UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones

TEMA:

"PLATAFORMA IoT DE CONTROL INTELIGENTE DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED CON SUMINISTRO ELÉCTRICO EN CORRIENTE CONTINUA LVDC"

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

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Sistemas de Control

AUTOR: Diego Abraham Taipe Manotoa

TUTOR: PhD. Alberto Ríos Villacorta

AMBATO – ECUADOR

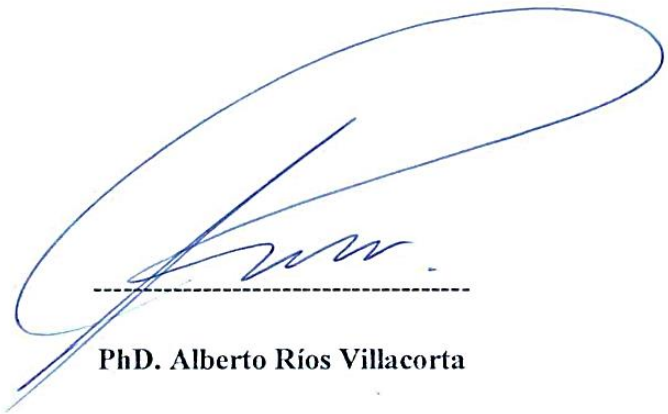
Octubre 2018

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el Tema: "PLATAFORMA IoT DE CONTROL INTELIGENTE DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED CON SUMINISTRO ELÉCTRICO EN CORRIENTE CONTINUA LVDC", del señor Diego Abraham Taipe Manotoa, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, 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 Octubre, 2018

EL TUTOR



PhD. Alberto Ríos Villacorta

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: "PLATAFORMA IoT DE CONTROL INTELIGENTE DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED CON SUMINISTRO ELÉCTRICO EN CORRIENTE CONTINUA LVDC". 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 Octubre, 2018

Diego Abraham Taipe Manotoa

CC: 0503836595

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 Octubre, 2018

Diego Abraham Taipe Manotoa

CC: 0503836595

APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Geovanni Brito e Ing. Paulina Ayala, revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado "PLATAFORMA IoT DE CONTROL INTELIGENTE DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED CON SUMINISTRO ELÉCTRICO EN CORRIENTE CONTINUA LVDC", presentado por el señor Diego Abraham Taipe Manotoa 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

PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Ing. Geovanni Brito

DOCENTE CALIFICADOR

Ing. Paulina Ayala

DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mis padres Filiberto Taipe y Martha Manotoa por el apoyo constante e incondicional que me han brindado durante mi formación profesional y de mi vida, por sus palabras de aliento, por el sacrificio que han hecho para que pueda culminar mi carrera y por enseñarme a nunca rendirme ante nada.

A mi hermano Julio por ser un ejemplo para mí tanto en el ámbito profesional como personal, por su ayuda constante y por demostrarme la gran fe que tiene en mí.

Diego Abraham Taipe Manotoa

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme fuerzas para superar los obstáculos y dificultades que se han presentado en mi vida, por protegerme en todo momento y darme la oportunidad de formarme como profesional.

A mis padres, hermanos y familiares que me han apoyado incondicionalmente y han depositado su confianza en mí para poder cumplir mis objetivos personales y profesionales.

A mi tutor Dr. Alberto Ríos, por ser mi guía y un gran apoyo académico al compartir sus conocimientos para el desarrollo de la presente investigación.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial por sus conocimientos brindados que han permitido no solo formarme como profesional sino como persona.

Finalmente agradezco a mis amigos, con quienes compartí muchos momentos de alegría en el transcurso de mi vida universitaria, por sus frases emotivas de aliento, sus ideas y su ayuda para que este proyecto se llevara a cabo.

Diego Abraham Taipe Manotoa

ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR II
AUTORÍA III
DERECHOS DE AUTOR IV
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA V
DEDICATORIA VI
AGRADECIMIENTO VII
RESUMEN XIX
ABSTRACT XX
INTRODUCCIÓN XXI
CAPÍTULO I EL PROBLEMA 1
1.1 TEMA 1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1
1.3 DELIMITACIÓN 3
1.3.1 Delimitación de contenidos 3
1.3.2 Delimitación Espacial 3
1.3.3 Delimitación Temporal 3
1.4 JUSTIFICACIÓN 3
1.5 OBJETIVOS 5
1.5.1 Objetivo General 5
1.5.2 Objetivos Específicos 5
CAPITULO II MARCO TEÓRICO 6
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS 6
2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 9
2.2.1 Sistema de Iluminación 9

2.2.1.1 Iluminación Natural 9
2.2.1.2 Iluminación Artificial 10
2.2.2 Suministro Eléctrico 13
2.2.2.1 Distribución de Corriente Continua en Baja Tensión, LVDC 13
2.2.2.2 Tipos de Baterías 14
2.2.3 Automatización y Control 16
2.2.3.1 Domótica e Inmótica 17
2.2.3.2 Tipos de Sistemas de Control 18
2.2.3.3 Microcontrolador 19
2.2.3.4 Microprocesador 20
2.2.4 Medición y Adquisición de la Información 21
2.2.4.1 Sensores de Corriente 21
2.2.4.2 Sensores de voltaje 22
2.2.4.3 Dispositivos de Hardware y Software Libre 24
2.2.5 Sistemas de Monitorización, Gestión y Virtualización 26
2.2.5.1 Internet de las Cosas 26
2.2.5.2 Servidor LAMP 29
2.3 PROPUESTA DE SOLUCIÓN 31
CAPITULO III METODOLOGÍA 32
3.1 MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN 32
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA 32
3.3 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN 33
3.4 PROCESAMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS 33
3.5 DESARROLLO DEL PROYECTO 33
CAPITULO IV DESARROLLO DE LA PROPUESTA 35
4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA 35

4.2 NORMATIVA DE ILUMINACIÓN UNE-EN 12464-1 38
4.2.1 Normativa de Iluminación en Lugares Interiores.....38
4.3 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LA FISEI 38
4.4 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA 41
4.5 SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN Y ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN 42
4.5.1 Sensor de Movimiento.....43
4.5.2 Sensor de Corriente.....44
4.5.3 Medición de Voltaje de la Luminaria 44
4.5.4 Sensor de Iluminación 45
4.6 SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....46
4.7 SELECCIÓN E INSTALACIÓN DE SOFTWARE DEL SERVIDOR 48
4.7.1 Selección del Hardware del Servidor.....48
4.7.2 Instalación del Servidor LAMP.....49
4.7.2.1 Linux.....49
4.7.2.2 Apache 51
4.7.2.3 MySQL 52
4.7.2.4 PHP y PHP MyAdmin.....52
4.8 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS DE COMUNICACIÓN.....54
4.9 SELECCIÓN DE LUMINARIAS LED 55
4.10 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN 56
4.10.1 Selección de la Batería de Alimentación.....56
4.10.2 Convertidores de Voltaje 57
4.11 SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO DE CONTROL DE LUMINOSIDAD Y CONTROL DE LA PERSIANA.....58
4.11.1 Selección del MOSFET 58

4.11.2 Selección del Transistor.....59
4.11.3 Selección de Control de la Persiana.....60
4.12 DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL INTELIGENTE DE ILUMINACIÓN LED.....62
4.12.1 Diseño del Circuito de Control de Luminosidad de la Luminaria LED.....65
4.12.2 Simulación del Circuito de Control de Luminosidad.....68
4.13 IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO DE CONTROL INTELIGENTE DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED.....69
4.13.1 Implementación y Validación Práctica del Circuito de Control.....71
4.13.2 Descripción del Diseño, Implementación y Validación de la Plataforma...74
4.13.3 Análisis de Mediciones de los Sensores.....78
4.14 EVALUACIÓN DE LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO EN ESPACIOS INTERIORES DE LA FISEI.....82
4.14.1 Análisis del Impacto Energético y Económico de la Sustitución de Luminarias Fluorescentes por LEDs.....82
4.14.1.1 Descripción del Espacio Interior Analizado.....85
4.14.1.2 Mediciones de Niveles de Iluminación.....87
4.14.1.3 Descripción y Simulación del Sistema Iluminación Fluorescente.....87
4.14.1.4 Simulación del Sistema de Iluminación Fluorescente Repotenciado.....89
4.14.1.5 Diseño y Simulación del Sistema de Iluminación LED.....90
4.14.1.6 Análisis Comparativo del Consumo Eléctrico y Coste Económico de la Sustitución de Luminarias Fluorescentes por Luminarias LED.....94
4.14.2 Análisis del Impacto Energético y Económico de la Implementación del Control Inteligente en Luminarias LEDs con alimentación en LVDC.....98
4.14.2.1 Análisis del Consumo Eléctrico y Coste Económico de la Sala de Investigación en la FISEI.....102
4.15 PRESUPUESTO DEL PROTOTIPO.....109

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....110

5.1 CONCLUSIONES.....110

5.2 RECOMENDACIONES.....112

BIBLIOGRAFÍA.....113

ANEXOS.....119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Valores de iluminancia natural [14].....10
Tabla 4.1: Requerimientos de iluminación en establecimientos educativos [47]. 38
Tabla 4.2: Potencia instalada en aulas y laboratorios de la FISEI. 39
Tabla 4.3: Características técnicas de sensores de movimiento/presencia. 43
Tabla 4.4: Características técnicas de sensores de corriente.....44
Tabla 4.5: Valores de voltaje de acuerdo a los niveles de corriente.....45
Tabla 4.6: Características técnicas de sensores de luz. 45
Tabla 4.7: Análisis técnico de tarjetas microcontroladoras. 47
Tabla 4 8: Hardware para servidor web. 49
Tabla 4.9: Tecnologías de comunicación. 54
Tabla 4.10: Análisis técnico de luminarias LED. 55
Tabla 4.11: Tipos y características de baterías DC [22].....56
Tabla 4.12: Elevador y reductor de voltaje DC-DC.....57
Tabla 4.13:Mediciones de voltaje-corriente en driver AC-DC Sylvania 40W. 58
Tabla 4.14: Características de conmutadores de estado sólido. 59
Tabla 4.15: Características transistores NPN [50]. 59
Tabla 4.16: Parámetros técnicos de motores a pasos. 60
Tabla 4.17: Resoluciones de tamaño de pasos driver A4988 [51]. 61
Tabla 4.18: Análisis de voltaje y corriente. 79
Tabla 4.19: Análisis de niveles de iluminación. 81
Tabla 4.20: Márgenes de reflexión superficies interiores [64]. 86
Tabla 4.21: Características técnicas de las luminarias fluorescentes. 90
Tabla 4.22: Resultados de la simulación en DIALux del sistema de iluminación fluorescente. 90
Tabla 4.23: Características técnicas de las luminarias LED. 91
Tabla 4.24: Datos de entrada para el Software especializado DIALux. 91
Tabla 4.25: Resultados de la simulación del sistema de iluminación LED en DIALux.....94
Tabla 4.26: Consumo de energía y coste económico de diferentes sistemas de iluminación de la sala de investigación. 95
Tabla 4.27: Consumo de energía y coste económico de diferentes sistemas de iluminación del edificio principal de la FISEI. 96

