



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

TEMA:

PLATAFORMA CLOUD/GIS DE GESTIÓN, OPERACIÓN Y CONTROL DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE ILUMINACIÓN EN EL ALUMBRADO
PÚBLICO EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

Proyecto de Trabajo de Graduación. Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN: PROGRAMACIÓN DE DISPOSITIVOS DE COMUNICACIÓN

AUTORA: KATHERIN ALEXANDRA RODRÍGUEZ MORA

TUTOR: PhD. ALBERTO RÍOS

Ambato – Ecuador

JUNIO 2017

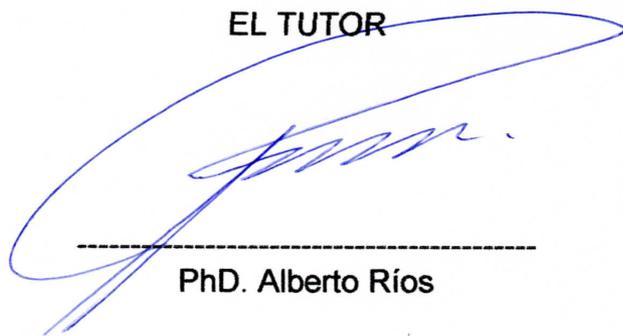
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el tema:

“Plataforma Cloud/GIS de Gestión, Operación y Control de Sistemas Fotovoltaicos de Iluminación en el Alumbrado Público en la Universidad Técnica de Ambato”, de la señorita Rodríguez Mora Katherin Alexandra estudiante de la Carrera de Ingeniería en Ingeniería en Electrónica, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato junio, 2017

EL TUTOR

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alberto Ríos', is written over a horizontal dashed line. The signature is fluid and cursive.

PhD. Alberto Ríos

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: "Plataforma Cloud/GIS de Gestión, Operación y Control de Sistemas Fotovoltaicos de Iluminación en el Alumbrado Público en la Universidad Técnica de Ambato", es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato junio, 2017



Katherin Alexandra Rodríguez Mora
CC: 1600573008

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato junio, 2017

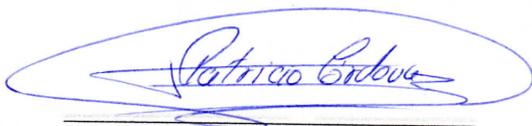


Katherin Alexandra Rodríguez Mora
CC: 1600573008

APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Patricio Córdova e Ing. Marco Jurado, revisó y aprobó el Informe Final del Proyecto de Investigación titulado "Plataforma Cloud/GIS de Gestión, Operación y Control de Sistemas Fotovoltaicos de Iluminación en el Alumbrado Público en la Universidad Técnica de Ambato", presentado por la señorita Katherin Alexandra Rodríguez Mora de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Mg. Elsa Pilar Urrutia Urrutia
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL



Ing. Patricio Córdova, Mg.
DOCENTE CALIFICADOR



Ing. Marco Jurado, Mg.
DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo, a mi Ángel de Paz, mi mami, quien supo brindarme su apoyo y cariño. Quien me inculco valores y principios para ser una mejor persona. Y sé que ahora desde el cielo me cuida y guía cada uno de mis pasos.

A mi Papi, quien ha sido un pilar fundamental en mi vida. Quien supo apoyarme durante este largo camino, brindándome su cariño y sabiendo aconsejarme para seguir adelante y ser una persona de bien en la vida.

A mis hermanos, de quienes he recibido cariño, ánimos para seguir adelante y un apoyo incondicional durante los buenos y malos momentos.

A mis amigos, aquellas personas que siempre han estado ahí en las buenas y en las malas, reprendiéndome por cada error, por cada descuido, apoyándome, dándome ánimos y estando conmigo durante todo este proceso, sin dejarme vencer.

Katherin Rodríguez

AGRADECIMIENTO:

Agradezco a Dios, por brindarme fortaleza y saber guiar mis pasos durante toda mi vida.

A mi Padre, por brindarme la educación y su apoyo incondicional durante toda mi carrera estudiantil.

A mi familia, por todo el apoyo y cariño recibido por parte de ellos.

A mis amigos, por brindarme su sincera amistad.

A mis profesores, por impartirme cada uno de sus conocimientos y servirme de guía durante mi formación profesional.

A mi tutor, Alberto Ríos, por su paciencia y apoyo para la realización de este trabajo.

Katherin Rodríguez

ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE	viii
Resumen	xvi
Abstract	xvii
Glosario de Términos y Acrónimos	xviii
INTRODUCCIÓN	xx
CAPITULO I	1
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 TEMA:.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.4 JUSTIFICACIÓN	6
1.5 OBJETIVOS	8
1.5.1 Objetivo General:.....	8
1.5.2 Objetivos Específicos:	8
CAPITULO II	9
MARCO TEÓRICO	9
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	9
2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	26
2.2.1 Aspectos Tecnológicos de las luminarias	26
2.2.1.1 Clasificación.....	26
2.2.1.2 Tipos de luminarias.....	27
2.2.1.3 Consumo energético de luminarias	33
2.2.1.4 Evolución tecnológica de las luminarias LED	34
2.2.2 Sistemas de iluminación	36
2.2.2.1 Características técnicas.....	37
2.2.3 Control de iluminación	41
2.2.3.1 Dispositivos de control de iluminación	41
2.2.3.2 Convertidores estáticos de energía.	41
2.2.3.3 Elementos semiconductores de control	45
2.2.4 Sistemas de control y gestión de iluminación	46

2.2.4.1	Descripción	46
2.2.4.2	Soluciones de control de sistemas de iluminación.....	46
2.3	Propuesta de solución	49
CAPITULO III		50
METODOLOGÍA		50
3.1	MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	50
3.2	RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	51
3.3	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	51
3.4	DESARROLLO DEL PROYECTO	51
CAPITULO IV		53
DESARROLLO DE LA PROPUESTA		53
4.1	Análisis de Factibilidad	54
4.1.1	Factibilidad Institucional	54
4.1.2	Factibilidad Técnica.....	54
4.1.3	Factibilidad Económica.....	54
4.1.4	Factibilidad Bibliográfica.....	54
4.2	Criterios de diseño y funcionamiento del prototipo	55
4.3	Diseño, dimensionado e implementación del sistema de control de iluminación....	56
4.3.1	Sistema de control de luminarias LED.....	56
4.3.1.1	Circuito regulador de corriente.....	57
4.3.1.2	Selección de elementos del circuito regulador de corriente continua.	57
4.3.1.3	Diseño del circuito de control regulador de corriente continua.	60
4.3.1.4	Dimensionado de las resistencias en paralelo	61
4.3.1.5	Programación del microcontrolador	63
4.3.1.6	Implementación y pruebas circuito regulador de corriente.....	65
4.3.2	Sistema de control de luminarias incandescentes	68
4.3.2.1	Sistema de conversión AC/AC.....	68
4.3.2.2	Criterios de diseño del control de fase directo	69
4.3.2.3	Selección de los elementos del sistema de conversión AC/AC.....	70
4.3.2.4	Circuito de detección de paso por cero.....	72
4.3.2.5	Diseño del circuito de potencia y acoplamiento del circuito de control	76
4.3.2.6	Implementación y pruebas del circuito regulador de corriente	76
4.4	Sistema de comunicación inalámbrica.....	80
4.4.1	Dimensionado del sistema de comunicación inalámbrica.....	80
4.5	Programación del control manual/automático del sistema de iluminación y diseño de la interfaz web	82
4.5.1	Programación del control manual del sistema de iluminación.	84
4.5.2	Programación del control automático del sistema de iluminación	86
4.5.2.1	Parámetros de funcionamiento del control automático de iluminación	88
4.5.2.2	Calculo de porcentajes de iluminación adecuados para vías peatonales. ...	96
4.5.2.3	Condiciones de programación del control automático.	102
4.6	Descripción e integración del Sistema de Información Geográfica, GIS	105
4.7	Metodología de evaluación del impacto económico y medioambiental para diferentes escenarios de iluminación	107
4.7.1	Escenarios de máximo y mínimo ahorro energético.....	108
4.7.1.1	Análisis energético y económico en luminarias exteriores de la FISEI	110
4.7.1.2	Escenario de implementación del prototipo en el Campus Huachi UTA. ...	115
4.7.1.3	Análisis energético y económico en luminarias convencionales.....	116

4.7.1.4 Escenario de implementación del prototipo en el ágora de la FISEI.....	118
CAPITULO V	120
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
5.1 CONCLUSIONES.....	120
5.2 RECOMENDACIONES.....	121
Bibliografía	123
Anexos	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1:	Características principales de los sistemas de control de alumbrado público en diferentes países.	24
Tabla 2.2:	Características Plataformas de control comerciales	25
Tabla 2.3:	Resumen comparativo de las características de los diferentes tipos de luminarias [Autor, basado en 32].	32
Tabla 2.4:	Características técnicas de las diferentes tecnologías de iluminación [33, 34, 35, 36]	33
Tabla 2.5:	Temperatura de color de diferentes fuentes de luz [41].	38
Tabla 2.6:	Índice de reproducción cromática de diferentes fuentes de luz [41].	38
Tabla 2.7:	Eficiencia y rendimiento de diferentes fuentes de luz [41]	40
Tabla 2.8:	Clasificación de los controladores de voltaje AC [42].	43
Tabla 4.1:	Características de diferentes MOSFET de tipo N [45,46,47]	58
Tabla 4.2:	Características de diferentes transistores NPN [48, 49, 50]	58
Tabla 4.3:	Descripción de las características de diferentes plataformas con software libre [51, 52, 53].	59
Tabla 4.4:	Valores de potencia a diferentes porcentajes [Autor].	66
Tabla 4.5:	Características de la familia 4Nxx de optoacopladores [58]	70
Tabla 4.6:	Características de diferentes TRIAC's [59, 60, 61]	71
Tabla 4.7:	Diferentes tipos de optoaisladores [62]	72
Tabla 4.8:	Señales de voltaje controladas por diferentes ángulos de disparo [Autor]	78
Tabla 4.9:	Valores de potencia a diferentes porcentajes [Autor].	79
Tabla 4.10:	Niveles de iluminación en la superficie de la tierra [69]	89
Tabla 4.11:	Valores de iluminación y del sensor de luz [Autor].	90
Tabla 4.12:	Características generales del sensor PIR [71]	94
Tabla 4.13:	Datos obtenidos de la afluencia de personas que transitan por fuera de la FISEI, durante la noche [Autor].	95
Tabla 4.14:	Parámetros fotométricos para vías peatonales [72].	96
Tabla 4.15:	Parámetros para la selección de la clase de iluminación [72]	97
Tabla 4.16:	Valores de nivel de porcentaje de iluminación, lunes a viernes [Autor]	100
Tabla 4.17:	Valores de nivel de porcentaje de iluminación, sábados y domingos [Autor]	101
Tabla 4.18:	Valores de alumbrado público dependiendo el tipo de servicio [75].	109
Tabla 4.19:	Valores de potencia de luminaria LED de 24 W de lunes a viernes [Autor]	110
Tabla 4.20:	Valores de potencia de luminaria LED de 24 W sábados y domingos [Autor].	110
Tabla 4.21:	Consumo energético y coste económico de luminarias del alumbrado público en un escenario de mínimo ahorro energético [Autor].	111
Tabla 4.22:	Ahorros obtenidos al sustituir luminarias de vapor de sodio por LEDs [Autor]	112

Tabla 4.23: Consumo energético y coste económico de luminarias del alumbrado público en un escenario de máximo ahorro energético [Autor].....	112
Tabla 4.24: Ahorros obtenidos al sustituir luminarias de vapor de sodio por LEDs [Autor]	113
Tabla 4.25: Consumo energético y coste económico de luminarias del Campus Huachi UTA [Autor].....	115
Tabla 4.26: Valores de potencia de luminarias led e incandescentes en un escenario máximo consumo energético [Autor].	116
Tabla 4.27: Valores de potencia de luminarias led e incandescentes en un escenario de mínimo consumo energético [Autor].....	116
Tabla 4.28: Consumo energético y coste económico en luminarias incandescentes y leds en un escenario de mínimo ahorro energético [Autor].	117
Tabla 4.29: Consumo energético y coste económico en luminarias incandescentes y leds en un escenario de máximo ahorro energético [Autor].....	117
Tabla 4.30: Consumo energético y coste económico en luminarias incandescentes y leds en un escenario de mínimo ahorro energético [Autor]	118
Tabla 4.31: Consumo energético y coste económico en luminarias incandescentes y leds en un escenario de máximo ahorro energético [Autor].....	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1:	Total de luminarias por tipo en Ecuador, año 2012 [4]	2
Figura 1.2:	Evolución de la demanda de consumo eléctrico en el alumbrado público del Ecuador entre el año 2005 y 2014 [5].....	3
Figura 1.3:	Porcentaje de consumo de energía eléctrica del alumbrado público en Ecuador entre el año 2005 y 2014 [5].....	3
Figura 1.4:	Facturación de energía eléctrica del alumbrado público en Ecuador entre el año 2005 al 2014 [5].....	4
Figura 2.1:	Estrategia de control del sistema de automatización [15].....	11
Figura 2.2:	Diagrama de bloques del hardware del sistema de control [16].....	12
Figura 2.3:	Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema fotovoltaico [17]..	12
Figura 2.4:	Diagrama de flujo del modo de operación automático y manual del sistema de control propuesto [18].....	13
Figura 2.5:	Diagrama de bloques del sistema del sistema propuesto [19].	14
Figura 2.6:	Interfaz gráfica del sistema de monitorización en la nube [19].....	14
Figura 2.7:	Diagrama de bloques del sistema Talisman-Green [20].....	15
Figura 2.8:	Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema de control propuesto [21]	16
Figura 2.9:	Estructura de funcionamiento del sistema propuesto [22]	16
Figura 2.10:	Esquema de funcionamiento del sistema “Sensus VantagePoint” [23]....	17
Figura 2.11:	Esquema del sistema piloto para la iluminación de calles [24].....	19
Figura 2.12:	Diagrama de bloques del sistema de iluminación de calles [25]	19
Figura 2.13:	Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema de control automatizado para luces de la calle [26]	20
Figura 2.14:	Arquitectura general del sistema de tele gestión de iluminación [27].....	21
Figura 2.15:	Esquema de funcionamiento del sistema WeLight de monitoreo [28].....	22
Figura 2.16:	Esquema de funcionamiento del Sistema de Control Inteligente del Alumbrado Público, Solidmation [29].....	23
Figura 2.17:	Esquema de funcionamiento del sistema de control e3light [30].....	23
Figura 2.18:	Clasificación de las fuentes luminosas artificiales [31]	26
Figura 2.19:	Lámpara incandescente estándar [32].	27
Figura 2.20:	Lámpara halógena [32]	28
Figura 2.21:	Lámpara fluorescente [32]	28
Figura 2.22:	Lámpara compacta [32]	29
Figura 2.23:	Lámpara a inducción [32].....	29
Figura 2.24:	Lámpara de vapor de sodio [32]	30
Figura 2.25:	Lámpara de vapor de mercurio [32].....	30
Figura 2.26:	Lámpara de haluro metálico [32]	31
Figura 2.27:	Luminaria LED [32]	31
Figura 2.28:	Eficacia luminosa de las tecnologías de iluminación [Autor]	34

Figura 2.29: Evolución histórica de la tecnología LED en comparación con otras tecnologías existentes hasta el año 2010 [37]	34
Figura 2.30: Evolución de la eficiencia de la tecnología LED en comparación con otras tecnologías al año 2025 [39].....	35
Figura 2.31: Porcentaje de depreciación del flujo de diferentes fuentes de luz [41].....	40
Figura 2.32: Conversores estáticos de energía [42].....	42
Figura 2.33: Ejemplo de control de luminaria utilizando fotorresistencias [43].....	47
Figura 2.34: Ejemplo de control de luminaria con sensores de movimiento [43].....	47
Figura 2.35: Red autónoma para el control de la iluminación [43]	48
Figura 4.1: Etapas para el desarrollo de la propuesta. [Autor]	53
Figura 4.2: Esquema general del funcionamiento del prototipo [Autor].	56
Figura 4.3: Esquema del regulador de corriente para leds [Autor basado en]	57
Figura 4.4: Circuito de control de corriente DC [Autor basado en].....	60
Figura 4.5: Ciclos de trabajo al modular el ancho del pulso de una señal [53].....	64
Figura 4.6: Simulación del circuito de control a diferentes ciclos de trabajo, (a) 75%, (b) 50%, (c) 15%. [Autor].....	65
Figura 4.7: Circuito para controlar la intensidad luminosa conectado en el interior de la luminaria LED [Autor]	66
Figura 4.8: Valores de tensión y corriente (a) 100% de iluminación, (b) 80% de iluminación, (c) 30% de iluminación, (d) 10% de iluminación [Autor]	67
Figura 4.9: Circuito y forma de onda senoidal del control de fase directo [38]	68
Figura 4.10: Etapas del control de fase directo [Autor].....	69
Figura 4.11: Diseño del circuito de control [Autor].	69
Figura 4.12: Diseño del circuito detector de cruce por cero [Autor]	73
Figura 4.13: Simulación de formas de onda del circuito de paso por cero [Autor]	74
Figura 4.14: Acoplamiento de la etapa de potencia y control [Autor].....	76
Figura 4.15: Circuito de control de iluminación conectado a una bombilla incandescente de 100W [Autor].....	77
Figura 4.16: Valores de tensión y corriente (a) 100% de iluminación, (b) 80% de iluminación, (c) 30% de iluminación, (d) 10% de iluminación [Autor]	79
Figura 4.17: Sistema de adquisición de datos [Autor]	80
Figura 4.18: Shield Ethernet de Arduino [60].....	81
Figura 4.19: Shield Wi-fi de Arduino [61]	81
Figura 4.20: Shield Yun de Arduino [62]	82
Figura 4.21: Interfaz emulador PuTTY	83
Figura 4.22: Diseño de la interfaz web para el control de la iluminación. [Autor]	83
Figura 4.23: Interfaz control manual de iluminación [Autor].	84
Figura 4.24: Tabla de almacenamiento creada en la base de datos [Autor].....	85
Figura 4.25: Funcionamiento de control de iluminación de lunes a viernes y fines de semana [Autor]	87
Figura 4.26: Control de iluminación de lunes a viernes [Autor].	88
Figura 4.27: Control de iluminación sábados y domingos [Autor].	88
Figura 4.28: Modelo de una fotorresistencia [63].....	88
Figura 4.29: Evaluacion de datos de luminosidad de 18h00 a 18h30 [Autor].....	91
Figura 4.30: Evaluacion de los valores del sensor de luz de 18h00 a 18h30 [Autor]. ..	91
Figura 4.31: Diagrama de flujo del inicio del funcionamiento del sistema [Autor].....	92

Figura 4.32: Sensor PIR y dimensionado [68]	93
Figura 4.33. Tránsito de personas a partir de las 17h50 hasta las 6h00 [Autor]	96
Figura 4.34: Exteriores de la FISEI [Autor].	98
Figura 4.35: Esquema de funcionamiento del sistema de control de lunes a viernes [Autor].	101
Figura 4.36: Esquema de funcionamiento del sistema de control de iluminación, sábados y domingos [Autor]	102
Figura 4.37: Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema [Autor].	103
Figura 4.38: Interfaz de funcionamiento del sistema de iluminación [Autor].	104
Figura 4.39: Pruebas de funcionamiento del sistema de control integrado a una luminaria LED, alimentado con un sistema fotovoltaico [Autor].	104
Figura 4.40: Interfaz web de localización geográfica de la luminaria integrada al control de iluminación [Autor].	106
Figura 4.41: Reducción del consumo energético en luminarias [Autor]	114
Figura 4.42: Reducción del coste económico en iluminación [Autor].	114
Figura 4.43: Reducción de emisiones de CO2 en iluminación [Autor].	114

Resumen

En el presente proyecto de titulación se describen las características del diseño e implementación de un prototipo de control de un sistema de iluminación fotovoltaico, gestionado desde una plataforma Cloud/GIS. La plataforma Cloud controla el nivel de luz de luminarias LED e integra un Sistema de Información Geográfica, GIS, que permite la localización geográfica de las luminarias desde la web. El prototipo de control de iluminación LED se instaló en la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, FISEI, de la Universidad Técnica de Ambato. Un sistema fotovoltaico, previamente instalado, se alimenta al prototipo implementado. El prototipo de control automático de iluminación se programa para dos formas de funcionamiento:

- Los días de lunes a viernes, cuando existe mayor afluencia de personas en la universidad
- Los sábados y domingos, cuando existe menor afluencia de personas en la universidad.

Asimismo, se propone una metodología de análisis del impacto económico y medioambiental, asociado a la implementación de una plataforma de control y gestión de las luminarias. Finalmente, se realizó un análisis comparativo del impacto económico y medioambiental de la implementación del prototipo de control tanto en luminarias convencionales como en luminarias LEDs.

Abstract

The present project describes the design and implementation characteristics of a prototype control of a photovoltaic lighting system, managed from a Cloud/GIS platform. The Cloud platform controls the luminosity level of LED luminaires and integrates a Geographic Information System, GIS, that allows the geographical location of the luminaires from the web. The prototype LED lighting control was installed in the Faculty of Engineering in Systems, Electronic and Industrial, FISEI, of the Technical University of Ambato. A photovoltaic system, previously installed, is fed to the implemented prototype. The prototype automatic lighting control is programmed for two modes of operation:

- The days of Monday to Friday, when there is more influx of people in the university.
- Saturdays and Sundays, when there is a smaller influx of people in the university.

Also, a methodology for analyzing the economic and environmental impact associated with the implementation of a control and management platform for luminaires is proposed. Finally, a comparative analysis was made of the economic and environmental impact of the implementation of the control prototype in both conventional luminaires and LED luminaires.

Glosario de Términos y Acrónimos

- **AC:** Corriente Alterna
- **Apache:** Servidor Web de protocolo HTTP de código abierto.
- **Arduino:** Plataforma de código abierto, basada en hardware y software libre, que incorpora un microcontrolador programable utilizado para el uso de diversos proyectos electrónicos.
- **DC:** Corriente Directa
- **FISEI:** Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial.
- **Fotorresistencia:** También conocida como LDR, es un componente eléctrico que permite censar la luz, el valor de la resistencia varía dependiendo la cantidad de luz en el ambiente.
- **GIS:** Sistema de Información Geográfica
- **LDR:** Resistencia Dependiente de LUZ
- **LED:** Diodo Emisor de Luz
- **LUX:** Unidad de intensidad de iluminación, medida en lúmenes por metro cuadrado.
- **Luxómetro:** Instrumento electrónico de medición, permite medir la cantidad de iluminancia real en un ambiente.
- **Microcontrolador:** Circuito integrado programable que contiene en su interior una Unidad de Procesamiento Central, con la capacidad de ejecutar las ordenes grabadas en su memoria.

- **MOSFET:** Transistor de Efecto-Campo Semiconductor Oxido-Metal. Dispositivo semiconductor, empleado para la amplificación y conmutación de señales.
- **MySQL:** Sistema de gestión de base de datos de código abierto.
- **Optoacoplador:** Dispositivo de acoplamiento compuesto por un diodo LED y un fototransistor, funciona como un interruptor activo mediante la emisión de luz emitida por el LED, saturando al dispositivo.
- **PHP:** Lenguaje de programación de código abierto para el desarrollo web.
- **PIR:** Pasivo Infra Rojo. Sensor electrónico capaz de medir luz infrarroja
- **Plataforma:** Sistema que sirve como base para el desarrollo de aplicaciones bajo un mismo entorno.
- **PuTTY:** Emulador que soporta SSH, utilizado para el acceso remoto a servidores Linux o Unix.
- **PWM:** Modulación por Ancho de Pulso.
- **Servidor:** Programa que permite a los usuarios acceder a los archivos que forman parte de páginas Web, utilizando el protocolo de transferencia de hiper texto, HTTP.
- **SSH:** Secure Shell, es un protocolo que permite acceder a maquinas remotas por medio de una red.
- **Shield:** Modulo adaptable que permite ampliar el hardware y las capacidades de un Arduino.
- **Transistor:** Dispositivo semiconductor de estado sólido, que permite amplificar, conmutar, oscilar o rectificar una señal.
- **TRIAC:** Dispositivo semiconductor, utilizado en corriente alterna para el control de potencia.

INTRODUCCIÓN

El servicio de Cloud Computing como plataforma informática es una tecnología que permite al usuario disponer de aplicaciones informáticas propias y personalizadas en la infraestructura de la nube, sin necesidad de grandes y costosas instalaciones. Cloud Computing permiten integrar sistemas de información Geográfica, GIS, en una en una arquitectura multitareas y multipropósitos denominada Cloud GIS. Las plataformas Cloud GIS son herramientas que permiten la gestión, el control y operación de los sistemas de iluminación, con el objetivo de optimizar el consumo de energía en el alumbrado público y reducir las emisiones contaminantes asociadas.

El proyecto de investigación se estructura en 5 capítulos. En el Capítulo I, se describe la problemática asociada al excesivo consumo energético existente en las luminarias del sector público del Ecuador, debido a su funcionamiento durante 12 horas continuas.

En el Capítulo II se detalla un análisis de los trabajos de investigación asociados al control de la iluminación desde plataformas Cloud. El principal objetivo es describir las experiencias previas existentes de control de iluminación para la obtención de mayor ahorro energético. Asimismo, se realiza la fundamentación del proyecto y finalmente, se detalla la propuesta de solución a la problemática descrita en el Capítulo I.

El Capítulo III contiene la información metodológica necesaria para el desarrollo total del proyecto presentado.

En el Capítulo IV se describe el desarrollo el proceso de diseño, dimensionado e implementación práctica del prototipo de control de iluminación desde una plataforma Cloud GIS, cumpliendo con los objetivos detallados en el proyecto.

Finalmente, en el Capítulo V se describen las conclusiones del proyecto de investigación y algunas recomendaciones para mejoras futuras en base al presente trabajo.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 TEMA:

“Plataforma Cloud/GIS de Gestión, Operación y Control de Sistemas Fotovoltaicos de Iluminación en el Alumbrado Público en la Universidad Técnica de Ambato”

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sistema de alumbrado público de un país es un servicio fundamental e importante, en cuanto a la ornamentación, seguridad y movilidad para los habitantes de un sector. Se estima que los sistemas de iluminación del alumbrado público generan un excesivo consumo de energía eléctrica, presentan elevados costes económicos y graves impactos medioambientales, considerando que entre el año 2011 y el 2050, la población urbana aumentará en unos 2.600 millones.

Actualmente, las ciudades albergan aproximadamente al 50% de la población mundial y consumen entre el 60-80 % de la electricidad total [1]. Se estima que el consumo de electricidad en todo tipo de iluminación representa el 15% del total de energía eléctrica mundial según The United Nations Environment Programme, UNEP – Global Environment Facility, GEF [2]. En el mundo

existen alrededor de 300 millones de farolas instaladas y se espera que superen las 330 millones en el año 2025 [3].

En la actualidad, el ahorro, eficiencia y consumo inteligente de la energía eléctrica se ha convertido en una necesidad a nivel mundial. El acceso a las fuentes de energía fósiles será cada vez más complejo y las emisiones de CO₂ se incrementarán, debido a la reducción de la tasa de retorno energético de los recursos fósiles. En consecuencia, el desarrollo de nuevas tecnologías, técnicas y una planificación eficiente para el ahorro energético son necesarios para abaratar en costos y minimizar la contaminación medioambiental.

En Ecuador, a finales del año 2012, existían alrededor de 1 millón 104 mil luminarias, con una demanda de potencia consumida equivalente a 176 MW [4]. En la figura 1.1, se muestra el número de luminarias por tipo. En el año 2012, el consumo de energía eléctrica en el alumbrado público fue de 913 GWh, que representó el 5,8% de la demanda del Sistema Nacional Interconectado con una facturación de 103 millones de dólares [5].

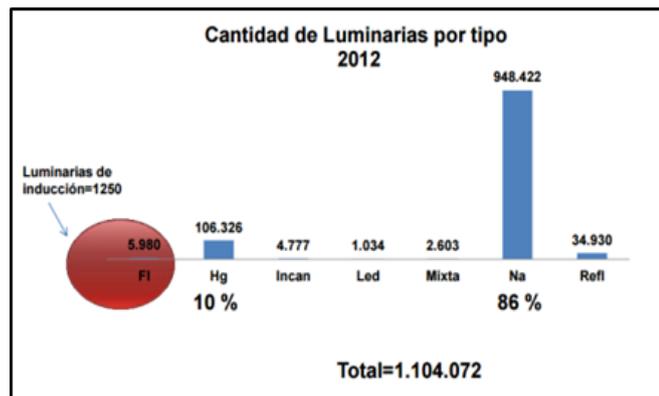


Figura 1.1: Total de luminarias por tipo en Ecuador, año 2012 [4]

De acuerdo a datos proporcionados por la Agencia de Control y Regulación de Electricidad, ARCONEL, en la figura 1.2, se puede observar que la demanda de energía eléctrica del alumbrado público presenta un crecimiento constante en los últimos nueve años. En los últimos dos años, se aprecia que el consumo de energía en el alumbrado público presentó un incremento promedio de 5,9%

anual. Se pronostica un crecimiento promedio anual del consumo eléctrico en el sistema de alumbrado del 7% entre el año 2016 y 2021 [5].

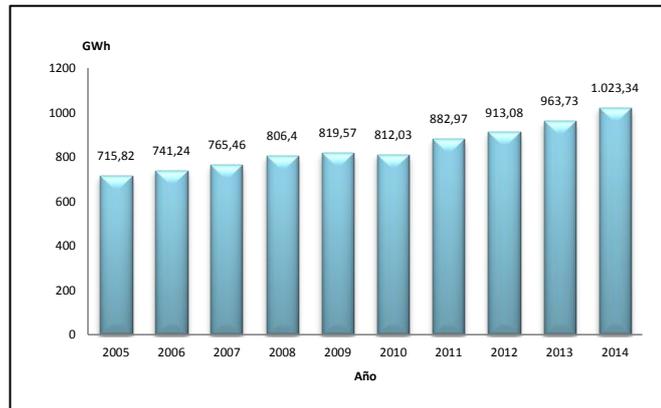


Figura 1.2: Evolución de la demanda de consumo eléctrico en el alumbrado público del Ecuador entre el año 2005 y 2014 [5]

Entre el año 2005 y 2014, el porcentaje del consumo eléctrico de los sistemas de alumbrado público del Ecuador se redujo del 7 al 5% en el total de la energía eléctrica consumida en el país, figura 1.3. A pesar del incremento del número de luminarias en el alumbrado público, se observa una reducción en el porcentaje del consumo eléctrico, en relación a la demanda total, debido al significativo crecimiento de otros sectores de la economía nacional [5].

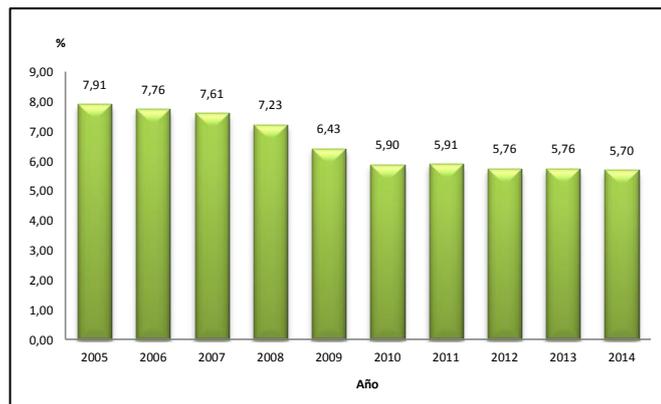


Figura 1.3: Porcentaje de consumo de energía eléctrica del alumbrado público en Ecuador entre el año 2005 y 2014 [5].

El consumo de energía eléctrica del alumbrado público en Ecuador presenta elevados costes económicos. En el año 2014, se facturó 129 millones de

dólares por el servicio de alumbrado público, representando un incremento del 6,3% en relación al año anterior.

En la figura 1.4, se observa la evolución de la facturación de energía eléctrica en alumbrado público entre el año 2005 y 2014 [5].

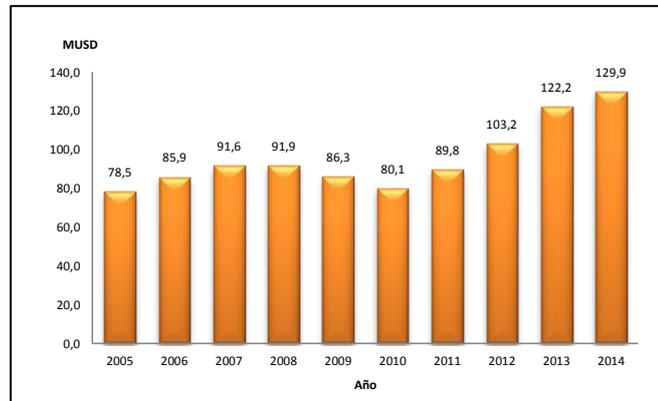


Figura 1.4: Facturación de energía eléctrica del alumbrado público en Ecuador entre el año 2005 al 2014 [5]

En el Ecuador el alumbrado público representa aproximadamente un 6% del consumo eléctrico nacional total y se lo ha categorizado conforme a la siguiente tipología [6]:

- Alumbrado Público General (Iluminación de vías),
- Alumbrado Público Ornamental (Iluminación de parques, plazas, iglesias, monumentos)
- Alumbrado Público Intervenido.

En la actualidad, la tecnología LED es considerada como la mejor alternativa para incrementar la eficiencia energética en los sistemas de iluminación. Es posible reducir el consumo de energía hasta un 85% con ayuda de las luminarias LED. Además, presentan reducidas emisiones de calor, mantenimiento mínimo y una prolongada vida útil en comparación con las tecnologías de iluminación existentes. En muchas ciudades del mundo se han implementado proyectos de sustitución de luminarias convencionales en sistemas de alumbrado público por luminarias con tecnología LED.

Desde el año 2009, el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, MEER, ejecutó el proyecto Alumbrado Público Eficiente, con el objetivo de sustituir un total de 61.610 luminarias de vapor de mercurio de 175W por luminarias de vapor de sodio de 100W. El ámbito de implementación del proyecto fue el área de concesión de la Corporación Nacional de Electricidad, CNEL, con la finalidad de reducir el consumo de energía eléctrica en el sistema de alumbrado público en aproximadamente 20 GWh al año [6].

El sistema del alumbrado público empieza su funcionamiento en la hora pico de la demanda de energía, aproximadamente a las 18h00, lo que significa que una vez que el sistema se ha activado las luminarias permanecen encendidas de forma constante durante toda la noche. La Regulación No 008/11 del CONELEC define que la continuidad del servicio de alumbrado público general debe estar encendido en un tiempo promedio de 12 horas [7]. Sin embargo, las calles y/o carreteras no son utilizadas de forma permanente por los ciudadanos y la iluminación con el brillo completo de las luminarias es innecesaria. El empleo de 12 horas constante de iluminación genera un consumo excesivo e innecesario de energía eléctrica. En consecuencia, se deberían tomar medidas que permitan el control, gestión y operación de los sistemas de alumbrado público durante la noche, con la finalidad de ahorrar energía, dinero y minimizar el impacto medioambiental.

1.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

DE CONTENIDO

Área:	Programación y redes
Línea de Investigación:	Programación y redes
Sublínea de investigación:	Programación de dispositivos de comunicación

DELIMITACIÓN ESPACIAL

El trabajo de investigación y desarrollo presentado se lo realizó en el Campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato.

DELIMITACIÓN TEMPORAL

El trabajo de investigación y desarrollo se llevó a cabo en un período de quince meses a partir de su aprobación por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El proyecto presentado tiene como finalidad el desarrollo de una plataforma Cloud Computing de gestión, control y operación de sistemas de iluminación, basados en tecnología LED con control inteligente del flujo luminoso. La evolución de la tecnología LED usada en los sistemas de alumbrado público presenta grandes ventajas en comparación con las tecnologías de iluminación existentes en el Ecuador. Las luminarias LED permiten una mejor visibilidad para los peatones y el tráfico vehicular, reduciendo la contaminación lumínica. La vida útil de las luminarias LED es de aproximadamente 55 mil horas y con sofisticados controles inteligentes de iluminación pueden superar las 100 mil horas [8].

La propuesta tiene como aspecto innovador la integración de un sistema de referenciación geográfica, GIS, de las luminarias LED en una plataforma Cloud Computing. El desarrollo y programación de la plataforma Cloud/GIS se realizará con ayuda de hardware y software libre.

