	6500	1250	80	A
	929689937146	CFL 20W T3 TWISTER WW BL 24PK	24	20	120	E27	2700	1350	82	A
	929689937446	CFL 23W T3 TWISTER CDL BL 24PK	24	23	120	E27	6500	1450	80	A
	929689937346	CFL 23W T3 TWISTER WW BL 24PK	24	23	120	E27	2700	1550	82	A
	929689937646	CFL 27W T3 TWISTER CDL BL 12PK	12	27	120	E27	6500	1760	80	A
	929689937546	CFL 27W T3 TWISTER WW BL 12PK	12	27	120	E27	2700	1850	82	A
	929689937801	CFL 42W T3 TWISTER CDL BL 12PK	12	42	120	E27	6500	2650	80	A
	929689968703	CFL 12W E14 T2 MINITWISTER WW BL 12PK	12	12	120	E14	2700	750	82	A
	929689978201	CFL 9W T2 MINITWISTER CDL BL 12PK	12	9	120	E27	6500	480	53	A
	929689978101	CFL 9W T2 MINITWISTER WW BL 12PK	12	9	120	E27	2700	500	56	A
	929689978302	CFL 13W T2 MINITWISTER WW BL 12PK	12	13	120	E27	6500	810	62	A
	929689978402	CFL 13W T2 MINITWISTER CDL BL 12PK	12	13	120	E27	2700	840	65	A
	929689978602	CFL 18W T2 MINITWISTER CDL BL 12PK	12	18	120	E27	6500	1200	67	A
	929689978502	CFL 18W T2 MINITWISTER WW BL 12PK	12	18	120	E27	2700	1250	69	A
	929689978802	CFL 23W T2 MINITWISTER CDL BL 12PK	12	23	120	E27	6500	1500	65	A
	929689978702	CFL 23W T2 MINITWISTER WW BL 12PK	12	23	120	E27	2700	1600	70	A
929689979001	CFL 26W T2 MINITWISTER CDL BL 12PK	12	26	120	E27	6500	1700	65	A	
929689978901	CFL 26W T2 MINITWISTER WW BL 12PK	12	26	120	E27	2700	1800	69	A	

Anexo K: Luminarias incandescentes

Incandescente 100W



DIMENSIONES



A	B	Unid.
60	115	mm

SYLVANIA

CE

Hogar

Pasillos

Usos Generales

DESCRIPCIÓN:

Lámpara incandescente con bulbo tipo A60 de 100W y vida útil de 1000 horas. Temperatura de color de 2700K.

CÓDIGO: P17556

ESPECIFICACIONES FOTOMÉTRICAS

Característica	Dato	Unidad
Flujo Luminoso	1200	lm
Temperatura de Color (CCT)	2700	K
Color de luz	Blanco Cálido	-
Eficacia luminosa promedio	12	lm/W

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS

Consumo de Potencia	100	W
Voltaje de Entrada	125	V
Frecuencia	60	Hz
Atenuable	No	-

ESPECIFICACIONES FÍSICAS

Vida útil	1000	h
Tipo de Base	E27	-
Tipo de Bulbo	A60	-
Acabado	Opaco	-
Difusor	Vidrio	-
Empaque	Caja unitaria	-
Garantía	1000	h