Tabla 4.28: Resumen económico del consumo de electricidad de los sistemas de iluminación. 98
Tabla 4.29: Niveles de iluminación natural[57].....101
Tabla 4.30: Días de sol, parcialmente nublado, nublado y precipitaciones [58].....102
Tabla 4.31: Consumo de energía y coste económico de diferentes sistemas de iluminación de la sala de investigación de la FISEI. 106
Tabla 4.32: Consumo de energía y coste económico de diferentes sistemas de iluminación de la sala de investigación de la FISEI. 107
Tabla 4.33: Consumo de energía y coste económico de diferentes sistemas de iluminación del edificio principal de la FISEI. 108
Tabla 4.34: Resumen del consumo eléctrico, costo consumo eléctrico y emisiones de CO_2 de los sistemas de iluminación. 108
Tabla 4.35: Presupuesto de construcción del prototipo. 109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema conceptual de la propuesta. 9
Figura 2.2: Tecnologías de iluminación. 10
Figura 2.3: Estructura interna del chip diodo LED [16]. 11
Figura 2.4: Estructura OLED [19]. 13
Figura 2.5: Esquema de distribución LVDC para aplicaciones residenciales [21]. 14
Figura 2.6: Esquema básico de una batería plomo-ácido [22]. 15
Figura 2.7: Diagrama de bloques de un sistema en lazo abierto [27]. 18
Figura 2.8: Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado [27]. 19
Figura 2.9: Estructura de un microcontrolador [30]. 19
Figura 2.10: Estructura de un microprocesador [32]. 21
Figura 2.11: Sensor de corriente modelo ASM-010 [33]. 22
Figura 2.12: Sensor de corriente modelo ACS712 [34]. 22
Figura 2.13: Sensor de voltaje DC FZ0430 [35]. 23
Figura 2.14: Sensor de voltaje diferencial BT32i [53]. 23
Figura 2.15: Sensor de voltaje EATON P52215 [37]. 24
Figura 2.16: Tipos de tarjeta Arduino [40]. 25
Figura 2.17: Raspberry pi [42]. 26
Figura 2.18: Servicios de proveedores de IoT [43]. 28
Figura 2.19: Pronóstico del crecimiento del internet de las cosas [44]. 29
Figura 2.20: Componentes del servidor LAMP [45]. 30
Figura 4.1: Esquema general de control y monitoreo del sistema de iluminación LED. 37
Figura 4.2: Diagrama de bloques del sistema. 42
Figura 4.3: Sensor de iluminación ambiental LDR. 46
Figura 4.4: Formateo tarjeta SD. 50
Figura 4.5: Instalación de la imagen raspbian stretch. 50
Figura 4.6: Comprobación del servidor web apache. 52
Figura 4.7: Creación del usuario en MySQL. 52
Figura 4.8: Comprobación de instalación de PHP. 53
Figura 4.9: Pantalla principal PHP MyAdmin. 54
Figura 4.10: Conexiones del driver A4988. 61
Figura 4.11: Esquema de conexiones del prototipo de control inteligente de iluminación LED. 1

Figura 4.12: Sensor PIR. 64
Figura 4.13: Conexiones de sensores y dispositivos al Arduino Nano. 65
Figura 4.14: Circuito de control de luminosidad LED en corriente continua [52]. 66
Figura 4.15: Sistema de control PI de lazo cerrado. 67
Figura 4.16: Simulación del circuito de control de luminosidad. 69
Figura 4.17: Porcentaje de PWM 75% - 50% - 25% 69
Figura 4.18: Diagrama de flujo del funcionamiento del prototipo. 69
Figura 4.19: Diagrama de flujo de la inserción de información en la base de datos. 70
Figura 4.20: Implementación del circuito de control. 71
Figura 4.21: Implementación y validación del sistema de control inteligente. 72
Figura 4.22: Acoplamiento del motor a pasos en la estructura de la persiana. 73
Figura 4.23: Validación práctica del circuito de control de luminosidad. 73
Figura 4.24: Validación práctica del circuito de control de luminosidad. 74
Figura 4.25: Estructura de la interfaz web. 75
Figura 4.26: Interfaz de la portada de la página web. 75
Figura 4.27: Interfaz del sistema de monitoreo. 76
Figura 4.28: Interfaz de del sistema de control. 77
Figura 4.29: Validación práctica del control inteligente de iluminación LED 78
Figura 4.30: Niveles de iluminación en la plataforma. 78
Figura 4.31: Análisis de voltaje. 80
Figura 4.32: Análisis de corriente. 80
Figura 4.33: Análisis de niveles de iluminación. 81
Figura 4.34: Diagrama conceptual de la metodología de investigación. 85
Figura 4.35: Parámetros geométricos del espacio interior evaluado. 86
Figura 4.36: Medición de iluminancia del sistema de iluminación fluorescente. 87
Figura 4.37: Diseño y distribución de puntos de cálculo del sistema de iluminación Fluorescente. 88
Figura 4.38: Espacio interior evaluado. 88
Figura 4.39: Diseño y distribución repotenciado de la iluminación existente. 89
Figura 4.40: Diseño y distribución de las luminarias LED con DIALux. 91
Figura 4.41: Imagen procesada en 3D en el software DIALux. 92
Figura 4.42: Nivel de iluminación por colores de las superficies de cálculo de las simulaciones del sistema de iluminación LED. 93

Figura 4.43: Distribución e imagen 3D procesada en DIALux con niveles mínimos de iluminación. 93
Figura 4.44: Comparativa del costo económico del consumo eléctrico de los sistemas de iluminación. 97
Figura 4.45: Sistema de iluminación fluorescente y LED sin control. 100
Figura 4.46: Días de sol, parcialmente nublado, nublado y precipitaciones [58]. 101
Figura 4.47: Sistemas de iluminación en día soleado. 103
Figura 4.48: Sistemas de iluminación en días parcialmente nublados. 104
Figura 4.49: Sistemas de iluminación en días nublados. 105

Glosario de Términos y Acrónimos

- AC: Alternating Current (Corriente Alterna)
- ASF: Apache Software Foundation
- DC: Direct Currente (Corriente Directa)
- FISEI: Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.
- FPGA: Field Programmable Gate Array ()
- FTP: Field Transfer Protocol (Protocolo de Transferencia de Archivos)
- GPIO: General Purpose Input/Output (Entrada/Salida de Propósito General
- GUI: Graphical User Interface (Interfaz Gráfica de Usuario)
- I^2C: Inter-Integrated Circuit (Bus Serie de Datos)
- IDE: Integrated Development Environment (Entorno de Desarrollo Integrado)
- IEA: International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)
- IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica)
- INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos
- IoT: Internet of Things (Internet de las Cosas)
- LAMP: Linux, Apache, MySQL y PHP
- LED: Light Emitting Diode (Diodo Emisor de Luz)
- LVDC: Low Voltage Direct Current (Voltage Directo de Baja Tensión)
- LVDC: Low Voltage Direct Current, (Voltage Directo de Baja Tensión)
- OLED: Organic Light Emitting Diode (Diodo Orgánico Emisor de Luz)
- PHP: Hypertext Preprocessor (Preprocesador de Hipertexto)
- PIR: Pyroelectric Infrared (Sensor Infrarrojo Pasivo)
- PWM: Pulse-Width Modulation (Modulación por ancho de pulsos)
- SPI: Serial Peripheral Interface (Interfaz Periférica Serial)
- SSL: Solid State Lighting (Iluminación de Estado Sólido)
- TIC: Tecnologías de la Información y la Comunicación
- UART: Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (Receptor-Transmisor Asíncrono Universal)

RESUMEN

En el presente proyecto, se describe el diseño e implementación de un prototipo de control inteligente del sistema de iluminación LED con suministro eléctrico en corriente continua de baja tensión, LVDC, en una plataforma IoT. El objetivo de la implementación de un control inteligente del sistema de iluminación artificial es garantizar la reducción del consumo eléctrico debido al máximo aprovechamiento de la luz natural y al apagado del sistema de iluminación al detectar la ausencia de ocupantes en el espacio interior. El dispositivo de control de las luminarias LED atenúa el nivel de luminosidad, maximizando el aprovechamiento de la luz natural exterior y garantizando los mínimos niveles de iluminación, establecidos en la normativa de iluminación en espacios interiores UNE-EN 12464-1. La monitorización, gestión y visualización de la información del sistema de Iluminación LED se realiza a través de la plataforma IoT. El acceso y gestión de la información se puede realizar desde cualquier dispositivo electrónico que cuente con acceso a internet.

Palabras clave: DIALux, iluminación LED, iluminación mantenida, SSL.

ABSTRACT

In this project, we describe the design and implementation of an intelligent control prototype of the LED lighting system with low voltage direct current power supply, LVDC, on an IoT platform. The objective of the implementation of an intelligent control of the artificial lighting system is to guarantee the reduction of the electricity consumption due to the maximum use of natural light and the shutdown of the lighting system when detecting the absence of occupants in the interior space. The control device of the LED luminaires attenuates the level of luminosity, maximizing the use of outdoor natural light and guaranteeing the minimum levels of illumination, established in the lighting regulations in indoor spaces UNE-EN 12464-1. The monitoring, management and visualization of the information of the LED lighting system is done through the IoT platform. The access and management of information can be done from any electronic device that has access to the internet.

Keywords: DIALux, LED lighting, maintenance lighting, SSL.

INTRODUCCIÓN

El propósito del presente trabajo es optimizar el consumo eléctrico de los sistemas de iluminación con el desarrollo de un prototipo de monitoreo y control de iluminación LED, maximizando el aprovechamiento de luz natural e implementando un sensor de presencia para el apagado automatizado de las luminarias en periodos de ausencia de personas en espacios interiores. El prototipo está compuesto por sensores, actuadores, microcontrolador y microprocesador que interactúan entre sí de acuerdo a la programación previamente establecida. Responde a los niveles de iluminación externa influyendo en la iluminación interior con la apertura y cierre de una persiana y a través del control de la iluminación artificial compensa el nivel de iluminación interior requerida, cumpliendo con los niveles de iluminación adecuados para el desarrollo de actividades en lugares interiores establecidos en la normativa de iluminación UNE-EN 12464-1. Los datos adquiridos se almacenan en una base de datos en un servidor, alojado en una raspberry pi 3. La visualización y gestión del sistema se puede realizar a través de una interface web desde cualquier dispositivo que cuente con una conexión a internet.