La plataforma Cloud/GIS permite la adquisición, almacenamiento y visualización de la información obtenida de los sistemas de iluminación del alumbrado público. Asimismo, la plataforma Cloud/GIS realizará el control de la luminosidad de las lámparas LEDs, integradas en los sistemas de iluminación,

en función de la presencia de personas y vehículos en las vías públicas. En consecuencia, se optimizará el consumo de energía de los sistemas de iluminación con elevados consumo energéticos.

Además, el monitoreo remoto de los sistemas de alumbrado con ayuda de una plataforma Cloud permite a los operarios acceder al sistema desde cualquier parte del mundo únicamente con acceso a internet. De igual manera, se obtienen beneficios adicionales tales como, facilidad de acceso a las herramientas y aplicaciones informáticas de la plataforma Cloud, en cualquier momento y desde cualquier lugar, permitiendo la virtualización de los recursos informáticos, optimizando su uso y disminuyendo los costos de infraestructura y mantenimiento.

La integración de un sistema de información geográfica dentro de una plataforma Cloud permite obtener un almacenamiento y visualización de la realidad geográfica de una forma eficiente trabajando con información exacta y centralizada. Asimismo, se puede trabajar e integrar información de distintas fuentes y a diferentes escalas con datos tanto espaciales como no-espaciales. Además, toda la información obtenida puede ser analizada a la vez, incluso repetidamente y de una forma rápida, racional y fácilmente inteligible para el usuario, permitiendo así una evaluación ágil y sencilla [9].

Un sistema GIS aumenta la productividad de un proyecto, fomenta la competitividad, permite reducir los costes de producción, optimiza recursos y simplifica los procesos productivos.

Teniendo en cuenta lo anteriormente indicado, se puede concluir que el proyecto es factible para su realización y futura implementación.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General:

Implementar un sistema inteligente de gestión, operación y control del sistema de iluminación fotovoltaico para el alumbrado público en una plataforma Cloud/GIS en el Campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato.

1.5.2 Objetivos Específicos:

- Descripción de las experiencias existentes de plataforma Cloud/GIS de gestión y control.
- Implementación de la arquitectura de adquisición de información del sistema de alumbrado público.
- Implementación del prototipo de control de luminarias fotovoltaicas de iluminación pública.
- Programación de las funcionalidades de un sistema inteligente de gestión, operación y control de un prototipo de alumbrado público en una plataforma Cloud/GIS
- Desarrollo de una metodología de evaluación del impacto económico y medioambiental para diferentes escenarios de la presente propuesta tecnológica.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

De acuerdo a las investigaciones realizadas, los sistemas de iluminación pública presentan un elevado consumo de energía eléctrica a nivel mundial, por ejemplo, Europa cuenta con aproximadamente 56 millones de luminarias que representan un consumo eléctrico de 35 TWh [9]. El alumbrado público en España representa el 10% del consumo total de energía eléctrica en sistemas de iluminación, equivalente a 116 kW por año y por habitante [10].

Además, España cuenta con más de 4 millones 800 mil luminarias, la tercera parte son tecnologías obsoletas e ineficientes [11]. En la India existen alrededor 4,4 millones de luminarias con un consumo de 699 miles de millones de kWh, con una emisión equivalente a 2,3 millones de toneladas de emisiones de CO₂ [12]. En el año 2014, la Administración de Información de Energía de Estados Unidos, EIA, estimó que Estados Unidos consumió alrededor de 412 billones de kWh de electricidad para la iluminación del sector residencial y el sector comercial. En Estados Unidos, el consumo eléctrico en iluminación representa el 15% del consumo total de electricidad en los sectores residencial y comercial, y alrededor del 11% del consumo total de electricidad [13].

En Ecuador el consumo de energía del sistema del alumbrado público representa el 6% del consumo total de energía eléctrica en el país [6]. La demanda de energía eléctrica del alumbrado público ha presentado un crecimiento constante en los últimos nueve años. En los últimos dos años, el

consumo de energía en el alumbrado público presentó un incremento promedio de 5,9% anual y se estima que hacia el año 2021 se tenga un incremento del 7% del consumo eléctrico anual. El consumo de energía eléctrica del alumbrado público en Ecuador representa elevados costes económicos. En el año 2014, se facturó un total de 129 millones de dólares por el servicio de alumbrado público, representando un incremento del 6,3% en relación al año 2013 [5].

En la actualidad, las investigaciones relacionadas con las plataformas de control de sistemas de iluminación se centran en la implementación de técnicas de control del flujo luminoso de las luminarias así como la aplicación de tecnologías de la información. Las técnicas de control de iluminación y las plataformas Cloud Computing en los procesos de gestión, control y operación, así como también de almacenamiento, tratamiento y difusión de la información representan un área de especial interés teórico y práctico.

Entre las técnicas de control del flujo luminoso se destacan:

En el año 2013, investigadores del Centro de Sistemas de Energía Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Malasia desarrollaron un innovador balastro electrónico en lámparas de vapor de sodio. El balastro electrónico se implementó en 277 luminarias de vapor de sodio de alta presión de 250W en el sistema de alumbrado público de la Universidad Tecnológica de Malasia y se testeó durante un mes, en condiciones de tráfico reducido. La implementación de balastos electrónicos permitió establecer un novedoso sistema de control que reduce sustancialmente el consumo de energía eléctrica en comparación con los sistemas convencionales sin control del flujo luminoso de las luminarias. El control electrónico de la luminaria redujo el consumo mensual de energía en 10,7 MWh, equivalente a un ahorro económico de 37,7% y a una reducción de 6,1 toneladas mensuales de CO₂ [14].

En el año 2015, la Universidad Industrial de Santander, Colombia, propuso un sistema híbrido de control de iluminación en algunas de sus oficinas

administrativas [15]. El principal objetivo es reducir el excesivo consumo energético que generan las luminarias fluorescentes, considerando las ventajas de la luz natural del día las zonas tropicales. El sistema de control híbrido dispone de un sensor de presencia, una fotocelda y un balastro electrónico de atenuación del flujo luminoso, que permiten el encendido y apagado de las luminarias. El análisis de los datos adquiridos y de las curvas de luz diaria permite calcular el ahorro de energía consumida y la reducción del coste económico. Se comparó el consumo promedio de energía de iluminación híbrida por metro cuadrado en oficinas, igual a 8,5 kWh/m²/año, con el consumo de energía de iluminación típica del campus, igual a 27 kWh/m²/año. Se obtuvo, por tanto, una reducción del consumo de energía debido al uso de luz natural entre el 50% y 70%, y un 20% debido a la coordinación con el sistema de automatización. La figura 2.1, muestra el sistema de control híbrido de las luminarias implementado en los edificios [15].

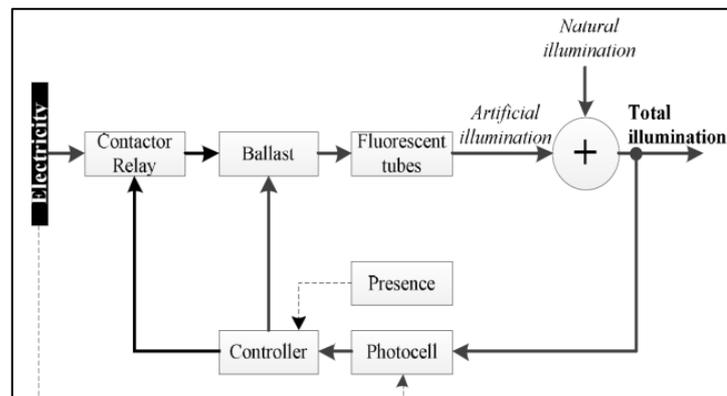


Figura 2.1. Estrategia de control del sistema de automatización de iluminación [15]

En el año 2014, en la Universidad Tecnológica de Tianjin, China, se realizó el diseño de un sistema de control remoto de la luminosidad de las luminarias LED para su aplicación en hogares. El sistema de control de luminosidad se basa en un microcontrolador Atmega 16, que incluye diferentes circuitos periféricos - transmisor y receptor inalámbrico, una placa de control remoto de encendido, apagado y control del nivel de luminosidad de las luminarias; así como un módulo AC de salida, una fuente de tensión AC/DC y una fuente de control de corriente continua DC/DC. El controlador de la luminaria LED realiza

un ajuste flexible del valor de la intensidad de salida para cada fuente de intensidad constante en función de las señales remotas de control recibidas. En la figura 2.2, se observa el diagrama de bloques del hardware del sistema de control de luminosidad propuesto [16].

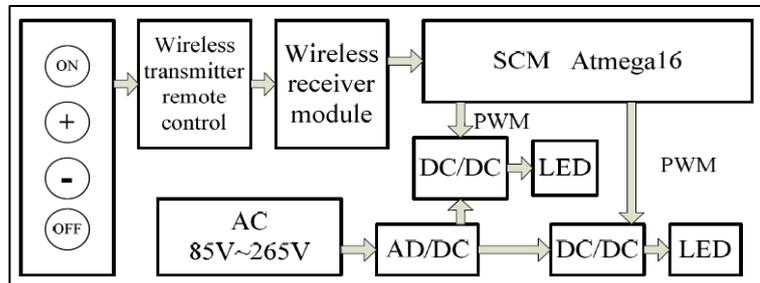


Figura 2.2: Diagrama de bloques del hardware del sistema de control [16].

En el año 2014, investigadores del Instituto de Tecnología Ningbo de China, realizaron el diseño de una luminaria solar inteligente con tecnología LED. El prototipo se basa en un microcontrolador PIC, que controla la carga de la batería y el proceso de descarga a la luminaria. Asimismo, se implementó un algoritmo digital PI para proteger la batería de sobrecargas, mantener la carga en una tensión fija y aumentar la seguridad de carga del sistema. En consecuencia, el prototipo asegura un rápido proceso de carga y descarga y un óptimo control del flujo luminoso de las luminarias. La figura 2.3, muestra el diagrama de bloques de la estructura y principio de funcionamiento de la luminaria LED alimentada con energía solar [17].

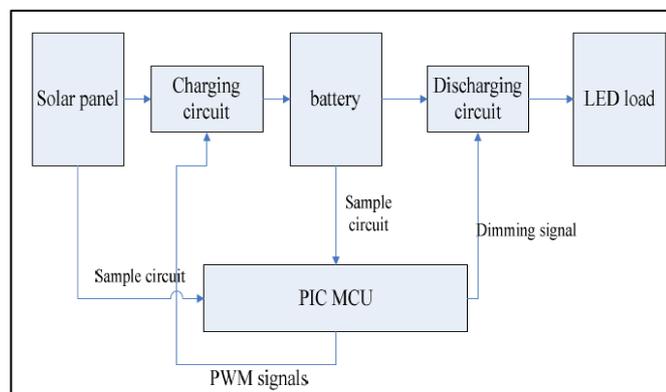


Figura 2.3: Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema fotovoltaico [17].

Existen algunas experiencias de plataformas de gestión y operación de sistemas de iluminación. En los siguientes párrafos, se describen algunas de las plataformas innovadoras:

En el año 2013, en Anantapur, India, el Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones del Instituto de Ingeniería Kuppam, describe el diseño y desarrollo de un sistema inteligente de control y monitoreo del alumbrado público fotovoltaico mediante una interfaz gráfica de usuario. El objetivo principal es obtener un mayor ahorro energético y económico gracias a la instalación de paneles solares en los sistemas de iluminación. El sistema presenta dos modos de operación, automático y manual. El modo automático emplea sensores infrarrojos y fotorresistencias con el propósito de detectar la presencia de vehículos y/o personas y al mismo tiempo medir la cantidad de luz natural y así, encender o apagar las luminarias del sistema de alumbrado público. El modo manual permite controlar, monitorear y verificar el estado de las luminarias con ayuda de una interfaz gráfica, GUI. El sistema propuesto se diseñó especialmente tanto para el alumbrado público urbano como rural. El sistema de control de iluminación propuesto es versátil, extensible y ajustable a las necesidades de los usuarios. La figura 2.4, muestra los diagramas de flujos del funcionamiento tanto automático como manual del sistema inteligente de control de iluminación fotovoltaica del alumbrado público descrito en [18].

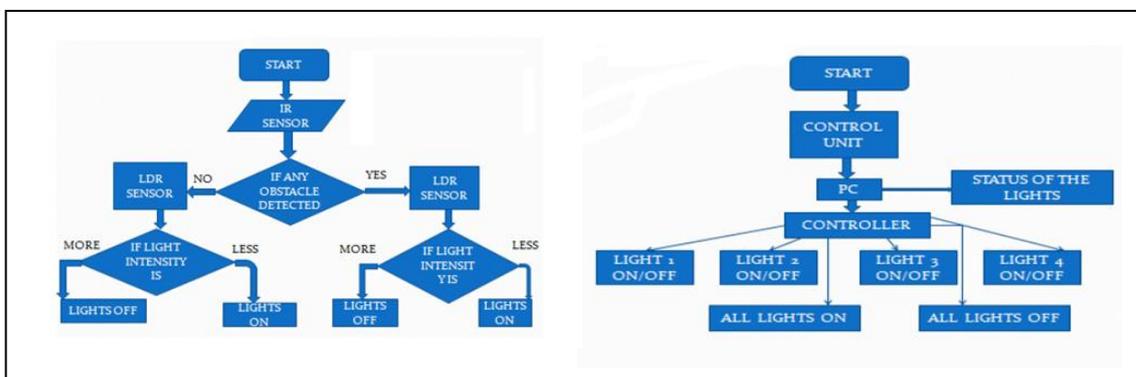


Figura 2.4: Diagrama de flujo del modo de operación automático y manual del sistema de control propuesto [18]

En el año 2014, en la Universidad de Ingeniería Velammal en Chennai, India, se desarrolló un nuevo sistema inteligente de monitorización del alumbrado público, integrado en una plataforma Cloud, con el propósito de proporcionar una alta eficiencia en la iluminación del sector público y obtener un ahorro considerable de energía y costes económicos. El proyecto integra un control inteligente del flujo luminoso de las luminarias que permite aumentar el brillo de las lámparas en presencia de vehículos y/o personas. Además, el sistema de control permite la gestión inteligente de las luminarias del alumbrado público mediante el envío de información a una estación base. La figura 2.5, muestra el diagrama de bloques del funcionamiento del sistema de control y monitoreo de las luminarias del alumbrado público desde una plataforma Cloud. Asimismo, en la figura 2.6, se observa la interfaz gráfica de la estación base que permite el control de encendido y apagado de las luminarias, realizado en el entorno Visual Studio con la ayuda de ASP.net y C# [19].

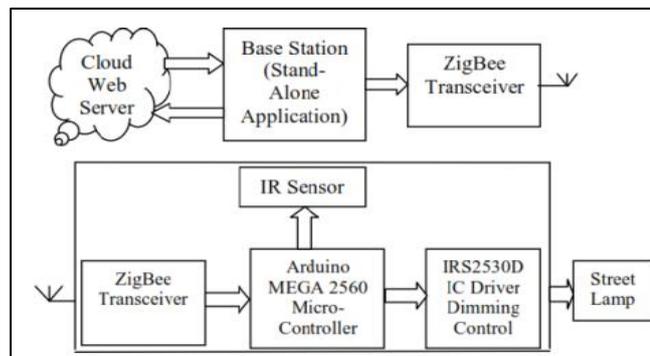


Figura 2.5: Diagrama de bloques del sistema del sistema propuesto [19].

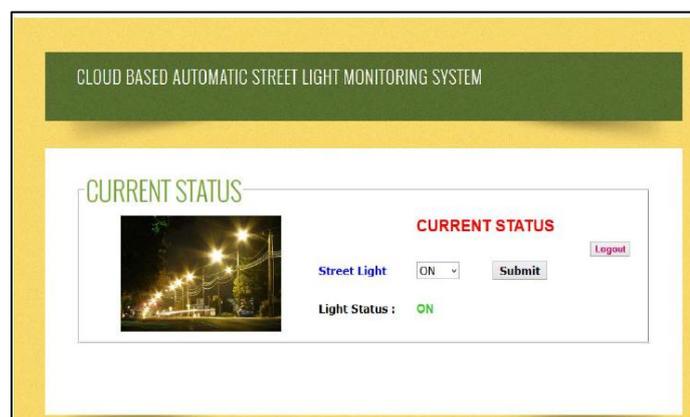


Figura 2.6: Interfaz gráfica del sistema de monitorización en la nube [19].

En la Universidad de Southampton, Inglaterra, en el año 2014, se desarrolló un sistema de alumbrado público con energía solar basado en un algoritmo predictivo y adaptativo [16]. El trabajo describe el desarrollo de un esquema de gestión para el alumbrado público, que integra un sistema multisensorial para la detección de vehículos y peatones, permitiendo una regulación dinámica del brillo de las luminarias. El esquema propuesto denominado Talismán-Green, permite el funcionamiento del sistema de iluminación con energía solar. A diferencia de las plataformas existentes, el algoritmo de predicción procesa la información del sistema Talismán-Green, permitiendo la modulación del flujo luminoso de las luminarias con ayuda de un medidor de consumo energético. El sistema descrito permite un ahorro energético de aproximadamente un 40% [20]. La figura 2.7 muestra el diagrama de bloques del sistema Talisman-Green.

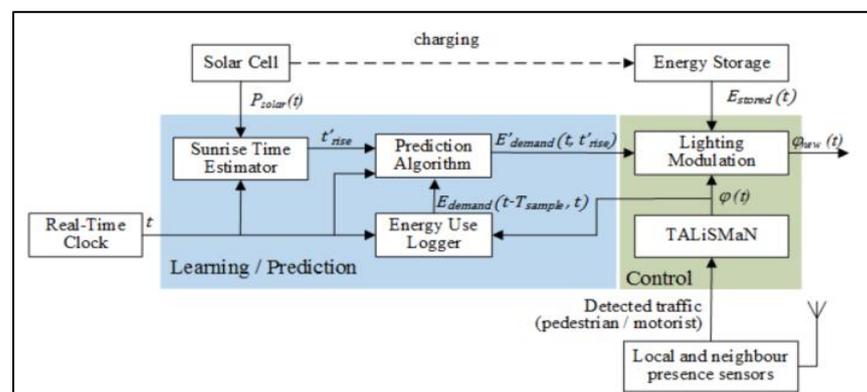


Figura 2.7: Diagrama de bloques del sistema Talisman-Green [20].

En el año 2014, investigadores de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones de la Universidad de Energía Eléctrica del Norte, China, presentaron una estrategia de control inteligente para la iluminación pública. El proyecto presentado se basa en redes inalámbricas de topología tipo malla aplicadas a la gestión de los sistemas de iluminación pública con tecnología LED. El sistema se compone principalmente de una estación de control y una terminal de control de iluminación. La estación de control se gestiona desde un computador y proporciona información de los sistemas de iluminación mediante dispositivos remotos, y dispone de una base de datos para el almacenamiento

de información en tiempo real. Asimismo, el sistema regula de forma automatizada el flujo luminoso de cada una de las luminarias y cuenta con un sistema de alarma, detección y localización de fallos en las luminarias [21]. En la figura 2.8 se observa el diagrama de bloques del funcionamiento del sistema.

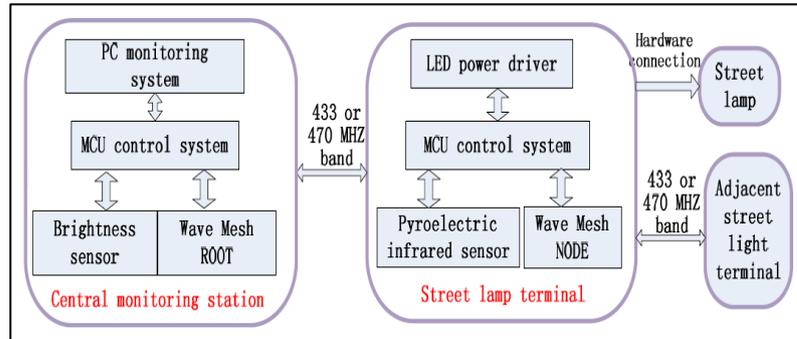


Figura 2.8: Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema de control propuesto [21]

En el año 2014, investigadores de la Universidad de Zhejiang, China, propusieron un sistema de control remoto de iluminación que incluye funciones adicionales tales como: control del flujo luminoso de las luminarias, control antirrobo, medición del consumo de energía eléctrica, detección y localización de fallos, análisis de datos, alerta de condiciones meteorológicas anormales y diagnóstico del estado de las luminarias. El sistema incluye una central de control, un nodo maestro, un nodo esclavo, balastos electrónicos, línea de conmutación y un detector del flujo luminoso. Asimismo, se puede tener el control de forma remota de la iluminación desde diferentes dispositivos electrónicos con acceso a internet [22]. La figura 2.9 muestra la estructura de funcionamiento del sistema.

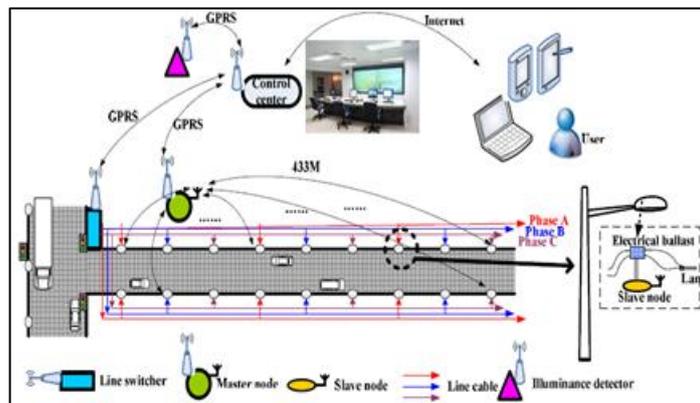


Figura 2.9: Estructura de funcionamiento del sistema propuesto [22]

Existen algunas plataformas comerciales de gestión y control inteligente del alumbrado público. En agosto de 2015, se presentó la plataforma “Sensus VantagePoint Lighting Solution”. La plataforma permite el control remoto de los sistemas de iluminación. El sistema Sensus VantagePoint integra un módulo y un software de control de iluminación, así como también, una red inalámbrica de comunicación, denominado FLEXnet, que permite la transmisión de información desde las luminarias a una estación base [23]. En la figura 2.10, se muestra el esquema de funcionamiento del sistema de iluminación inteligente denominado The Sensus VantagePoint.

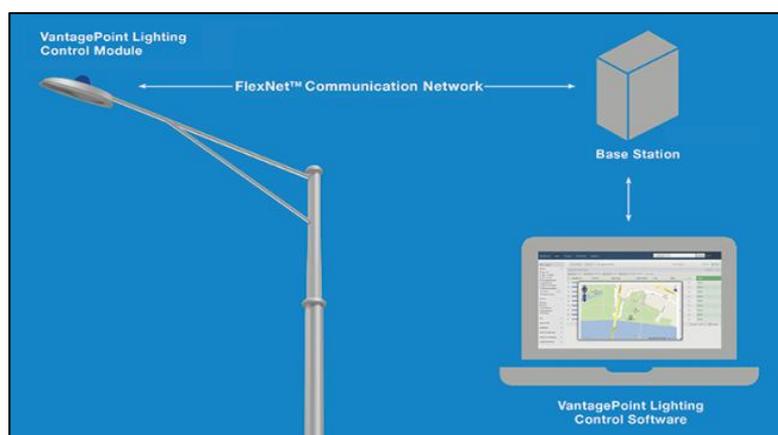


Figura 2.10: Esquema de funcionamiento del sistema “Sensus VantagePoint” [23].

The Sensus VantagePoint Lighting Solution permite que ciudades, municipios y empresas de servicios públicos puedan supervisar y controlar de forma remota los sistemas de iluminación. Asimismo, proporciona beneficios adicionales, entre los que se desatacan: reducción de costes de instalación y mantenimiento, mejora del servicio de iluminación para los usuarios, ahorro de la energía eléctrica generada por parte de los sistemas de iluminación del alumbrado público y así mismo, aumenta la seguridad nocturna para la ciudadanía.

La Plataforma Sensus VantagePoint es una solución especialmente adaptada para los municipios de diferentes ciudades. La plataforma de control permite crear los fundamentos para la creación de Ciudades Inteligentes y proporciona soluciones basadas en redes inteligentes.

Adicionalmente, el sistema de control inteligente de iluminación VantagePoint integra varios servicios, entre los más importantes destacan:

- Monitoreo en tiempo real.
- Control de atenuación individual de las luminarias para un mayor ahorro de energía.
- Agrupación y control de seguridad.
- Sistema de Información Geográfica.
- Red de Protocolo de Mapeo, PMP, compatible con varias aplicaciones.

En la actualidad, se han implementado diversos proyectos de control inteligente de la iluminación basados en la Plataforma Sensus. En la ciudad de Chattanooga se han instalado más de 5.000 controles de iluminación Sensus, obteniendo un ahorro de energía aproximadamente del 58%. La delincuencia en la ciudad ha disminuido y el tráfico peatonal ha aumentado en un 13% en el horario nocturno. En la Universidad de Alabama, han sido instalados más de 1.300 controles de iluminación Sensus, con el objetivo de ahorrar en costes operativos y aumentar la seguridad en el campus de la Universidad [23].

En el año 2016, en Chicago Estados Unidos, el Departamento de Ciencias de la Computación del Instituto de Tecnología, describe el desarrollo de un sistema de iluminación de calles, basado en una red inalámbrica y tecnología de control centralizado, como una aplicación para ciudades inteligentes. El objetivo del proyecto se centra en reducir costes de energía y mejorar la seguridad pública. El sistema piloto de control de iluminación, integra 18 farolas inteligentes en una red de malla. Las farolas tienen la capacidad de enviar información acerca de su consumo actual, luminosidad y potencia. Asimismo, se puede controlar el porcentaje de atenuación de las farolas en incrementos de 10% a través de una Interfaz de Programación de Aplicaciones, API [24]. La figura 2.11, muestra el esquema del sistema piloto de iluminación de calles desarrollado por el Departamento de Ciencias de la Computación de Chicago, USA.

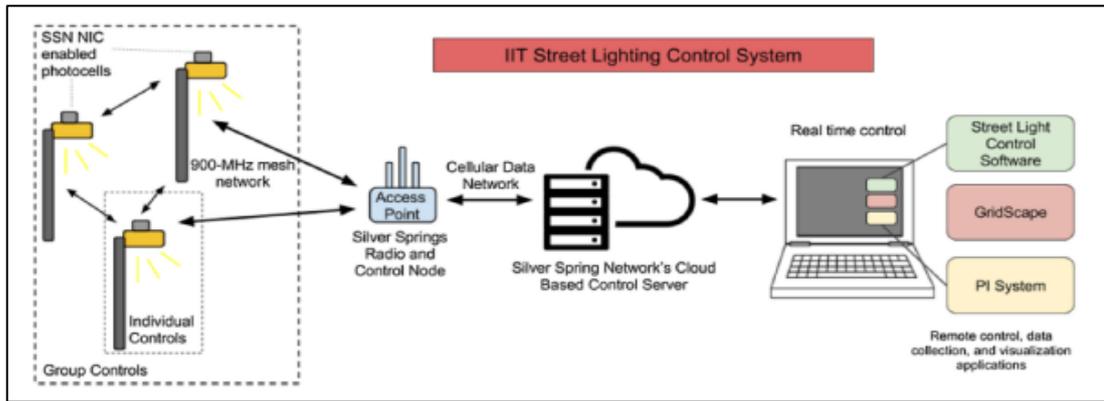


Figura 2.11 Esquema del sistema piloto para la iluminación de calles [24]

En el año 2016, en Calicut, India, el Departamento de Diseño de Sistemas Embebidos, NIELIT, describe el diseño y desarrollo de un sistema integrado para el ahorro energético en el alumbrado público. El sistema utiliza sensores infrarrojos para encender las luminarias al momento de detectar la aproximación de vehículos en las calles. El proyecto se implementó un sistema integrado de control de iluminación del alumbrado público, basado en la detección de vehículos y/o personas. La información en tiempo real del estado de las luminarias se encuentra localizada en una Plataforma de Conectividad Inteligente, y puede ser visualizada en cualquier momento desde la internet [25]. La figura 2.12, muestra el diagrama de bloques empleado para el desarrollo del sistema de inteligente de iluminación de calles.

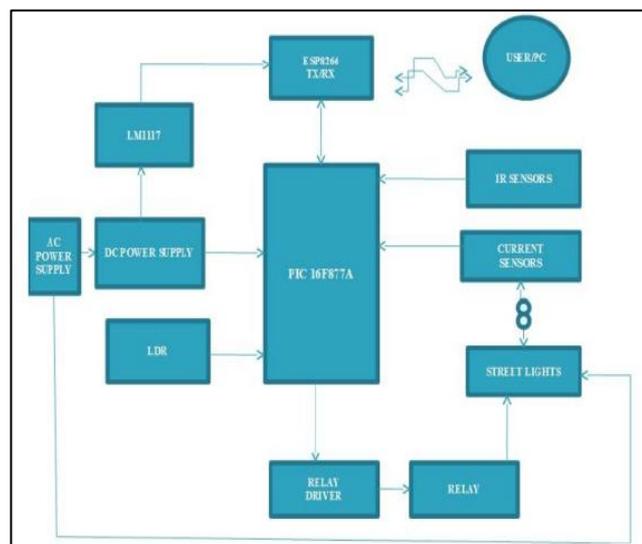


Figura 2.12: Diagrama de bloques del sistema inteligente de iluminación de calles [25]

En el año 2016, en Bangalore Karnataka India, se desarrolló un prototipo automatizado para el control de la iluminación de calles empleando luminarias LED, enfocándose al sistema denominado: Internet de las Cosas, IoT. El sistema permite regular la intensidad luminosa de las luminarias, ahorrando potencia y energía. El control se realiza en función de las horas de funcionamiento y la cantidad de luz natural en el ambiente. Los sensores empleados en el sistema se conectan de forma remota al internet. Los datos enviados por los sensores, son almacenados para su análisis y visualización. Finalmente, se realiza un análisis comparativo de los sistemas de alumbrado público tradicionales de calles, con el nuevo sistema de iluminación que controla la intensidad luminosa de luminarias LED [26]. La figura 2.13, muestra el diagrama de bloques para el desarrollo del control remoto automatizado para las luces de la calle.

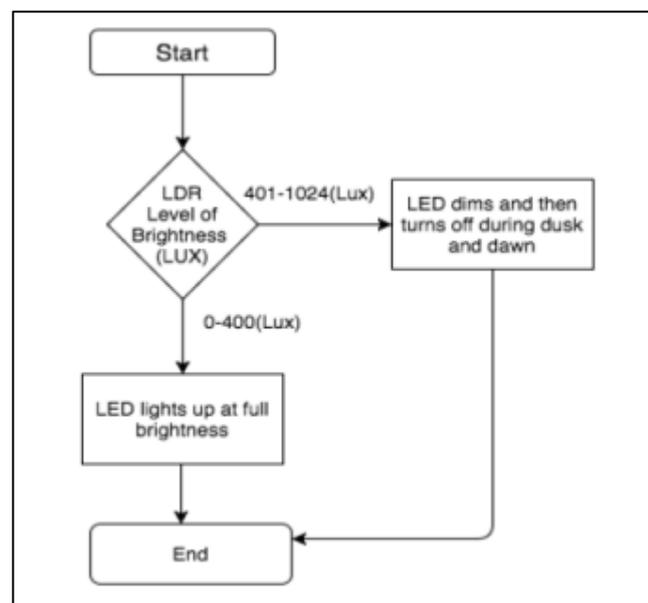


Figura 2.13: Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema de control automatizado para luces de la calle [26].

En el año 2016, el Departamento de Arquitectura de Computadoras, Electrónica y Tecnología Electrónica, Universidad de Córdoba, desarrollaron un sistema inteligente de gestión de redes de iluminación basada en la comunicación inalámbrica y el protocolo DALI. Para el desarrollo del proyecto,

se diseñó un nodo inalámbrico basado en el estándar IEEE 802.15.4. Asimismo, se desarrollaron diferentes aplicaciones para controlar y dar mantenimiento a los sistemas de iluminación, por medio de una interfaz DALI.

La figura 2.14, muestra el esquema general del sistema de tele-gestión de iluminación controlado desde un ordenador central. El sistema de tele-gestión, también incluye una aplicación para dispositivos móviles de información y localización de fallos, útil para los técnicos de mantenimiento.

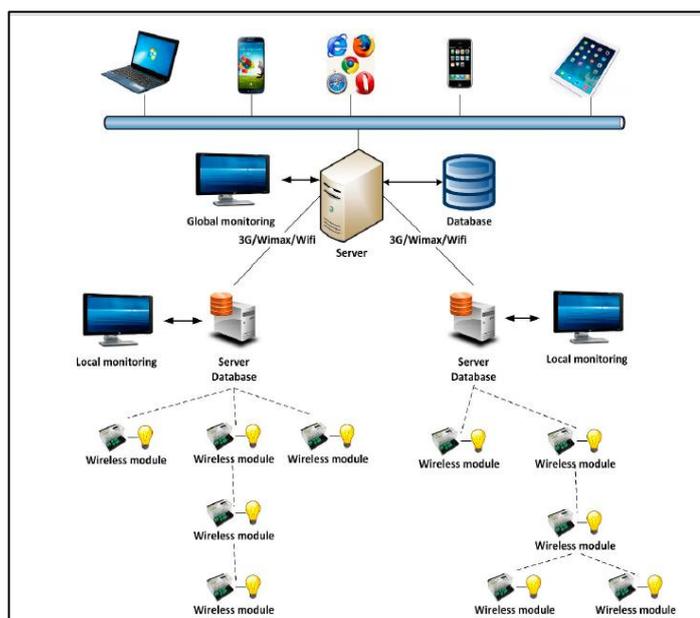


Figura 2.14: Arquitectura general del sistema de tele gestión de iluminación [27].

En el ámbito comercial, existen diferentes empresas que desarrollan sistemas de control y gestión del Alumbrado Público. Wellness Smart, que ha desarrollado un sistema que posibilita la monitorización y control del alumbrado público, denominado WeLight. El sistema WeLight permite la monitorización y control de la infraestructura del alumbrado público, detectando posibles excesos de consumo eléctrico y permitiendo obtener un mayor ahorro de energía. El Sistema WeLight no requiere de un servidor propio ni de ninguna infraestructura, toda la información se encuentra de forma segura disponible en internet [28].

La figura 2.15, muestra el esquema de funcionamiento del Sistema de tele gestión WeLight.

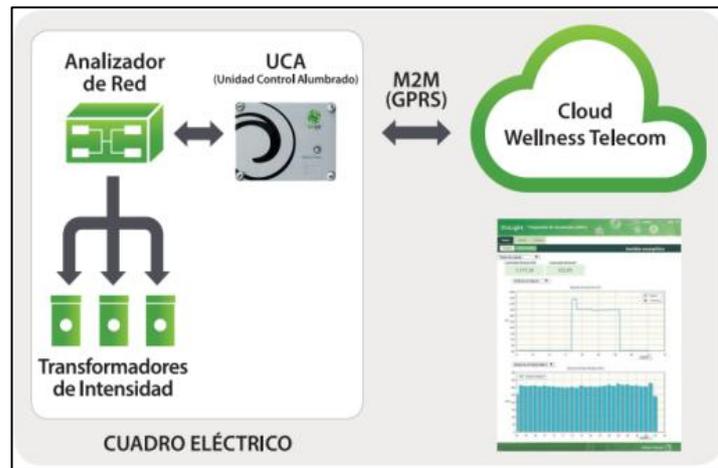


Figura 2.15: Esquema de funcionamiento del sistema WeLight de monitoreo [28]

Asimismo, Solidmation, una empresa fabricante de hardware y desarrolladora de software para domótica, diseño un Sistema de Control Inteligente del Alumbrado Público, que contribuye a la optimización de los costes energéticos. El sistema de control de iluminación, permite iluminar las luminarias a un porcentaje adecuado de iluminación, evitando que las luminarias se enciendan de forma innecesaria durante el día. Por tanto, se optimiza el consumo energético, evitando problemas relacionados a la contaminación lumínica y obteniéndose un mayor ahorro energético. El sistema de control inteligente incorpora un módulo controlador de luminaria, MCL, que permite conocer valores de funcionamiento y posibles fallas en los sistemas de iluminación. El control de las luminarias es realizada de forma remota desde un centro de control [29]. La figura 2.16, muestra el esquema general del funcionamiento del Sistema de Control Inteligente del Alumbrado Público, desarrollado por Solidmation.

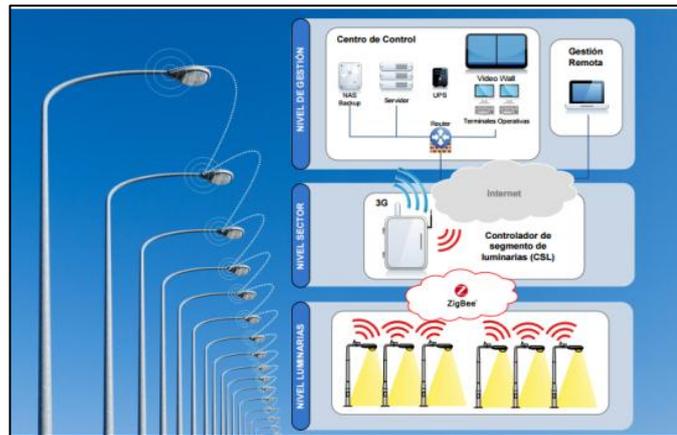


Figura 2.16: Esquema de funcionamiento del Sistema de Control Inteligente del Alumbrado Público, Solidmation [29].

La empresa e3light, ha desarrollado un Sistema de control remoto y monitorización LC40 para todo tipo de iluminación. El control se obtiene instalando un dispositivo e3light al inicio de cada sección de iluminación que se requiera controlar. El sistema de control permite medir el consumo energético, detectar fallos en las luminarias y regular la intensidad de la iluminación a través de la plataforma e3city [30]. La figura 2.17, muestra el esquema general de funcionamiento del sistema de control remoto desarrollado por e3light.



Figura 2.17: Esquema de funcionamiento del sistema de control remoto e3light [30].

La tabla 2.1 muestra un resumen de las experiencias en base a sistemas de control de iluminación del alumbrado público, desde el año 2013 al año 2016, en diferentes países del mundo

Tabla 2.1: Características principales de los sistemas de control de alumbrado público en diferentes países.

Año	Proyecto	País	Características
2013	Design and Development of Intelligent Wireless Street Light Control and Monitoring System Along With GUI	Anantapur, India	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de control y monitoreo del alumbrado publico • Fuente de alimentación fotovoltaica • Control desde un interfaz gráfica de usuario • Sensores infrarrojos y LDR • Regula el flujo luminoso de las luminarias
2014	Cloud Based Automatic Street Light Monitoring System	Chennai, India	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema inteligente de monitoreo del alumbrado publico • Control desde una Plataforma Cloud • Sensores de presencia • Regula el flujo luminoso de las luminarias
2014	Energy-Neutral Solar Powered Street Lighting with Predictive and Adaptive Behaviour	Inglaterra	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de gestión de alumbrado publico • Fuente de alimentación fotovoltaica • Sensores infrarrojos • Regula el flujo luminoso de las luminarias
2014	Research and Design of Urban LED Street Lamp Wireless Management System	China	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de control inteligente para iluminación publica • Luminarias LED • Control desde una terminal • Regula el flujo luminoso de las luminarias
2014	A Smart Remote Controlled Multi-functional Lighting System	China	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de control remoto de iluminación • Control desde una central de monitoreo • Control del flujo luminoso de las luminarias, consumo de energía y detección de fallos
2015	New Lighting Technology Reduces Energy Consumption, The Sensus VantagePoint Lighting Solution	Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de control remoto de iluminación • Control desde una Plataforma • Módulo de control de iluminación FLEXnet • Control de atenuación de luminarias
2016	Smart street lighting system: A platform for	Chicago, Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de iluminación de calles • Control desde una API

	innovate smart city applications and a new frontier for cyber-security		<ul style="list-style-type: none"> • Sensores infrarrojos • Control de atenuación de luminarias
2016	Internet of Things Based Intelligent Street Lighting System for Smart City	Calicut, India	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema integrado de ahorro energético en el alumbrado publico • Control desde una Plataforma de Conectividad • Sensores Infrarrojos • Control de encendido y apagado de luminarias
2016	Remotly Controlled Automated Street Lights: A novel Approach towards IoT (Internet of Things)	Karnataka, India	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema automatizado para control de iluminación de calles • Luminarias LED • Informacion visible en el Internet • Sensor LDR • Regular intensidad luminosa de luminarias
2016	Streetlight Control System Based on Wireless Communication over DALI Protocol	España	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema inteligente de gestión de redes de iluminación • Control desde un centro de monitoreo, Interfaz DALI. • Módulos inalámbricos • Monitorización de los sistemas de iluminación

Asimismo, la tabla 2.2 muestra un resumen de las diferentes plataformas comerciales de sistemas de control y monitoreo del alumbrado público, desarrollados por diferentes empresas desarrolladoras de software.

Tabla 2.2: Características Plataformas de control comerciales

Empresa	Proyecto	Características
Wellness Smart	Sistema WeLight	<ul style="list-style-type: none"> • Monitorización y control del alumbrado publico • Detección de excesos d consumo eléctrico • Monitoreo desde una Plataforma
Solidmation	Sistema de Control Inteligente del Alumbrado Público	<ul style="list-style-type: none"> • Control del flujo luminoso de luminarias • Detección de fallos • Modulo controlador de luminaria • Control desde una Plataforma
e3tlight	Sistema de control remoto y monitorización LC40	<ul style="list-style-type: none"> • Control consumo energético • Detección de fallos • Regulación del flujo luminoso • Control desde una Plataforma e3ctity

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1 Aspectos Tecnológicos de las luminarias

En el siguiente apartado, se describirá la clasificación de las fuentes de iluminación artificial respecto a su incandescencia y luminiscencia

2.2.1.1 Clasificación

Las fuentes de iluminación artificiales se clasifican de acuerdo a los fenómenos involucrados en la generación de luz, de acuerdo a su incandescencia y a su luminiscencia. Las luminarias incandescentes pueden ser luminarias estándares o luminarias halógenas. Las luminarias luminiscentes se clasifican en, fotoluminiscentes y electroluminiscentes. Las luminarias fotoluminiscentes son las de descarga de gas de baja y alta presión, y las lámparas electroluminiscentes son las luminarias LED [31]. La figura 2.18, muestra un esquema de la clasificación de las diferentes fuentes de iluminación artificial.

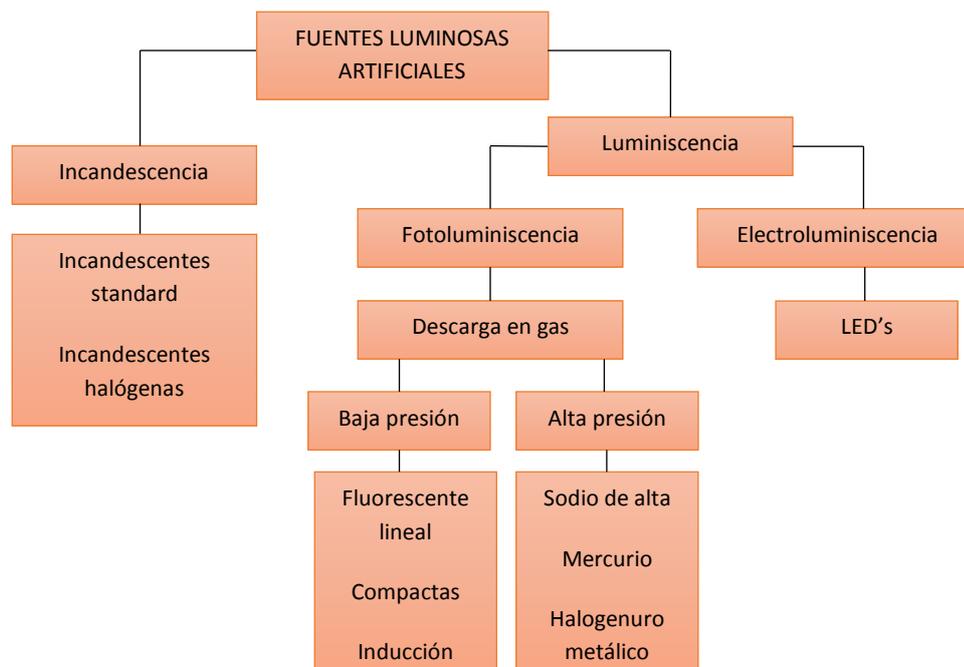


Figura 2.18: Clasificación de las fuentes luminosas artificiales [31]

2.2.1.2 Tipos de luminarias

Una luminaria es un elemento que tiene la capacidad de convertir la energía eléctrica en energía luminosa y distribuir de forma proporcional la luz emitida por la lámpara.

El empleo de un tipo de luminaria en un sistema de iluminación depende de las características técnicas, físicas y económicas de las lámparas, en base a las necesidades del sistema de iluminación. En los siguientes párrafos se presenta una breve descripción de las diferentes luminarias.

Las luminarias incandescentes clasificadas en las luminarias incandescentes estándar y las luminarias incandescentes halógenas.

- **Lámparas incandescentes estándar:** Este tipo de lámpara produce luz a través del calentamiento eléctrico de un alambre a elevada temperatura. Tienen una corta vida de funcionamiento, baja eficiencia luminosa y elevada depreciación luminosa con respecto al tiempo. Una de las ventajas es su bajo costo [32]. La figura 2.19 muestra una lámpara incandescente estándar.



Figura 2.19: Lámpara incandescente estándar [32].

- **Lámparas Incandescentes Halógenas:** Las lámparas halógenas contienen yodo, permitiendo que se prolongue de una manera significativa su vida útil. Asimismo, permite que el filamento emita más calor y, por tanto, proporcione una luz más blanca. Las lámparas halógenas son generalmente más eficientes que las lámparas

incandescentes estándar [32]. En la figura 2.20 se observa un ejemplo de lámpara halógena.



Figura 2.20: Lámpara halógena [32].

Las fuentes de iluminación luminiscentes se clasifican en fotoluminiscentes y electroluminiscentes. Dentro del grupo de las lámparas fotoluminiscentes destacan las lámparas de descarga de gas a baja y alta presión.

- **Fotoluminiscentes de baja presión:**

- **Lámparas fluorescentes:** Estas lámparas contienen vapor de mercurio a baja presión y se las utiliza normalmente para la iluminación doméstica e industrial. Las lámparas fluorescentes presentan una elevada eficiencia energética y tienen una vida útil de aproximadamente 10.000 horas [32]. En la figura 2.21 se muestra una lámpara fluorescente.



Figura 2.21: Lámpara fluorescente [32]

- **Lámparas compactas:** Las lámparas compactas tienen un bajo consumo con un mayor tiempo de duración y un menor gasto de energía en comparación con las lámparas incandescentes, produciendo el mismo nivel de intensidad luminosa [32]. En la figura 2.22 se observa una lámpara compacta.



Figura 2.22: Lámpara compacta [32]

- **Lámparas de inducción:** Estas lámparas son similares a las lámparas fluorescentes y presenta una eficiencia intermedia entre las luminarias de vapor de sodio y mercurio, obteniendo un ahorro del 20% con respecto a las luminarias de vapor de sodio y un 50% con respecto al vapor de mercurio [32]. La figura 2.23 muestra un ejemplo de lámpara a inducción.

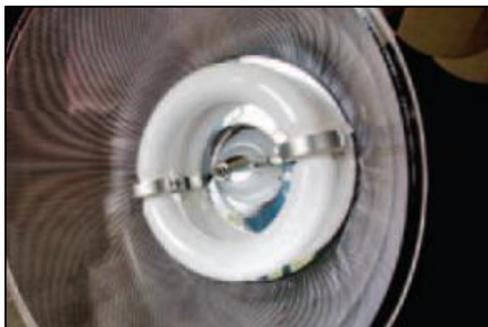


Figura 2.23: Lámpara a inducción [32]

- **Fotoluminiscentes de alta presión:**

- **Lámparas de vapor de sodio:** Estas lámparas se utilizan generalmente en la iluminación pública exterior y de vez en cuando en la iluminación de aparcamientos. Actualmente, las lámparas de vapor de sodio ya no son muy utilizadas en los sistemas de iluminación, debido a la mejor calidad de luz de las lámparas de halogenuros metálicos [32]. En la figura 2.24 se observa el modelo de una lámpara de vapor de sodio.



Figura 2.24: Lámpara de vapor de sodio [32]

- **Lámparas de vapor de mercurio:** Estas luminarias poseen mercurio y fósforo. Su eficiencia energética es mala en comparación con otras lámparas usadas en el alumbrado público. El uso de este tipo de luminaria se está reduciendo debido a que su espectro posee una gran cantidad de radiación ultravioleta, lo cual es perjudicial para el medio ambiente [32]. La figura 2.25 muestra una lámpara de vapor de mercurio.



Figura 2.25: Lámpara de vapor de mercurio [32]

- **Lámparas de halogenuro metálico:** Se componen por una serie de diferentes haluros de metal que producen diferentes longitudes de onda dentro del espectro visible. Los haluros metálicos emiten una buena luz blanca y son utilizadas para la iluminación de interiores y exteriores debido a su eficiencia y larga vida útil [32]. La figura 2.26 muestra una lámpara de haluro metálico.



Figura 2.26: Lámpara de haluro metálico [32].

- **Fuentes de iluminación electroluminiscentes:**

- **Luminarias LED:** Las luminarias LED emiten luz de espectro reducido cuando tienen una polarización de forma directa. Este tipo de luminarias poseen una alta eficiencia energética y una larga vida útil de aproximadamente unas 30000 a 100000 horas. Los diodos LED emiten luz de diversos colores, los mismos pueden ser controlados y modulados de forma electrónica [32]. La figura 2.27 muestra un ejemplo de luminaria LED.



Figura 2.27: Luminaria LED [32]

La tabla 2.3, presenta un análisis comparativo de las diferentes luminarias mencionadas, en función de sus principales características:

- Control de atenuación
- Costo de instalación
- Costo de operación
- Aplicaciones

Las luminarias LED tienen una mayor ventaja frente a las demás luminarias empleadas en las vías públicas peatonales.

Tabla 2.3: Resumen comparativo de las características de los diferentes tipos de luminarias [Autor, basado en 32].

Tipo de luminaria		Control de atenuación	Costo de instalación	Costo de operación	Aplicaciones	
Incandescentes	<i>Incandescentes estandar</i>	No es posible	Bajo	Bajo	Iluminación general	
	<i>Incandescentes halógenas</i>	Excelente	Bajo	Alto	Iluminación general	
Luminiscentes	Fotolumiscentes de Baja Presión	<i>Fluorescentes</i>	Bueno	Bajo	Bajo	Iluminación general
		<i>Compactas</i>	Con lámparas especiales	Bajo	Bajo	Iluminación general
		<i>Inducción</i>	No es posible	Bajo	Bajo	Lugares con difícil acceso para mantenimiento
	Fotolumiscentes de Alta Presión	<i>Sodio de alta Presión</i>	Es posible	Alto	Bajo	Iluminación de exteriores, calles, almacenes
		<i>Mercurio</i>	No es posible	Moderado	Moderado	Iluminación interior
		<i>Halogenuro metálico</i>	Posible	Alto	Bajo	Centros comerciales.
	Electroluminiscentes	<i>LED</i>	Excelente	Alto	Bajo	En todo lado a futuro.

2.2.1.3 Consumo energético de luminarias

El consumo energético de una luminaria depende de la potencia emitida y el número de horas de uso. Actualmente, en los sistemas de alumbrado público se busca obtener una mayor eficiencia energética, con el objetivo de obtener un mayor ahorro energético y económico. Las luminarias LED presentan mejores características técnicas que otras tecnologías de iluminación como las lámparas incandescentes, halógenas, fluorescentes compactas y la mayoría de las fluorescentes lineales [33]. En la tabla 2.4, se observa una comparativa de la eficiencia energética, vida útil y potencia emitida por diferentes luminarias.

Tabla 2.4. Características técnicas de las diferentes tecnologías de iluminación [33, 34, 35, 36]

Fuente de Luz	Eficacia Luminosa (lm/W)	Vida útil (h.)	Potencia (W)
Incandescentes estándar	10-20	1000	25-100
Incandescentes Halógenas	12-35	2000-4000	20-50
Fluorescentes Compactas	40-65	12000	5-20
Fluorescentes lineales	50-100	10000-16000	10-71
Inducción	60-80	60000-100000	55-200
Sodio de alta presión	80-100	12000-16000	35-400
Mercurio	40-60	12000	250-700
Halogenuro metálico	50-100	6000-12000	35-3500
LED	20-120	20000-100000	55-500

En la figura 2.28, se observa la eficacia luminosa de las diferentes tecnologías de iluminación existentes, en comparación con la tecnología LED. Se muestran los valores de eficiencia luminosa de la tecnología LED en el año 2015 y 2020.

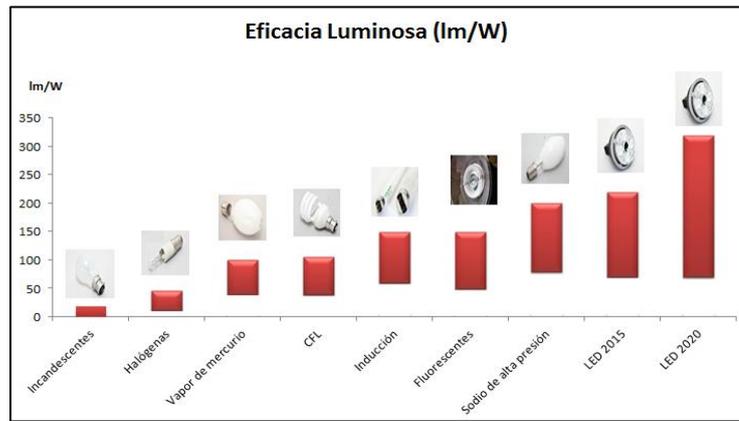


Figura 2.28: Eficacia luminosa de las diferentes tecnologías de iluminación [Autor].

2.2.1.4 Evolución tecnológica de las luminarias LED

Desde finales de los años 90, la irrupción de la tecnología LED ha condicionado el diseño y dimensionado de los sistemas de iluminación. En la figura 2.26, se observa la evolución histórica de las diferentes tecnologías de iluminación en función del flujo luminoso emitido por vatio, lm/W. En el año 2010, las tecnologías LED presentaban valores de flujo luminoso superiores a 100 lm/W [37]. Actualmente, diferentes fabricantes ofrecen luminarias basadas en tecnologías LED con valores de flujo luminoso por vatio iguales a 140-150 lm/W [38]. La tecnología LED presenta una evolución tecnológica muy acelerada en comparación con otras tecnologías. Así, la eficacia de los tubos fluorescentes se ha duplicado en 60 años mientras que la eficacia de la tecnología LED se ha decuplicado en 10 años, entre el año 2000 y 2010, figura 2.29 [37].

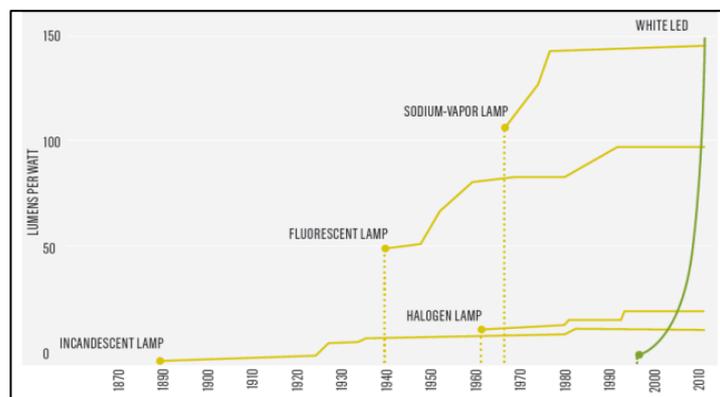


Figura 2.29: Evolución histórica de la tecnología LED en comparación con otras tecnologías existentes hasta el año 2010 [37].

El Departamento de Energía de los Estados Unidos estima que la eficacia de las luminarias LED podría alcanzar los 250 lm/W en el año 2020, con un ahorro de energía de hasta un 90% al sustituir luminarias obsoletas e ineficientes en diversas aplicaciones [37]. En la figura 2.30, se muestra la previsible evolución de eficacia de las luminarias LEDs en lm/W, hasta el año 2025. Se observa que en el año 2020, las tecnologías LED proporcionarán más de 100 lm/W en comparación con las luminarias Fluorescentes Lineales (LFL) y las luminarias de Descarga de Alta Intensidad (HID), que no superarán un valor máximo de flujo luminoso por vatio igual a 115 lm/W [39].

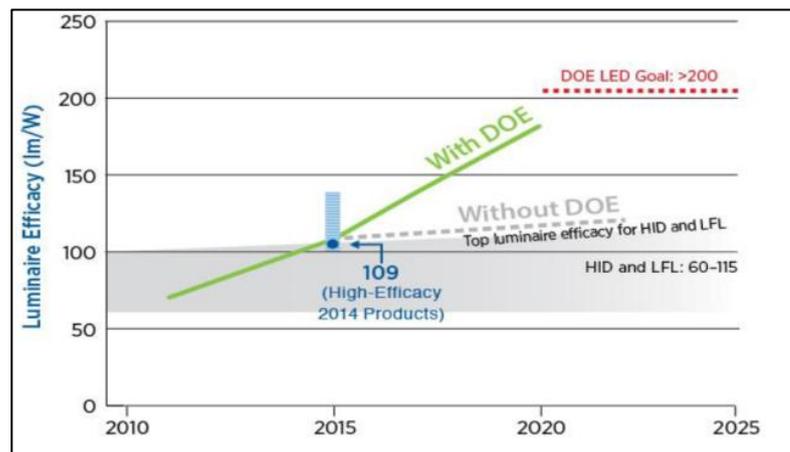


Figura 2.30: Evolución de la eficiencia de la tecnología LED en comparación con otras tecnologías al año 2025 [39].

La sustitución de luminarias convencionales por tecnologías LED permite un ahorro de energía que puede oscilar aproximadamente entre un 50% y el 70%. Las luminarias LED proporcionan una mejor visibilidad para los peatones y el tráfico vehicular y una significativa reducción de la contaminación lumínica. La vida útil de las luminarias LED es de aproximadamente 55 mil horas y con sofisticados controles inteligentes de iluminación pueden superar las 100 mil horas [37].

Las luminarias LED presentan elevados costes de instalación en comparación con las tecnologías de iluminación existentes. Además, la tecnología LED ofrece beneficios adicionales, entre los que se destacan: la vida útil de la luminaria, la calidad del color, la regulación de compatibilidad electromagnética,

el reducido impacto medioambiental, la óptima distribución del flujo luminoso y las diferentes funcionalidades de control, gestión y operación.

2.2.2 Sistemas de iluminación

Un sistema de iluminación se compone de un conjunto de luminarias que se encuentran conectadas a la red eléctrica con el objetivo de brindar iluminación artificial. En los siguientes párrafos se describen los diferentes tipos de sistemas de iluminación existentes:

- **Alumbrado exterior:** El alumbrado exterior, como su nombre lo indica, es utilizado para la iluminación de exteriores, básicamente se lo conoce como alumbrado público, el mismo que incluye la iluminación de parques, plazas, calles, carreteras, etc.

Actualmente los fabricantes de fuentes de iluminación han visto la necesidad de desarrollar una nueva generación de alumbrado para exteriores con el objetivo de obtener dispositivos de iluminación con un mayor rendimiento óptico y con diseños más compactos. Así mismo, permitan mejorar la eficiencia luminosa, reducir las emisiones de CO₂ y disminuir el gasto económico [40].

- **Alumbrado interior:** El alumbrado interior se obtiene mediante luminarias versátiles, empotrables, para salas limpias, proyectores y carriles, regletas y campanas.

En los últimos tiempos, se consideran como soluciones de alta eficiencia y menor consumo energético, a los sistemas de iluminación que se encuentran integrados en luminarias con tres niveles de control, regulación en función de la luz diurna, control por detección de movimiento y control manual [40].

2.2.2.1 Características técnicas

Para la implementación de un sistema de iluminación, tanto interior como exterior, se deben considerar diferentes parámetros en cuanto a la luz y al funcionamiento del sistema.

Parámetros de luz: Existen diferentes parámetros que definen el funcionamiento de una lámpara dependiendo de la aplicación en la que se la vaya a utilizar, pero generalmente se consideran ocho parámetros, los mismos que se detallan a continuación [41]:

- **Intensidad luminosa.** La intensidad luminosa expresada en lúmenes, representa la cantidad de flujo luminoso que emite una fuente de luz. La emisión de luz permite determinar el correcto funcionamiento de una lámpara en relación con la escala de instalación y la cantidad de flujo luminoso que se requiera, teniendo en cuenta que la intensidad de luz depende directamente de la potencia de la lámpara.
Por ejemplo, en las lámparas incandescentes al aplicarles una tensión mayor a la tensión nominal establecida, la potencia y el flujo luminoso emitido por la lámpara se incrementan pero se reduce la vida útil de la lámpara [41].
- **Temperatura de color.** La calidad del color que emite la luz por medio de una fuente de iluminación depende de sus características cromáticas, es decir de la temperatura del color que represente, expresada en grados Kelvin, °K. En la tabla 2.25, se aprecia la temperatura del color en grados Kelvin de diferentes fuentes de luz y en la figura, el rango de temperaturas de color más típicas [41].

Tabla 2.5: Temperatura de color de diferentes fuentes de luz [41]

TEMPERATURA DE COLOR TÍPICAS	
Luz de combustión (llama, fuego, velas)	1930 K
Lámparas domesticas de tungsteno (15-250 vatios)	1600-1900 K
Lámparas de tungsteno de estudio 500-1000 vatios (potencia media)	3000 K
Lámparas de tungsteno de estudio 2000 vatios (potencia alta)	3275 K
Lámparas de tungsteno de estudio 5kw-10kw vatios (potencia muy alta)	3380 K
Lámparas de tungsteno-halogeno (luces de cuarzo)	3200 K
Lámparas para la proyección domestica (diapositivas, cine)	3200 K
Lámparas de tungsteno sobrevoltadas (Photoflood)	3400-3500 K
Lámparas y tubos fluorescentes	3200-7500 K
Arcos voltaicos (electrodos de carbón, llama blanca)	6000 K
Salida de sol, puesta del sol	2000-3000 K
Luz de día sin sol, temprano por la mañana o por la tarde	4500-4800 K
Mediodía soleado	5000-5400 K
Sol de mediodía + cielo	6500 K
Cielo nublado	6800-7500 K
Lámpara de xenón	6000 K
Lámparas de haluros metálicos (HMI)	5600-5800 K

- **Índice de reproducción cromática:** El índice de reproducción cromática (IRC) determina la calidad del color en comparación con el aspecto cromático que presentan los objetos cuando son iluminados por una fuente de luz en cuestión, con el aspecto que presentarían si fueran iluminados por una fuente de luz de referencia de la misma temperatura. El índice máximo de 100 significa que se tiene una IRC ideal. En la tabla 2.6, se observa el IRC de las diferentes fuentes de luz [41].

Tabla 2.6: Índice de reproducción cromática de diferentes fuentes de luz [41]

FUENTES DE LUZ	IRC
Vapor de sodio de baja presión	5
Vapor de mercurio estándar	17
Vapor de sodio de alta presión	20
Vapor de mercurio mejorado	45
Fluorescente tipo warm White	55
Fluorescente tipo cool White	65
Fluorescente tipo deluce warm White	73
Fluorescente tipo daylight	79
Fluorescente tipo deluxe cool White	86
Haluros metálicos (HMI) 5600K	93
Lámpara domestica incandescente 100 vatios	100
Iluminación profesional cuarzo/tungsteno	100
Luz día	100

- **Distribución espectral de la energía:** La distribución espectral se considera a la forma en que la intensidad luminosa, el flujo o cualquier otra magnitud fotométrica varían con la longitud de onda [41].

- **Vida:** La vida de una lámpara depende básicamente del tipo de material y de las condiciones de trabajo. Existen diferentes parámetros que permiten determinar la vida de una lámpara de acuerdo a las condiciones de uso [41]:
 - **Vida individual:** La vida individual se considera como el tiempo transcurrido en horas hasta que la lámpara no se utiliza.
 - **Vida media:** La vida media es el tiempo transcurrido hasta que se presenta un fallo de la mitad de un conjunto de lámparas.
 - **Vida útil:** La vida útil es el tiempo transcurrido después del cual es conveniente sustituir un conjunto de lámparas de una instalación que mantenerlas.
 - **Vida máxima:** La vida media se considera al tiempo máximo de funcionamiento que tienen un conjunto de lámparas de una instalación tras el análisis y ensayo.

- **Eficiencia:** La eficiencia de una lámpara se determina por el número de lúmenes emitidos por la lámpara en relación al número de vatios, lúmenes/vatio. La eficiencia aumenta cuan mayor sea su potencia, pero no existen lámparas 100% eficaces debido a que no toda la energía eléctrica consumida por las mismas se convierte en luz útil. En la tabla 2.7, se observa la eficiencia y el porcentaje de rendimiento de diferentes fuentes de iluminación [41].

Tabla 2.7: Eficiencia y rendimiento de diferentes fuentes de luz [41]

TIPO DE EMISOR	Lúmenes /vatio	Rendimiento (%)
Bombilla eléctrica de Edison	2	0.9
Bombilla domestica 100w	13	5.9
Bombilla incandescente 200w	15	6.9
Bombilla incandescente 500w	18	8.1
Bombilla incandescente 1000w	20	9
Lámparas halógenas domesticas	25	11.3
Fluorescentes ordinarias	45-60	20.4-29
Vapor de mercurio	55	25
Fluorescentes cine y TV	60-80	27.2-36.3
Vapor de mercurio halogenado	70-90	31.8-40.9
Halogenuros metálicos (HMI)	85-110	38.6-50
Vapor de sodio de baja presión	180	81.8

- Depreciación del flujo:** La depreciación del flujo luminoso de una lámpara se considera al valor medio obtenido después de haber transcurrido 100 horas de funcionamiento de la lámpara [41]. En la figura 2.31, se observa la comparación de la vida nominal promedio de diferentes fuentes de luz y el porcentaje de depreciación del flujo en lúmenes al 50% y 100% de su vida media.

DEPRECIACIÓN DEL FLUJO			
Depreciación del flujo luminoso para distintos tipos de lámparas			
Fuente: Osram Sylvania, 2000			
Fuente	Vida media	% de depreciación del flujo al 50% de la vida media	% de depreciación del flujo al 100% de la vida media
Incandescencia	1.000	88 (-12%)	83 (-17%)
Tungsteno halógeno	2.000	98 (-2%)	97 (-3%)
Fluorescente	20.000	85 (-15%)	75 (-25%)
Mercurio	24.000	75 (-25%)	65 (-35%)
Mercurio halogenado	15.000	74 (-26%)	68 (-32%)
Sodio a alta presión	24.000	90 (-10%)	72 (-28%)

La depreciación del flujo es **muy baja** en las lámparas de **tungsteno halógeno**. **Alta** en las lámparas de **descarga**

Figura 2.31: Porcentaje de depreciación del flujo de diferentes fuentes de luz [41]

- **Parpadeo:** El parpadeo o efecto estroboscópico es el ir y venir de la intensidad luminosa de una lámpara y depende básicamente de su inercia. Este efecto no es detectado por el ojo humano pero si por diferentes cámaras electrónicas. Las lámparas con alta inercia, lámparas incandescentes, no presentan parpadeos en comparación con las lámparas de baja inercia, lámparas de descarga de gas, que si presentan parpadeos [41].

2.2.3 Control de iluminación

2.2.3.1 Dispositivos de control de iluminación

Un control de iluminación permite supervisar y gestionar la energía luminosa de una o varias luminarias dentro y fuera de un espacio físico. Actualmente, existen diferentes tecnologías que permiten tener un mayor control del flujo luminoso con el objetivo de generar un mayor ahorro de energía eléctrica, mejorar la gestión de operaciones, proporcionar luz a petición y asegurar la fiabilidad. Se han desarrollado diversos dispositivos para el control de iluminación, los mismos que permiten cumplir con los objetivos mencionados anteriormente. Estos dispositivos pueden ser controlados de forma automática o manual, entre los cuales se tienen: sensores de luz de día, sensores de movimiento, sensores de velocidad y dirección, etc. Así mismo, se logra un control de la iluminación mediante la aplicación de diferentes circuitos que permiten convertir la energía eléctrica; denominados convertidores estáticos de energía.

2.2.3.2 Convertidores estáticos de energía.

La electrónica de potencia dispone de convertidores estáticos de energía que permiten el control, manejo y conversión de la energía eléctrica mediante el uso de dispositivos electrónicos. Las ventajas de utilizar convertidores estáticos para el control de la luminosidad son un mayor rendimiento, rápida activación, control del flujo de energía sin alteraciones y de una manera más rápida y no sufren desgaste [42].

Los convertidores o conversores estáticos se clasifican dependiendo de la energía eléctrica que vayan a controlar de acuerdo a las necesidades [42]:

- Conversores AC/AC
- Conversores AC/DC
- Conversores DC/AC
- Conversores DC/DC

La figura 2.32, muestra los cuatro tipos de conversores estáticos descritos anteriormente, con sus respectivas formas de onda de entrada y de salida.

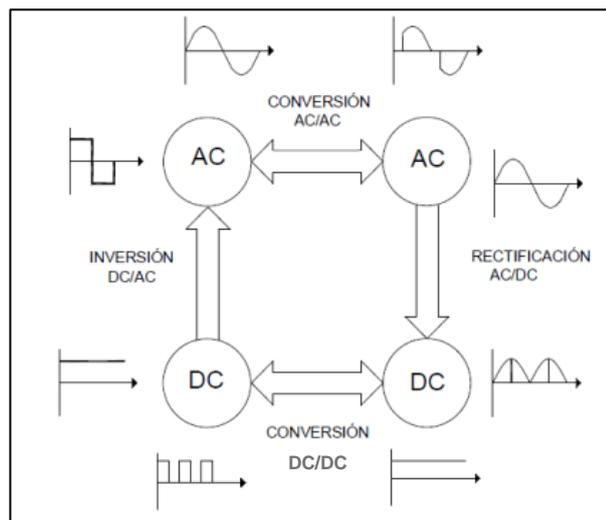


Figura 2.32: Conversores estáticos de energía [42]

- **Conversores AC/AC:** Este tipo de conversores permiten controlar la cantidad de potencia que se entrega a una carga variando el valor RMS del voltaje AC, pero sin llegar a modificar el flujo de energía [38]. Dentro del grupo de los conversores AC/AC se tienen los controladores de voltaje AC, cuya principal aplicación es el control de intensidad de la iluminación.

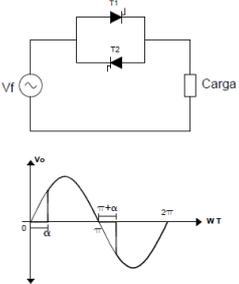
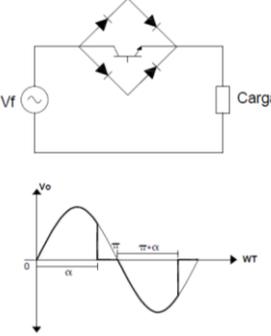
Los controladores de voltaje AC, dependiendo del tipo de alimentación de corriente alterna de entrada aplicada al circuito, pueden clasificarse en convertidores monofásicos y trifásicos, los mismos que a su vez pueden ser controlados de manera unidireccional y bidireccional.

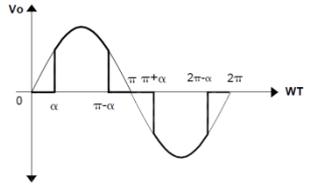
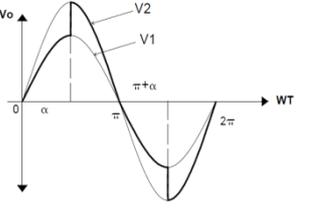
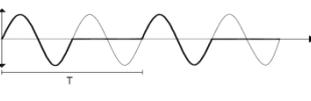
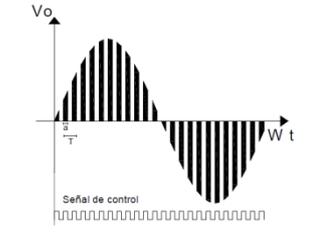
Asimismo, dependiendo de la potencia a entregar, estos controladores se clasifican en:

- Control de fase directo
- Control de fase inverso
- Control de fase simétrico
- Control de fase diferencial
- Control de ciclo integral
- Troceador AC

La tabla 2.8 presenta una explicación de la clasificación de los controladores de voltaje AC.

Tabla 2.8: Clasificación de los controladores de voltaje AC [42]

Controlador de voltaje AC	Descripción	Circuito y forma de onda
Control de fase directo	En el control de fase directo el flujo de potencia hacia la carga es controlado variando el ángulo de disparo entre 0 y 180°, utilizando Triac's o Scr's en antiparalelo.	
Control de fase inverso	El control de fase inverso puede implementarse utilizando transistores, IGBT o GTO's, realizando conmutación forzada de los cuales los más recomendables son los GTO's.	