El desarrollo del presente trabajo se divide en cinco capítulos que permite conocer de manera ordenada el problema, el estudio del arte, metodología, desarrollo de la propuesta, conclusiones y recomendaciones. Por lo tanto, en el Capítulo I se describe la problemática y la factibilidad de realizar el proyecto permitiendo plantear el objetivo principal, así como, los objetivos específicos que ayudaran al desarrollo del mismo.

En el Capítulo II se hace mención de trabajos investigativos y aplicativos relacionados al presente proyecto de investigación realizados dentro y fuera del país. En este capítulo se incluye la fundamentación teórica del proyecto y se concluye con la propuesta de solución al problema detallado en el Capítulo I.

En el Capítulo III se describe la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto de investigación.

En el Capítulo IV se desarrolla la propuesta de solución, se detalla el proceso de selección de dispositivos electrónicos, así como, las tecnologías utilizadas en el proyecto. Se describe paso a paso los subprocesos realizados previo al funcionamiento del prototipo de Plataforma IoT de Control Inteligente de un Sistema de Iluminación LED con Suministro Eléctrico en Corriente Continua LVDC.

En el Capítulo V se redactan las conclusiones y recomendaciones obtenidas durante la realización del presente proyecto de investigación.

CAPÍTULO I
EL PROBLEMA

1.1 TEMA

“Plataforma IoT de Control Inteligente de un Sistema de Iluminación LED con Suministro Eléctrico en Corriente Continua LVDC**”**

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Ecuador, la distribución eléctrica se divide en tres categorías de tarifas, en función a las características de consumo: residencial, general y alumbrado público. La categoría general corresponde básicamente al comercio, la industria y la prestación de servicios públicos y privados, dentro de la prestación de servicios se encuentra las clínicas, hospitales, almacenes, tiendas, hoteles, restaurantes, instituciones educativas, plantas de radio, televisión y cualquier otro servicio de telecomunicaciones, cámaras de comercio e industria tanto nacionales como extranjeras [1].

De acuerdo a la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, el consumo per cápita representa la relación que existe entre el consumo de energía y la población. En el año 2015, en la provincia de Tungurahua, el consumo de energía eléctrica fue de 485,79 GWh, con una población de 557,563 habitantes, resultado de las proyecciones poblacionales del VII censo realizada por el INEC. Por tanto, el consumo per cápita de la provincia es de aproximadamente 871,28 KWh⁄hab [2].

La factura eléctrica del mes de septiembre de 2018 de la Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi fue de $ 12 515,85 según la facturación por parte de la

Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A, factura presentada en el anexo A. En el campus Huachi existen ocho facultades que laboran en diferentes jornadas. El consumo eléctrico de cada una de las facultades no es el mismo. No obstante, para realizar un análisis aproximado del coste económico del sector eléctrico de cada facultad se distribuyó el total de la facturación para el total de facultades que cuenta la universidad. Por tanto, el monto aproximado asignado a la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, FISEI, es de $ 1 564,48 correspondiente al uso en general de electricidad en el cual se incluye el sistema de iluminación.

La Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato cuenta aproximadamente con 1017 lámparas fluorescentes que varían entre 32 y 36 vatios de potencia, correspondientes a diferentes aulas y laboratorios. Habitualmente, el horario de trabajo dentro de la FISEI es de siete de la mañana a diez de la noche. Las aulas, laboratorios y oficinas administrativas funcionan en dos jornadas, de siete de la mañana a una de la tarde y de dos de la tarde a diez de la noche. No obstante, se considera para un cálculo aproximado y análisis del consumo energético del sistema de iluminación que las luminarias se encuentran encendidas durante 14 horas, es decir durante las dos jornadas de trabajo. Un cálculo aproximado, con la potencia promedio de lámparas de 32W, permite indicar que el consumo de energía eléctrica aproximado en las luminarias de aulas, laboratorios y salas es de 9 112,32 kWh⁄mes. El costo económico mensual aproximado es de $574,08 a una tarifa de 0,063 USD/kWh según lo estipulado en el Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas, Servicio Público de Energía Eléctrica [1].

En la actualidad, las lámparas incandescentes y fluorescentes representan un considerable consumo eléctrico y consecuente costo económico para la FISEI y la Universidad Técnica de Ambato. Es importante indicar que el encendido del sistema de iluminación se realiza mediante conmutación manual. Además, no existe ningún tipo de control y seguimiento del consumo eléctrico en la FISEI. Así, un importante número de luminarias de aulas y laboratorios se mantienen encendidas sin estar utilizando docentes, alumnos o personal administrativo.

1.3 DELIMITACIÓN

1.3.1 Delimitación de contenidos

Área académica: Física y Electrónica
Línea de investigación: Sistemas de Control
Sublínea de investigación: Domótica

1.3.2 Delimitación Espacial

El proyecto de investigación se desarrolló en las aulas y laboratorios de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.

1.3.3 Delimitación Temporal

El proyecto se realizó en el período Marzo 2018 – Agosto 2018 de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Graduación para Obtener el Título de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Existe un problema de consumo eléctrico innecesario y sin control en las luminarias de las aulas y laboratorios de la FISEI, que puede ser significativamente reducido por la sustitución de sistemas de iluminación obsoletos, luminarias incandescentes y fluorescentes, actualmente aún en funcionamiento. En este sentido, las luminarias LED garantizan un excelente nivel de luminosidad y reducido consumo eléctrico.

La innovación y avance tecnológico ha permitido la invención y desarrollo de los dispositivos LED como fuente luminosa, convirtiéndose rápidamente en la iluminación del futuro, gracias a su rendimiento lumínico y sus capacidades de diseño [3]. Por otro lado, la implementación de innovadores sistemas de control de luminarias proporciona un ahorro adicional en el consumo eléctrico, permitiendo introducir

estrategias de optimización, gracias al aprovechamiento de la luz natural y al empleo de sensores de presencia, que apaguen las luminarias al detectar ausencia de personas.

El aumento de la eficacia y los ahorros de energía asociados a LEDs reducen las pérdidas de distribución eléctrica, los gases de efecto invernadero y otras emisiones contaminantes y el uso de combustibles fósiles para la generación de electricidad. El Departamento de Energía, DOE, pretende alcanzar una eficacia lumínica de más de 200 lm/W al año en 2025, reduciendo los costos de fabricación de dispositivos de iluminación de estado sólido y coadyuvando a importantes ahorros de energía [4].

La integración de un sistema de distribución eléctrica en corriente continua, denominada LVDC, Low Voltage Direct Current, conectada a sistemas renovables de generación eléctrica es una innovadora línea de investigación, que permitirá una reducción adicional en las pérdidas de energía eléctrica, así como la simplicidad y posible reducción de costes en los dispositivos de conversión de potencia. El sistema LVDC tiene un alcance más amplio para la generación y distribución de electricidad y una eficiencia superior del equipo DC [5-6].

Existe un gran número de dispositivos electrónicos que utilizan hardware y software libre que permiten realizar aplicaciones de automatización. En la actualidad, los sensores y actuadores disponen de un protocolo de comunicación TCP/IP que permite estructurar una arquitectura IoT para el monitoreo y control. Los escenarios de aplicación de IoT son la domótica, la logística, el transporte inteligente, la automatización, la industria, gestión de negocios y procesos. La integración de internet de las cosas con la nube, Cloud-IoT, permite: adquirir, almacenar, transmitir, compartir y visualizar datos del entorno físico para la realización de tareas y ejecución de múltiples aplicaciones [7].

La Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial será el principal beneficiario del ahorro del consumo eléctrico del prototipo de una plataforma IoT de control inteligente de un sistema de iluminación LED, con suministro eléctrico en corriente continua LVDC, en aulas y laboratorios. El ahorro obtenido permitirá direccionar los recursos para financiar proyectos de investigación en las diferentes

facultades de la universidad. Así mismo, como beneficiario de la presente propuesta será la comunidad universitaria. Con el desarrollo del presente proyecto se prevé un impacto indirecto en la sociedad, fomentando el uso de nuevas tecnologías de eficiencia energética en sistemas de iluminación, en caso de proceder a la implementación masificada del prototipo.

Por todo lo anteriormente expresado, el proyecto es factible ya que presenta una solución tecnológica para reducir el consumo de energía eléctrica en la FISEI, contando con los conocimientos necesarios, la tecnología y las diferentes fuentes bibliográficas para el cumplimiento del proyecto.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

- Implementar un prototipo de plataforma IoT de control inteligente de un sistema de iluminación LED, con suministro eléctrico en corriente continua LVDC.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Analizar el consumo energético y gasto económico de las aulas y laboratorios de la FISEI.
- Diseñar un prototipo de plataforma IoT de control inteligente de un sistema de iluminación LED, integrado en un sistema de distribución eléctrica en corriente continua LVDC.
- Analizar el ahorro energético y reducción del gasto económico por la implementación de un prototipo de plataforma IoT de control inteligente de un sistema de iluminación LED, con suministro eléctrico en corriente continua LVDC.

CAPITULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Del proceso de investigación realizada en los repositorios de las diferentes Universidades Nacionales e Internacionales, así como en artículos científicos publicados en diferentes revistas, se han encontrado artículos de investigación relacionados con el Diseño e implementación de una plataforma IoT de control inteligente de un sistema de iluminación LED, con suministro eléctrico en corriente continua LVDC, los cuales se describen a continuación:

- En el año 2017, se ha registrado en la base de datos de la IEEE un artículo científico de D. Floarea y V. Sgârciu de la 21st International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS), con el tema: **"LED Smart Illumination with RFID Indoor Positioning"**, en el trabajo presentado, se propone un sistema inteligente de iluminación LED basado en la tecnología de identificación RFID, proporcionando una iluminación dinámica en la habitación en función de la posición y el número de usuarios presentes. El sistema se compone de una etiqueta RFID, tres lectores RFID que pueden enviar solicitudes HTTP a una aplicación alojada en un entorno de nube, dos dispositivos Raspberry Pi que sirven como máquinas locales para los lectores y el sistema de iluminación LED que se activa y desactiva según la respuesta ofrecida por el centro de procesamiento. [8]

- En el año 2017, se ha registrado en la base de datos de la IEEE un artículo científico de A. Mohammed, J. Sigi y P. R. Dhanesh presentado en la International

Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), con el tema: **"LVDC Architecture for Residential Application"**, el proyecto presenta un sistema LVDC residencial, como alternativa a la distribución de energía convencional AC, ya que tiene un alcance más amplio para la generación y distribución de electricidad y una eficiencia en equipos DC. La adopción generalizada y la investigación de los sistemas de distribución de DC han dado lugar al desarrollo y propuestas para la distribución de CC sobre el sistema de distribución de CA existente. [6].