Control de fase simétrico	Este tipo de control utiliza conmutación forzada, combina el control de fase directo y el control de fase inverso.	
Control de fase diferencial	Permite controlar la potencia alterna a través de tiristores como conmutadores estáticos, utilizando un transformador con tab central.	
Control por ciclo integral	Permite pasar a la carga un número entero de ciclos completos y se bloquea otro número determinado de ciclos.	
Troceador AC	Es implementado con transistores y el circuito de control envía una señal de periodo constante y de relación de trabajo variable	

- **Convertidores AC/DC:** Los convertidores AC/DC permiten convertir la energía eléctrica de alterna a continua, son también conocidos como rectificadores. Estos convertidores se clasifican en:
 - **No controlados:** Los convertidores no controlados utilizan diodos y entregan a la salida una potencia fija de corriente continua (DC).
 - **Semicontrolados:** Los convertidores semicontrolados son aquellos que utilizan una combinación de diodos y tiristores.

- **Controlados:** Utilizan tiristores. Son implementados en aplicaciones industriales, especialmente en control de motores de velocidad variable.
- **Conversores DC/DC:** Convierten corriente continua fija a corriente continua variable con un mayor rendimiento, conocidos también como troceadores. Se clasifican en:
 - Troceadores reductores
 - Troceadores elevadores.
- **Conversores DC/AC:** Permiten convertir un voltaje de entrada continuo a un voltaje simétrico de salida alterno, con la magnitud y frecuencia que se desee, fijo o variable. Conocidos también como inversores, se clasifican en:
 - Inversor paralelo
 - Inversor serie [42]:

2.2.3.3 Elementos semiconductores de control

Para la implementación de conversores estáticos de energía se utilizan semiconductores, como son, diodos de potencia de silicio que tienen una resistencia baja en sentido de conducción y alta en sentido de bloqueo. Así mismo, tiristores, que tienen una resistencia alta en sentido de conducción y bloqueo, pero la misma puede ser bloqueado cuando se le aplica una corriente de control de poca duración.

Para el control de fase de los conversores AC/AC se pueden utilizar diferentes componentes electrónicos semiconductores como son, los TRIAC'S, transistores, GTO's, IGBT's, SCR's en antiparalelo [42].

2.2.4 Sistemas de control y gestión de iluminación

2.2.4.1 Descripción

Un sistema de control de luz permite gestionar el funcionamiento de un sistema de iluminación, controlando el flujo luminoso de un conjunto de luminarias ubicadas tanto en espacios interiores como exteriores.

El control de iluminación se basa en una red inteligente que incorpora la comunicación entre diferentes sistemas de entrada y salida.

El elevado índice de urbanización, los crecientes problemas de movilidad, los costes de la energía y la desaceleración económica global, son factores que impulsan a tener una visión futuristas de ciudades inteligentes con controles de iluminación que garanticen la seguridad, el bienestar y la sostenibilidad de los ciudadanos. La combinación de la tecnología LED con sistemas inteligentes de control y gestión de la iluminación permite obtener un ahorro de energía de hasta un 85%, teniendo en cuenta que el consumo energético destinado al alumbrado público representa un 40% [43].

2.2.4.2 Soluciones de control de sistemas de iluminación

Existen diferentes soluciones que permiten tener un control del flujo luminoso, con el objetivo de obtener espacios seguros, sostenibles y confortables, las cuales se mencionan a continuación:

- **Soluciones Independientes:** Las soluciones independientes integran el uso de fotorresistencias que se activan o desactivan dependiendo del nivel de luz natural. Las fotorresistencias son instaladas en cada luminaria de manera que su funcionamiento es de forma independiente [43].

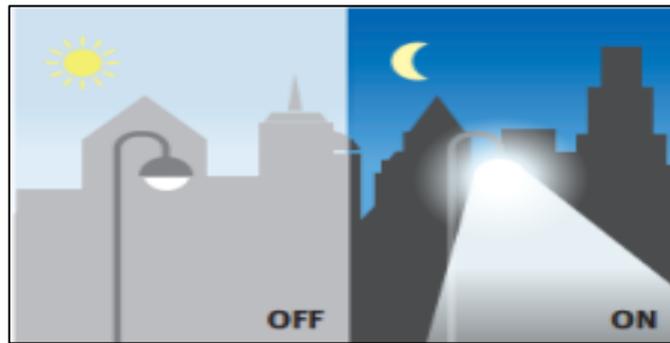


Figura 2.33: Ejemplo de control de luminaria utilizando fotorresistencias [43].

Asimismo, se integran sensores de detección de movimiento, como otra alternativa para el control de la iluminación de forma independiente. La implementación de sensores infrarrojos permite detectar la presencia de vehículos y/o personas para el controlar del nivel de flujo luminoso de cada una de las luminarias, permitiendo reducir el consumo de energía y proporcionando mayor seguridad en la zona [43].

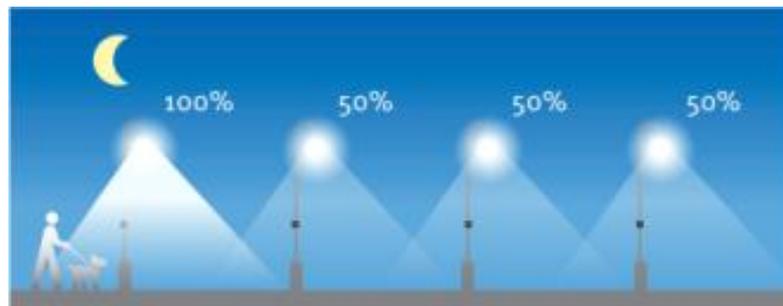


Figura 2.34: Ejemplo de control de luminaria utilizando sensores de movimiento [43].

- **Red autónoma:** El control de iluminación autónomo permite que un conjunto de luminarias se comunican de a través de una red inalámbrica con el objetivo de ofrecer una regulación de perfil dinámico de iluminación. El escenario de regulación autónoma puede reforzarse con funciones de detección de movimiento. Cuando se detecta movimiento, el escenario de detección se cambia al escenario de regulación programada a fin de proporcionar seguridad y confort a los usuarios [43].



Figura 2.35: Red autónoma para el control de la iluminación [43].

- **Red intergestionable:** El control de iluminación realizado por medio de una red intergestionable permite supervisar, controlar, medir y gestionar una red de iluminación a través de internet mediante un navegador web. El control puede realizarse en cualquier momento del día y gracias a la comunicación en ambas direcciones se logra supervisar el estado operativo, el consumo de energía y los posibles fallos de las luminarias [43].

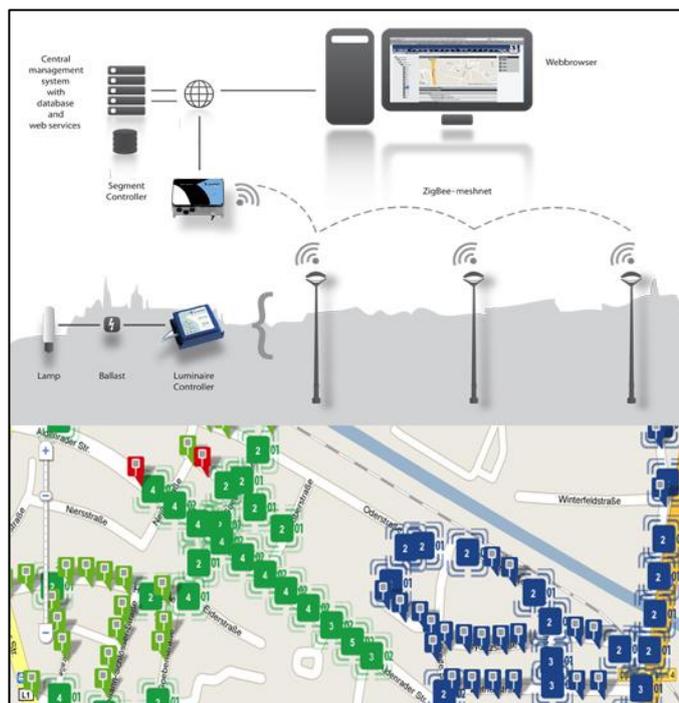


Figura 2.36: Diagrama de funcionamiento de una red intergestionable para el control de iluminación [43].

2.3 Propuesta de solución

En el presente proyecto de titulación se diseñó e implementó un prototipo de control de un sistema de iluminación fotovoltaico, gestionado desde una plataforma Cloud/GIS. La plataforma Cloud controla el nivel de luminosidad de luminarias LED e integra un Sistema de Información Geográfica, GIS, que permite la localización geográfica de las luminarias desde la web.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo se basó en una investigación aplicada, por lo cual se la desarrolló utilizando:

- Investigación bibliográfica, debido a que la explicación científica concerniente en base al tema de investigación propuesto se la llevó a cabo consultando en libros de electrónica y de redes de computadoras, así como también en publicaciones de internet, tesis y maestrías que tengan referencia a la programación en la nube, monitoreo y control de sistemas de iluminación para el ahorro energético y sus aplicaciones, técnicas y herramientas utilizadas para llevar a cabo proyectos en base al tema.
- Investigación de campo, para lo cual se realizó un estudio de los hechos, en el lugar donde se producen los acontecimientos. Con esta modalidad de investigación se da contacto en forma directa a la realidad, para obtener información de acuerdo con los objetivos planteados del proyecto, proyectando un caso tanto virtual como real.

3.2 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

La información para la realización del proyecto fue adquirida de tesis, paper's, publicaciones, internet, patentes, trabajos de investigación realizados y la guía del tutor encargado.

3.3 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Una vez recolectada y analizada toda la información encontrada, esta se seleccionó para determinar qué tanto de la información es apropiada y sirve para el desarrollo del proyecto.

Cuando ya se tuvo la correcta y la más adecuada información, se realizó un proceso estadístico, mediante tabulación de datos de forma sistemática.

El análisis de los resultados finales, se los presentó mediante cuadros estadísticos, relacionándolos con los objetivos planteados.

La revisión de los resultados ayudó a la corrección de errores con el objetivo de eliminar resultados contradictorios y ajenos al tema, permitiendo separar la información y obtener una fácil tabulación de la misma.

3.4 DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el desarrollo del proyecto de investigación, se llevó a cabo las siguientes actividades:

1. Búsqueda bibliográfica de los antecedentes investigativos relacionados a la elaboración de plataformas Cloud/GIS de gestión y control.
2. Elaboración de un informe de las diferentes experiencias existentes en el mundo de plataformas Cloud/GIS.
3. Análisis de las tecnologías para la recepción de información del prototipo fotovoltaico de alumbrado público y transmisión a la plataforma de operación y control.

4. Diseño de la arquitectura de adquisición de información del prototipo de alumbrado público
5. Descripción de los sistemas de iluminación del servicio de alumbrado público en el Ecuador.
6. Diseño del prototipo de control de iluminación con suministro fotovoltaico
7. Identificar la herramienta de programación acorde a las características técnicas de la plataforma Cloud.
8. Programación de herramientas de adquisición, almacenamiento y tratamiento de la información obtenida en la plataforma Cloud/GIS.
9. Definición de criterios económicos y medioambientales de evaluación del impacto de la integración de sistemas fotovoltaicos de iluminación.
10. Desarrollo de la metodología de evaluación del impacto económico.
11. Instalación de un prototipo de sistema de control de iluminación y realización de pruebas del control de luminosidad del prototipo desde la plataforma Cloud.
12. Adquisición de los datos de forma inalámbrica desde el sistema de iluminación fotovoltaica a la plataforma Cloud.

CAPITULO IV

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

En el presente proyecto se propone el diseño e implementación de un prototipo de control de iluminación desde una plataforma Cloud/GIS.

El desarrollo del sistema de control de iluminación se realiza por etapas en función de los objetivos planteados.

- Criterios de diseño y funcionamiento del prototipo.
- Desarrollo del circuito regulador de intensidad luminosa.
- Programación y diseño de la interfaz de la plataforma CLOUD para el control inalámbrico de la iluminación.
- Integración de un sistema de información geográfica (GIS).

En la figura 4.1, se observa un esquema general de las etapas para el desarrollo de la proyecto.

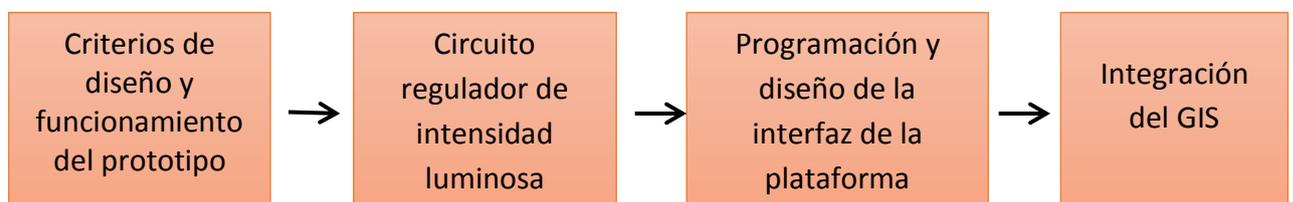


Figura 4.1. Etapas para el desarrollo de la propuesta. [Autor]

4.1 Análisis de Factibilidad

El análisis de factibilidad permitió conocer si el presente proyecto de investigación cuenta con los recursos necesarios para su completo desarrollo en base a la intervención de diferentes factores, como son:

4.1.1 Factibilidad Institucional

Existe factibilidad institucional para el desarrollo del proyecto de investigación, debido a que se obtendrá un control de iluminación para el ahorro energético. Asimismo, la FISEI cuenta con un sistema fotovoltaico que permitió la alimentación del sistema de control de iluminación. Además, se utilizó la Plataforma OpenStack de la institución para el desarrollo y control del sistema.

4.1.2 Factibilidad Técnica

El presente proyecto de investigación es factible técnicamente debido a que los elementos electrónicos utilizados son comerciales y se adquieren con facilidad. Asimismo, los dispositivos de control son de hardware libre y el entorno de programación utilizado es de software libre.

4.1.3 Factibilidad Económica

El desarrollo e implementación del prototipo del sistema de control de iluminación no genera grandes gastos y presenta factibilidad económica para el investigador.

4.1.4 Factibilidad Bibliográfica

Para el desarrollo del proyecto de investigación se cuenta con la información necesaria obtenida en libros, revistas técnicas y tesis de postgrado. Además, se tiene libre acceso al repositorio digital de la Universidad Técnica de Ambato donde se encuentra gran variedad de publicaciones e investigaciones científicas relacionadas al tema del proyecto.

4.2 Criterios de diseño y funcionamiento del prototipo

El diseño del prototipo para el control de la iluminación desde una plataforma CLOUD/GIS, se enfoca en la tecnología LED, debido a que se la considera como una alternativa para el ahorro energético. Las luminarias LEDs en comparación con las luminarias convencionales, incandescentes o fluorescentes tal como se ha explicado en el Capítulo II, presentan un mayor ahorro energético. Por tal motivo, en la implementación del prototipo se utiliza un reflector LED de alta potencia, de 24 W, el reflector tiene en su interior un driver que permite transformar los 110V AC de entrada a 36V DC de salida.

El prototipo permite controlar el consumo de energía de las luminarias en ambientes externos, obteniendo un significativo ahorro energético en comparación con las luminarias encendidas de manera constante durante toda la noche, aproximadamente 12 horas. Por tanto, el prototipo proporcionara un mayor control sobre la iluminación artificial de los sistemas de iluminación. El prototipo es controlado de forma inalámbrica con ayuda de un microcontrolador, desde una plataforma Cloud/GIS. El control se podrá realizar tanto de forma manual como automática y para el funcionamiento automático se utiliza un sensor detector de luz natural que determina el inicio del funcionamiento del sistema.

El control de la iluminación LED se obtiene por medio de un circuito regulador de corriente continua. El sistema de iluminación basa su funcionamiento en el control del porcentaje de luz a diferentes horas durante toda la noche por medio de un control PWM programado en el entorno de Arduino. La modulación por ancho de pulso regula la corriente del LED. Asimismo, se incluye un sensor de presencia que regula la intensidad luminosa a un porcentaje máximo, al detectar la presencia de personas.

El desarrollo y programación de la plataforma Cloud se realizó con ayuda de hardware/software libre. La programación de la interfaz web se basa en lenguaje PHP. La gestión del sistema de control de iluminación se realiza con

ayuda de un microcontrolador. El microcontrolador procesa esa información y permite actuar al sistema de control de iluminación. En la figura 4.2, se presenta el esquema general del funcionamiento del prototipo. El prototipo se implementó en las instalaciones de la Facultad de Sistemas Electrónica e Industrial, FISEI, y se alimenta desde un sistema solar fotovoltaico, obteniéndose un ahorro energético adicional. Asimismo, para realizar un análisis comparativo del ahorro energético, obtenido con la implementación del prototipo en luminarias LEDs, se diseñó e implementó un sistema de control adicional para luminarias incandescentes.

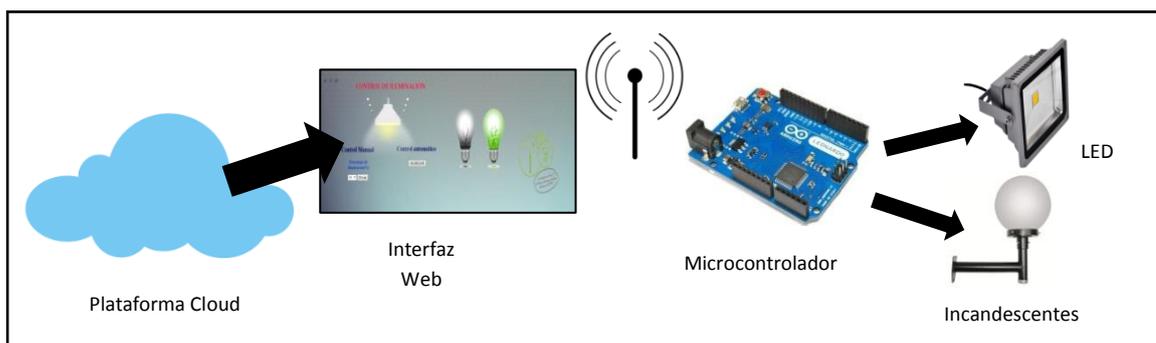


Figura 4.2. Esquema general del funcionamiento del prototipo [Autor].

En los siguientes párrafos se describirá en detalle el proceso de diseño, dimensionado, simulación e implementación práctica del prototipo de control de iluminación de luminarias, LEDs e incandescentes.

4.3 Diseño, dimensionado e implementación del sistema de control de iluminación

4.3.1 Sistema de control de luminarias LED

En los siguientes apartados se describirá el funcionamiento de un circuito regulador de corriente, los elementos seleccionados para el desarrollo del circuito, el diseño, la implementación y diferentes pruebas para validar su correcto funcionamiento

4.3.1.1 Circuito regulador de corriente

El prototipo de control de luminarias LEDs trabaja en corriente continua. El sistema de control requiere modular el valor de la corriente continua de entrada. Para este fin se utiliza un regular lineal de corriente o un convertidor DC-DC. Los convertidores DC-DC tienen un mayor rendimiento y un mejor control de la potencia, pero tienden a generar ruido. Asimismo, los convertidores DC-DC utilizan bobinas difíciles de conseguir por ello su implementación es más compleja. Además, presentan una vida útil menor en comparación a la vida útil de un LED, debido a los materiales que se utilizan. Por tanto, lo más recomendable es utilizar un regulador lineal de corriente. El esquema del regulador lineal utilizado se muestra en la figura 4.3, el cual requiere de un MOSFET, dos transistores NPN y un par de resistencias.

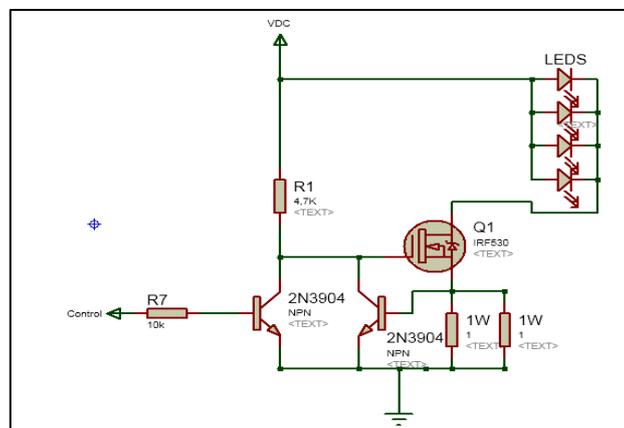


Figura 4.3: Esquema del regulador de corriente para leds [Autor basado en 44]

4.3.1.2 Selección de elementos del circuito regulador de corriente continua.

El regulador lineal de corriente continua mostrado en la figura 4.3, requiere de un MOSFET, dos transistores y resistencias. En los siguientes párrafos se detallan las características de los diferentes materiales electrónicos utilizados para la implementación del circuito.

- **MOSFET:** Es necesario utilizar un MOSFET de canal tipo N y no tipo P, debido a que cuando el circuito se enciende, la compuerta del MOSFET necesita de una tensión positiva que le permite conducir. En la tabla 4.1, se detallan diferentes MOSFET de tipo N.

Tabla 4.1: Características de diferentes MOSFET de tipo N [45,46,47]

Características	MOSFET TIPO N		
	IRF530	IRF3205	IRF640
V_{DSS}	110 V	55 V	200 V
I_D	14 A	110 A	18 A
P_D	88 W	200 W	125 W
V_{GS}	+20 V	+20 V	+20 V

De los tres tipos de MOSFET mostrados en la tabla 4.1, se seleccionó el MOSFET IRF530, debido a sus características técnicas de soportar un voltaje de fuente-drenador de 110V, una corriente de 14 A y una potencia de 88 W, ideales para el control del LED empleado que es de 24 W de potencia. Además, este tipo de MOSFET es muy comercial y se lo puede encontrar con mayor facilidad en el mercado.

- **Transistor:** El circuito requiere de un dispositivo semiconductor NPN que permita trabajar con valores de tensiones superiores a los 30V, con el objetivo de disminuir el voltaje aplicado en la compuerta del MOSFET y la corriente que atraviesa por el LED. A continuación se detallaran las características de diferentes transistores NPN y se seleccionará la mejor opción para obtener un correcto funcionamiento del circuito de control.

Tabla 4.2: Características de diferentes transistores NPN [48, 49, 50]

Características	Transistores		
	BC547	BC546	2N3904
V_{CEO}	45 V	65 V	40 V
I_C	100 mA	100 mA	200 mA
P_D	1,5 W	1,5 W	1,5 W

El LED utilizado trabaja a un voltaje DC de 36 V y el transistor a utilizarse debe ser capaz de soportar este nivel de voltaje, por tal motivo, se seleccionó el transistor 2N3904 por su capacidad de soportar valores de voltaje de hasta 40 V con una corriente de 200mA. Además, el transistor 2n3904 es más comercializado en comparación a los transistores BC547 y BC546.

- **Microcontrolador:** El entorno de programación necesita un dispositivo reprogramable de hardware y software libre. En la tabla 4.3, se detallan las principales características de diferentes dispositivos microcontroladores de código abierto que pueden ser utilizados en el desarrollo.

Tabla 4.3: Descripción de las características de diferentes plataformas con software libre [51, 52, 53].

Características	Microcontroladores		
	NETDUINO	Arduino UNO	Arduino Leonardo
Microcontrolador	STMicro STM32FX	ATmega328	ATmega32u4
Velocidad del reloj	8 MHz	16 MHz	16 MHz
Voltaje de operación	5V	5V	5V
Entradas analógicas	6	6	12
Entradas/salidas digitales	22	14	20
Salidas pwm	6	6	7

El microcontrolador utilizado es un Arduino Leonardo, el cual posee mejores características técnicas y mayores funcionalidades en comparación a un Arduino Uno y un Netduino. Además, el Arduino Leonardo permite una rápida integración de las estrategias de control en el sistema de iluminación, así como su mejor adaptación a la Shield Yun utilizada para la comunicación inalámbrica del sistema de control.

4.3.1.3 Diseño del circuito de control regulador de corriente continua.

El regulador lineal de corriente continua está compuesto por un MOSFET de potencia de canal N, el MOSFET IRF530 y un par de transistores conectados a la compuerta del MOSFET. Uno de los transistores conjuntamente con una resistencia de 10K actúan como un sensor de corriente para conectar la entrada del microcontrolador. De igual manera, se requiere de un conjunto de resistencias conectadas en paralelo. Las resistencias en paralelo se conectan en serie con el LED, regulando la caída de voltaje cuando el LED se enciende.

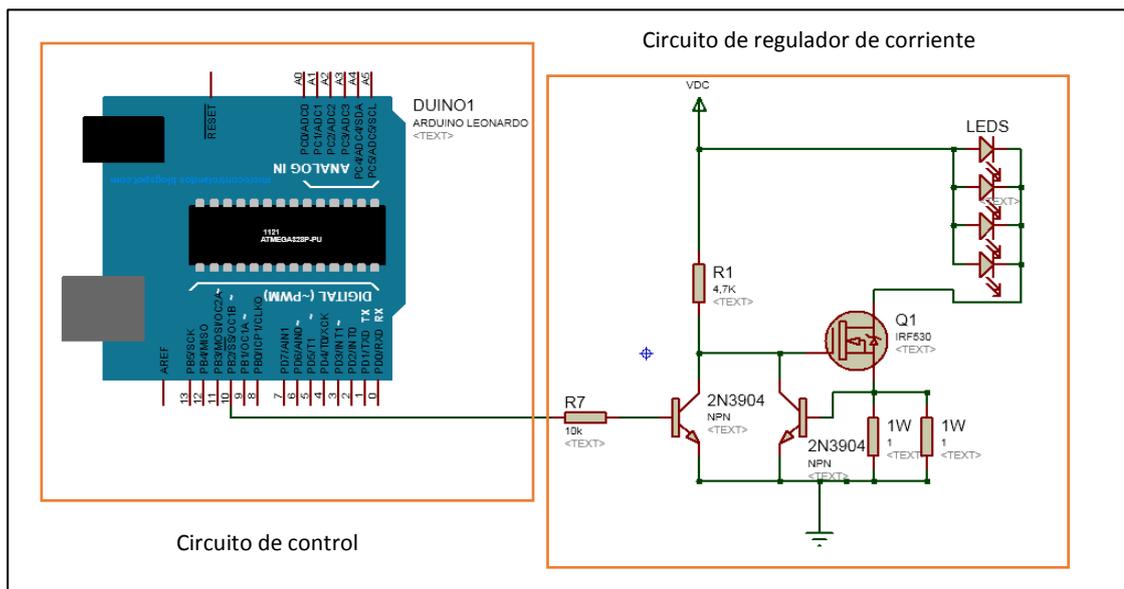


Figura 4.4: Circuito de control de corriente DC [Autor basado en 44].

En la figura 4.4, se observa el circuito controlador de tipo serial, que regula la corriente a través del MOSFET, del transistor y del conjunto de resistencias conectadas en paralelo. Al encender el circuito, el MOSFET conducirá en el momento de recibir una caída de voltaje positiva en la compuerta conectada a la resistencia de 4.7K. La conducción del MOSFET enciende los LEDs y produce una caída de voltaje en las resistencias, conectadas en paralelo. El aumento de la corriente genera un aumento en el voltaje, aplicada al conjunto de resistencias. Si se supera el voltaje de umbral del transistor, 0.6V, el transistor conduce y disminuye el voltaje aplicado en el MOSFET, generando

un corriente que circula por los leds. Por tanto, el valor de la corriente es proporcional al valor de las resistencias conectadas en paralelo.

Debido a que el valor de la corriente requerida no se obtuvo con una sola resistencia se utilizaron varias resistencias en paralelo. En el siguiente apartado, se describirá el proceso de dimensionado de las resistencias en paralelo anteriormente descritas.

4.3.1.4 Dimensionado de las resistencias en paralelo

Inicialmente, se determinó el valor de la corriente necesaria para q los LEDs funcionen de forma correcta. Es importante indicar que el LED de alta potencia utilizado está conformado por una matriz de 8 leds de 3,7V y 3W cada uno. Con ayuda de este dato se procede a realizar los cálculos. La corriente se obtiene con ayuda de la siguiente formula.

$$I = \frac{P}{V} \quad (1)$$

Donde **I**, es la corriente del led

P, es la potencia del led

V, es el voltaje del led

Datos del reflector:

$$P= 24W$$

$$V_{LED} = 29,6V$$

Reemplazando en la formula (1), se calcula el valor de intensidad

$$I = \frac{24W}{29,6V}$$

$$I = 0,81 A$$

A partir del valor de corriente se calcula el valor de la resistencia que permite regular dicha corriente. El valor de la resistencia se calcula con la ayuda de la siguiente formula:

$$R = \frac{0,625 V}{I} \quad (2)$$

Donde **R**, es el valor de la resistencia

0,625, es el valor de la tensión de umbral de conducción, este valor es constante, y fue obtenido del datasheet del transistor 2n3904.

I, es la corriente del led.

Reemplazando en la formula (2):

$$R = \frac{0.625 V}{0,81 A}$$

$$R = 0,77 \Omega$$

Para regular la corriente del LED se requiere una resistencia de $0,77 \Omega$. Puesto que no es posible obtener este valor con una sola resistencia, se utilizará un conjunto de resistencias conectadas en paralelo. La fórmula general es la siguiente:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \dots + \frac{1}{R}} \quad (3)$$

La fórmula se expande dependiendo del número de resistencias que se utilicen. Dos resistencias del mismo valor conectadas en paralelo dan como resultado la mitad de su valor. Para obtener el valor deseado se utilizan 2 resistencias de 1 ohm.

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R}}$$

$$R = \frac{1}{\frac{1}{1} + \frac{1}{1}} = \frac{1}{2} = 0,5 \Omega$$

El valor de resistencia requerido era de $0,7 \Omega$, pero no fue posible encontrar resistencias que dieran este valor. Por tanto, se optó por utilizar dos resistencias de 1Ω de $1 W$ de potencia, obteniendo un valor total de $0,5 \Omega$ para regular la corriente que circula por los LEDs. La potencia disipada por las resistencias se calcula mediante la fórmula:

$$P = V * I \quad (4)$$

$$P = 0.625 V * 0.81 A$$

$$P = 0.506 W$$

Las dos resistencias utilizadas son del mismo valor, por ende la disipación de potencia en cada una de ellas sería de la mitad de la potencia total, es decir, $0.25W$ en cada una. Por este motivo, usar resistencias de $1 W$ de potencia no genera ningún tipo de problema y se evita el sobre calentamiento de las mismas.

Finalmente, determinado el valor de la resistencia de reguladora de corriente se procede a la implementación del circuito.

4.3.1.5 Programación del microcontrolador

A la entrada del transistor 2N3904 se conecta un microcontrolador. La programación del microcontrolador se encarga de regular la intensidad luminosa de la luminaria, mediante el control PWM, modulación por ancho de pulso. En corriente continua, la señal de voltaje no varía, permanece constante en el tiempo. La señal de voltaje se divide en ciclos de trabajo y mediante un control PWM se modula el ancho del pulso de la señal.

En la figura 4.5, un periodo de tiempo determinado es representado por líneas en color verde, la duración del periodo de tiempo es inversa a la frecuencia PWM, que en el microcontrolador empleado es de $500Hz$, es decir, $2ms$.

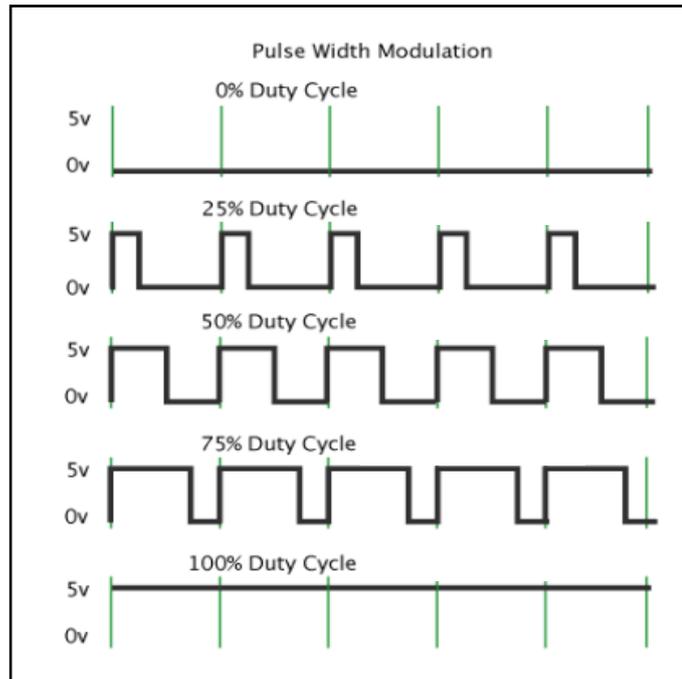


Figura 4.5. Ciclos de trabajo al modular el ancho del pulso de una señal [54].

Mediante la modulación por ancho de pulsos se puede obtener resultados analógicos con medios digitales. El control digital permite dividir la onda de voltaje en cuadrados, es decir, se crea una señal de conmutación entre encendido y apagado. En la programación del microcontrolador, las señales analógicas se representan en una escala de valores de 0 a 255. Es decir, a un valor de 0 se tiene un ciclo de trabajo del 100%, a 127 un ciclo de trabajo del 50% y a 255 un ciclo de trabajo del 0%.

En el microcontrolador, para establecer los porcentajes de iluminación del 10 al 100% en escalones de 10, se determinaron diferentes valores comprendidos entre 0 y 255, que permitan regular el nivel de la potencia entregada por el LED.

En las figura 4.6 se observa la simulación del circuito de control, en un ciclo de trabajo al 15%, 50% y 75%.

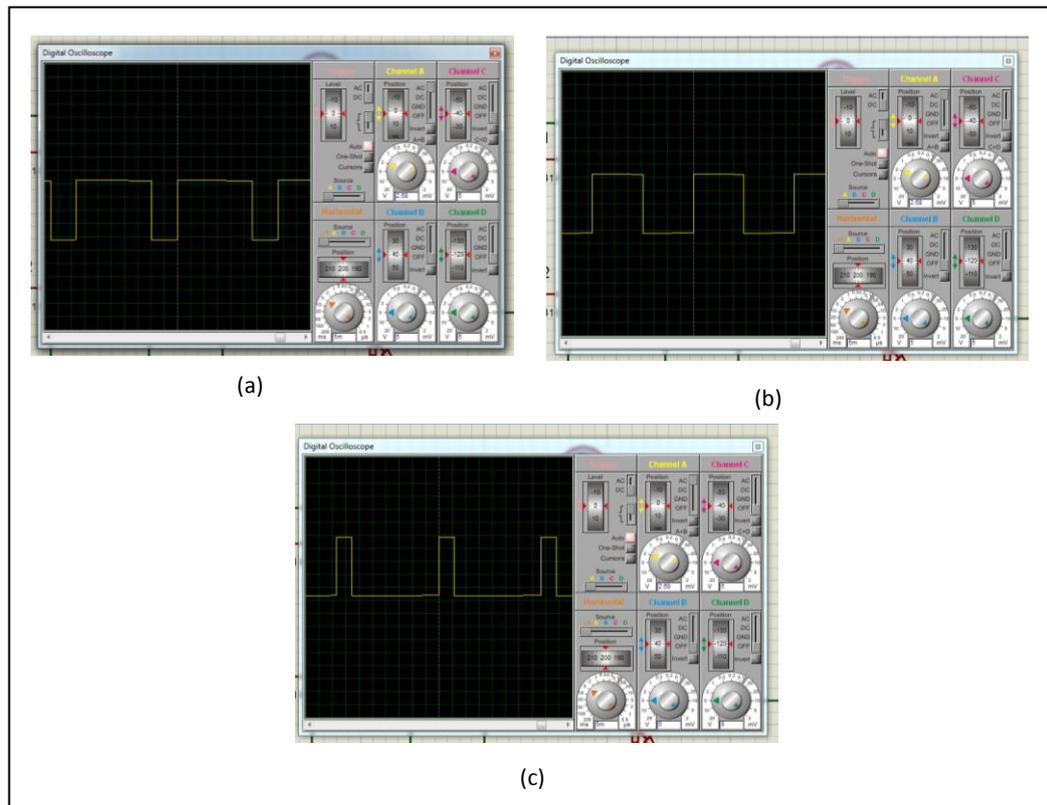


Figura 4.6: Simulación del circuito de control a diferentes ciclos de trabajo, (a) 75%, (b) 50%, (c) 15%. [Autor].

4.3.1.6 Implementación y pruebas circuito regulador de corriente

En este apartado, se describe la implementación práctica del prototipo y se realizan las pruebas de funcionamiento.

El LED utilizado es un LED FLOOD LIGHT OUTDOOR de 24W. En su interior tiene un LED DRIVER, que convierte la corriente alterna a corriente continua. El driver del LED se conecta a la placa del circuito de control que regula la intensidad luminosa del LED. La placa del circuito de control está formada por:

- Dos transistores 2N3904
- Dos resistencias de $1\ \Omega$
- Una resistencia de $4.7K\ \Omega$ y de $10K\ \Omega$
- Un MOSFET IR530
- Dos borneras para las salidas al microcontrolador y la entrada del LED
- Un dissipador de calor.

En la figura 4.7, se muestra implementado el circuito de control de la luminaria LED.

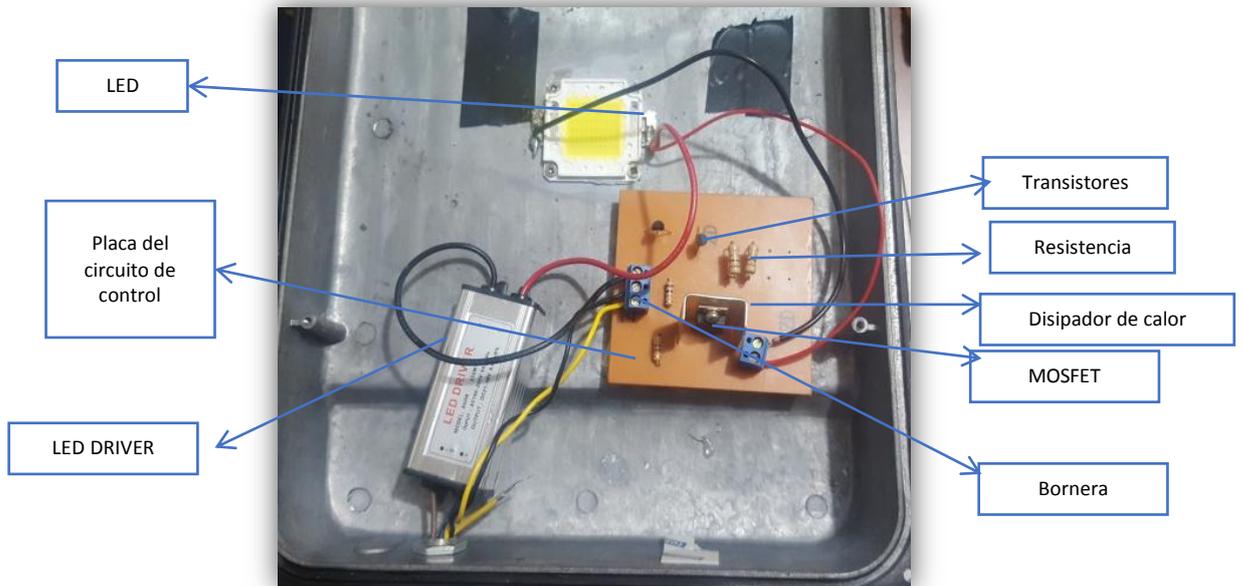


Figura 4.7: Circuito para controlar la intensidad luminosa conectado en el interior de la luminaria LED [Autor].

Se realizaron las correspondientes pruebas de funcionamiento. Las pruebas consistieron en encender la luminaria a diferentes porcentajes de iluminación. Asimismo, se midieron los valores de voltaje y corriente consumidos por la luminaria para el cálculo de valor de potencia. La tabla 4.4 muestra los valores de voltaje e intensidad que fueron medidos con ayuda de dos multímetros.

Tabla 4.4: Valores de potencia a diferentes porcentajes [Autor].

Porcentaje (%)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
0	0	0	0
10	5,5	0,397	2,18
20	8,3	0,497	4,13
30	11,4	0,567	6,46
40	13,8	0,596	8,22
50	16,8	0,625	10,50
60	18,9	0,643	12,15
70	26,1	0,601	15,69
80	27,7	0,603	16,70
90	30,4	0,606	18,42
100	33,6	0,609	20,46

Según datos del fabricante, la luminaria LED se alimenta a un voltaje nominal de 120 V AC y consume 0.2 A de corriente alterna, equivalente a un consumo de potencia igual a 24 W. En el lado de corriente continua, el voltaje de salida del driver oscila de 21 V a 36 V DC y consume una corriente de 0.6 A. Una vez implementado el circuito de control de iluminación, el voltaje máximo aplicado a la luminaria LED es de 33,6 V, correspondiente a una corriente de 0,6 A, obteniéndose un consumo de potencia máxima igual a 20,46 W, tabla 4.4. La pérdida de 3,54 W de potencia en el driver y en la placa del circuito de control de la luminaria LED se disipa en calor.

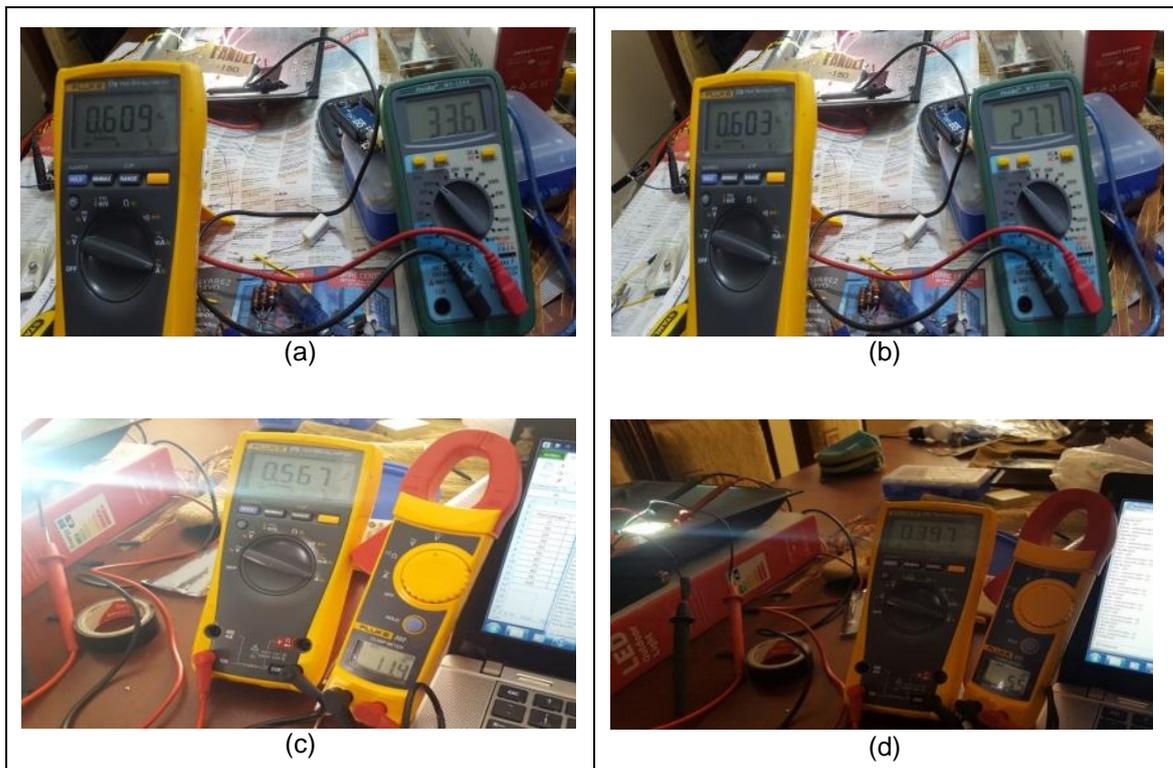


Figura 4.8. Valores de tensión y corriente (a) 100% de iluminación, (b) 80% de iluminación, (c) 30% de iluminación, (d) 10% de iluminación [Autor].

En la figura 4.8, se presenta un conjunto de fotografías relacionadas con las mediciones de voltaje y corriente realizadas para validar el funcionamiento del sistema de control implementado. Los valores de porcentajes han sido establecidos en rangos de 10%, si se desea, por ejemplo, obtener un 25% bastaría únicamente con hacer un pequeño cambio en la programación.

4.3.2 Sistema de control de luminarias incandescentes

En los siguientes apartados, se describirá el funcionamiento de un sistema de conversión AC/AC, las etapas de control para un circuito de fase directo, los elementos seleccionados para el desarrollo del circuito, el diseño, la implementación y las diferentes pruebas para validar su correcto funcionamiento

4.3.2.1 Sistema de conversión AC/AC

Un controlador de voltaje AC convierte el valor del voltaje eficaz fijo AC de entrada en un valor de voltaje eficaz variable AC de salida. Los controladores AC se clasifican dependiendo de la potencia a entregar, indicado en el Capítulo 2. Para el control de la luminosidad se desarrolló un controlador de fase directo.

El control de fase directo regula la potencia entregada al circuito controlando el ángulo de disparo de un TRIAC variando la señal que se entrega a la carga [55]. Cuando se modifica el valor eficaz del voltaje entregado a la carga, la potencia hacia la se controla variando el ángulo de disparo, α , del TRIAC entre 0 y 180° [42].

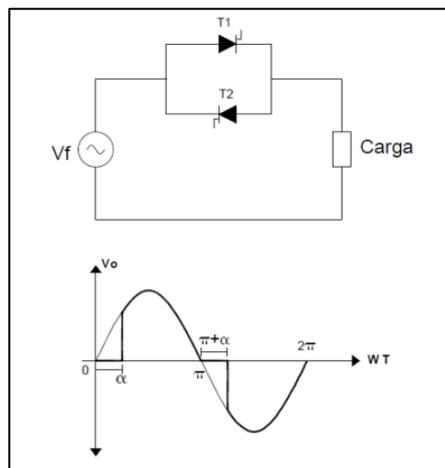


Figura 4.9: Circuito y forma de onda senoidal del control de fase directo [42].

En la figura 4.9, se observa como el TRIAC, T1, se activa después de un cierto retardo, en el semi-ciclo positivo y posteriormente en el semi-ciclo negativo. El retardo de la activación de T1, depende del ángulo de disparo, α .

El desarrollo del circuito de control de fase directo emplea diferentes etapas, las mismas que se muestran en la figura 4.10

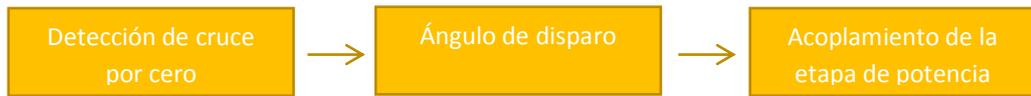


Figura 4.10: Etapas del control de fase directo [Autor].

4.3.2.2 Criterios de diseño del control de fase directo

El circuito de control de fase directo está compuesto por un circuito detector de paso por cero y para ello se requiere de un optoacoplador que permita determinar el momento en que la señal de entrada cruce por cero voltios. Además, se requiere de un circuito de potencia que permita realizar el control de la iluminación ajustando el ángulo de disparo del TRIAC por medio de un microcontrolador. Finalmente, se utiliza un aislamiento galvánico para aislar la parte de potencia de la parte de control. La figura 4.11, muestra el diseño del circuito de control de fase directo, compuesto por la fuente de poder, 110 V AC, el circuito de cruce por cero, el circuito de potencia, el circuito de control y el aislamiento galvánico.

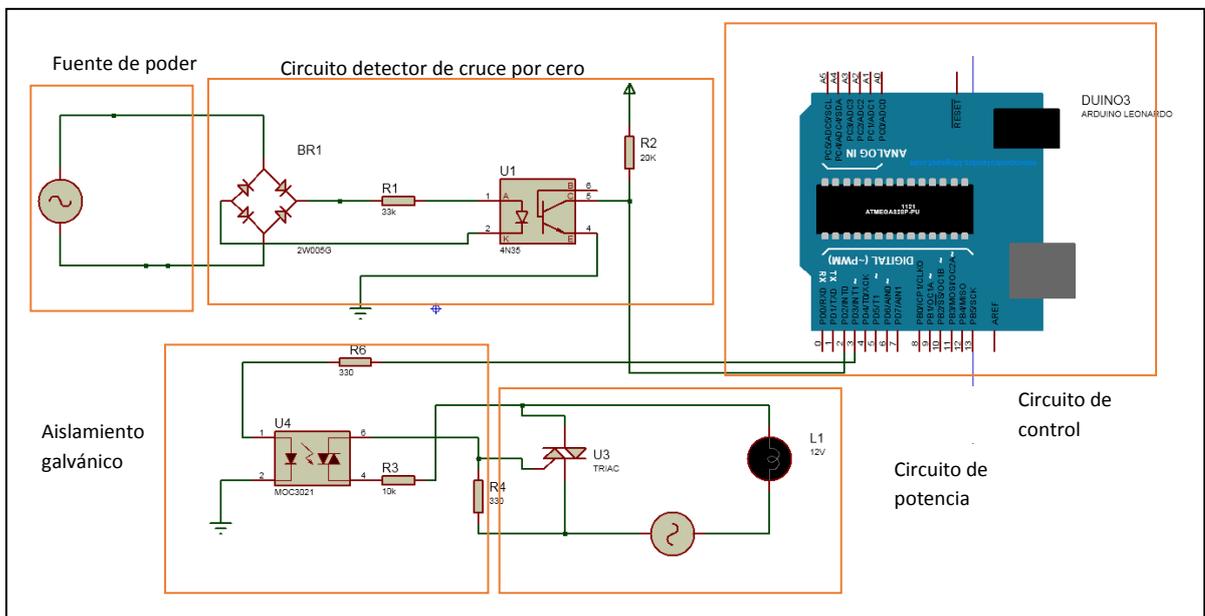


Figura 4.11. Diseño del circuito de control [Autor basado en 56, 57].

4.3.2.3 Selección de los elementos del sistema de conversión AC/AC

Inicialmente se selecciona el optoacoplador para detectar el paso por cero de señal controlada. Además, se usa un TRIAC para el circuito de potencia, con capacidad de soportar elevados valores de potencia y corriente. Asimismo, un microcontrolador reprogramable y un dispositivo para aislar de forma galvánica la parte de control de la parte de potencia del circuito. En los siguientes párrafos se describe a detalle los elementos del sistema de conversión AC/AC

- **Optoacoplador:** El sistema emplea un optoacoplador que detecta el paso por cero de la señal controlada. Los optoacopladores se diferencian por los diferentes dispositivos conectados a la salida del elemento, como BJT, TRIACs, transistores.

Los optoacopladores más conocidos y utilizados son los optotransistores de la familia de los 4Nxx, compuestos por un led infrarrojo y un transistor BJT. En la tabla 4.6, se muestran las características más importantes de los optotransistores

Tabla 4.5: Características de la familia 4Nxx de optoacopladores [58].

Características	Optoacopladores 4Nxx
I_F (Emisor)	100(no-M), 60(-M) mA
V_R (Emisor)	6V
P_D (LED)	150(no-M), 120(-M) W
V_{CEO}	30V
V_{CBO}	70V
V_{ECO}	7V

Los optoacopladores de la familia 4nxx presentan las mismas características y el mismo diagrama interno compuesto por un led infrarrojo y un transistor. El optoacoplador utilizado es un 4N25, uno de los optoacopladores más conocidos y fáciles de conseguir.

- **TRIAC:** El circuito necesita un dispositivo de potencia que regule el voltaje ajustando el ángulo de disparo por medio del microcontrolador. En la tabla 4.6, se detallan diferentes TRIAC's que pueden ser utilizados en la etapa de potencia.

Tabla 4.6. Características de diferentes TRIAC's [59, 60, 61]

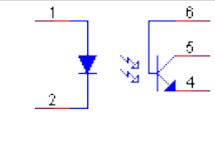
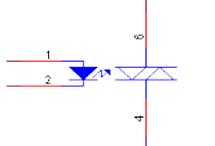
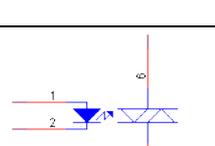
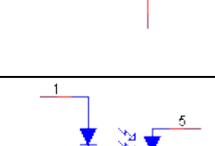
Características	TRIAC's		
	BT136	BT137	BTA16
V_{DRM}	800 V	800 V	800 V
I_{GT}	50 mA	50 mA	35 mA
$I_{T(RMS)}$	4 A	8 A	16 A

El criterio de selección de los TRIAC se basa en la necesidad de poder manejar elevados valores de potencia. Los TRIAC's mencionados en la tabla 4.6 manejan los mismos valores de voltaje pero con diferente corriente. Se seleccionó el TRIAC BTA16 por ser uno de los más conocidos, comercializados y utilizados en los circuitos de potencia, además que permite controlar altas potencias.

El aislamiento galvánico permite acoplar la etapa de potencia con la etapa de control. Habitualmente, es implementado por motivos de seguridad para proteger al microcontrolador de valores elevados de voltaje y corriente. El aislamiento galvánico puede emplear un transformador o un optoaislador. Para evitar el uso un transformador robusto de se optó por el uso de un optoaislador.

- **Optoaislador:** Existen diferentes tipos de optoaisladores, diferenciados por los dispositivos empleados a la salida del componente. Entre ellos destacan, existen fototransistores, fototriac, fototriac de paso por cero y optotiristores. En la tabla 4.7, se muestran los diferentes optoaisladores con su diagrama interno respectivo.

Tabla 4.7: Diferentes tipos de optoaisladores [62]

Optoaislador	Componente en la etapa de salida	Diagrama
Fototransistor	BJT	
Fototriac	Triac	
Fototriac de paso por cero	Triac de cruce por cero	
Optotiristores	Tiristor	

El optoaislador seleccionado es un fototriac MOC 3021, formado en su interior por un LED infrarrojo y un TRIAC. Durante las pruebas realizadas, el MOC 3021 permitió un mejor control de la señal de alterna al momento de variar el valor eficaz del voltaje.

Una vez seleccionados los elementos para el circuito de control, en el siguiente apartado, se explicará el funcionamiento del circuito detector de cruce por cero, el circuito de control y el circuito de potencia.

4.3.2.4 Circuito de detección de paso por cero

El tiempo de establecimiento del ángulo de disparo inicia al detectar el cruce de la señal de entrada por 0 V. Un circuito detector de cruce por cero permite determinar el momento exacto en que la señal de entrada pasa por cero voltios.

La figura 4.12, muestra el diseño del circuito detector de cruce por cero. Se utilizó el optoacoplador 4N25, compuesto en su interior por un LED infrarrojo y un transistor. El optoacoplador envía señales infrarrojas hacia el transistor. El LED interno infrarrojo del optoacoplador trabaja con corriente continua, por tanto, se utilizó un puente de diodos en conjunto con una resistencia de 33K conectado al ánodo del LED. Es decir, al pin 2 del optoacoplador. El cátodo del LED infrarrojo y el emisor del transistor se conectan a tierra cerrando el circuito. Finalmente, la señal detectora del cruce por cero se obtiene del colector del transistor, es decir, del pin 5 del optoacoplador, conectado a una resistencia de 20K y alimentado a 5V.

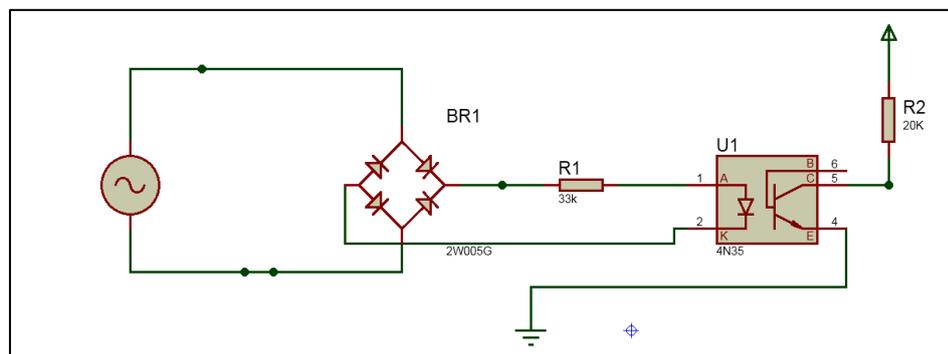


Figura 4.12: Diseño del circuito detector de cruce por cero [Autor basado en 56].

4.3.2.4.1 Cálculo de las resistencias utilizadas en el circuito detector de cruce por cero.

La caída de voltaje típica del LED del optoacoplador es de 1.15V con una corriente que varía de 10 mA y máximo 60 mA. Por tanto, para prolongar la vida útil del circuito se considera una corriente limitada de 4mA aplicada al LED. Para determinar el valor de resistencia conectada al LED, aplicar la ley de ohm.

$$R_1 = \frac{V}{I_{Led}} \quad (5)$$

Donde, R_1 , es el valor de la resistencia

V , es el voltaje de la fuente menos el voltaje del LED

I_{led} , es la corriente del LED

Reemplazando en la formula (5),

$$R_1 = \frac{(V_{fuente} - V_{Led})}{I_{Led}}$$
$$R_1 = \frac{(110 - 1.15)V}{4mA} = \frac{108,85V}{0,004A}$$
$$R_1 = 27,212.5\Omega = 28K\Omega$$

La resistencia necesaria tiene un valor de $28 K\Omega$, pero como no existe una resistencia de ese valor, se utiliza una resistencia de un valor aproximado: $33K\Omega$.

$$R_1 = 33K\Omega$$

La resistencia R2 conectada a la salida de la señal de cruce por cero permite minimizar el tiempo del corte del transistor. Mientras mayor sea el valor de la resistencia, menor será el ancho del pulso de la señal, pero con mayor inestabilidad. Por consiguiente, se utilizó una resistencia de un valor medio igual a $20K\Omega$. En la figura 4.13, se observa la simulación del circuito de cruce por cero, donde se muestra la forma de onda rectificadora y los pulsos generados en cada cruce de la señal por $0 V$.



Figura 4.13: Simulación de las formas de onda del circuito de paso por cero [Autor].

La señal de paso por cero entrega un pulso no mayor a 5V, óptima para u acoplamiento a cualquier microcontrolador. La señal es controlada por medio de la programación realizada en la plataforma Arduino, usando el comando attachInterrupt. La señal de paso por cero se conecta al pin 2 del microcontrolador. Cuando la interrupción se activa, se establece un método que controla el ángulo de disparo mediante la activación del transistor interno del optoacoplador. Cuando el triac se activa se debe esperar un cierto tiempo dependiendo del ángulo de disparo. Para determinar el tiempo que se debe esperar por cada grado se necesita determinar el periodo de la onda.

Una onda senoidal completa tiene 360° grados. 180° grados por cada ciclo de trabajo, positivo y negativo. El periodo de la onda se calcula aplicando la siguiente formula.

$$T = \frac{1}{f} \quad (6)$$

Donde, **T**, es el periodo de la onda

f, es la frecuencia de la señal, 60Hz

Reemplazando en la formula (6):

$$T = \frac{1}{60Hz} = 16,66ms$$

El disparo del corte de la señal se realiza en cada semiciclo, por tanto, el periodo de la señal se divide en dos, obteniendo:

$$T_s = \frac{T}{2}$$

$$T_s = \frac{16,66ms}{2}$$

$$T_s = 8,33ms$$

Entonces, a los 180° el tiempo de espera es de 8,33ms y aplicando una regla de 3, se obtiene que el tiempo de espera por cada grado es de: 46.29us.

$$180^\circ \rightarrow 8,33ms$$

$$1^\circ \rightarrow x(\text{tiempo por } c/\text{grado})$$

$$x = \frac{8.33ms}{180^\circ}$$

$$x = 46,29\mu s$$

4.3.2.5 Diseño del circuito de potencia y acoplamiento del circuito de control

El circuito de potencia utiliza el triac, BT136, para controlar la corriente alterna. El triac se dispara por un fototriac, MOC3021, permitiendo un mejor montaje y acoplamiento de la etapa de potencia y la etapa de control. El MOC3021 trabaja a corriente continua y con valores bajos de voltaje para proteger de manera exclusiva al microcontrolador en caso que existiera alguna anomalía eléctrica en el circuito de potencia. Así mismo, el fototriac acopla la señal proveniente del microcontrolador para activar el disparo del TRIAC. La figura 4.14, muestra el esquema del diseño y acoplamiento de la etapa de potencia y la etapa de control.

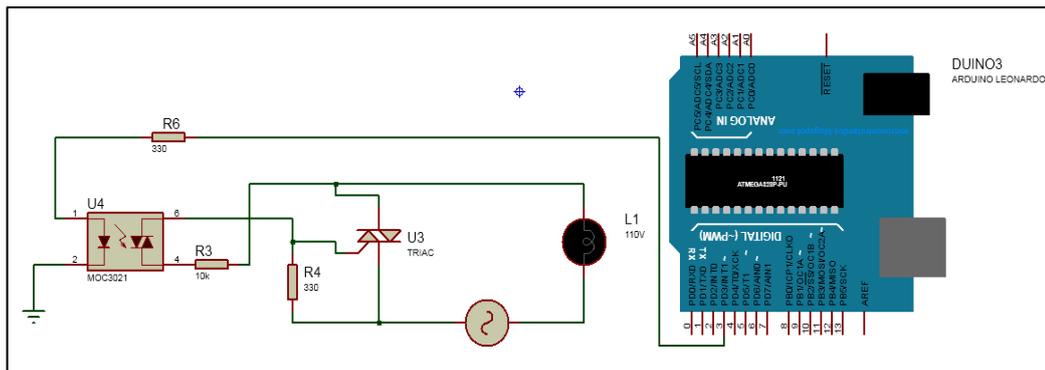


Figura 4.14. Acoplamiento de la etapa de potencia y control [Autor basado en 57].

4.3.2.6 Implementación y pruebas del circuito regulador de corriente

En este apartado se describe la implementación práctica del prototipo y se realizan las pruebas de funcionamiento.

El circuito de control fue implementado para el control de una bombilla incandescente de 100W de potencia. En la figura 4.15, se observa la placa del circuito conectado a la luminaria y al microcontrolador. La placa desarrollada está formada por:

- Un triac BT136
- Un MOC3021
- Un optoacoplador 4N25
- Un puente de diodos de 2A
- 6 resistencias de diferentes valores
- 4 borneras.

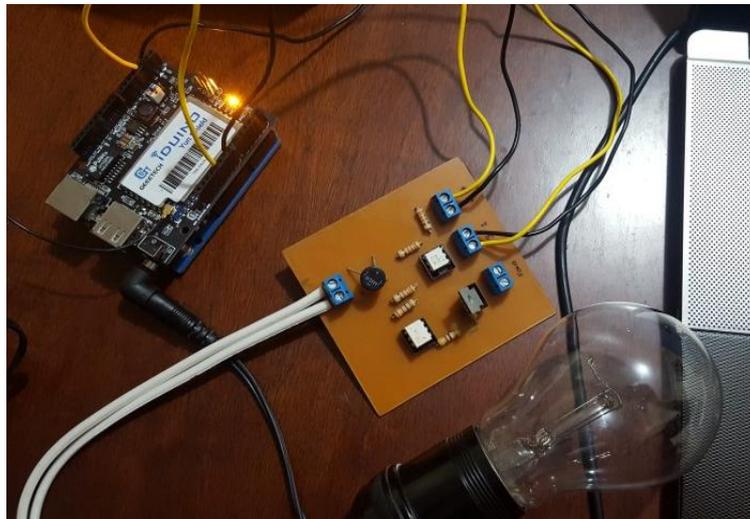
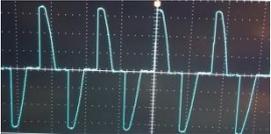
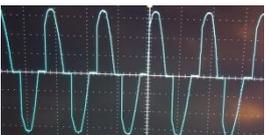
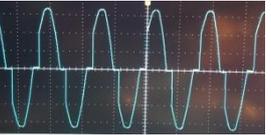
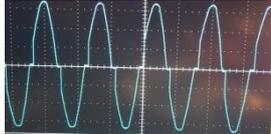
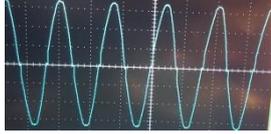


Figura 4.15: Circuito de control de iluminación conectado a una bombilla incandescente de 100W [Autor].

El control de la iluminación se realiza ajustando el disparo del TRIAC. En la programación del microcontrolador se establece el ángulo de disparo de 0° a 180° a una escala de valores de 0 a 128. En las pruebas de funcionamiento para observar el corte de la señal se realizaron en intervalos de 10 grados hasta un valor máximo de 120° . La tabla, muestra las formas de ondas de los respectivos ángulos de disparo dados, obtenidas con la ayuda de un osciloscopio.

Tabla 4.8: Señales de voltaje controladas por diferentes ángulos de disparo [Autor].

 <p>Ángulo de disparo de 120°</p>	 <p>Ángulo de disparo de 60°</p>
 <p>Ángulo de disparo de 110°</p>	 <p>Ángulo de disparo de 50°</p>
 <p>Ángulo de disparo de 100°</p>	 <p>Ángulo de disparo de 40°</p>
 <p>Ángulo de disparo de 90°</p>	 <p>Ángulo de disparo de 30°</p>
 <p>Ángulo de disparo de 80°</p>	 <p>Ángulo de disparo de 20°</p>
 <p>Ángulo de disparo de 70°</p>	 <p>Ángulo de disparo de 10°</p>

Se realizaron mediciones de los valores de voltaje e intensidad en una luminaria de 100W de potencia. En la tabla 4.9 se observa el ángulo de disparo equivalente a un determinado porcentaje de iluminación y los valores de voltaje e intensidad que fueron medidos, conjuntamente con el valor de potencia calculado.

Tabla 4.9: Valores de potencia a diferentes porcentajes [Autor].

Angulo de disparo	Porcentaje (%)	Voltaje(V)	Intensidad(A)	Potencia (W)
10°	100	119,7	0,82	98,15
30°	90	111	0,76	84,36
40°	80	101,9	0,71	72,349
45°	70	93,2	0,68	63,37
50°	60	90,5	0,65	58,83
57°	50	81,7	0,6	49,02
65°	40	70,7	0,54	38,18
70°	30	63,4	0,5	31,7
80°	20	48,2	0,41	19,76
90°	10	32,6	0,32	10,43
120°	0	2,4	0,07	0,16

La luminaria al trabajar en conjunto con el circuito de control y al estar encendida a un 100% de su máxima capacidad entrega 98,15 W de potencia, con una perdida únicamente de 1,85 W, asociados al calor disipado en la placa de control. En las siguiente figura 4.16, se observa las mediciones realizadas para el calculo respectivo de la potencia.

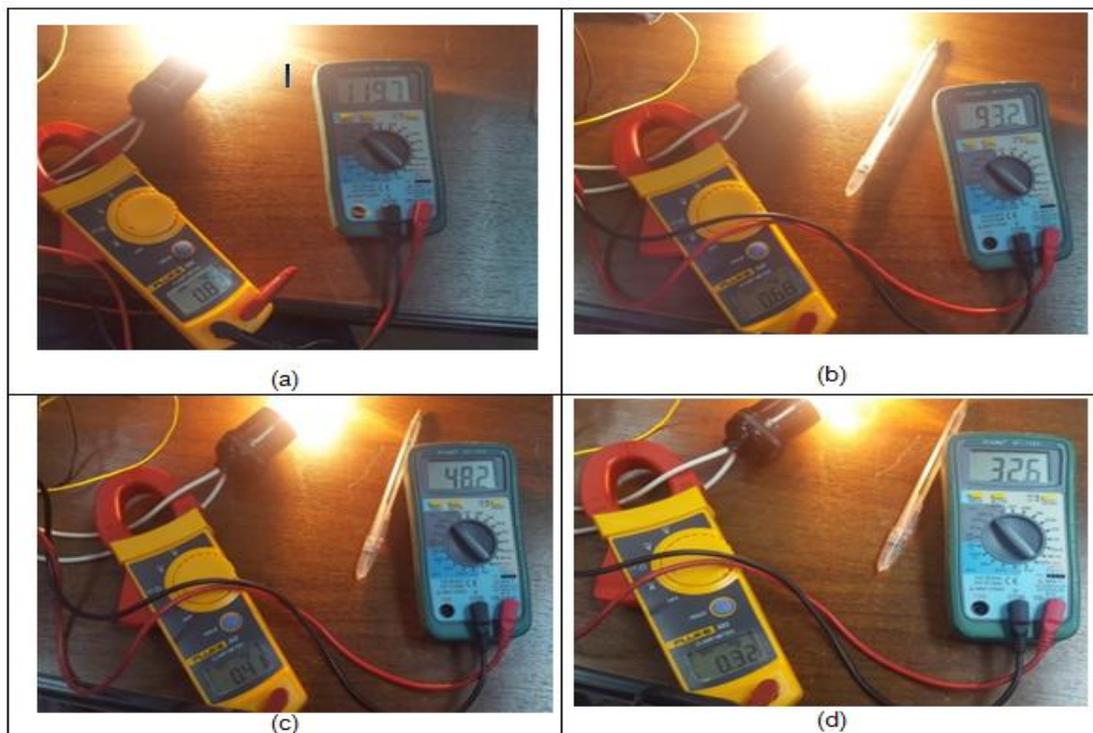


Figura 4.16: Valores de tensión y corriente (a) 100% de iluminación, (b) 80% de iluminación, (c) 30% de iluminación, (d) 10% de iluminación [Autor].

4.4 Sistema de comunicación inalámbrica

El prototipo de control de iluminación se integra en una plataforma Cloud/GIS, que permitirá controlar el nivel de iluminación de las luminarias desde el servidor web. El sistema de iluminación emplea un sensor de luz encargado de enviar una señal de aviso al sistema de iluminación para iniciar su funcionamiento. El sensor trabaja en tiempo real y envía los datos a la plataforma de control, almacenándolos en una base de datos previamente instalada. La señal se envía de forma inalámbrica al microprocesador, encargado de controlar el sistema de iluminación utilizando la tecnología Wi-Fi, que tiene un alcance de hasta unos 300 m y una mayor seguridad. Así, el microprocesador receipta la información proveniente del servidor web, la procesa y la ejecuta, permitiendo así, obtener el control de iluminación deseado.

A continuación, la figura 4.17 muestra un esquema de la adquisición de datos de forma inalámbrica.



Figura 4.17: Sistema de adquisición de datos [Autor].

4.4.1 Dimensionado del sistema de comunicación inalámbrica

El microcontrolador empleado en la comunicación inalámbrica es un Arduino Leonardo. Para controlar los niveles de iluminación desde el servidor web, el microcontrolador debe conectarse a la red inalámbrica y requiere de un dispositivo electrónico que permita adaptar la tarjeta Arduino a la red local.

Existen diferentes dispositivos que permiten adaptar el microcontrolador Arduino Leonardo a la red local, a continuación se detallan las características y funcionalidades de algunos de ellos.

- **Arduino Shield Ethernet:** La tarjeta Ethernet Shield mostrada en la figura 4.18, permite conectar el Arduino a una red de área local utilizando la librería Ethernet, por medio de un cable RJ45 conectado de forma directa a un router. Es adaptable y compatible con Arduino Uno y Mega [63].

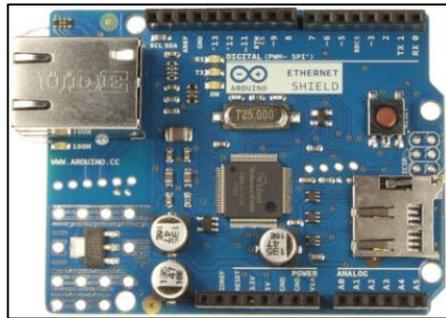


Figura 4.18: Shield Ethernet de Arduino [63].

- **Arduino Shield Wi-fi:** El Arduino Shield Wi-fi es una placa similar a una Ethernet Shield, adapta y conecta la tarjeta Arduino a la red inalámbrica por medio de la especificación 802.11 (Wi-fi). Una Shield Wi-fi no necesita conexión con cables, su configuración y programación se realiza en un entorno similar a Arduino. La figura 4.19 muestra una tarjeta Shield Wi-fi de Arduino [64].

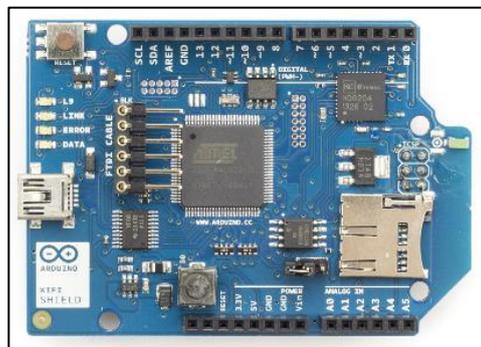


Figura 4.19: Shield Wi-fi de Arduino [64]

- **Arduino Shield Yun:** La tarjeta Arduino Shield Yun es parecida a una Shield Ethernet y una Shield Wifi, pero con mayor potencia, debido a su sistema basado en Linux. Esta tarjeta permite conectar el Arduino a la red inalámbrica, tanto de forma alámbrica, conectada a

un router, o de forma inalámbrica. El Arduino Shield Yun es adaptable y compatible con las tarjetas Arduino UNO, Mega y de preferencia Leonardo. En la figura 4.20 se puede observar la tarjeta Arduino Shield Yun [65].