- En el año 2016, en la conferencia Isaca Cybersecurity Day Chile, en la Sede Manuel Montt de la Universidad Mayor, J. R. Anabalón presentó un artículo con el tema: **"Internet of Threats (IoT): Una visión de la arquitectura, aplicaciones, riesgos y desafíos futuros"**, describiendo al internet de las cosas (IoT) como un paradigma de la tecnología, concebido como una red global de máquinas y dispositivos capaces de interactuar entre sí, que permite el monitoreo, control, análisis de datos y el intercambio de información con la interacción de dispositivo a dispositivo y de persona a dispositivo, facilitando el desarrollo de numerosas aplicaciones orientadas a la industria y aplicaciones específicas de usuario. El IoT permite tener un ecosistema de cosas interconectadas, que cuentan con hardware y software compatible para la ejecución de acciones previamente establecidas [9].

- En el repositorio de la Universidad Politécnica Salesiana se ha registrado el tema de investigación titulado: **"Diseño de iluminación con luminarias tipo LED basado en el concepto eficiencia energética y confort visual, implementación de estructura para pruebas"**, desarrollado por M. Castro y N. Posligua, en marzo de 2015, el proyecto permite optimizar el consumo eléctrico realizando diseños con equipos más eficientes, maximizando el confort visual, mediante la implementación de un módulo de pruebas para la selección de luminarias LED, las cuales se destacan por su rendimiento, durabilidad, versatilidad de aplicaciones y eficiencia energética. El módulo de pruebas de luminarias LED permite realizar mediciones de la cantidad de lúmenes que proporciona los diferentes modelos de luminarias [10].

- En la base de datos de la IEEE se encuentra registrado un artículo de la International Conference on Computing Communication Control and automation (ICCUBEA) 2016, titulado **"Design of Intelligent System for Indoor Lighting"**, desarrollado por A. Mahajan y D. Markande, en el mismo se hace un análisis del consumo de las luminarias en espacios interiores, determinado que el 40% de la energía total es consumida por lámparas tradicionales como lámparas fluorescentes y balastos electrónicos, existiendo un amplio rango de ahorro energético y reducción del coste económico que emiten dióxido de carbono (CO_2) al medio ambiente. El sistema propuesto es un sistema inteligente de control de iluminación LED, que regula la intensidad de la luz dependiendo de la luz natural disponible [11].

- En el año 2017, se ha registrado en la base de datos de la IEEE un artículo científico de F. Pesántez, A. Valdez, X. Serrano, W. Orozco y G. Escrivá con el tema: **"A Digital Control System for Lighting Energy Consumption Efficiency (LECE)"**, el proyecto presenta un sistema electrónico de control proporcional integral y derivativo, PID, sobre el sistema de iluminación LED para la eficacia con respecto al consumo de energía de iluminación. El sistema propuesto probado durante tres meses interactúa con la iluminación natural y controla las bombillas de luz LED en cuatro espacios físicos en la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) en Cuenca representando aproximadamente un 70% en el ahorro de energía de iluminación [12].

- En el año 2017, se ha registrado en la base de datos de la IEEE un artículo de J. Mota, G. Freitas, M. Santana, A. Spacek, L. Biléssimo, O. Ando y R. Giansela con el tema: **"Use of natural sunlight incident to an internal environment with control and compensation of luminosity through an electronic system"**, el proyecto presenta la implementación de un sistema híbrido de recolección de luz natural a través de tubos fluorescentes asociados a un sistema electrónico automatizado para corregir y estabilizar la luminosidad en el entorno. El sistema electrónico permite al usuario establecer la iluminación deseada, centrándose en la eficiencia energética, que permite reducir el consumo de electricidad a partir del uso de luz natural y luz LED controlada electrónicamente [13].

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En la figura 2.1 se presenta un esquema conceptual utilizado como referencia de la propuesta de Plataforma IoT de Control Inteligente de un Sistema de Iluminación LED con Suministro Eléctrico en Corriente Continua LVDC, para describir la fundamentación teórica de los diferentes aspectos tecnológicos involucrados en el desarrollo del prototipo propuesto:

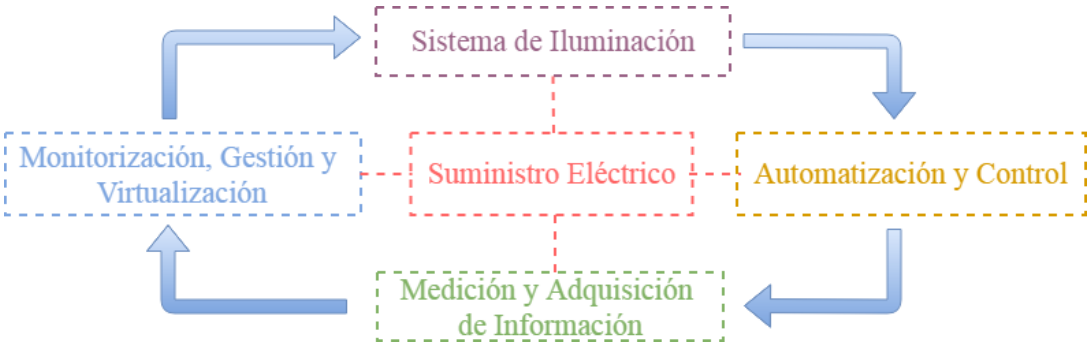


Figura 2.1: Esquema conceptual de la propuesta.

Elaborado por: Investigador

2.2.1 Sistema de Iluminación

2.2.1.1 Iluminación Natural

Este tipo de iluminación es la mejor desde un punto de vista fisiológico, esto se debe a su composición espectral que permite mejorar las condiciones físicas y psicológicas en el entorno de trabajo. La calidad de iluminación natural es mejor que la luz artificial, ofrece un mayor confort visual, alcanzando niveles de iluminación adecuados para las exigencias visuales dentro de los espacios interiores [14]. Además, la integración de la iluminación natural junto a los sistemas de iluminación artificial representa ahorros en cuanto a consumo de energía eléctrica y por tanto un ahorro económico, en la tabla 2.1 se presenta los valores de iluminancia natural.

Tabla 2.1: Valores de iluminancia natural [14].

Iluminancias		
Sol	Mediodía de verano al aire libre, con cielo despejado	1000.000 lux
Cielo despejado	Mediodía de verano al aire libre, con cielo cubierto	20.000 lux
Cielo cubierto	Noche de luna llena	0,25 lux
Luna	Noche de luna nueva (Luz de las estrellas)	0,01lux

2.2.1.2 Iluminación Artificial

La iluminación artificial es toda aquella que no proviene del sol. La iluminación artificial puede ser proveniente de diferentes fuentes como velas, linternas, mediante la luz eléctrica se tiene lámparas y tubos fluorescentes, esta iluminación es producida por medio del flujo de una corriente eléctrica en diferentes materiales que generan iluminación. Se presenta en la figura 2.2 la clasificación de diferentes tecnologías de iluminación [15].

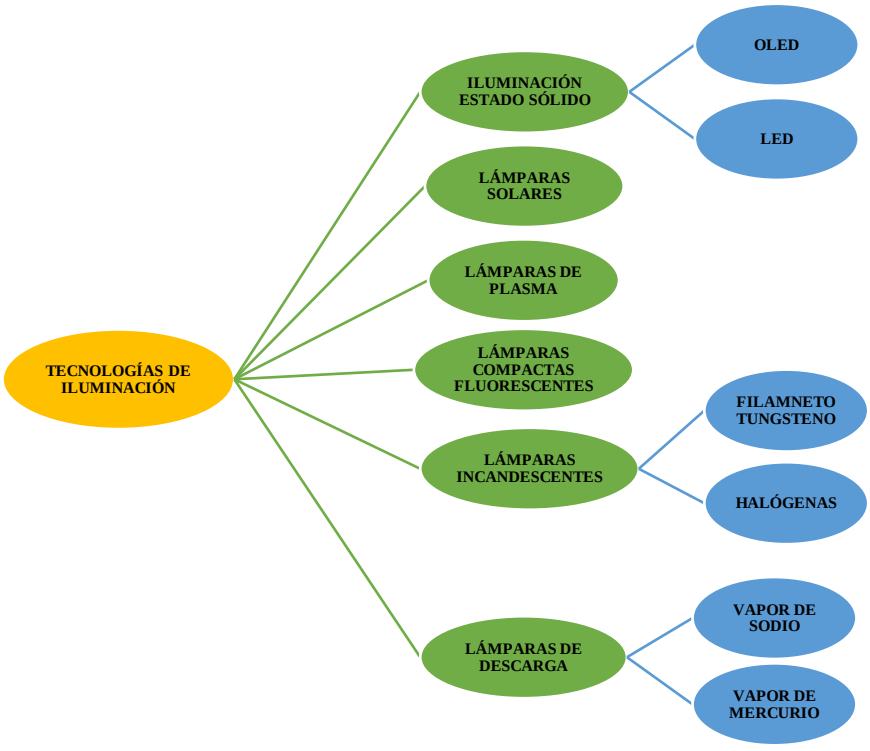


Figura 2.2: Tecnologías de iluminación.

Elaborado por: Investigador

La evolución de la iluminación de estado sólido, SSL, Solid State Lighting, representa un cambio profundo en los sistemas de iluminación y representa una gran oportunidad para generar ahorros significativos de energía. La iluminación de estado sólido emplea dispositivos semiconductores como diodos emisores de luz LED, y diodos emisores de luz orgánicos OLED. A medida que se desarrolla la tecnología SSL, ha quedado claro que los impactos de SSL van más allá del ahorro de energía. SSL ofrece una gran oportunidad para mejorar la eficiencia, el rendimiento y el valor de la iluminación y para crear nuevas aplicaciones y beneficios, también tiene el potencial de tener profundos impactos beneficiosos en el medio ambiente [4].

- **Iluminación LED**

Son sistemas que utilizan diodos emisores de luz, Lihgt Emitting Diode, como la principal fuente de iluminación gracias a las características lumínicas que poseen. La emisión de luz es el resultado del proceso electrónico que produce la corriente eléctrica al pasar por una unión semiconductora, presentando valores significativos de eficiencia energética y vida útil. Las nuevas lámparas LED generan gran expectativa en cuanto a las prestaciones que ofrecen, además, permiten la interacción de dispositivos electrónicos para su control y correcto funcionamiento [15].

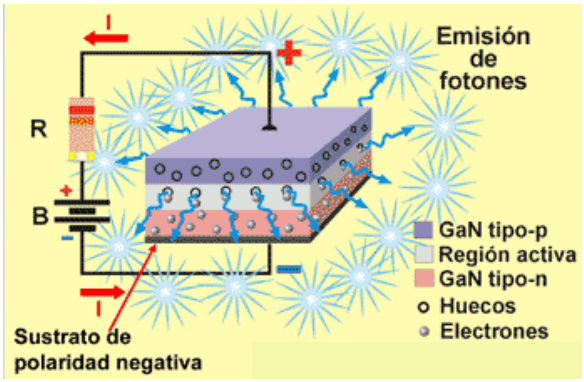


Figura 2.3: Estructura interna del chip diodo LED [16].