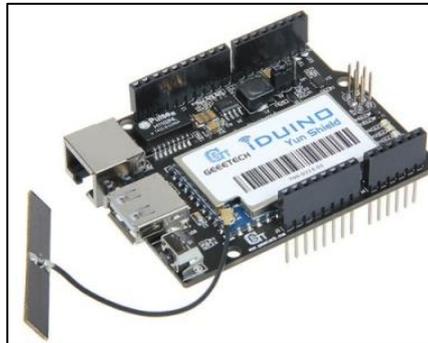


Figura 4.20: Shield Yun de Arduino [65]

Analizadas las diferentes tarjetas que conectan el Arduino a la red LAN, se considera utilizar una Shield Yun. La Shield Yun facilita la conectividad del microcontrolador a la red inalámbrica. Su conectividad se realiza mediante el uso de un cable RJ45 conectado a un router o vía Wireless. De preferencia, para mayor factibilidad, se configura la Shield Yun mediante su interfaz Wi-fi para usarle vía Wireless. La configuración es muy sencilla y se encuentra fácilmente en las páginas de Arduino Yun.

4.5 Programación del control manual/automático del sistema de iluminación y diseño de la interfaz web

La programación del control manual/automático del sistema de iluminación y diseño de la interfaz web, se realizó en un servidor apache con sistema operativo Centos 7 alojado en la Plataforma OpenStack de la FISEI mediante programación en lenguaje PHP. Para el diseño de la interfaz web del sistema de control, primeramente, se crea un archivo php dentro del servidor. El acceso al servidor se realiza a través de un cliente SSH con ayuda de un emulador llamado PuTTY, ingresando la dirección IP del servidor sobre el cual se trabaja,

el usuario y la contraseña para el acceso. En la figura 4.21, se observa la interfaz del emulador PuTTY

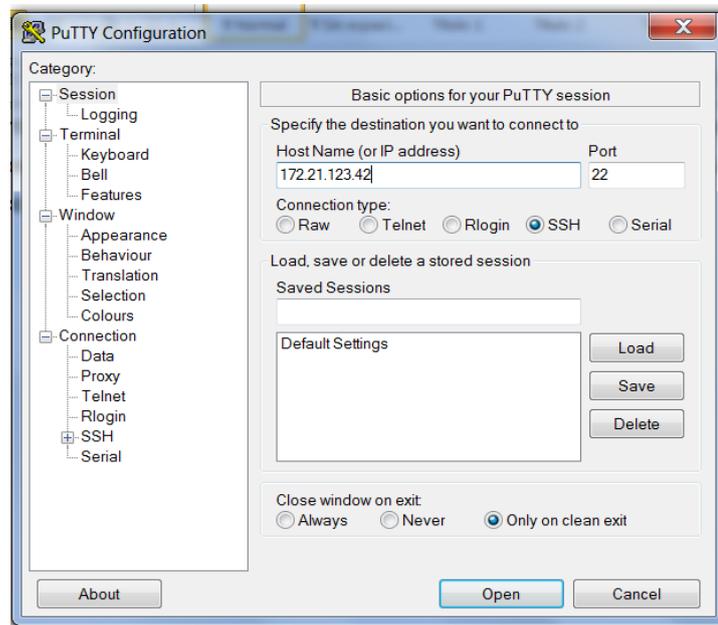


Figura 4.21: Interfaz emulador PuTTY

El diseño de la interfaz web desarrollada permite el control de la iluminación de forma manual o automática. Los datos enviados hacia el microcontrolador, encargado de regular la intensidad luminosa de la luminaria, son enviados desde la interfaz web a una base de datos, previamente instalada en el servidor. En la figura 4.22 se puede observar el diseño de la interfaz de control de iluminación.



Figura 4.22: Diseño de la interfaz web para el control de la iluminación. [Autor].

En los siguientes apartados, se detallan el funcionamiento del control manual y el control, automático de la intensidad luminosa.

4.5.1 Programación del control manual del sistema de iluminación.

El control de la intensidad luminosa se realiza desde de la interfaz web. Inicialmente se procede a la instalación de una base de datos en el servidor, permitiendo registrar el dato, en este caso, el valor del porcentaje de iluminación enviado desde la página web hacia el microcontrolador y posteriormente a la luminaria.

El control manual permite elegir el porcentaje de iluminación deseado para la luminaria, asimismo, apagarla y/o encenderla. La figura 4.23 muestra la interfaz para el control manual del porcentaje de iluminación.



Figura 4.23: Interfaz control manual de iluminación [Autor].

El dato enviado desde la interfaz web se registra en una base de datos instalada en el servidor. Se instaló la base de datos MySQL. En la base de datos se crea una tabla, que especifica la posición y el valor del dato enviado. En la figura 4.24, se observa la tabla creada con el nombre "pwm", donde se almacena el dato de envío.



Figura 4.24: Tabla de almacenamiento creada en la base de datos [Autor].

El valor enviado desde la página principal se almacena en la posición 1 de la tabla y se actualiza cada vez que se envía un nuevo valor. El código utilizado para el envío de datos, se muestra a continuación.

```
$conectar=mysqli_connect("localhost","root","pasaportemaria","katy") or die("NO SE ESTA CONECTANDO"); //conectarse a la base de datos
```

```
$variable=$_GET['pwm'];
```

```
mysqli_query($conectar, "UPDATE pwm SET pos = 1,valor=".$variable." WHERE pos = 1"); //actualizar el valor en la posición 1 de la tabla con el nuevo valor enviado desde la página.
```

El valor almacenado en la base de datos se envía a otro archivo .php, para ser leído. A continuación, en las siguientes líneas de código, se explica el proceso realizado para la adquisición de datos almacenados en la base.

```
<?php
```

```
$conect=mysqli_connect("localhost","root","pasaportemaria");
```

```
mysqli_select_db("katy", $conect); //conectarse con la base de datos
```

```
$resultado=mysqli_query("SELECT valor FROM pwm WHERE pos=1",
```

```
$conect); //seleccionar el valor que se encuentra en la posición 1 de la table
```

```
if (!$resultado){ die ('No se pudo consultar:' . mysql_error()); } //si falla la  
adquisición imprimir 'No se pudo consultar'  
echo mysql_result($resultado, 0); ?> //mostrar el valor
```

Finalmente, en la programación del arduino, el comando `client.get()` se encarga de leer el dato enviado desde la interfaz web para ordenarle a la luminaria encenderse al porcentaje de iluminación dado. En el anexo A se presenta el código completo del arduino.

4.5.2 Programación del control automático del sistema de iluminación

El control automático de iluminación regula la intensidad luminosa de la luminaria de forma automática, durante la noche. Asimismo, el inicio del funcionamiento del sistema de iluminación se establece de forma automática cuando el sensor de luz detecta un valor reducido de luz natural en el ambiente.

El prototipo se alimenta por medio de un sistema solar fotovoltaico e instalado dentro de las instalaciones de la FISEI por mayor comodidad al momento de realizar las conexiones. En un futuro se considera instalar el prototipo en las afueras de la FISEI, por tal motivo, se realizó un conteo de la afluencia de personas que transitan en horas de la noche, en el exterior de la FISEI. El análisis del conteo de la afluencia de personas permite determinar los porcentajes de iluminación adecuados durante la noche, iniciando la iluminación exterior aproximadamente a las 18h00.

La Universidad Técnica de Ambato permanece abierta de lunes a domingo hasta las 22h00. La FISEI labora normalmente de lunes a viernes hasta las 20h00 y los sábados y domingos hasta las 17h00. Los fines de semana, la afluencia de personas que transitan por fuera de la FISEI es mucho menor en horas de la noche, desde las 18h00 hasta las 22h00, siendo las 22h00 la hora de cierre de la UTA. Por tal motivo, el control automático de iluminación regula el nivel de iluminación de la luminaria de dos maneras diferentes: mediante un control de la iluminación para los días de mayor afluencia de personas, de

lunes a viernes, y un control de iluminación los días de menor afluencia de personas, sábados y domingos, figura 4.25.

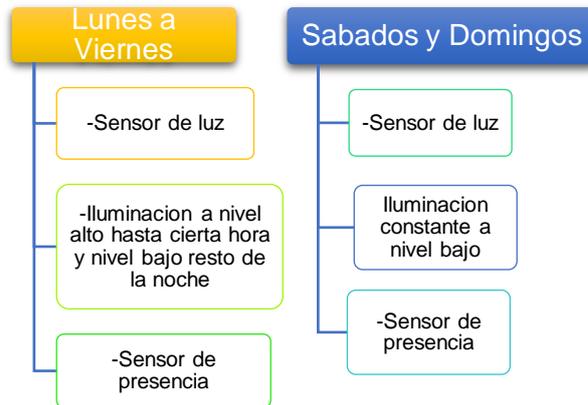


Figura 4.25: Funcionamiento de control de iluminación de lunes a viernes y fines de semana [Autor].

En la figura 4.25, se observa que de lunes a viernes el control de iluminación se implementa por medio de la intervención de un sensor de luz, un sensor de presencia y el control de iluminación a un máximo nivel de iluminación, hasta una hora determinada y posteriormente un mínimo nivel de iluminación. En cambio, el control de iluminación, los días sábados y domingos, mantiene el porcentaje de luz constante a un mínimo nivel de iluminación. El sistema de iluminación, sábados y domingos, dependerá básicamente del funcionamiento de los dos sensores, el sensor de luz y el sensor de presencia que permite incrementar el nivel de luz cuando detecte la presencia de alguna persona.

A continuación, las figuras 4.26 y 4.27 muestran un ejemplo de cómo funcionará el control de iluminación en los dos casos: máximo nivel de iluminación y mínimo nivel de iluminación, de lunes a viernes y sábados y domingos.

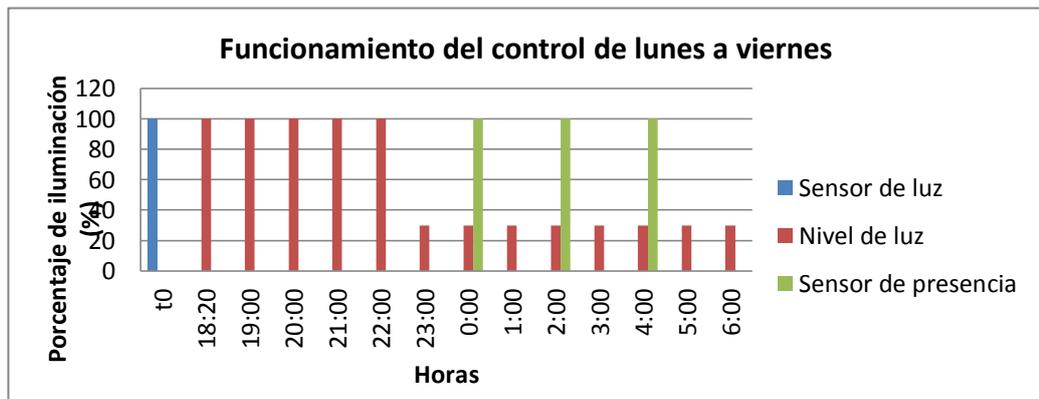


Figura 4.26: Control de iluminación de lunes a viernes [Autor].



Figura 4.27: Control de iluminación sábados y domingos [Autor].

4.5.2.1 Parámetros de funcionamiento del control automático de iluminación

Para la programación del control automático de iluminación, inicialmente, se debe conocer el tiempo inicial, t_0 , indicado en las figuras 4.26 y 4.27. El tiempo inicial determina el momento en que el control automático de iluminación empieza su funcionamiento, aproximadamente de 18h00 a 18h20. El sensor utilizado es una fotorresistencia, su modelo se muestra en la figura 4.28.



Figura 4.28: Modelo de una fotorresistencia [66]

La fotorresistencia, también conocida como LDR, es un componente electrónico que permite censar la luz. El valor de la fotorresistencia es menor cuando existe menor cantidad de luz incidente sobre ella.

De acuerdo al Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, los sistemas del alumbrado público inician su funcionamiento en la hora pico de la demanda de energía, aproximadamente a las 18h00 [67], presentando una variación que oscila entre las 18h00 y 18h20 de la tarde. Una de las causas probables de la variación en el inicio del funcionamiento son las condiciones meteorológicas.

El intervalo de tiempo que divide al día de la noche, cuando el sol se encuentra por debajo del horizonte pero aún existe presencia de luz natural para alumbrar el ambiente, se conoce como crepúsculo. Los astrónomos distinguen tres fases de un crepúsculo, considerando el crepúsculo civil como el más brillante de las tres fases [68]. La tabla 4.10, muestra los niveles de iluminación en la superficie horizontal de la tierra debido al sol, expresada en luxes, lúmenes sobre metro cuadrado.

Tabla 4.10: Niveles de iluminación en la superficie de la tierra [69].

True Altitude Angle of Center of Sun degrees	Illuminance On Horizontal Surface E lux (or lm m ⁻²)	Remarks
-18	6.51x10 ⁻⁴	Lower limit of astronomical twilight
-12	8.31x10 ⁻²	Lower limit of nautical twilight
-6	3.40	Lower limit of civil twilight
-5	10.8	
-0.8	453	Sunrise or sunset
0	732	
5	1.09x10 ⁴	
10	1.86x10 ⁴	
15	2.73x10 ⁴	
20	3.67x10 ⁴	
30	4.70x10 ⁴	
40	5.70x10 ⁴	
45	6.67x10 ⁴	
50	7.59x10 ⁴	
55	8.50x10 ⁴	Total change 2.64 magnitudes
60	9.40x10 ⁴	
65	10.2x10 ⁴	
70	10.8x10 ⁴	
75	11.3x10 ⁴	
80	11.7x10 ⁴	
85	12.0x10 ⁴	
90	12.2x10 ⁴	

De acuerdo a la tabla 4.10, el límite inferior del crepúsculo civil es de 3,4 luxes. Durante el crepúsculo civil, aproximadamente media hora después de la puesta del sol, la iluminación del suelo en buenas condiciones disminuye más o menos de 330 a 3,4 luxes. Asimismo, en [70] se propone el concepto de visibilidad a valores por encima del crepúsculo, es decir sobre los 3,2 luxes, valor límite de iluminación del crepúsculo civil. Por este motivo, se considera que la iluminación artificial debería empezar a funcionar cuando el valor de iluminación natural este por encima de 3,2 luxes y no por debajo de ese valor.

Para establecer el valor de la fotorresistencia a la que se debe activar el t0, es decir, el valor inicial del control de iluminación, se realizaron mediciones de los niveles de iluminación natural en un periodo de tiempo desde las 18h00 hasta las 18h30. Se utilizó un instrumento de medición denominado luxómetro que permite medir la iluminación real de un ambiente en luxes. En la tabla 4.11, se muestran los valores de iluminación medidos en el periodo de tiempo estimado de 18h00 a 18h30 y los valores entregados por la fotorresistencia a ese valor de iluminación. Las muestras han sido tomadas en tres días diferentes, con el objetivo de determinar un valor específico de fotorresistencia cuando se tenga un valor por encima de 3,2 luxes.

Tabla 4.11: Valores de iluminación y del sensor de luz [Autor].

Hora (pm)	Día 1		Día 2		Día 3	
	Iluminancia (lux)	Valor LDR	Iluminancia (lux)	Valor LDR	Iluminancia (lux)	Valor LDR
18:00	789	738	489	771	801	817
18:01	756	742	435	756	676	795
18:02	689	721	398	744	597	779
18:03	602	700	351	727	543	774
18:04	578	689	312	712	484	766
18:05	513	670	282	700	422	747
18:06	498	665	266	692	353	728
18:07	438	643	258	691	300,4	706
18:08	415	629	250	690	259,2	677
18:09	343	615	227	684	223,6	650
18:10	273	601	211	677	191,2	628
18:11	247	590	185	664	163	608
18:12	176	587	163	650	138	587
18:13	141	572	141	635	116,8	566

18:14	126	564	119	618	103,5	552
18:15	91	556	87,3	573	87,6	540
18:16	70	484	76	562	74	513
18:17	55	470	63,7	543	62,5	492
18:18	39	465	51,6	474	50,6	463
18:19	34	435	40,3	460	40,4	432
18:20	26	431	27,9	417	32	402
18:21	21,4	428	22,8	384	25	368
18:22	20	386	14,7	314	20,3	339
18:23	18,4	354	12,6	289	16,8	304
18:24	17,2	321	10,5	264	13,1	275
18:25	12,8	267	7,8	228	10,1	240
18:26	10,1	233	6	196	7,3	201
18:27	7,4	203	4,5	167	5,7	173
18:28	5,3	165	3,2	137	4,5	150
18:29	4	139	2,2	105	3,5	128
18:30	3	114	1,5	83	2,9	110

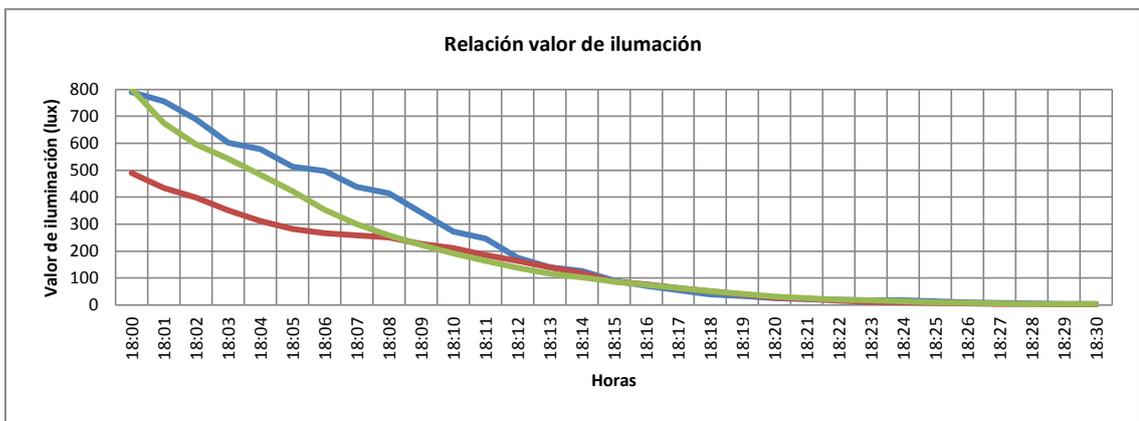


Figura 4.29: Evaluación de datos de luminosidad obtenidos desde las 18h00 a 18h30 [Autor].

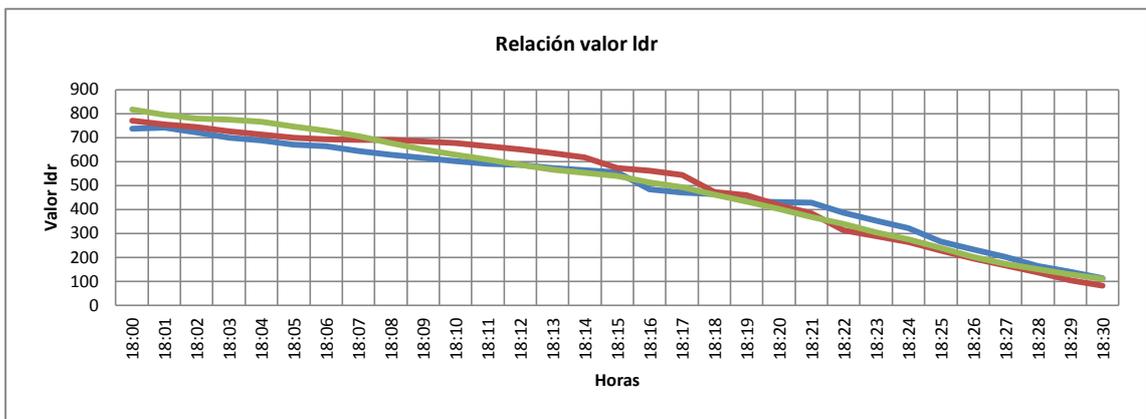


Figura 4.30: Evaluación de los valores obtenidos por el sensor de luz desde las 18h00 a 18h30 [Autor].

El objetivo de obtener muestras de iluminación es encontrar un valor de referencia, entregado por el sensor de luz, que permita establecer el tiempo de inicio del funcionamiento del sistema de iluminación. A menor cantidad de luz natural menor es el valor enviado por la fotorresistencia. En la figura 4.29 y 4.30, se observa que alrededor de las 18h15, los valores de iluminación y los valores del sensor de luz presentan similitudes alrededor de los 90 luxes y a un valor del sensor igual o por debajo de 500 ohmios. La figura 4.31, muestra el diagrama de flujos empleado para el inicio del funcionamiento del sistema de iluminación.

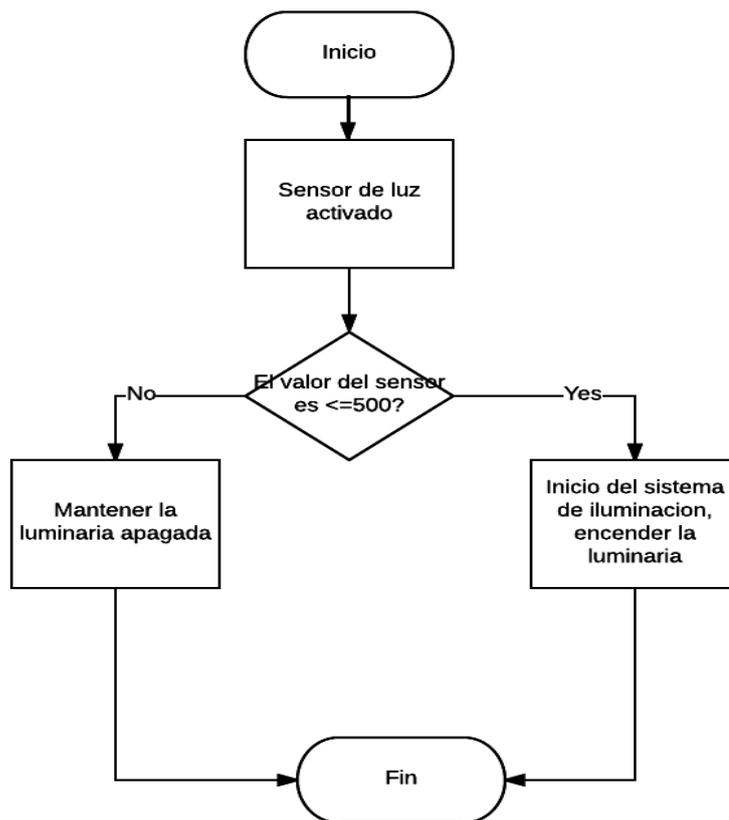


Figura 4.31: Diagrama de flujo del inicio del funcionamiento del sistema de iluminación
[Autor]

El valor del sensor de luz permite condicionar el tiempo de inicio, t_0 , para el control de iluminación durante la noche. Todos los valores adquiridos por la fotorresistencia en tiempo real se envían a la base de datos, creada en el

servidor. Mediante la programación php se establece una condición: cuando el valor en la base de datos del sensor de luz sea igual o menor 500, se iniciará el control de iluminación a un porcentaje específico, figura 4.31.

Asimismo, se ha implementado un sensor de presencia, debido a que el sistema mantiene de forma constante un nivel bajo de luz a partir de las 22h00, hora de cierre de la Universidad. Entonces, el sensor permite incrementar el porcentaje de luz en caso que exista la presencia de alguna persona en horas de la noche o por la madrugada. El sensor de presencia utilizado es un sensor PIR o conocido también como un sensor infrarrojo pasivo. Estos sensores se activan cuando detectan señales infrarrojas que son emitidas por el calor del cuerpo humano. Se considera un sensor pasivo porque solo recibe señales al momento de detectar cambios entre el calor que emite el cuerpo humano y el ambiente a su alrededor [71].

En la figura 4.32, se muestran las dimensiones del sensor. Este es un sensor de bajo costo y con un tamaño apropiado para ser implementado en el proyecto.

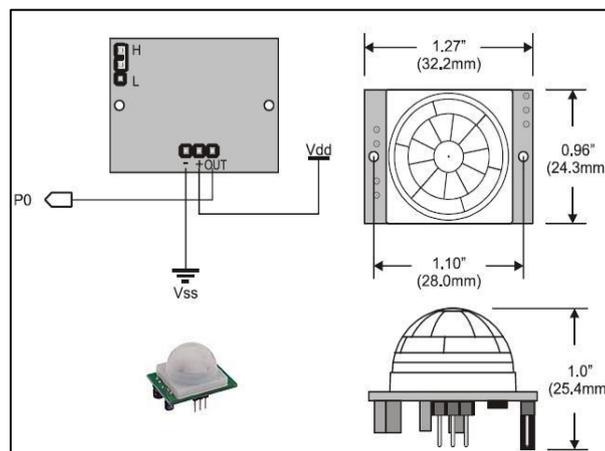


Figura 4.32: Sensor PIR y dimensionado [71]

La tabla 4.12, se mencionan las características principales del sensor PIR.

Tabla 4.12: Características generales del sensor PIR [71]

Características	
Rango de detección	3 m – 7 m
Lente de fresnel	19 zonas, ángulo <100°
Voltaje de salida activa alta	3.3 V
Tiempo en estado activo de la salida	Configurable mediante trimmer
Redisparo	Configurable mediante jumper
Consumo de corriente en reposo	< 50 uA
Voltaje de alimentación	4.5 VDC a 20 VDC

El sensor PIR cuando detecta algún movimiento únicamente cambia el nivel lógico de un pin, por lo cual su utilización es sencilla y no requiere de cálculos de distancias, únicamente de la calibración del sensor. El sensor cuenta con dos resistencias variables de calibración CH1 y RL2 [71].

- La resistencia CH1 permite establecer el tiempo durante el cual se mantendrá activa la salida del sensor, este tiempo es de aproximadamente 3 segundos.
- La resistencia RL2 permite calibrar la distancia de detección del sensor, de 3 a 7 metros aproximadamente.

El sensor PIR, se encuentra ubicado en la parte inferior del reflector LED y fue calibrada la resistencia RL2 para que la distancia máxima de detección sea de 7 metros. Cuando el sensor detecta cambios en el ambiente, el incremento de luminosidad de la luminaria es a un 100%.

En este sentido, se procedió a realizar un muestreo de un número estimado de personas que transitan por fuera de las instalaciones de la FISEI de 18h00 a 22h00. Las muestras se obtuvieron en un periodo de tiempo de 10 minutos antes y después de cada hora, teniendo en cuenta que durante ese transcurso de tiempo existe mayor tránsito de personas. En la tabla 4.13, se observan los resultados obtenidos.

Tabla 4.13: Datos obtenidos de la afluencia de personas que transitan por fuera de la FISEI, durante la noche [Autor].

Tiempo	Personas
17:50 - 18:10	~ 98
18:10 – 18:50	~ 148
18:50 – 19:10	~ 592
19:10 – 19:50	~ 148
19:50 – 20:10	~ 113
20:10 – 20:50	~ 125
20:50 – 21:10	~ 430
21:10 – 21:50	~ 24
21:50 – 22:00	~ 8
22:00 – 6:00	~ 8

En la tabla 4.13, se observa que a partir de las 17h50 hasta las 18h10, la afluencia de personas es moderado, unas 98 personas aproximadamente. En el lapso de tiempo entre las 18h10 y las 18h50 se tiene un flujo estimado de tránsito de 148 personas. A partir de las 18h50, en un periodo de 20 minutos hasta las 19h10, se presenta un incremento significativo de la afluencia de personas, alrededor de 592 personas transitan por fuera de la FISEI. Esto se debe a que los estudiantes ingresan y salen de clases de inglés del edificio continuo. A partir de las 19h10 hasta las 20h10, la afluencia de personas es de alrededor de 261, teniendo en cuenta que a las 20h00 es la hora final de labores dentro de la FISEI. El último incremento significativo se tiene desde las 20h50 hasta 21h10, cuando los alumnos de la facultad de idiomas salen del último horario de clases en la noche. El número aproximado de personas que transitan es de 370. Finalmente, en el periodo de tiempo a partir de las 21h10 hasta las 22h00, la afluencia de personas presenta un decremento significativo de aproximadamente unas 32. A partir de las 22h00 en adelante hasta las 6h00, se estima una circulación de más o menos 8 personas, teniendo en cuenta que el cierre de la Universidad es a las 22h00.

La figura 4.33, muestra el incremento y decremento del tránsito de personas en diferentes periodos de tiempo.

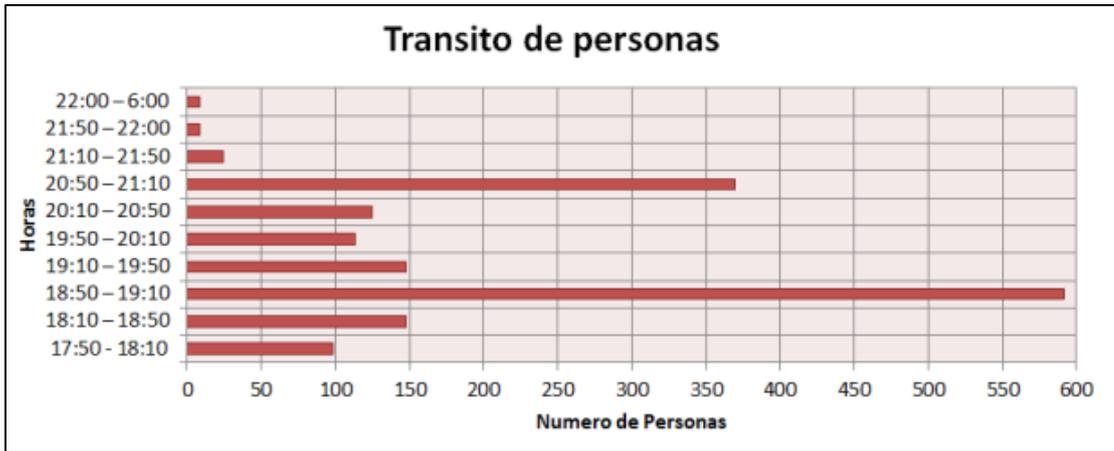


Figura 4.33. Tránsito de personas a partir de las 17h50 hasta las 6h00 [Autor].

En conclusión, durante las 17h50 y 22h00, circulan aproximadamente unas 1626 personas, con estos datos obtenidos se procede a evaluar los porcentajes de iluminación necesarios durante el periodo de tiempo mencionado de 4 horas evaluadas.

4.5.2.2 Calculo de porcentajes de iluminación adecuados para vías peatonales.

De acuerdo a la regulación No. CONELEC 005/2014, establece que los parámetros fotométricos para áreas peatonales y de tráfico de baja velocidad son los siguientes:

Tabla 4.14. Parámetros fotométricos para vías peatonales [72]

CLASE DE ILUMINACIÓN	TIPO DE APLICACIÓN	
	ILUMINANCIA HORIZONTAL (lx) Referida a nivel de la superficie de uso	
	PROMEDIO	MINIMO
P1	15,00	3,00
P2	10,00	2,00
P3	7,50	1,50
P4	5,00	1,00
P5	3,00	0,60
P6	2,00	0,40

La clase de iluminación, P, se determina por medio de la fórmula:

$$P = (6 - \sum V_{ps}) \quad [6]$$

Donde,

P, es la clase de iluminación, varía entre P1 a P6.

$\sum V_{ps}$, es la sumatoria de los valores de ponderación mostrados en la tabla.

Tabla 4.15: Parámetros para la selección de la clase de iluminación [72]

Parámetro	Opciones	Valor de Ponderación (Vp)
Velocidad	Baja	1
	Muy baja	0
Volumen del Trafico	Elevado	1
	Alto	0,5
	Moderado	0
	Bajo	-0,5
	Muy bajo	-1
Composición de Trafico	Peatones, ciclistas y trafico motorizado	2
	Peatones y trafico motorizado	1
	Peatones y ciclistas solamente	1
	Peatones solamente	0
Vehículo parqueados	Ciclistas solamente	0
	Se permite	0,5
Iluminación ambiental	No se permite	0
	Alta	1
	Moderada	0
	Baja	-1

La clase de iluminación se determina mediante los parámetros indicados en la tabla 4.15. El prototipo se instalará en las afueras de la FISEI, por tal motivo, se analizan los parámetros de la tabla 4.15, en este sector, los días de lunes a viernes.

- Velocidad: Baja = 1
- Volumen del trafico: Bajo = -0,5
- Composición de trafico: Peatones, ciclistas y trafico motorizado = 2
- Vehículo parqueados: Se permite = 0,5
- Iluminación ambiental: Alta = 1

Sumatoria de los valores de ponderación:

$$\sum V_{ps} = 1 - 0,5 + 2 + 0,5 + 1 = 4$$

Reemplazando $\sum V_{ps}$ en la fórmula [6]:

$$P = (6 - \sum V_{ps}) = 6 - 4$$

$$P = 2$$

Se considera que en el exterior de la FISEI, la clase de iluminación es tipo P2. La iluminación horizontal se expresa en luxes. Un lux equivale a un lumen por metro cuadrado. El espacio geográfico a ser iluminado es el exterior de la FISEI, figura 4.34

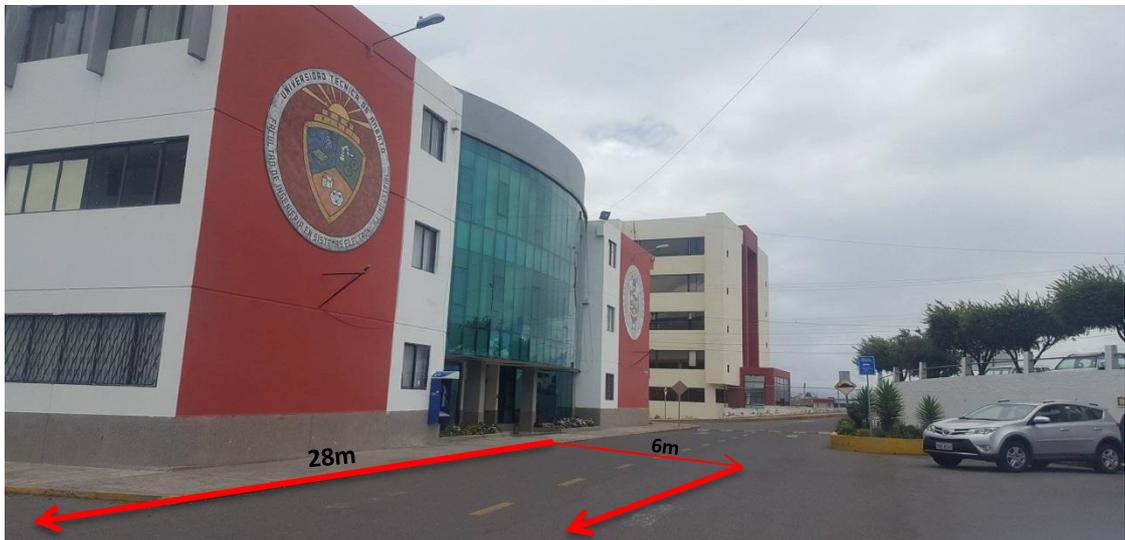


Figura 4.34: Exteriores de la FISEI [Autor].

A una altura mínima de montaje de la luminaria de 6m se ilumina una superficie de hasta aproximadamente 160 m^2 [73]. En los exteriores de la FISEI se considera una superficie de iluminación de 168 m^2 . Las luminarias externas de la FISEI son de vapor de sodio de 250W, con un flujo luminoso de 25500 lm, así, la emisión de luxes por luminaria es:

$$\text{Iluminancia} = \frac{25500 \text{ lm}}{168 \text{ m}^2}$$

$$\text{Iluminancia} = 151,78 \text{ lux}$$

Una emisión de 151,78 luxes supera los límites de iluminación recomendados por el CONELEC. De acuerdo a los parámetros fotométricos para áreas peatonales y de tráfico de baja velocidad, en una clase de iluminación P2, tabla 4.14, el promedio máximo de iluminación horizontal es de 10 luxes y mínimo 2 luxes. Una luminaria LED de 24W, con un flujo luminoso de 1800 lm, emitiría 10,7 luxes iluminada a un 100%, con un margen de error aceptable de 0,71 luxes, suficientes para alumbrar el espacio externo de la FISEI. Si se reduce la iluminación a un 20% la luminaria LED emitiría una intensidad luminosa de 2,1 luxes, valores recomendados por el CONELEC para iluminación de vías peatonales.