Las luminarias LED se componen por grupos de diodos emisores de luz cuyo tamaño y cantidad dependerá de la intensidad luminosa que se desee conseguir, cuya principal ventaja es su ahorro energético, vida útil, su arranque instantáneo y la resistencia que presenta ante encendidos y apagados continuos [17].

El dato de temperatura de color se refiere únicamente al color de la luz, pero no a su composición espectral que resulta decisiva para la reproducción de colores. Así, dos fuentes de luz pueden tener un color muy parecido y poseer al mismo tiempo unas propiedades de reproducción cromática muy diferentes. [18].

- **Luz Cálida:** Por debajo de 330 K°
- **Luz neutra:** De 3300 a 5300 K°
- **Luz fría:** Por encima de 5300 K°

La tecnología de iluminación con LED presenta varias ventajas entre las que destacan [5]:

- Presentan una vida útil superior a 50.000 horas de operación.
- Reducidos costes de mantenimiento.
- Eficiencia energética en comparación con las lámparas tradicionales.
- No emiten radiación infrarroja ni ultravioleta.
- Control dinámico del color, posibilidad de elegir tonalidad.
- Permite el encendido instantáneo al 100% de intensidad y de forma frecuente.
- Encienden a bajas temperaturas (menos de 40° C).
- Trabajan a bajo voltaje en corriente continua.
- Alta eficacia en ambientes fríos.
- Mayor libertad de diseño de las luminarias, con ópticas alargadas o con formato 3D.

Asimismo, se puede destacar las siguientes desventajas:

- La inversión inicial es relativamente elevada.
- El incremento de potencia puede provocar la destrucción del LED.
- La eficacia del LED depende mucho de su temperatura de funcionamiento.
- Requiere alimentación a corriente continua.

- **Iluminación OLED**

El diodo orgánico de emisión de luz, Organicm Light-Emitting Diode, es un diodo que se basa en una capa electroluminiscente formada por una película de componentes orgánicos que reaccionan, a una determinada estimulación eléctrica, generando y emitiendo luz por sí mismos [19].

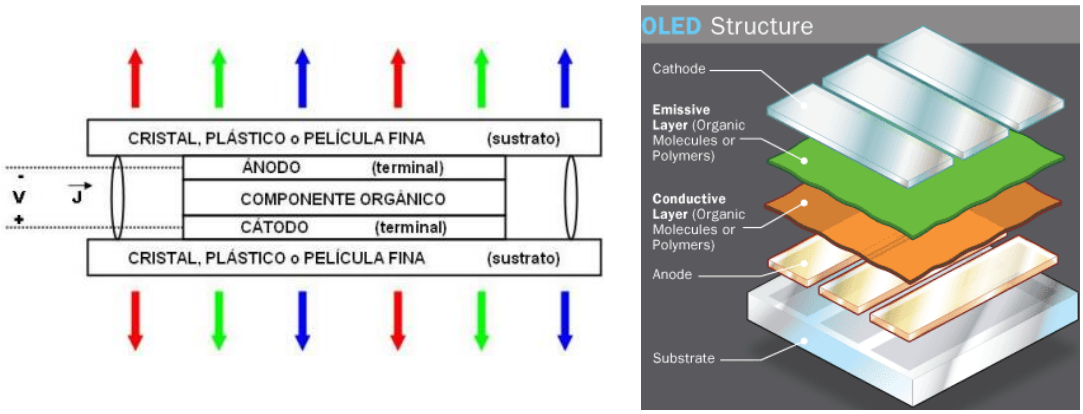


Figura 2.4: Estructura OLED [19].

2.2.2 Suministro Eléctrico

2.2.2.1 Distribución de Corriente Continua en Baja Tensión, LVDC

El sistema de distribución de corriente continua de baja tensión, conocido en términos anglosajones como Low Voltage Direct Current, LVDC, permite fusionar las tecnologías de las TIC, la electrónica de potencia y las tecnologías de red convencional en un único sistema integrado [20]. El sistema LVDC permite una reducción adicional en las pérdidas de energía eléctrica, así como la simplicidad y posible reducción de costes en los dispositivos de conversión de potencia. Un sistema de distribución de continua es una interface más natural entre la mayoría de dispositivos de dc, evitando pérdidas de energía eléctrica por la conversión de AC a DC. LVDC proporciona una plataforma excepcional para la implementación de complejas funciones de control y monitoreo [6-20]. En la figura 2.5 se presenta un esquema de un sistema de distribución LVDC para aplicaciones en edificaciones residenciales.

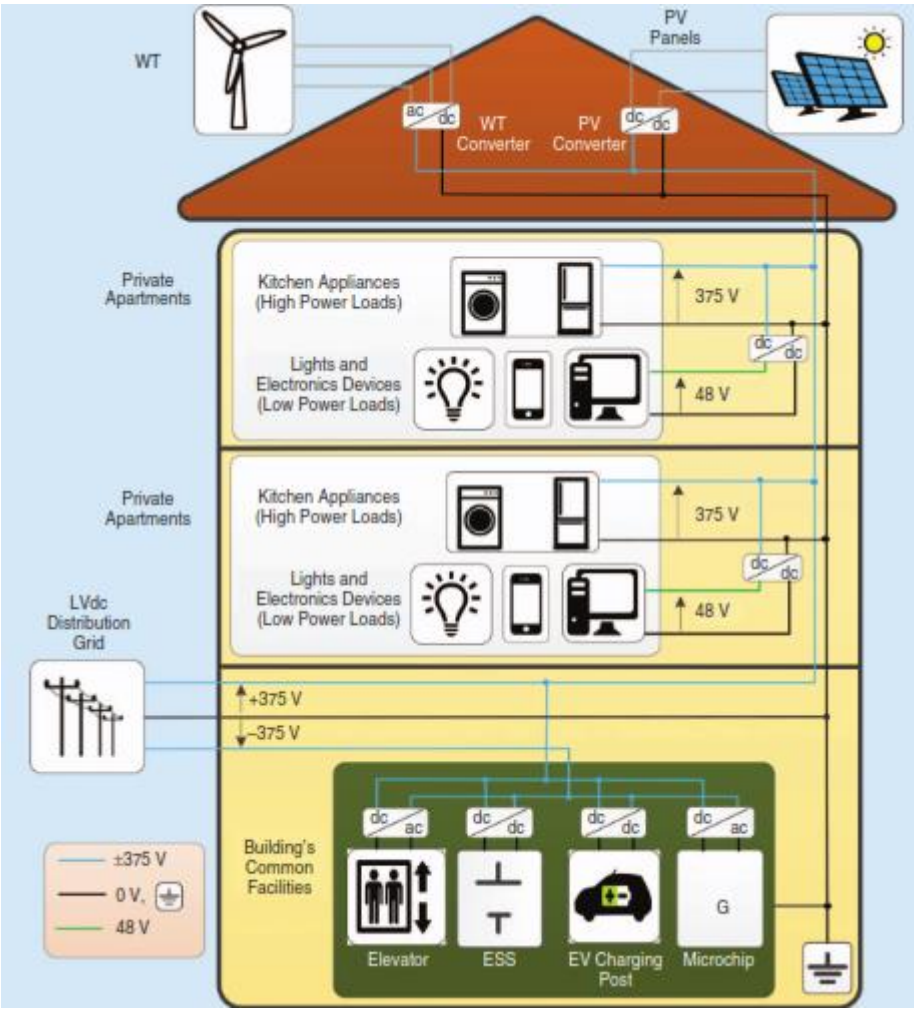


Figura 2.5: Esquema de distribución LVDC para aplicaciones residenciales [21].

2.2.2.2 Tipos de Baterías

Las baterías son fuentes de voltaje en corriente continua que pueden emplearse como sistemas de suministro de energía eléctrica para pequeñas cargas o cargas aisladas. En general las baterías se clasifican en primarias, que no pueden ser recargados y no se utilizan en sistemas fotovoltaicos, y secundarias que pueden ser recargadas. El tipo de baterías más utilizadas en aplicaciones fotovoltaicos son las de plomo – ácido, y diferentes aleaciones, debido principalmente a su coste comparado con otros tipos de batería [22].

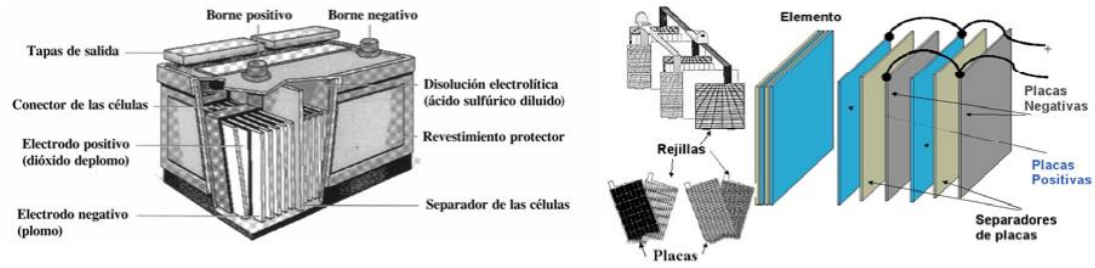


Figura 2.6: Esquema básico de una batería plomo-ácido [22].

Las baterías de plomo-ácido, Pb-a, se pueden clasificar en:

- **Baterías de arranque:** Diseñadas para ciclos muy pocos profundos, utilizadas primordialmente en el sector de arranque para la automoción, proporcionando elevadas corrientes en cortos periodos de tiempo [22].

- **Baterías de tracción:** Diseñadas para ciclados muy profundos, utilizadas primordialmente en vehículos eléctricos. Cuentan con un número menor de placas, pero más gruesas y construidas para una mayor durabilidad. Las rejillas con alto contenido en plomo-antimonio mejorarán el ciclado profundo [22].

- **Baterías estacionarias:** Comúnmente utilizadas en los sistemas de alimentación ininterrumpida (para sistemas de ordenadores o telecomunicaciones). Diseñadas para una operación muy esporádica y raramente se descargan. Normalmente estas se mantienen en un estado de carga de flotación [22].

- **Baterías de Pb-antimonio:** El antimonio es el elemento principal en la aleación con plomo en las rejillas. El uso de antimonio proporciona una mayor fortaleza mecánica a las rejillas y altos regímenes de descarga con muy buena profundidad de ciclado. También limitan la pérdida de material activo y tienen un mayor tiempo de vida que las baterías de Pb-calcio, cuando operan altas temperaturas. Por otro lado, tienen una elevada descarga y requieren una frecuente adición de agua [22].

- **Baterías de Pb-calcio:** Utilizan calcio como elemento en la aleación de las rejillas. Poseen baja auto descarga y menor mantenimiento que las de Pb-antimonio. No

obstante, tienen peor aceptación de la carga después de descargas profundas y menor tiempo de vida bajo descargas repetitivas mayores del 25%. En general no toleran bien la sobrecarga, las descargas muy profundas y la operación a elevadas temperaturas. Pueden ser de dos tipos: abiertas o selladas Las selladas incorporan la cantidad suficiente de electrolito para su tiempo de vida sin necesidad de adición de agua [22].

- **Baterías híbridas:** Normalmente de tipo abierto, con capacidades en torno a los 200 Ah. El diseño más común utiliza placas positivas tubulares de calcio y placas negativas planas de antimonio, combinando las ventajas de ambos elementos. Una batería de Pb-a completamente cargada tiene óxido de plomo (PbO_2) en la placa positiva y plomo (Pb) en la placa negativa. En el proceso de descarga se va formando sulfato de plomo ($PbSO_4$) en ambas placas [22].

- **Baterías de electrolito inmovilizado:** Son otro tipo de baterías de plomo-ácido, con la especial característica de tener el electrolito inmovilizado de algún modo. Estas baterías son muy sensibles a los métodos de carga, voltajes de regulación y operación bajo temperaturas extremas. Los dos tipos más comunes de este tipo de baterías son las baterías de gel y las AGM, Absorbed Glass Material, [22].

- **Baterías de níquel-cadmio:** Las principales características de las baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd) son su larga vida, bajo mantenimiento, no le afectan las sobrecargas excesivas, y los voltajes de regulación no son parámetros críticos. Sin embargo, el precio de estas baterías es muy superior a las de plomo-ácido [22].

2.2.3 Automatización y Control

Los sistemas de control se encuentran constituidos por un conjunto de elementos relacionados entre sí, comparando las señales de salida en función de señales de entrada permitiendo seleccionar la acción de control adecuada para conseguir un determinado propósito. La regulación y el control de procesos industriales permiten la automatización de la producción, incremento de la seguridad, disminución del consumo energético, mejora de la calidad del producto, optimización del coste de

producción y de mantenimiento, etc. [23]. Los sistemas de control se clasifican en sistemas de control en lazo abierto y sistemas de control en lazo cerrado dependiendo del tratamiento de la señal de salida que efectúa el sistema de control.

2.2.3.1 Domótica e Inmótica

En forma general, el término domótica e inmótica están asociados directamente al concepto de automatización, aplicando las nuevas Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, TIC. Mediante el diseño, instalación e interconexión de diferentes dispositivos de automatización en la infraestructura de viviendas y edificios antiguos o en construcción y, con la rápida evolución tecnológica de la electrónica y la informática, permite mejorar la calidad de vida de los ocupantes y obtener beneficios energéticos, ambientales y el confort dentro de los edificios [24].

Un sistema **domótico** permite el control automático de diversos elementos dentro de una vivienda. Mientras que la **inmótica** está enfocado a la automatización de edificios como hospitales, hoteles, locales comerciales, oficinas, centros de enseñanza, etc. La domótica e inmótica consiste en la automatización de diferentes espacios, facilitando diferentes actividades diarias y brindando mayor seguridad. Poseen 4 funciones importantes que dependen del área de aplicación: [25-26].

- **Gestión del Confort:** Procura proporcionar un ambiente más agradable aumentando la comodidad del usuario a la hora de realizar actividades dentro del edificio.

- **Gestión Energética:** La automatización dentro de los edificios debe enfocarse a la gestión eficiente del consumo energético aprovechando los recursos energéticos de las instalaciones.

- **Gestión de la Seguridad:** Un punto importante es proporcionar servicios que sirven para la protección de las personas, así como de los bienes que se encuentran dentro de los edificios, se debe tener en cuenta la seguridad anti intrusión o

seguridad anti eventos como incendios o inundaciones, sistemas de ayuda teleasistida entre otros.

- **Gestión de las Comunicaciones:** Se trata del acceso remoto al sistema de automatización para realizar comprobaciones de su funcionamiento, permitiendo la interacción entre los diversos dispositivos de la instalación, con la ejecución de órdenes de actuación o para recibir avisos de eventos.

2.2.3.2 Tipos de Sistemas de Control

- **Sistema en Lazo Abierto**

Es aquel sistema de control cuya salida no tiene efecto sobre la acción de control, es decir la salida del proceso no se compara con la entrada de referencia. Cada entrada corresponderá a una operación diferente sobre la señal de salida. Este sistema de control es sensible a perturbaciones y variaciones lo que podría provocar que no cumpla la función asignada, por tanto, la exactitud del sistema dependerá de gran medida de su calibración [27]. En la figura 2.7 se muestra el diagrama en bloques representativo de un sistema de lazo abierto.

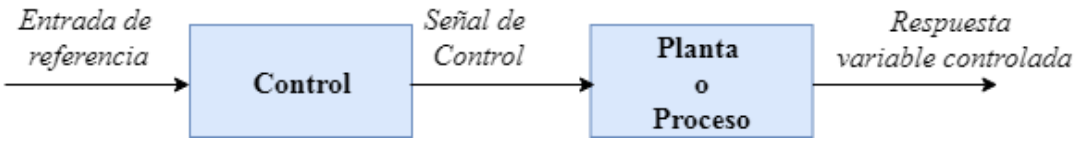


Figura 2.7: Diagrama de bloques de un sistema en lazo abierto [27].

- **Sistema en Lazo Cerrado**

El control en lazo cerrado también conocido como retroalimentado, compara el valor real de la variable de proceso y el valor deseado para controlar el sistema. La salida del proceso es utilizada para regular la amplitud de su entrada. En la figura 2.8 se observa un diagrama en bloques simplificado del sistema de control en lazo cerrado.

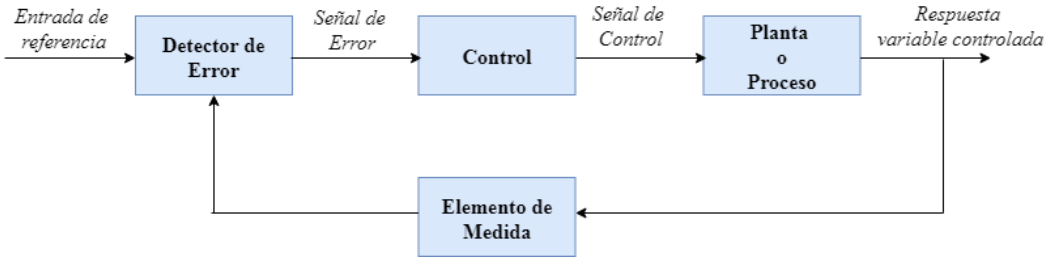


Figura 2.8: Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado [27].

La señal controlada se retroalimenta y compara con la entrada de referencia, luego se envía a través del sistema una señal de control, que será proporcional a la diferencia encontrada entre la señal de entrada y la señal medida a la salida, con el objetivo de corregir el error o desviación que pudiera existir [27]. El sistema de control de lazo cerrado en comparación con el sistema de control de lazo abierto presenta la ventaja de ser menos sensible a las perturbaciones externas y a las variaciones de los parámetros internos [28].

2.2.3.3 Microcontrolador

Es un circuito integrado digital que contiene todos los elementos de un procesador digital secuencial síncrono programable, orientado a tareas de control y comunicaciones. Se caracterizan por su coste reducido, su consumo de energía y velocidad adaptable resultan apropiados para numerosas aplicaciones. Asimismo, se utilizan para la realización de sistemas electrónicos empotrados en otros sistemas eléctricos, mecánicos, informáticos entre otros, con el objetivo de facilitar el uso de equipos complejos haciendo más sencilla la interacción con el ser humano [29]. En la figura 2.9 se muestra la estructura general de un microcontrolador.

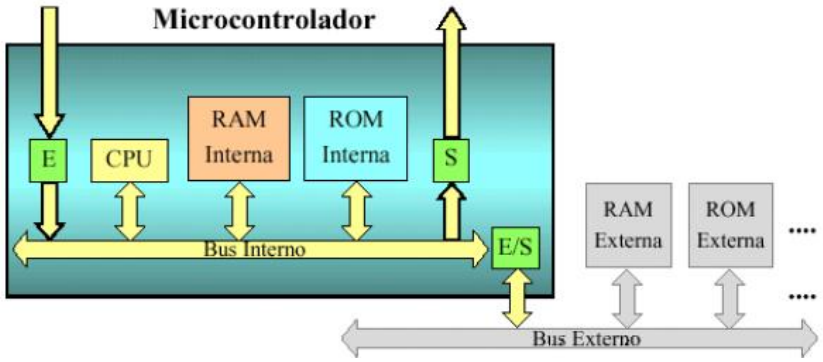


Figura 2.9: Estructura de un microcontrolador [30].

2.2.3.4 Microprocesador

Se puede definir a un microprocesador o procesador o Unidad Central de Proceso, CPU, a un circuito integrado que consta de miles de compuertas digitales y que efectúan funciones aritméticas, lógicas y de control de una computadora de tipo general [31]. En la figura 2.10 se muestra la estructura de un microprocesador. Los microprocesadores poseen una serie de características importantes para su funcionamiento entre las que destacan:

- **Nivel de integración:** Cuanto menos espacio hay entre los componentes del microprocesador, más rápido es su funcionamiento.

- **Frecuencia de reloj:** Es el número de ciclos de reloj que puede darse en una unidad de tiempo, y refleja la potencia del microcontrolador.

- **Velocidad de ejecución de las instrucciones:** Varía en función del número de ciclos de reloj que necesita una instrucción para ejecutarse.

- **Juego de instrucciones:** Cada procesador dispone de un conjunto de instrucciones que puede utilizar.

- **Longitud de palabra**: Cantidad máxima de información que se puede leer o escribir en un acceso a la memoria.

- **Velocidad del bus del sistema:** Es el canal que comunica la CPU con la memoria RAM.

- **Número de núcleos:** Un microcontrolador puede estar constituido por varios microcontroladores, cuyos núcleos pueden trabajar de forma sincronizada consiguiendo aumentar el rendimiento del equipo.

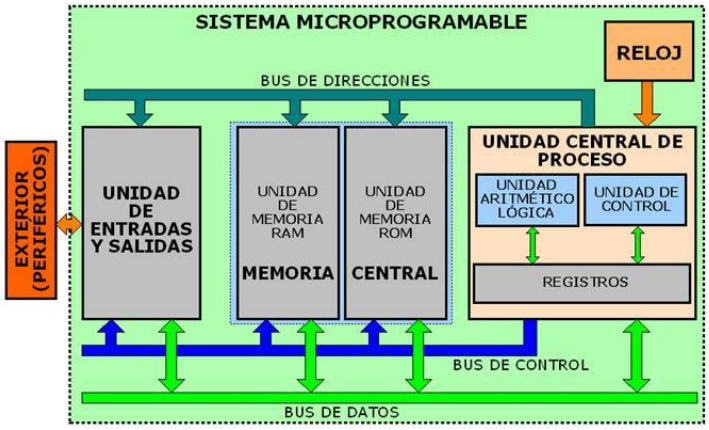


Figura 2.10: Estructura de un microprocesador [32].