En cambio, los fines de semana, la clase de iluminación está determinada por los siguientes valores de ponderación, de acuerdo a los parámetros indicados en la tabla 4.15.

- Velocidad: Baja = 1
- Volumen del tráfico: Bajo = -1
- Composición de tráfico: Peatones, ciclistas y tráfico motorizado = 2
- Vehículo parqueados: Se permite = 0,5
- Iluminación ambiental: Alta = 1

Sumatoria de los valores de ponderación:

$$\sum V_{ps} = 1 - 1 + 2 + 0,5 + 1 = 3,5$$

*Si el resultado de la sumatoria de los valores de ponderación, no es un número entero, se aproxima al valor menor del sumatorio.

$$\sum V_{ps} = 3$$

Reemplazando en la fórmula [6]:

$$P = (6 - \sum V_{ps}) = 6 - 3$$

$$P = 3$$

Los fines de semana se considera una clase de iluminación tipo P3 con una iluminación promedio de 7,5 luxes y un mínimo de 1,5 luxes. Los fines de semana, el control de iluminación de la luminaria LED puede iniciar su funcionamiento con un 50% de iluminación, teniendo una emisión de intensidad de luz de 5,3 luxes y si se reduce la iluminación a un 10% del total de su capacidad, la emisión de intensidad de luz es de 1,1 luxes, con un margen de error aceptable de 0,4 luxes. Los valores de iluminación durante los fines de semana se encuentran dentro de los parámetros fotométricos recomendados por la CONELEC para vías peatonal.

En las tablas 4.16 y 4.17, se muestran los valores de porcentaje de luz que se consideran óptimos en el transcurso de la noche, en base a los parámetros fotométricos para vías peatonales establecidos por la regulación No. CONELEC 005/2014, considerando que el sensor de luz se activa aproximadamente en un transcurso de tiempo de 18h10 a 18h20.

El momento que el sensor de luz detecta ausencia de luz natural en el ambiente se activa y permite que el sistema de iluminación empiece su funcionamiento, con un porcentaje de iluminación del 100%, hasta aproximadamente las 21h10, cuando se tiene mayor afluencia de personas, y a un 20% durante el resto de la noche.

Tabla 4.16: Valores de nivel de porcentaje de iluminación, lunes a viernes [Autor].

Tiempo	Personas	Porcentaje
18:10 – 18:50	~148	100%
18:50 – 19:10	~592	100%
19:10 – 19:50	~148	100%
19:50 – 20:10	~113	100%
20:10 – 20:50	~125	100%
20:50 – 21:10	~370	100%
21:10 – 21:50	~24	20%
21:50 – 22:00	~8	20%
22:00 – 6:00	~8	20%

Los fines de semana, cuando el sensor de luz se activa, la luminaria se ilumina a un 50% durante 1 hora y a un 10% durante el resto de la noche, debido a la poca afluencia de personas los fines de semana en horas de la noche.

Tabla 4.17: Valores de nivel de porcentaje de iluminación, sábados y domingos [Autor].

Tiempo	Personas	Porcentaje
18:10 – 18:50	~10	50%
18:50 – 19:10	~5	50%
19:10 – 19:50	~3	10%
19:50 – 20:10	~3	10%
20:10 – 20:50	~3	10%
20:50 – 21:10	~3	10%
21:10 – 21:50	~3	10%
21:50 – 22:00	~1	10%
22:00 – 6:00	~7	10%

A partir de los valores de porcentaje de luz establecidos, en las figura 4.35 y 4.36, se muestra el esquema de funcionamiento del sistema de iluminación, de lunes a viernes y sábados y domingos.



Figura 4.35: Esquema de funcionamiento del sistema de control de lunes a viernes [Autor].

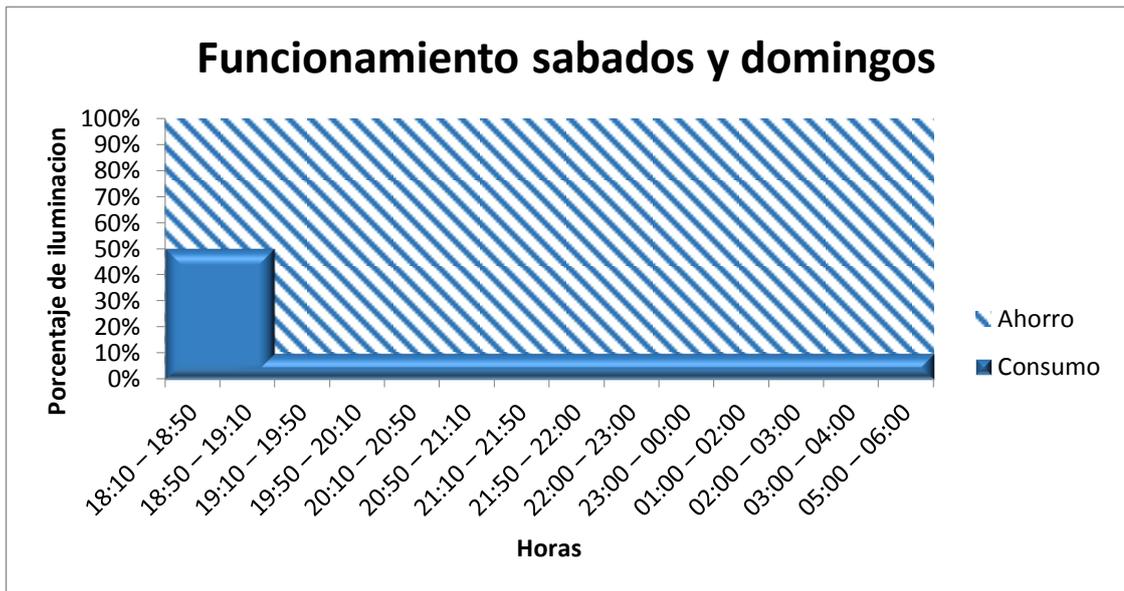


Figura 4.36: Esquema de funcionamiento del sistema de control de iluminación, sábados y domingos [Autor].

En las figuras 4.35 y 4.36, se observa en color azul, el consumo de energía eléctrica y en líneas azules, el ahorro de energía, obtenido al implementar el control de iluminación que regula el porcentaje del nivel de iluminación.

4.5.2.3 Condiciones de programación del control automático.

La programación del control automático se realiza en base a condiciones de los parámetros de gestión automática, porcentajes de iluminación y sensores. Por ello, se optó por programar y visualizar un reloj en la página web, con la hora y el día actual del servidor. Así, dependiendo de la hora del servidor, se envía el porcentaje del nivel de iluminación requerido a la base de datos, este valor es adquirido y procesado por la tarjeta Arduino, encargada de controlar la iluminación de la luminaria. Asimismo, visualizar el día actual permite realizar las respectivas condiciones para obtener el control de la iluminación tanto de lunes a viernes como sábados y domingos. La figura 4.37 muestra el diagrama de flujo empleado para la programación del funcionamiento del sistema de iluminación. Las condiciones realizadas están basadas en el sensor de luz, los escenarios de iluminación de lunes a viernes, sábados y domingos y en el sensor de presencia.

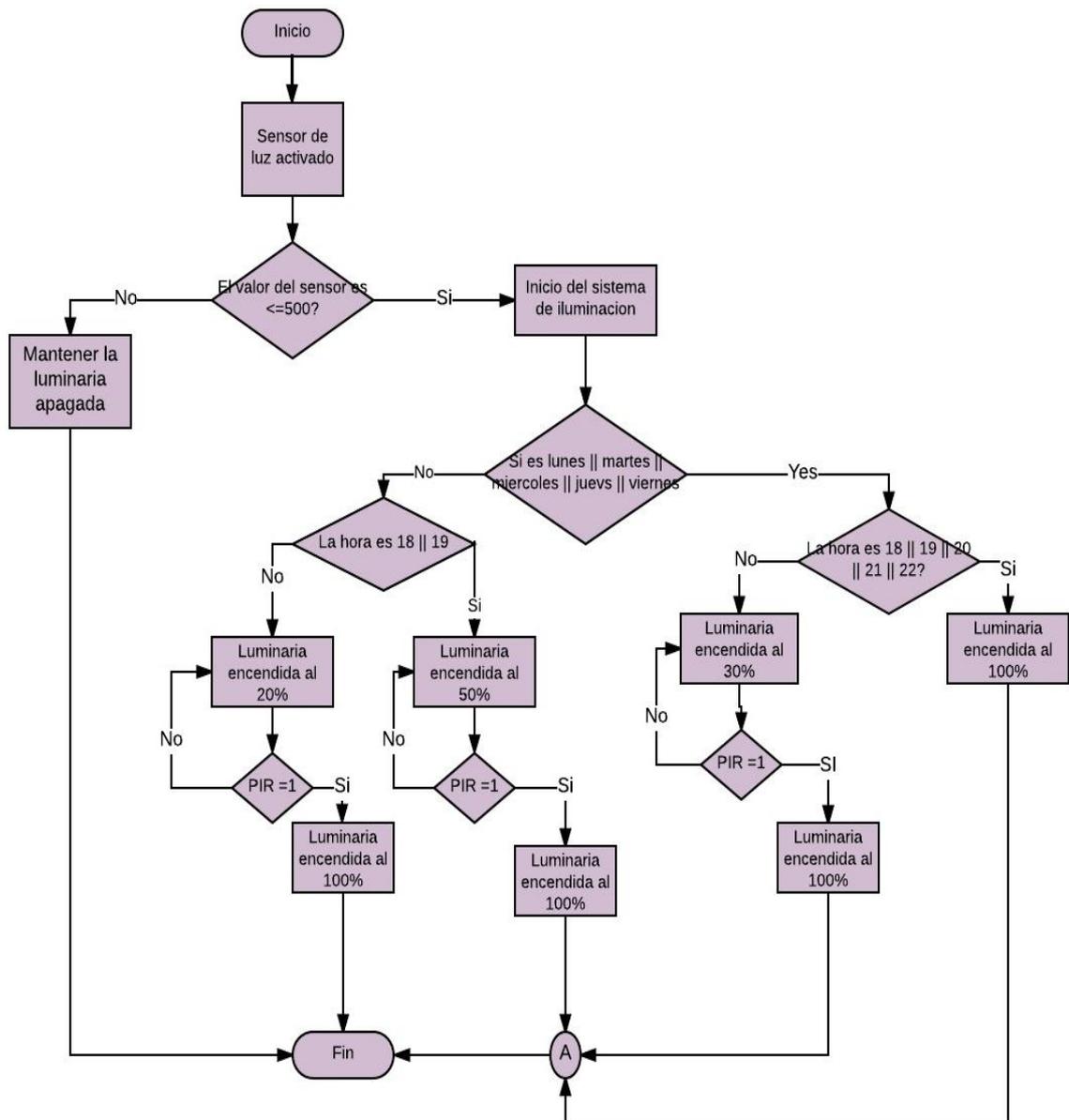


Figura 4.37: Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de iluminación [Autor].

En la interfaz web desarrollada para el control automático de iluminación, figura 4.38, se observan las gráficas de funcionamiento del sistema de iluminación dependiendo del día. Asimismo, se observan en tiempo real el valor de porcentaje actual en la luminaria y el ahorro energético que representan.

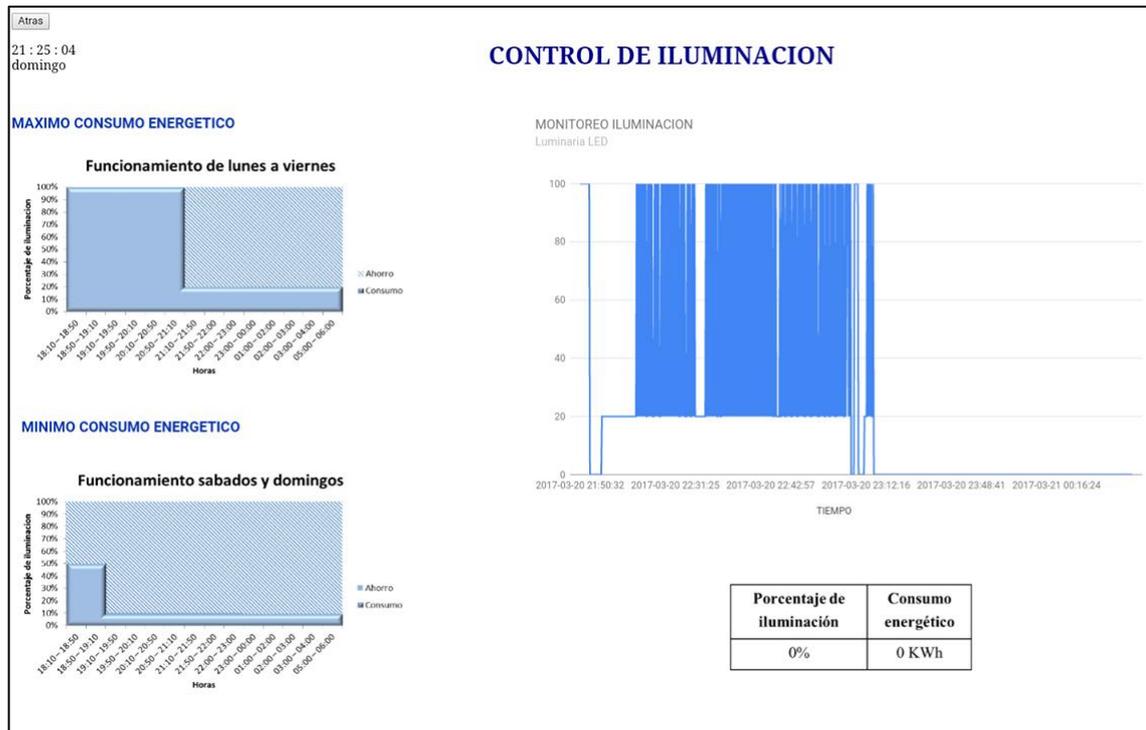


Figura 4.38: Interfaz de funcionamiento del sistema de iluminación [Autor].

Finalmente, con las condiciones establecidas y los sensores instalados, se procede a realizar las pruebas de funcionamiento del control de iluminación, desde la interfaz web, figura 4.39. La luminaria LED se encuentra instalada y alimentada por medio de un sistema solar fotovoltaico en las instalaciones de la FISEI.



Figura 4.39: Pruebas de funcionamiento del sistema de control integrado a una luminaria LED, alimentado con un sistema fotovoltaico [Autor].

Asimismo, el control de iluminación se integra en un Sistema de Información Geográfica, GIS, que permite la localización geográfica de las luminarias LED. En este caso, la localización geográfica de la luminaria LED controlada desde la plataforma OpenStack de la FISEI. En el siguiente apartado se detallara la integración del GIS al servidor web.

4.6 Descripción e integración del Sistema de Información Geográfica, GIS

El control de iluminación integra un Sistema de Información Geográfica, GIS, permitiendo la localización geográfica de las luminarias que son controladas de manera automática desde la web.

Para este fin, se utilizó OpenLayers, una biblioteca de JavaScript de código abierto que permite manejar, acceder y visualizar mapas de manera interactiva en la mayoría de navegadores web. Para el acceso a la información geográfica en la red, OpenLayers utiliza una API de JavaScript [74].

OpenLayers permite usar las diferentes clases al incorporar dentro del documento HTML el siguiente script:

```
<script src="http://www.openlayers.org/api/OpenLayers.js"></script>
```

La clase OpenLayers.Map crea el mapa que se va a visualizar en la pantalla. Para cargar el mapa en la zona que se desea visualizar, en este caso, en la Universidad Técnica de Ambato, se establecen las coordenadas de la zona geográfica.

- latitud= -1.2690897
- longitud= -78.6257485

Al mapa añadido se agrega una capa de información mediante la clase *OpenLayers.Layer*. Esta clase presenta diferentes derivaciones de clases dependiendo del tipo de información que se desea utilizar. Para acceder a la información de los mapas comerciales OpenStreetMap, OSM, se utilizó la clase *OpenLayers.Layer.OSM* y mediante el método *addLayer* se añade la capa de información al mapa.

Asimismo, se crearon marcadores para visualizar en el mapa la ubicación de la luminaria LED controlada desde la plataforma OpenStack de la FISEI, permitiendo acceder a la interfaz web desde donde se realiza el control de iluminación manual o automático. La figura 4.40, muestra la interfaz del GIS añadido al servidor web, la ubicación de la luminaria LED y el acceso directo a la interfaz web del control de iluminación.



Figura 4.40: Interfaz web de localización geográfica de la luminaria integrada al control de iluminación [Autor].

Una vez implementado y validado el prototipo y la programación respectiva, para el envío y recepción de la información, se presenta una metodología para evaluar el impacto económico y medio ambiental de la implementación del sistema de control del nivel de iluminación en sistemas de alumbrados. La metodología permitirá realizar un análisis comparativo entre luminarias incandescentes y luminarias LED.

4.7 Metodología de evaluación del impacto económico y medioambiental para diferentes escenarios de iluminación

Las luminarias LED presentan un mayor rendimiento en la iluminación pública y mejores características técnicas frente a otras tecnologías de iluminación como lámparas incandescentes, halógenas, fluorescentes compactas y la mayoría de las fluorescentes lineales. En la actualidad, la tecnología LED es considerada como la mejor alternativa para incrementar la eficiencia energética en los sistemas de iluminación. Es posible reducir el consumo de energía hasta un 85% con ayuda de las luminarias LED. Además, el empleo de luminarias LED permite alcanzar un importante ahorro económico y energético. Asimismo, presentan reducidas emisiones de calor, mantenimiento mínimo y una prolongada vida útil en comparación con las tecnologías de iluminación existentes.

La metodología propuesta de evaluación del impacto económico y medioambiental de la integración de sistemas de control de iluminación se basa en los siguientes parámetros:

- Cálculo del consumo energético diario y anual de luminarias convencionales – vapor de sodio e incandescentes - y luminarias LED.
- Cálculo del coste económico anual de iluminación pública en luminarias convencionales – vapor de sodio e incandescentes - y luminarias LED.
- Cálculo del sistema de iluminación, incluyendo el costo de las luminarias y el costo de los dispositivos de control.
- Cálculo del costo del sistema de iluminación en un horizonte de 10 años.

- Cálculo de la cantidad de emisiones de CO₂ por parte de las luminarias evaluadas.

Para la evaluación del impacto económico y medio ambiental, empleando la metodología propuesta, se consideran luminarias de vapor de sodio y luminarias LED. La metodología permite evaluar el ahorro de consumo de energético y económico al reemplazar dichas luminarias. Asimismo, evaluar el ahorro energético y económico que se obtendría al implementar el prototipo de control desarrollado. La metodología se basa en analizar dos escenarios de iluminación: máximo y mínimo consumo energético. El mínimo ahorro energético corresponde al funcionamiento de las luminarias sin ningún control de nivel de iluminación – vapor de sodio y LED -. El máximo ahorro energético corresponde al funcionamiento de las luminarias LED, basadas en el prototipo de control de iluminación implementado e integrado en una plataforma Cloud/GIS. Adicionalmente, se presenta la evaluación del ahorro energético que se podría obtener con la implementación del prototipo en las luminarias LED del Campus Huachi de la UTA y de las luminarias incandescentes de los proyectores de la FISEI.

4.7.1 Escenarios de máximo y mínimo ahorro energético.

Para la evaluación del escenario de máximo y mínimo ahorro energético se han considerado luminarias de vapor de 250 W cada una y luminarias LED de 24 W de potencia cada una. Asimismo, la metodología propuesta considera el cálculo del coste económico del consumo energético en los sistemas de iluminación.

En Ecuador, los costes de alumbrado público se determinan por tarifa y rango de consumo. La tabla 4.18 muestra los valores de alumbrado público, dependiendo del servicio, cabe recalcar que la tarifa establecida desde el año 2012 se mantiene hasta la actualidad.

En la Universidad Técnica de Ambato, el tipo de servicio de alumbrado público es de beneficio público, que de acuerdo al pliego tarifario vigente se les asigna a escuelas, colegios y universidades públicas, con un rango de consumo eléctrico por hora de 81-150 kWh, con una tarifa de 0.0115 USD/KWh mensual.

Tabla 4.18 Valores de alumbrado público dependiendo el tipo de servicio [75].

VALORES ALUMBRADO PUBLICO			
TIPO DE SERVICIO	RANGO (kWh)	LIMITE	JUN-2012 (US\$/kWh)
RESIDENCIAL BENEFICENCIA PUBLICA ASISTENCIA SOCIAL	0-80 81-150 151-500 >a 501	NO	0,0068 0,0115 0,0186 0,0226
COMERCIAL SIN DEMANDA OFICIAL SIN DEMANDA SERVICIOS OCASIONALES	0-80 81-500 >a 501	NO	0,0194 0,0252 0,0272
INDUSTRIAL SIN DEMANDA	*	6.000 kWh	0,0194
ASISTENCIA SOCIAL C/D BENEFICENCIA	*	6.000 kWh 6.000 kWh	0,0215 0,0215
OFICIAL CON DEMANDA COMERCIAL CON DEMANDA INDUSTRIAL CON DEMANDA GRAN CONSUMIDOR	* * * *	10.000 kWh 10.000 kWh 10.000 kWh 10.000 kWh	0,0313 0,0313 0,0313 0,0313
BOMBEO DE AGUA	*	10.000 kWh	0,0215

En la metodología propuesta, el escenario de mínimo ahorro energético representa el funcionamiento del sistema de iluminación sin ningún control y el escenario de máximo ahorro energético representa el funcionamiento del sistema de iluminación, en base a la implementación del prototipo de control de iluminación, de lunes a viernes y sábados y domingos. Se considera que un año cuenta con 52 fines de semana y 261 días laborables.

En un escenario de mínimo ahorro energético se evaluará el impacto de la sustitución de luminarias de vapor de sodio por luminarias LED sin ningún control de iluminación. En cambio, en un escenario de máximo ahorro energético se evaluará el impacto de sustitución de luminarias de vapor de sodio por luminarias LED con el control de nivel de iluminación.

El prototipo de control implementado permite regular los niveles de potencia de las luminarias. Del 100 al 20%, los días laborales de la semana, y del 50 al 10%, los fines de semana. Se tiene en cuenta que las luminarias de vapor de sodio y LED permanecen encendidas durante 12 horas de forma constante, de

acuerdo a la Regulación No 008/11 del CONELEC, que define la continuidad del servicio de alumbrado público general.

En la tabla 4.19, se presentan los valores de potencia de la luminaria LED establecidos en un nivel del 100% y 20%, durante 12 horas de funcionamiento de lunes a viernes, para la evaluación del impacto de la implementación del prototipo desarrollado.

Tabla 4.19: Valores de potencia de luminaria LED de 24 W de lunes a viernes [Autor].

HORA	PORCENTAJE	POTENCIA (W)
18:10 – 21:10	100%	61,38
21:10 – 06:00	20%	37,17
	TOTAL	98,55

Asimismo, en la tabla 4.20, se presentan los valores de potencia de la luminaria LED establecidos, en un nivel del 50% y 10%, durante 12 horas de funcionamiento sábados y domingos, para la evaluación del impacto de la implementación del prototipo desarrollado.

Tabla 4.20: Valores de potencia de luminaria LED de 24 W sábados y domingos [Autor].

HORA	PORCENTAJE	POTENCIA (W)
18:10 – 19:10	50%	10,5
19:10 – 06:00	10%	23,98
	TOTAL	34,48

4.7.1.1 Análisis energético y económico en luminarias exteriores de la FISEI

La tabla 4.21, muestra los cálculos obtenidos del consumo energético de 2 luminarias de vapor de sodio y 2 luminarias LED, en un escenario de mínimo ahorro energético, sin control de iluminación. Asimismo, se muestra el consumo energético, el coste económico de la iluminación del alumbrado público, el coste económico del sistema de iluminación con una proyección a 10 años y la cantidad de emisiones de CO₂ por MWh, emitido por las luminarias.

Se tiene en cuenta que en Ecuador el factor de emisión de CO₂ para el 2014 es de 694,5 (kg CO₂/kWh) [76].

Tabla 4.21: Consumo energético y coste económico de luminarias del alumbrado público en un escenario de mínimo ahorro energético [Autor].

Mínimo ahorro energético/Sin Control de Iluminación						
Tipo de Luminaria/ Potencia W	Consumo energético (kWh/día)	Consumo energético anual (kWh/año)	Coste económico anual de iluminación pública (USD)	Coste económico luminarias (USD)	Coste económico Sistema de iluminación en 10 años (USD)	Emisión de CO₂ anual (ton CO₂/kWh)
Vapor de Sodio 2 x 250 W	6	2190	25,18	580	2.571,8	1.520
LED 2 x 24 W	0,576	210,2	2,41	100	124,1	145,9

Las dos luminarias de vapor de sodio que se encuentran en la fachada frontal de la FISEI tienen un consumo energético anual de 2190 kWh/año, con un coste económico de 25,18 dólares anuales. La vida útil de las luminarias de vapor de sodio es de hasta 16 mil horas y el costo de cada luminaria se estima en 290 USD. Si se considera en un horizonte de 10 años, el cambio de luminarias se realizaría aproximadamente 4 veces, así, el sistema de iluminación equivaldría a un gasto económico de hasta 2.571,8 dólares. Al implementar luminarias LED el consumo energético anual equivale a 210,2 dólares, con un coste económico anual en iluminación pública de 2,41 dólares. Las luminarias LED de 24 W se estiman en un costo de 50 dólares, con una vida útil de hasta 100 mil horas, así, en un horizonte de 10 años no se necesitaría cambio de luminarias y el coste del sistema de iluminación equivaldría a la inversión inicial y al coste económico de iluminación pública cada año, 124,1 dólares. Si se sustituyen luminarias de vapor de sodio por luminarias LED, se obtiene un ahorro tanto económico como energético de un 90%.

La tabla 4.22 muestra el ahorro energético, económico y reducción de emisiones de CO₂, obtenidos al sustituir luminarias de vapor de sodio por luminarias con tecnología LED.

Tabla 4.22: Ahorros obtenidos al sustituir luminarias de vapor de sodio por LEDs [Autor].

Ahorro Energético (kWh/año)	Ahorro Económico (USD/año)	Reducción de emisiones de CO ₂ ton
1.979,8	22, 77	1.374,1

Asimismo, en la tabla 4.23, se muestran los cálculos obtenidos de consumo energético, coste económico de la iluminación pública, coste económico del sistema de iluminación con una proyección a 10 años y la cantidad de emisiones de CO₂, para un escenario de máximo ahorro energético, con control de iluminación en luminarias LED. Las luminarias LED tienen una reducción del 100 al 20% en el nivel de iluminación, de lunes a viernes y del 50 al 10%, los sábados y domingos.

Tabla 4.23: Consumo energético y coste económico de luminarias del alumbrado público en un escenario de máximo ahorro energético [Autor].

Máximo ahorro energético								
Tipo de Luminaria /Potencia W	Consumo energético (kWh/día)		Consumo energético anual (kWh/año)	Coste económico anual de iluminación pública (USD)	Coste económico luminarias (USD)	Coste económico Sistema de iluminación. Luminarias + dispositivos de control (USD)	Coste económico Sistema de iluminación en 10 años (USD)	Emisión de CO ₂ anual (ton CO ₂ /kWh)
	L-V	S-D						
Vapor de Sodio 2 x 250 W	6		2190	25,18	580	X	2.571,8	1.520
LED /Control 2 x 24 W	0,098	0,034	58,22	0.70	100	342	833	40,43

Un sistema de control de luminarias LED, representa un consumo energético anual de 58,22 KWh, con un gasto total en iluminación anual de 0,70 dólares. El costo de los dispositivos de control se estima en unos 121 dólares, anexo E, por luminaria con una vida útil de 3 años, así, en una proyección de 10 años, los dispositivos necesitarían ser cambiados 3 veces, estimando un costo total de 726 dólares. Si le sumamos el costo de las luminarias LED y el costo económico de la iluminación pública, el costo del sistema de iluminación en 10 años equivaldría a un total de 833 dólares. Con la implementación del sistema de control de iluminación sustituyendo luminarias de vapor de sodio en luminarias LED el ahorro económico anual obtenido es de aproximadamente un 97% y una reducción de 1.479,5 toneladas de emisiones de CO₂.

La tabla 4.24 muestra el ahorro energético, económico y reducción de emisiones de CO₂, obtenidos al sustituir luminarias de vapor de sodio por luminarias con tecnología LED.

Tabla 4.24: Ahorros obtenidos al sustituir luminarias de vapor de sodio por LEDs [Autor].

Ahorro Energético (KWh/año)	Ahorro Económico (USD/año)	Reducción de emisiones de CO₂ ton
2.131,78	24,48	1.479,5

La figura 4.41, 4.42 y 4.43, muestran la reducción del consumo energético, la reducción del coste económico y emisiones de CO₂, anuales, al sustituir luminarias de vapor de sodio por un sistema de control de iluminación en luminarias LED.

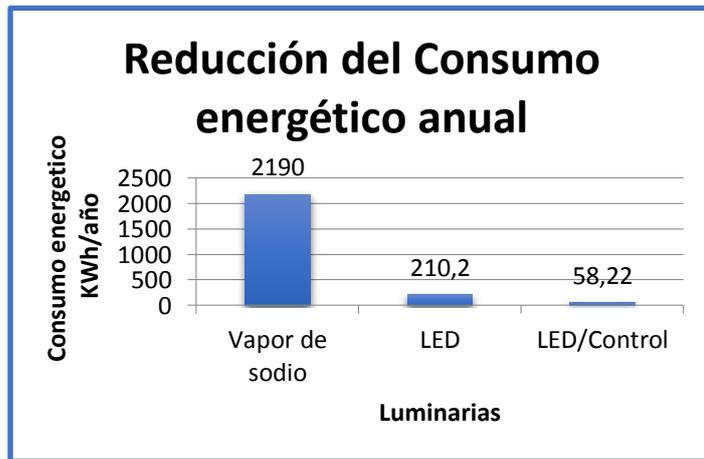


Figura 4.41. Reducción del consumo energético en luminarias [Autor].

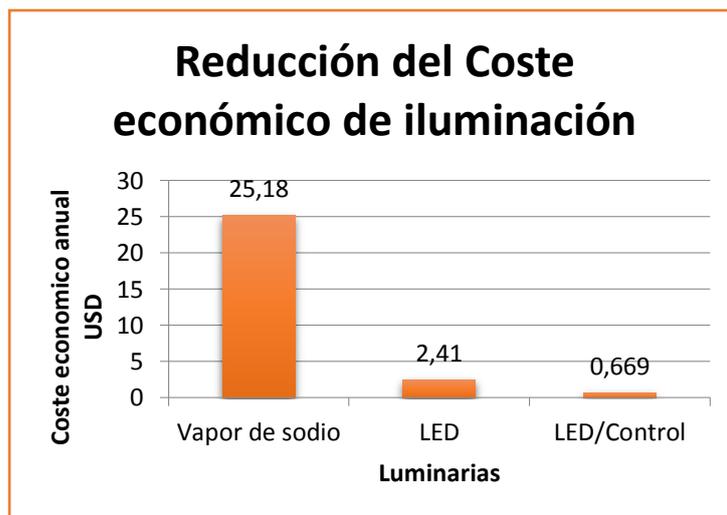


Figura 4.42. Reducción del coste económico en iluminación [Autor].

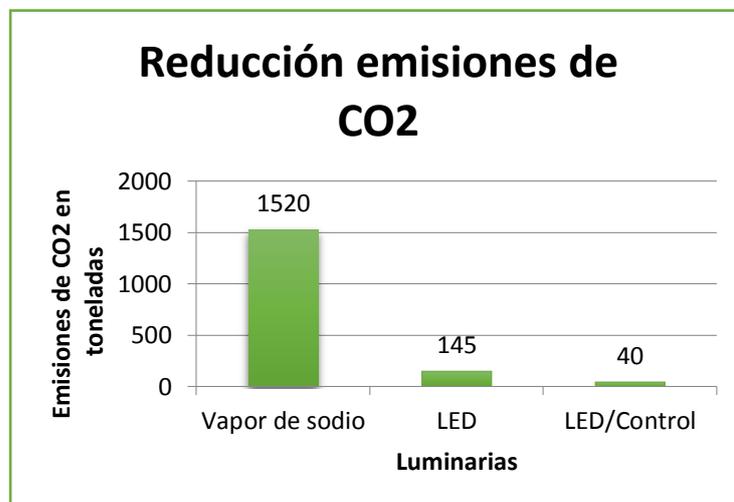


Figura 4.43. Reducción de emisiones de CO2 en iluminación [Autor].

4.7.1.2 Escenario de implementación del prototipo en el Campus Huachi UTA.

La Universidad Técnica de Ambato, cuenta con aproximadamente 142 luminarias de vapor de sodio de 250 W, anexo G. La tabla 4.25, muestra los cálculos de consumo energético anual, coste económico de la iluminación pública, coste económico del sistema de iluminación con una proyección a 10 años y la cantidad de emisiones de CO₂, para un escenario de mínimo ahorro energético, si se implementaría el sistema de control de iluminación en luminarias LED. El sistema de control de iluminación permite reducir los niveles de porcentaje de iluminación del 100 al 20%, de lunes a viernes y del 50 al 10%, sábados y domingos.

Tabla 4.25: Consumo energético y coste económico de luminarias del Campus Huachi UTA [Autor].

Tipo de Luminaria	Consumo energético (kWh/día)		Consumo energético anual (GWh/año)	Coste económico anual de iluminación pública (USD)	Coste económico luminarias (USD)	Coste económico Sistema de iluminación. Luminarias + dispositivos de control (miles USD)	Coste económico Sistema de iluminación en 10 años (miles USD)	Emisión de CO ₂ anual (ton CO ₂ /kWh)
	L-V	S-D						
Vapor de Sodio	426		155,49	1.788	41.180	X	182.600	100.990
LED /Control	13,91	4,82	4,13	47,54	7.100	24.282	59.121	2.682

Las 142 luminarias de vapor de sodio de 250 W consumen un total de 155,49 GWh anuales, equivalente a un coste económico anual de iluminación pública de 1788 dólares. Con una proyección a 10 años, el costo del sistema de iluminación equivaldría a un total de 182 mil dólares. Si se reemplazan las luminarias de vapor de sodio por un sistema de control de iluminación con luminarias LED, el consumo energético anual equivale a 4.13 GWh, con un coste anual en iluminación pública de 47,54 dólares. La inversión inicial del sistema de control de iluminación se estima en 24 mil dólares, pero el ahorro obtenido tanto económico como energético asciende a un 97%.

4.7.1.3 Análisis energético y económico en luminarias convencionales.

En el presente proyecto, se desarrolló un sistema de control de iluminación para luminarias LED y luminarias incandescentes. Las pruebas de funcionamiento se llevaron a cabo en un reflector LED de 24 W de potencia y en una bombilla incandescente de 100 W de potencia en una bombilla incandescente de 100 W de potencia. En la tabla 4.26, se presentan los valores de potencia de la luminaria LED e incandescente establecidos en un nivel del 100% y 20%, durante 12 horas de funcionamiento de lunes a viernes, para la evaluación del impacto de la implementación del prototipo desarrollado.

Tabla 4.26: Valores de potencia de luminarias led e incandescentes en un escenario máximo consumo energético [Autor].

MÁXIMO CONSUMO ENERGÉTICO			
HORA	PORCENTAJE	POTENCIA (W)	
		LED	INCANDESCENTE
18:10 – 21:10	100%	61,38	294,45
21:10 – 06:00	20%	37,17	177,84
	TOTAL	98,55	472,29

Asimismo, En la tabla 4.27, se presentan los valores de potencia de la luminaria LED establecidos en un nivel del 50% y 10%, durante 12 horas de funcionamiento de lunes a viernes, para la evaluación del impacto de la implementación del prototipo desarrollado.

Tabla 4.27: Valores de potencia de luminarias led e incandescentes en un escenario de mínimo consumo energético [Autor].

MÍNIMO CONSUMO ENERGÉTICO			
HORA	PORCENTAJE	POTENCIA (W)	
		LED	INCANDESCENTES
18:10 – 19:10	50%	10,5	49,02
19:10 – 06:00	10%	23,98	115,06
	TOTAL	34,48	164,08

La tabla 4.28, muestra el consumo energético diario y anual y el coste económico anual de iluminación pública de luminarias LED e incandescentes,

en un escenario de mínimo ahorro energético. La tabla 4.29 presenta los datos de partida para la evaluación de un escenario de máximo ahorro energético.

Tabla 4.28: Consumo energético y coste económico en luminarias led e incandescentes en un escenario de mínimo ahorro energético [Autor].