2.2.4 Medición y Adquisición de la Información

2.2.4.1 Sensores de Corriente

Los sensores de corriente son dispositivos capaces de detectar la corriente eléctrica tanto en corriente alterna como en corriente continua, convirtiendo AC y DC a una salida de voltaje fácilmente medible. Existen dos tipos de mediciones, el directo, basado en la ley de ohm, y el indirecto, basado en la medición de campo magnético.

- **Sensor ASM-010**

Sensor de corriente por medición de campo magnético no invasivo de efecto Hall conocido también como un transformador de corriente de núcleo dividido. Se fija en torno a la línea de alimentación de una carga eléctrica generando un voltaje de salida que indica la cantidad de corriente que atraviesa por conductor. La frecuencia de trabajo es de 50/60 Hz, capaz de medir una carga de hasta 10 amperios con una temperatura de funcionamiento de -40°C ~ 120°C [33]. Existe una gran variedad de sensores de corriente por medición de campo magnético cuyas características varían en la medición de la corriente nominal, frecuencia de trabajo, temperatura de funcionamiento y tolerancia de la tensión de salida.

Figura 2.11: Sensor de corriente modelo ASM-010 [33].

- **Sensor ACS712**

Existen varios modelos del sensor ACS712 que permiten medir la corriente eléctrica que circula por la línea que se está midiendo, internamente trabaja con un sensor de efecto hall que detecta el campo magnético de la carga. El sensor ACS712 entrega una salida en voltaje proporcional a la corriente, dependiendo de la aplicación se puede usar los módulos ACS712-05A, ACS712-20A o el ACS712-30A, para rangos de 5, 20 o 30 amperios respectivamente [34].

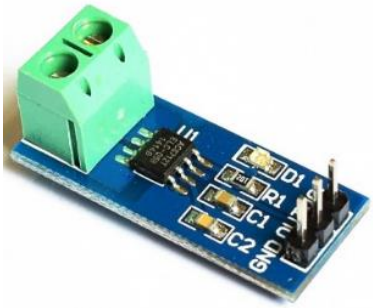


Figura 2.12: Sensor de corriente modelo ACS712 [34].

2.2.4.2 Sensores de voltaje

- **Sensor de Voltaje FZ0430**

Módulo sensor de voltaje DC, basado en el principio resistivo de divisor de tensión, logrando que el voltaje de salida sea hasta 5 veces más pequeño que el de entrada, con un rango de tensión de entrada DC 0-25 V, bajo la alimentación de 5V. Este módulo es fácil de utilizar con tarjetas controladoras como la placa arduino [35].

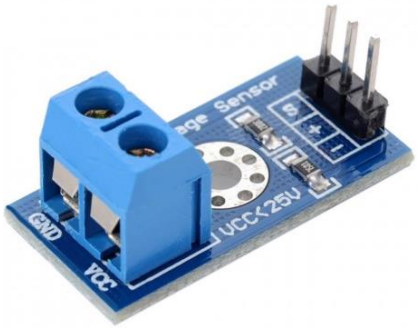


Figura 2.13: Sensor de voltaje DC FZ0430 [35].

- **Sensor de voltaje Diferencial BT32i**

Sensor de medición de dos entradas diferenciales, se puede realizar las mediciones directamente a través de los elementos de un circuito sin limitaciones de conexión a tierra común. Sirve para mediciones de voltaje positivo y negativo hasta ±50V sin que se presente daños en el sensor [36].

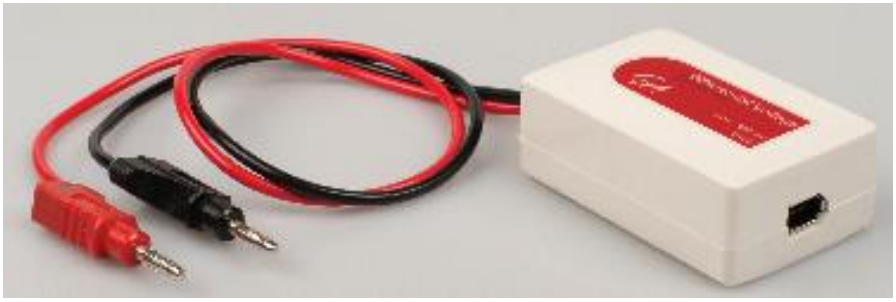


Figura 2.14: Sensor de voltaje diferencial BT32i [53].

- **Sensor de voltaje EATON VoltageWatch P52215**

Sensor ideal para escenarios donde la calidad de energía es un problema, facilitando el seguimiento de los niveles de voltaje de alimentación e identificando niveles bajos o altos de voltaje. Ideal para lograr la protección de motores y sistemas eléctricos y la electrónica de alta prioridad, pueden ser acoplados a PLCs [37].

Figura 2.15: Sensor de voltaje EATON P52215 [37].

2.2.4.3 Dispositivos de Hardware y Software Libre

El término hardware libre se asocia principalmente para reflejar el uso del software libre con el hardware y el lanzamiento libre de la información con respecto al hardware, a menudo incluyendo el lanzamiento de los diagramas esquemáticos, diseños, tamaños, distribución de los elementos en la tarjeta electrónica y otra información relevante acerca del hardware y software. El software libre respeta la libertad de los usuarios sobre su producto adquirido y, por tanto, una vez obtenido puede ser usado, copiado, estudiado, cambiado y redistribuido libremente [38].

A continuación, se presenta varias ventajas del hardware libre**:**

- Independencia tecnológica, no dependen de terceros que proveen recursos necesarios para su desarrollo.
- Favorece la calidad del hardware, a los estándares abiertos y que sean más económicos.
- El trabajo colaborativo sobre los diseños permite la reutilización y la adaptación de los mismos.
- Disminuye los costos y tiempos de diseño en sus trabajos.
- Se libera a los productores de los propietarios de alianzas globales.

Asimismo, se presentan las ventajas del software libre para el ámbito educativo**:**

- Los estudiantes y profesionales no se aferran a un solo entorno de trabajo.
- Los costos de adquisición de herramientas informáticas son mínimos.

- Formación de profesionales que obtendrán mejores ingresos.
- Las instituciones y/o personas no se tienen que atar a un determinado programa o casa desarrolladora.
- Disfrutar de las libertades del software libre, sin ser tildados como “piratas”.

- **Arduino**

Es una plataforma electrónica de código abierto, open-source, orientado para el desarrollo de proyectos de manera sencilla con el uso de software y hardware libre. Arduino puede ser utilizado para el desarrollo de proyectos autónomos con la interacción de diferentes dispositivos enfocados al control o adquisición de información en diferentes entornos de aplicación y diferentes usos. En la figura 2.15 se muestra varias tarjetas de código abierto arduino que existen en la actualidad [39].

Figura 2.16: Tipos de tarjeta Arduino [40].

La tarjeta Arduino cuenta con una placa con un microcontrolador, diferentes puertos que pueden ser configurados como entradas o salidas y un entorno de desarrollo IDE sencillo y fácil de usar. Existen varios tipos de placas arduino que utilizan diferentes microcontroladores AVR, los más usados son el ATmega 168, ATmega 328, ATmega 2560, diferenciándose en la robustez de sus aplicaciones, mayor cantidad de puertos, características más avanzadas con funciones dedicadas. Todas las tarjetas Arduino presentan ventajas como:

- Reducción de costos
- Multiplataforma
- Entorno de Programación sencillo
- Hardware de Código Abierto
- Software de Código Abierto

- **Raspberry pi**

Se podría decir que es un ordenador de tamaño reducido, de bajo coste y bajo consumo desarrollado en el Reino Unido por la Fundación Raspberry PI, con el objetivo de estimular la enseñanza de las TIC en las escuelas. Los primeros modelos de raspberry pi fueron comercializados en 2012 [41].

Figura 2.17: Raspberry pi [42].

Además de presentar funcionalidades de un ordenador, la raspberry pi incorpora funciones de electrónica contando con pines GPIO (General Purpose Input/Output), y con puertos de comunicación como UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), SPI (Serial Peripheral Interface), I^2C (Inter-Integrated Circuit). Funcionalidades que pueden ser usadas en proyectos en el ámbito de la electrónica y la robótica interactuando con diversos sensores y actuadores [42]

2.2.5 Sistemas de Monitorización, Gestión y Virtualización

2.2.5.1 Internet de las Cosas

El internet de las cosas, del termino anglosajón “Internet of Things”, es una red de comunicación de sensores, actuadores y dispositivos que interactúan entre sí mediante

plataformas, basados en protocolos estándar de comunicación que permiten el intercambio de datos e información del entorno físico, ejecutando procesos que desencadenan acciones y crean servicios con o sin la intervención humana [9]. La integración del internet de las cosas con la nube, Cloud-IoT, permite transferir tareas de almacenamiento y procesamiento de datos para la ejecución de múltiples aplicaciones, además, de permitir la monitorización, control y gestión de un sistema en general [7].

El IoT consta de tres elementos principales que permiten desarrollar una internet generalizada:

- **Hardware:** Compuesto por sensores y hardware de comunicación embebido.
- **Middleware:** Corresponde a sistemas de almacenamiento y herramientas de análisis de datos.
- **Presentación:** Son interfaces que permiten entender y visualizar la información. Asimismo, se pueden integrar nuevas herramientas que pueden ser utilizadas en diferentes plataformas y aplicaciones.

- **Principales campos de aplicación de IoT**

Los principales campos de aplicación se describen a continuación, en la figura 2.18, se muestra varios servicios proporcionados por proveedores de la tecnología IoT en la actualidad [9].

- Industria
- Agricultura inteligente
- Logística inteligente
- Transporte inteligente
- Redes inteligentes (Smart grids)
- Protección ambiental inteligente (Smart safety)
- Medicina
- Casas y edificios inteligentes

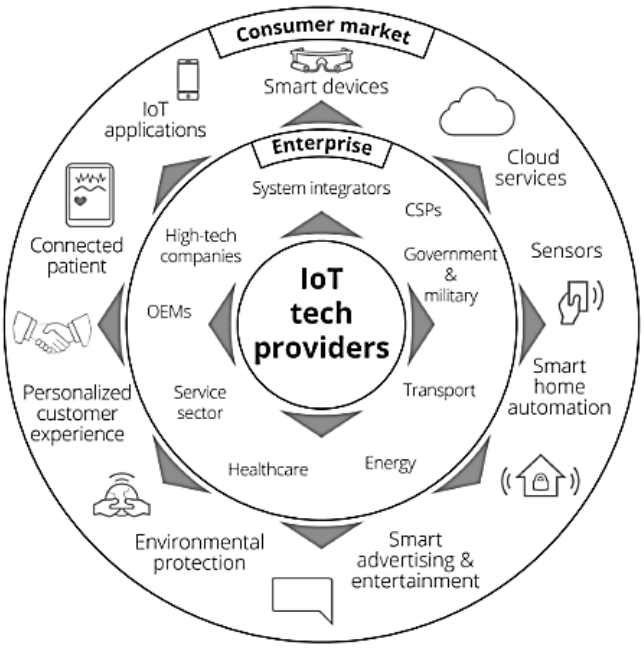


Figura 2.18: Servicios de proveedores de IoT [43].