Mínimo ahorro energético/Sin Control				
Tipo de Luminaria	Consumo energético (kWh/día)	Consumo energético anual (kWh/año)	Coste económico anual de iluminación pública (USD)	Emisión de CO2 anual (ton CO₂/kWh)
Incandescente	1,2	438	5	284,4
LED	0,288	105,12	1	68,27

Tabla 4.29: Consumo energético y coste económico en luminarias led e incandescentes en un escenario de máximo ahorro energético [Autor].

Máximo ahorro energético/Con Control					
Tipo de Luminaria	Consumo energético (KWh/día)		Consumo energético anual (KWh/año)	Coste económico anual de iluminación pública (USD)	Emisión de CO2 anual (mil Kg CO₂/MWh)
	L-V	S-D			
Incandescente	0,47	0,16	140,33	1,6	91,14
LED	0,098	0,034	29,3	0,33	19,03

Al implementar un sistema de control de iluminación en luminarias incandescentes el ahorro energético y económico obtenido, en comparación con luminarias incandescentes sin control, equivale a un 67%. En cambio, el ahorro energético y económico obtenido, si se implementa un sistema de control de iluminación con luminarias LED en lugar de un sistema de control de iluminación con luminarias incandescentes, equivale a un 80%.

4.7.1.4 Escenario de implementación del prototipo en el ágora de la FISEI

El ágora de la FISEI cuenta con 3 reflectores de 75 W. La tabla 4.30 muestra el consumo energético diario y anual y el coste económico anual de iluminación pública de luminarias LED de 24 W e incandescentes de 75 W, en un escenario de mínimo ahorro energético, si se implementaría el sistema de control en los 3 reflectores de 75 W. Y la tabla 4.31 para un escenario de máximo ahorro energético, si se reemplazarían los reflectores de 75 W el sistema de control de iluminación con reflectores LED.

Tabla 4.30: Consumo energético y coste económico en luminarias led e incandescentes en un escenario de mínimo ahorro energético [Autor].

Mínimo ahorro energético/Sin Control				
Tipo de Luminaria	Consumo energético (KWh/día)	Consumo energético anual (KWh/año)	Coste económico anual de iluminación pública (USD)	Emisión de CO2 anual (mil Kg CO ₂ /MWh)
Incandescente	2,7	985,5	11,33	640,08
LED	864	315,36	3,62	204,82

Tabla 4.31: Consumo energético y coste económico en luminarias led e incandescentes en un escenario de máximo ahorro energético [Autor].

Máximo ahorro energético/Con Control							
Tipo de Luminaria	Consumo energético (KWh/día)		Consumo energético anual (KWh/año)	Coste económico anual de iluminación pública (USD)	Costo luminarias (USD)	Coste económico Sistema de iluminación. Luminarias + dispositivos de control (USD)	Emisión de CO2 anual (mil Kg CO ₂ /MWh)
	L-V	S-D					
Incandescente	1,08	0,36	289,92	3,33	300	663	188,30
LED	0,294	0,102	87,9	1,01	150	513	57,09

El consumo energético anual por parte de los reflectores de 75 W es de 985,5 KWh, con un coste económico en iluminación pública de 11,3 dólares anuales. Si se implementa el sistema de control en las luminarias incandescentes, se estima una inversión inicial de 363 dólares y se obtiene un ahorro energético y económico del 70%. En cambio, si se implementa el sistema de control de iluminación reemplazando las luminarias incandescentes por luminarias LEDs, la inversión sería de 513 dólares pero con un ahorro energético y económico, de hasta un 90%.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El empleo de controles inteligentes de iluminación en los sistemas de alumbrado público se considera como una alternativa eficiente para obtener un mayor ahorro tanto energético como económico.
- La implementación de una Plataforma Cloud permite el control de la iluminación de forma remota, facilitando cambios en los niveles de porcentajes de iluminación de las luminarias, si es el caso. Asimismo, permite llevar un control del consumo energético de las luminarias y visualizar el funcionamiento de los sistemas de iluminación en informes semanales y mensuales.
- Integrar un Sistema de Información Geográfica, GIS, en la Plataforma Cloud, permite la localización geográfica de los sistemas de control de iluminación, para un mayor control, de forma independiente, de cada uno de los sistemas de iluminación integrados.
- El sistema de control de iluminación permite regular los niveles de porcentaje de iluminación de la luminaria LED de 24 W de potencia, en base al flujo de personas que transitan por los exteriores de la FISEI, y obtener un ahorro adicional del consumo energético, además, de una reducción muy considerable en las pérdidas de energía eléctrica en los sistemas de distribución.

- Los parámetros fotométricos establecidos por la regulación No. CONELEC 005/2014, permitieron determinar los niveles de porcentaje de iluminación óptimos para vías peatonales, a una altura de montaje de la luminaria de 6 metros.
- La sustitución de las luminarias convencionales de vapor de sodio existentes en la fachada frontal de la FISEI, por luminarias con tecnología LED, permiten obtener un ahorro energético y económico anual de hasta un 90%. Asimismo, reemplazar las luminarias de vapor de sodio por un sistema de control de iluminación con luminarias LED, permite alcanzar un significativo ahorro energético y económico anual de hasta 97%.
- El sistema de control de iluminación con luminarias LED implementado en el Campus Huachi UTA permite obtener un significativo ahorro energético y económico. Se calculó un ahorro de hasta 151,36 GWh al año, con un ahorro económico en iluminación pública de hasta 1.740 dólares anualmente.

5.2 RECOMENDACIONES

En futuros estudios basados en los sistemas de control de iluminación:

- Se propone considerar el proyecto de control de iluminación para ser implementado a gran escala, en diferentes sectores públicos donde se considera que las luminarias permanecen encendidas de forma innecesaria durante toda la noche.
- Se propone que el control de iluminación se programe sobre una Plataforma con salida a Internet con el objetivo de poder llevar un mayor control desde cualquier parte del mundo.

- Si el control de iluminación se realiza a gran escala, se recomienda ubicar las diferentes luminarias dentro del mapa GIS para un mayor control sobre los sistemas de iluminación.
- Si se desea controlar luminarias LED de mayor potencia, se debe cambiar el transistor 2n3904 por un transistor que soporte mayores valores de voltaje teniendo en cuenta el voltaje DC del driver del LED. Asimismo, si la luminaria LED es de mayor potencia, tener en cuenta el valor de la resistencia reguladora de corriente, en base a los datos proporcionados pero el reflector o luminaria LED
- En proyectos futuros, se debe tener en cuenta el ambiente donde se va a realizar el control de iluminación, debido a que los parámetros fotométricos que permiten determinar los niveles de porcentaje de iluminación, cambian de acuerdo al tipo de vía peatonal.
- Se recomienda realizar una gestión que permita la implementación de varias luminarias con tecnología LED integradas en un sistema de control de iluminación, con el objetivo de permitirle a la Facultad reducir costos de energía eléctrica.
- Asimismo, si recomienda considerar la instalación de luminarias LED en el Campus Huachi UTA, con esto los costos en energía eléctrica presentarían un considerable ahorro. La inversión inicial sería recuperada en poco tiempo. Para implementaciones del sistema de control de iluminación a mayor escala, se recomienda utilizar módulos WIFI de Arduino e implementar el microcontrolador de Arduino en una placa personal, con esto se reducen los costos de implementación del sistema de control de iluminación.

Bibliografía

- [1] Aguas y Energía. Datos y Estadísticas. “Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2014”.
- [2] Efficient Lighting for developing and emerging countries. United Nations Environment Programme. Disponible en: <http://www.enlighten-initiative.org/>
- [3] Matthew Wright. “LEDs could slash street light energy usage by 97%”. Julio 2014. Disponible en: <http://reneweconomy.com.au/2014/leds-could-slash-street-light-energy-usage-by-97-16446>
- [4] Ing. Rosanna Loor. “Alumbrado Público en el Ecuador”. Información técnica alumbrado público año 2012. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, INER.
- [5] Agencia de Regulación y Control de Electricidad. Estadísticas del Sector eléctrico ecuatoriano 2014.
- [6] Empresa Eléctrica Quito. Noticias, La Empresa Eléctrica Quito instala iluminación eficiente en el Centro Histórico. Febrero 21-2014.
- [7] Consejo Nacional de Electricidad [base de datos en línea]. Regulación No. Conelec 008/11. Tomado de: http://www.conelec.gob.ec/normativa/REGULACION%20ALUMBRADO%20PUBLICO%20008_11.pdf
- [8] Lighting the Clean Revolution. LED, Junio 2012.

- [9] Christiane Egger. “Energy Performance Contracting for street lighting”. OÖ Energiesparverband.
- [10] Pilar Elejoste, Asier Perallos, Aitor Chertudi, Ignacio Angulo, Asier Moreno, Leire Azpilicueta, José Javier Astráin, Francisco Falcone, Jesús Villadangos. “Easily Deployable Streetlight Intelligent Control System based on Wireless Communication”. España 2013.
- [11] “How much electricity is used for lighting in the United States?. Independent Statistics & Analysis. U.S Energy Information Administration”. Disponible en: <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=99&t=3>
- [12] S. R. O. Venkata Lakshmi, B.Nageswarao Naik. “The development of road lighting intelligent control system based on wireless network control”. International Journal of Science and Applied Information Technology, 2012.
- [13] “How much electricity is used for lighting in the United States?. Independent Statistics & Analysis. U.S Energy Information Administration”. Disponible en: <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=99&t=3>
- [14] MH Omar B., HA R. PhD, MS Majid MSc, N Rosmin MSc, MY Hassan PhD y WZ Wan Omar MSc. “Design and simulation of electronic ballast performance for high pressure sodium street lighting”. Centro de Sistemas de Energía Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Malasia. Lighting Res. Technol. 2013; 45: 729–739
- [15] German Osma P., Gabriel Ordóñez P., Laura Amado D. y Rodolfo Villamizar M. “Control of a Hybrid Illumination System in a Tropical Zone”. Universidad Industrial de Santander. Applied Mechanics and Materials Vol. 704 (2015) pp 368-372
- [16] Hong HE, Fengling ZHANG y Zhi-Hong ZHANG. “Adjustable multi-light wireless remote control system designed LED light”. Universidad de

- Tecnología de Tianjin, China. Applied Mechanics and Materials Vols. 543-547 (2014) pp 1250-1253.
- [17] Yuanyuan ZHANG, Xiaofei LU, Rong CAI, Jie GONG y Shan LIU. "Design of an intelligent solar-LED streetlight". China. Applied Mechanics and Materials Vols. 548-549 (2014) pp 873-879
- [18] B. K. Subramanyam, K. Bhaskar Reddy, P. Ajay Kumar Reddy. "Design and Development of Intelligent Wireless Street Light Control and Monitoring System Along With GUI". International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622 www.ijera.com Vol. 3, Issue 4, Jul-Aug 2013, pp.2115-2119
- [19] Karthikeyan M, Saravanan V., Vijayakumar S. "Cloud Based Automatic Street Light Monitoring System". Velammal Engineering College, Chennai, India.
- [20] Sei Ping Lau, Alex S. Weddell, Geoff V. Merrett, Neil M. White. "Energy-Neutral Solar Powered Street Lighting with Predictive and Adaptive Behaviour". Universidad de Southampton, Inglaterra 2014.
- [21] Meng Cui, Yulin Qi. "Research and Design of Urban LED Street Lamp Wireless Management System". Universidad de Energía Eléctrica del Norte, China. Applied Mechanics and Materials Vols. 602-605 (2014) pp 2893-2896
- [22] Jin Hu, Huipin Lin, Qun Wang y Zhengyu Lu. "A Smart Remote Controlled Multi-functional Lighting System". Universidad Zhejiang, China. Applied Mechanics and Materials Vols. 635-637 (2014) pp 1187-1193
- [23] Charlie Nobles – Marketing Director, Lighting. "New Lighting Technology Reduces Energy Consumption, The Sensus VantagePoint Lighting Solution". SCAMPS 2015 – August 10, 2015

- [24] Dong Jin, Christopher Hannon, Zhiyi Li, Pablo Cortes, Srinivasan Ramaraju, Patrick Burgess, Nathan Buch y Mohammad Shahidehpour. "Smart street lighting system: A platform for innovate smart city applications and a new frontier for cyber-security" Departamento de Ciencias de la Computación del Instituto de Tecnología, Chicago Estados Unidos. The Electricity Journal 29 (2016) 28-35.
- [25] Parkash, Prabu V, Dandu Rajendra. "Internet of Things Based Intelligent Street Lighting System for Smart City" Departamento de Diseño de Sistemas Embebidos, NIELIT, Calicut India. Vol 5, Issu 5, May 2016.
- [26] Eshika Soni, Vaibhav Soni, Dr. Annapurna D. "Remotly Controlled Automated Street Lights: A novel Approach towards IoT (Internet of Things)" Bangalore, Karnataka India. Recent Innovations in Science and Engineering - RISE 2016 30th April 2016.
- [27] Francisco José Bellido-Outeiriño, Francisco Javier Quiles-Latorre, Carlos Diego Moreno-Moreno, José María Flores-Arias, Isabel Moreno-García and Manuel Ortiz-López. "Streetlight Control System Based on Wireless Communication over DALI Protocol", Departamento de Arquitectura de Computadoras, Electrónica y Tecnología Electrónica, Universidad de Córdoba. 27 April 2016.
- [28] Wellness Smart, Cities & Solutions. Tomado de: <http://www.wtelecom.es/productos-y-servicios/smart-cities-solutions/welight/>
- [29] Solidmation. Urban Automation. Tomado de: <http://www.solidmation.com/>
- [30] e3tcity. Tomado de: <http://e3tcity.com/ls40/>
- [31] O'Donell Beatriz M., Sandoval José D., Paukste Fernando. Fuentes Luminosas. Capitulo 4. <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap04.pdf>

- [32] Office of Environment and Heritage. Energy Saver. Energy efficient lighting Technology report. Second edition 2014
- [33] N. Bardsley, S. Bland, M. Hansen, L. Pattison, M. Pattison, K. Stober, M. Yamada. "Solid-State Lighting R&D Plan. Energy Efficiency & Renewable Energy". U.S Department of Energy. DOE/EEE/1228. Mayo 2015.
- [34] Rahim F. Benekohal, C. Gregerson y J. Medina. "LED Street Lighting Evaluation-Phase II: LED Specification and Life-Cycle Cost Analysis". Illinois Center of Transportation. ICT-R25-123, January 2015.
- [35] Lissa Halonen. "Guidebook of Energy Efficient Electric Lighting for Buildings". Capitulo 5: Lighting Technology.
- [36] Luminitecnia. Luminaria. Disponible en: <http://www.tuveras.com/luminotecnia/lamparasy luminarias.htm>
- [37] Lighting the Clean Revolution. LED, Junio 2012
- [38] MicroPlus Germany. Global Lighting. 2014-2015
- [39] N. Bardsley, S. Bland, M. Hansen, L. Pattison, M. Pattison, K. Stober, M. Yamada. "Solid-State Lighting R&D Plan. Energy Efficiency & Renewable Energy". U.S Department of Energy. DOE/EEE/1228. Mayo 2015.
- [40] OSRAM. Iluminación Artificial de Exteriores e Interiores (Reportaje).
- [41] Cuevas Antonio. Fuentes de Luz Artificial-Parámetros que definen una lámpara.
- [42] CBOS. DE COM. Jami A. Segundo, CBOS. DE COM. Rivera A. Juan Carlos. "Actualización de los mdulos de control de convertidores estáticos de energía AC-AC, mediante una PC: Control de Fase Diferencial, Troceador AC y Control de Fase Directo" ESPE, 2009

- [43] Schreder Control Inteligente para Iluminación Eficiente Owlet. Tomado de:<http://www.schreder.com/globalassets/sitecollectiondocuments/additional-content/schreder-owlet-sistemas-de-control.pdf>
- [44] Driver para LEDs de alta potencia. Tomado de:<https://www.inventable.eu/2014/06/21/driver-leds-potencia-con-entrada-pwm/>
- [45] Datasheet IRF530. Tomado de: <http://www.futurlec.com>
- [46] Datasheet IRF3205. Tomado de: <http://www.futurlec.com>
- [47] Datasheet IRF640. Tomado de: <http://www.futurlec.com>
- [48] Datasheet BC547. Tomado de: <http://www.futurlec.com>
- [49] Datasheet BC546. Tomado de: <http://www.futurlec.com>
- [50] Datasheet 2N3904. Tomado de: <http://www.futurlec.com>
- [51] netduino hardware. Tomado de: <http://www.netduino.com/hardware/>
- [52] Arduino Uno. Tomado de: <http://www.arduino.org>
- [53] Arduino Leonardo. Tomado de: <https://www.arduino.cc/>
- [54] Arduino PWM. Tomado de: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>
- [55] AXDesarrollos. Explicacion Control de Fase Directo. Tomado de: <http://axdesarrollos.blogspot.com/2013/09/explicacion-control-de-fase-directo.html>
- [56] El paso por cero Detectores de Circuitos y Aplicaciones. Disponible en: http://www.bristolwatch.com/ele2/zero_crossing.htm
- [57] Electrovoltiosybytes. Autores: Jonny Cristhian Otero y Manuel Saquisela. Tomado de: <http://voltiosybytes.blogspot.com/2014/02/control-de-potencia-en-ac-con-triac-y.html>
- [58] 4n25 Datasheet (PDF)-Motorola, Inc

- [59] Datasheet BT136. Tomado de: <http://www.futurlec.com>
- [60] Datasheet BT137. Tomado de: <http://www.futurlec.com>
- [61] Datasheet BTA16. Tomado de: <http://www.futurlec.com>
- [62] Proyectos Electronicos. Optoacopladores. Tomado de: <http://proyectoselectronics.blogspot.com>
- [63] Arduino Ethernet Shield V1. Tomado de: <https://www.arduino.cc>
- [64] Arduino Wifi Shield. Tomado de: <https://www.arduino.cc>
- [65] Iduino Yun Shield. Tomado de: www.geeetech.com
- [66] Bigtronica. Soluciones eléctricas. Fotorresistencia. Tomado de: <http://bigtronica.com>
- [67] Consejo Nacional de Electricidad [base de datos en línea]. Regulación No. Conelec 008/11. Tomado de: http://www.conelec.gob.ec/normativa/REGULACION%20ALUMBRADO%20PUBLICO%20008_11.pdf
- [68] Civil Twilight-Civil Dawn & Dusk. Timeanddate.com
- [69] Electro-Optics Handbook.
- [70] Marc Green PhD. Human Factors. Twilight Envelope (3.2 lux) As A visibility Criterion. "The Civil Twilight Method, Old Science Taken Out of Context" (Zwhalen & Schnell, 1999)."
- [71] Sensor de movimiento PIR HC-SR501. Tomado de: www.electronilab.co
- [72] REGULACIÓN No. CONELEC 005/12. EL DIRECTORIO DEL CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD CONELEC
- [73] Manual de Alumbrado Público e Iluminación Exterior con LEDs de Alta Intensidad. DMX tecnologías.
- [74] Manual OpenLayers. Tomado de: <http://openlayers.bicimap.es>

- [75] Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A
- [76] Haro Lenin y Oscuello José. “Factor Anual de Emisión de CO2 Producido por el Parque Generador del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, Mediante la Aplicación de la Metodología de la Convención Marco Sobre el Cambio Climático UNFCCC, para el Periodo 2009-2014”. Quito Ecuador.

Anexos

Anexo A

Código de Programación Control de Iluminación en Arduino

```
//Incluir librerias
#include <Bridge.h>
#include <HttpClient.h>
#include <Console.h>

//Declarar variables
int angulo=255;
byte sensorpir = 7;
char cadena [30];
int pinLDR = 0;
byte posicion=0;
int valor=0;

// Variable donde se almacena el valor del LDR
int valorLDR = 0;
void setup()
{
    pinMode(sensorpir,INPUT);
    pinMode (10, OUTPUT);
    pinMode(13, OUTPUT);
    digitalWrite(13, LOW);
    Bridge.begin();
    digitalWrite(13, HIGH);
    Console.begin();
}

int contador=255;

void loop()
{
    valor = angulo;
    analogWrite (10, valor);
    Console.print("VALOR=");
    Console.println(valor);
```

```

    delay (5000);

    int val = digitalRead(sensorpir);
    Console.println(val);

    // Inicializar libreria client

    HttpClient client;

    //Solicitud HTTP

    if (isnan(valorLDR)) {
        Console.println("Failed to read from DHT");
    } else {

        valorLDR= analogRead(pinLDR);
        Console.print("LDR= ");
        Console.println(valorLDR);

    }

    char buffer [90];
    sprintf (buffer, "http://172.21.123.41/ldr4.php?valor=%d&valor2=%d",
        valorLDR, val); //Extrae valores del servidor
    client.get(buffer);

    //Leer cadena de datos
    String datos;
    while (client.available())
    {
        char c1 = client.read();
        char c2 = client.read();
        char c3 = client.read();
        datos.concat(c1);
        datos.concat(c2);
        datos.concat(c3);
        Console.print("dato convertido= ");
        Console.println(datos.toInt());
        angulo = datos.toInt();
        potencia(angulo);

    }
    Console.flush ();

```

```

    delayMicroseconds(20);
}

//Establecer valores para los niveles de potencia
void potencia(int vin)
{
    switch(vin)
    {
        case 0:
            angulo = 255;
            break;

        case 10:
            angulo = 228;
            break;
        case 20:
            angulo = 210;
            break;
        case 30:
            angulo = 189;
            break;
        case 40:
            angulo = 175;
            break;
        case 50:
            angulo = 159;
            break;
        case 60:
            angulo = 138;
            break;
        case 70:
            angulo = 110;
            break;
        case 80:
            angulo = 152;
            break;
        case 90:
            angulo = 76;
            break;
        case 100:
            angulo = 0;
            break;
    }
}

```

```
}  
  
void serialEvent()  
{  
  if(Console.available())  
  {  
    memset(cadena, 0, sizeof(cadena));  
    while(Console.available()>0)  
    {  
      delay(5);  
      cadena[posicion]=Console.read();  
      posicion+ + ;  
    }  
    valor=atoi(cadena);  
    Console.println(valor);  
    posicion=0;  
  }  
}
```

Anexo B

Código del Mapa GIS para la localización Geográfica del sistema de control

```
//Variables
var mapa,capa

//Variables para latitud y longitud
var lat=-1.2690897;
    var lon=-78.6257485;
var zoom=17;

function iniciar()
{
    //Crea el mapa
    mapa=new OpenLayers.Map("mapa");
    //Crea la capa
    capa=new OpenLayers.Layer.OSM("OSM Map");
    //Agrega la capa
    mapa.addLayer(capa);
    //Establecer donde visualizara el mapa, latitud y longitud //FISEI
    mapa.setCenter
    (
        new OpenLayers.LonLat(lon,lat).transform(
            new OpenLayers.Projection("EPSG:4326"),
            mapa.getProjectionObject()
        ), 50);
}

</script>

<script type="text/javascript" src="js/OpenLayers_base.js"></script>

<script type="text/javascript"> //Habilitar que se creen marcadores al dar
    clic en el mapa
```

```

    activarMarcadores=1;
</script>
<script type="text/javascript"
    src="js/OpenLayers_marcadores.js"></script>

<script type="text/javascript">
function marcas(txt)
{
//Posición de la luminaria
    var latlampara1=-141165.070915155;
    var lonlampara1=-8752399.5615992;
    if(activarMarcadores==1)
    {

var htmlStr= '<div style="height: 100px; width: 100px; border: 1px solid
    black;"> Control de Iluminacion <form action="/katy.php"> <input
    type="submit" value="Acceder"> </form> </div>';

agregarMarcador(lonlampara1,latlampara1,htmlStr,true,true);
    }
}

```

Anexo C

Programación de las condiciones del control automático de iluminación

```
<body>
<!--Programacion Hora Actual-->
<body onload="HoraActual(
<?php date_default_timezone_set("America/Guayaquil"); echo date("H",
    time () ).", ".date("i").", ".date("s") ; ?>)">
<div id="contenedor_reloj"></div>
```

```
<?php
//Visualizar Dia
header("Content-Type: text/html;charset=utf-8");
setlocale(LC_TIME, "spanish");
echo strftime("%A");
?>
```

```
//Refrescar la página cada 5 segundos
<meta http-equiv="refresh" content="5" />
```

```
<?php ini_set('display_errors ', 1);
```

```
//Adquisición datos del Sensor LDR desde la BD
```

```
$conect=mysql_connect("localhost", "root", "pasaportemaria");
mysql_select_db("katy", $conect);
$resultado=mysql_query("SELECT valor FROM sensorldr ORDER BY id
    DESC LIMIT 1", $conect);
if (!$resultado)
{
    die ('No se pudo consultar:' . mysql_error());
}
```

```

$sensor= mysql_result($resultado, 0);
echo "<br>";

//Adquisicion datos Sensor PIR desde la BD

$conectar=mysql_connect("localhost", "root", "pasaportemaria");
mysql_select_db("katy", $conectar);
$result=mysql_query("SELECT valor FROM sensorpir ORDER BY id
DESC LIMIT 1", $conectar);
if (!$result){
die ('No se pudo consultar:' . mysql_error());
}
$sensorpir= mysql_result($result, 0);

// hora actual
$date = date("H", time ( ) );
//dia actual
$day= strftime("%A");

//Condicionando el sensor LDR
if ($sensor <= "500"){
$connect = mysqli_connect("localhost", "root", "pasaportemaria", "katy");
if ($connect->connect_error) {
die("Connection failed: " . $connect->connect_error);
}
$sql = "DELETE FROM pwm WHERE 1";
if ($connect->query($sql) === TRUE)
{
}

//Condicion dias
if($day == "lunes" || $day == "martes" || $day == "miercoles" || $day
== "jueves" || $day == "viernes")
{
//Condicion 100 porciento
if ($date == "18" || $date == "19" || $date == "20" || $date ==
"21" || )
{
$cnt = mysql_connect("localhost","root","pasaportemaria");
mysql_select_db("katy",$cnt);
$con = mysqli_connect("localhost","root","pasaportemaria","katy")
or die ("NO SE ESTA CONECTANDO");

```

```

$resp = mysql_query("SELECT COUNT(id) FROM registro", $cnt);
if(!$resp)
{
    die("ERROR: ".mysql_error());
}

if(mysql_result($resp, 0) == 1)
{
mysqli_query($con,"UPDATE registro SET id = 1, valor= 100
WHERE id = 1") ;
mysqli_query($con,"INSERT INTO grafica (valor) VALUES (100)");
}
else
{
if(mysqli_query($con,"INSERT INTO registro(id, valor) VALUES (1,
100)")) ";
}

//Condicion 20 porciento
else if($date == "22" || $date == "23" || $date == "00" || $date ==
"01" || $date == "02" || $date == "03" || $date == "04" || $date ==
"05" || )
{
$cnt = mysql_connect("localhost","root","pasaportemaria");
mysql_select_db("katy",$cnt);
$con=mysqli_connect("localhost","root","pasaportemaria","katy") or
die ("NO SE ESTA CONECTANDO");

$resp = mysql_query("SELECT COUNT(id) FROM registro", $cnt);
if(!$resp)
{
    die("ERROR: ".mysql_error());
}
if(mysql_result($resp, 0)== 1)
{
mysqli_query($con,"UPDATE registro SET id = 1, valor= '20'
WHERE id = 1");
mysqli_query($con,"INSERT INTO grafica (valor) VALUES (20)");
}
{
mysqli_query($con,"INSERT INTO registro(id, valor) VALUES
(1,20)");
}
}

```

```

//Condicionar Sensor PIR, increment al 100%
if($sensorpir == "1")
{
$resp= mysql_query ("UPDATE registro SET id = 1, valor= '100'
WHERE id = 1");
mysqli_query($con,"INSERT INTO grafica (valor) VALUES (100)");
}
}
else
{
$cnt = mysql_connect("localhost","root","pasaportemaria");
mysql_select_db("katy",$cnt);
$con=mysqli_connect("localhost","root","pasaportemaria","katy") or
die ("NO SE ESTA CONECTANDO");

$resp = mysql_query("SELECT COUNT(id) FROM registro", $cnt);
if(!$resp)
{
    die("ERROR: ".mysql_error());
}
if(mysql_result($resp, 0)== 1)
{
mysqli_query($con,"UPDATE registro SET id = 1, valor= '0' WHERE
id = 1");
mysqli_query($con,"INSERT INTO grafica (valor) VALUES (0)");
}
else{
    mysqli_query($con,"INSERT INTO registro(id, valor) VALUES
(1,0)");
}
}
}

//Condicion dias sabados y domingos
if ($day == "sabado" || $day == "domingo")
{
    //Condicion 50 porciento
    if ($date == "18" || $date == "19")
    {
$cnt = mysql_connect("localhost","root","pasaportemaria");
mysql_select_db("katy",$cnt);

```

```

$con=mysqli_connect("localhost","root","pasaportemaria","katy") or
die ("NO SE ESTA CONECTANDO");

$resp = mysql_query("SELECT COUNT(id) FROM registro", $cnt);
if(!$resp)
    {
        die("ERROR: ".mysql_error());
    }
if(mysql_result($resp, 0)== 1)
    {
        mysqli_query($con,"UPDATE registro SET id = 1, valor= '50'
        WHERE id = 1");
        mysqli_query($con,"INSERT INTO grafica (valor) VALUES (50)");
    }
else if ( mysql_result($resp, 0)!= 1)
    {
        mysqli_query($con,"INSERT INTO registro(id, valor) VALUES
        (1,50)");
    }
//Condicion Sensor PIR, increment al 100%
if($sensorpir == "1")
    {
        $resp= mysql_query ("UPDATE registro SET id = 1, valor= '100'
        WHERE id = 1");
        mysqli_query($con,"INSERT INTO grafica (valor) VALUES (100)");
    }
}

//Condicion 10 porciento
else if ($date=="20" || $date == "21" || $date == "22" || $date ==
"23" || $date == "00" || $date == "01" || $date == "02" || $date ==
"03" || $date == "04" || $date == "05" || )
    {
        $cnt = mysql_connect("localhost","root","pasaportemaria");
        mysql_select_db("katy",$cnt);
        $con=mysqli_connect("localhost","root","pasaportemaria","katy") or
        die ("NO SE ESTA CONECTANDO");
        $resp = mysql_query("SELECT COUNT(id) FROM registro", $cnt);
        if(!$resp)
            {
                die("ERROR: ".mysql_error());
            }
        if(mysql_result($resp, 0)== 1)

```

```

{
mysql_query($con,"UPDATE registro SET id = 1, valor= '10'
WHERE id = 1");
mysql_query($con,"INSERT INTO grafica (valor) VALUES (10)");
}
else
{
mysql_query($con,"INSERT INTO registro(id, valor) VALUES
(1,10)");
}
//Condicion Sensor PIR, increment al 100%
if($sensorpir == "1")
{
$resp= mysql_query ("UPDATE registro SET id = 1, valor= '100'
WHERE id = 1");
mysql_query($con,"INSERT INTO grafica (valor) VALUES (100)");
}
}

//Fin sabados y domingos
else
{
$cnt = mysql_connect("localhost","root","pasaportemaria");
mysql_select_db("katy",$cnt);
$con=mysql_connect("localhost","root","pasaportemaria","katy") or
die ("NO SE ESTA CONECTANDO");

$resp = mysql_query("SELECT COUNT(id) FROM registro", $cnt);
if(!$resp)
{
    die("ERROR: ".mysql_error());
}
if(mysql_result($resp, 0)== 1)
{
mysql_query($con,"UPDATE registro SET id = 1, valor= '0' WHERE
id = 1");
mysql_query($con,"INSERT INTO grafica (valor) VALUES (0)");
}
else
{
mysql_query($con,"INSERT INTO registro(id, valor) VALUES
(1,0)");
}
}
}

```

```

}
//Fin del sensor
}
//Si el sensor LDR no es <=500, mantener en 0%
else
{
$cnt = mysql_connect("localhost","root","pasaportemaria");
mysql_select_db("katy",$cnt);
$con=mysql_connect("localhost","root","pasaportemaria","katy") or die
("NO SE ESTA CONECTANDO");

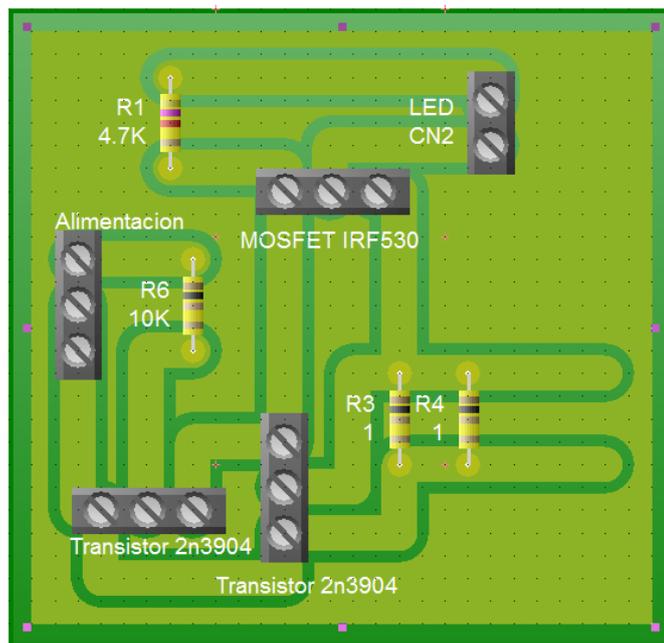
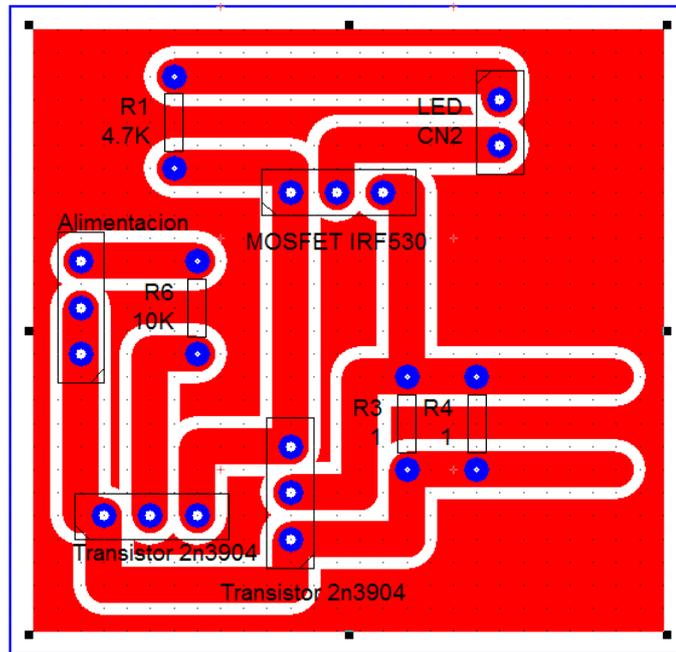
$resp = mysql_query("SELECT COUNT(id) FROM registro", $cnt);
if(!$resp)
{
die("ERROR: ".mysql_error());
}
if(mysql_result($resp, 0)== 1)
{
mysql_query($con,"UPDATE registro SET id = 1, valor= '0' WHERE id =
1");
mysql_query($con,"INSERT INTO grafica (valor) VALUES (0)");
}
else {
mysql_query($con,"INSERT INTO registro(id, valor) VALUES (1,0)");
}
}

$connect->close();
?>

```

Anexo D

Circuito Impreso del Prototipo realizado en PCB Wizard



Anexo E

Presupuesto del proyecto de Investigación

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitarios (\$)	Valor Total (\$)
1	Arduino Leonardo	c/u	1	38	38
2	Shield Yun	c/u	1	55	55
3	Cargador de 12v	c/u	1	16	15
4	Transistores 2N3904	c/u	2	0,5	1
5	Resistencias	c/u	10	0,1	1
6	MOSFET IRF530	c/u	1	0,75	0,75
7	borneras	c/u	6	0,25	1,5
8	TRIAC BT136	c/u	1	0,45	0,45
9	MOC3021	c/u	1	0,5	0,5
10	Optoacoplador 4N25	c/u	1	0,5	0,5
11	Puente de diodos	c/u	1	1,75	1,75
12	Disipador de calor	c/u	1	2	1,5
13	Baquela	c/u	1	1,5	1,5
14	Diseño	hora	190	4,40	836
15	Mano de obra	Hora	5	4,40	22
		Subtotal, USD \$			976,45
		Imprevistos 10%, USD \$			97,64
		TOTAL, USD \$			1074,08

Anexo F

Prototipo del Control de Iluminación



Anexo G

Plano Eléctrico Campus Huachi UTA