El internet de las cosas describe una gama de aplicaciones, protocolos, estándares, tecnologías de adquisición y análisis de datos, mediante dispositivos equipados con sensores, software, sistemas digitales y electrónicos, que generan beneficios económicos en varios campos de aplicación, según datos y predicciones del internet de las cosas [7].

- El valor agregado total del IoT en todos los sectores alcanzará $ 1,9 billones en 2020 en todo el mundo, según Gartner.

- Cincuenta mil millones de dispositivos estarán conectados a Internet en 2020, según Cisco.

- Se espera que las redes inteligentes en el sector de la energía dupliquen los sistemas de información de mercado de los clientes de 2.500 millones de dólares en 2013 a 5.500 millones de dólares en 2020, según un estudio de Navigant Research.

- El 75% de los líderes del mundo empresarial global exploran el potencial económico del IoT, según un informe de la revista The Economist.

- El uso generalizado de tecnologías IoT en la industria automotriz podría ahorrar $ 100 mil millones al año, reduciendo los accidentes, según McKinsey.

- La Industria del Internet podría agregar de 10-15 trillones en el producto interno bruto mundial, duplicando la economía de los EE. UU, General Electric (GE).

- **Pronóstico del crecimiento masivo del IoT**

IHS Markit pronostica que el mercado de IoT crecerá de una base instalada de 15,4 mil millones de dispositivos en 2015 a 30,7 mil millones dispositivos en 2020 y 75,4 mil millones en 2025, como se ve en la Figura 2.19 [44].

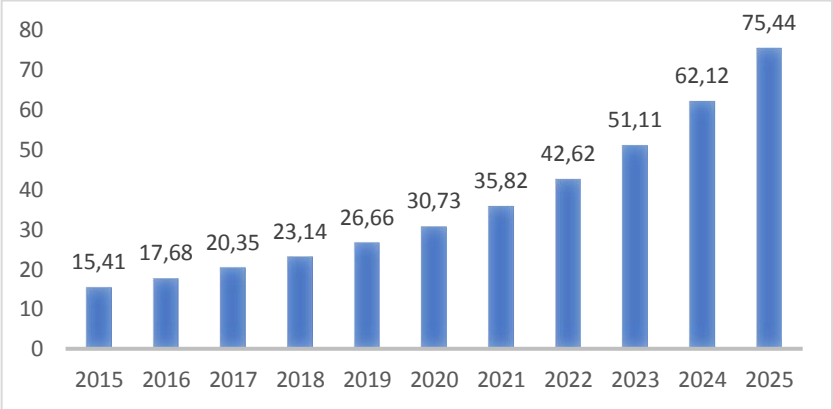


Figura 2.19: Pronóstico del crecimiento del internet de las cosas [44].

2.2.5.2 Servidor LAMP

Se denomina LAMP al conjunto de software de código libre que se instala para habilitar un servidor que permite el alojamiento de sitios y aplicaciones web. El acrónimo LAMP representa un sistema operativo **L**inux con un servidor **A**pache, los datos del sitio son almacenados en una base de datos **M**ySQL y el contenido dinámico es procesado con **P**HP, **P**erl o **P**ython [45].

Figura 2.20: Componentes del servidor LAMP [45].

- **Linux**

Linux es el sistema operativo creado por Linus Torvalds como un proyecto mientras estudiaba en la Universidad de Helsinki en Finlandia en 1991. Se destaca específicamente por su velocidad, requisitos mínimos de hardware, seguridad y administración remota. Otro gran punto clave sobre Linux es que es gratis se puede descargar directamente de Internet, instalarlo y usarlo. Otra gran ventaja de Linux es su capacidad para funcionar con o sin una interfaz gráfica de usuario, GUI, según sus necesidades [46].

- **Apache**

Desarrollado por Apache Software Foundation, ASF, Apache es una solución de servidor web de código abierto que está repleto de funciones, es extremadamente rápido y funciona bien con el sistema operativo Linux. Con el servidor web Apache, se puede crear hosts virtuales que permiten ejecutar múltiples sitios web en un único servidor. El servidor web Apache también está disponible para el entorno de Windows; sin embargo, su sistema sufrirá un rendimiento menor debido a la administración de la memoria de Microsoft y las diferencias arquitectónicas. Por tanto, es muy recomendable que se use Linux para todas las necesidades de servicios web [46].

- **MySQL**

MySQL es un administrador de base de datos potente y robusto que permite almacenar y recuperar datos con un lenguaje de scripts como PHP. Puede almacenar varios tipos de datos, como operadores booleanos, texto, enteros, imágenes, dígitos binarios de forma rápida y eficiente con un mínimo esfuerzo. Usar una base de datos es importante para crear sitios dinámicos. El término "sitio dinámico" se deriva de la capacidad de utilizar una sola página de código para mostrar información diferente en función de la interacción de un usuario. Esto sería virtualmente imposible sin el uso de una base de datos y un lenguaje de scripts como PHP para manipular los datos. MySQL está repleto de características tales como replicación de datos, bloqueo de tablas, limitación de consultas, cuentas de usuario, múltiples bases de datos, conexiones persistentes [46].

- **PHP**

Este lenguaje de scripting de propósito general ampliamente utilizado es especialmente adecuado para el desarrollo web y puede integrarse en HTML. Es un lenguaje ejecutado en el servidor que puede mejorar enormemente un sitio web compatible con varios sistemas operativos como Linux, Windows [46].

2.3 PROPUESTA DE SOLUCIÓN

La implementación de un prototipo de control inteligente de un sistema de iluminación LED, con suministro eléctrico en corriente continua LVDC permitió el control de encendido, apagado y nivel de intensidad de iluminación de las luminarias en aulas de la FISEI, conjuntamente con el máximo aprovechamiento de luz natural por medio de la apertura y cierre de persianas de forma automática generando ahorros en cuanto a consumo eléctrico y gasto económico asociados al sistema de iluminación.

CAPITULO III
METODOLOGÍA

3.1 MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

El presente proyecto es una investigación aplicada, se empleó los conocimientos existentes que permitieron desarrollar un prototipo electrónico para disminuir el consumo eléctrico del sistema de iluminación, además se utilizó:

- Investigación bibliográfica, debido a que el proyecto de tesis se basó en consultas de revistas técnicas, libros, artículos científicos, publicaciones en internet y en proyectos de tesis similares referente a temas de sistemas de iluminación LED para interiores, fuentes de alimentación de corriente directa y arquitectura IoT.

- Investigación de Campo, se analizó en una aula y laboratorio modelo el consumo energético del sistema de iluminación existente, permitiendo plantear una solución con la inclusión y el control de luminarias LED.

- Investigación Experimental porque se realizó una serie de pruebas del control y monitoreo del sistema de iluminación LED para interiores, permitiendo determinar el ahorro energético que se obtuvo con la presente propuesta.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Por las características de la presente investigación. No se requirió población y muestra.

3.3 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la recolección de información se empleó el uso de documentos, libros, revistas, fuentes online y proyectos desarrollados, así como guías prácticas y manuales de construcción. Asimismo, se tomó en cuenta las bases de datos confiables que permitieron el desarrollo del proyecto.

3.4 PROCESAMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

Para el procesamiento y análisis de datos se realizó los siguientes pasos:
Revisión de la información recopilada.
Estudio de las propuestas de solución planteadas para elevar la eficiencia del consumo energético de las luminarias.
Determinación de la mejor propuesta de solución.
Planteamiento de la propuesta de solución.

3.5 DESARROLLO DEL PROYECTO

- Análisis del consumo energético de las luminarias en aulas y laboratorios de la FISEI.
- Previsión de cargas en luminarias de una aula y laboratorio modelo de la FISEI.
- Análisis de las tecnologías de iluminación LED.
- Diseño y simulación de iluminación en espacios interiores con DIALux
- Análisis comparativo de los sistemas de iluminación Fluorescente y LED.
- Análisis comparativo del ahorro energético y reducción del gasto económico por sustitución de luminarias.
- Estudio de las tecnologías de control del sistema de iluminación LED.
- Diseño del sistema de control de iluminación LED.
- Simulación del sistema de control de iluminación LED.
- Realización de pruebas del sistema de control de iluminación LED.
- Criterios de sistemas LVDC como fuente de alimentación para iluminación LED.

- Diseño y simulación del sistema LVDC como fuente de alimentación para iluminación LED.
- Implementación de un prototipo del sistema de iluminación LED con fuente de alimentación en corriente continua LVDC.
- Estudio de sensores disponibles para la medición de voltaje y corriente.
- Análisis de sensores fabricados para la medición de iluminación.
- Acondicionamiento y calibración de sensores para la toma de mediciones.
- Detección y corrección de errores del prototipo del sistema de iluminación LED con fuente de alimentación en corriente continua LVDC.
- Selección de hardware como servidor.
- Instalación de un servidor LAMP.
- Análisis de tecnologías de comunicación entre la tarjeta DAQ y el servidor.
- Realización de pruebas de transmisión y almacenamiento de datos en el servidor.
- Análisis de herramientas para la elaboración de páginas web.
- Desarrollo de interfaz web para la interacción con el usuario.
- Validación de la página web para la gestión y monitoreo del sistema de control de iluminación.
- Criterios de diseño de plataformas IoT de gestión y monitoreo.
- Análisis de la arquitectura IoT para la gestión y monitoreo del sistema de iluminación.
- Implementación de un prototipo de plataforma IoT de gestión y monitoreo del sistema de control de iluminación LED.
- Validación de la plataforma IoT de gestión y monitoreo.
- Realización de pruebas, detección y corrección de errores del prototipo de la plataforma IoT de control inteligente de un sistema de iluminación LED, con suministro eléctrico en corriente continua LVDC.
- Evaluación del ahorro energético con el sistema de control de iluminación LED y el sistema tradicional.
- Análisis comparativo del ahorro energético y reducción del gasto económico por la implementación del prototipo.
- Desarrollo del informe final del proyecto de investigación.

CAPITULO IV
DESARROLLO DE LA PROPUESTA

4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA

El presente proyecto tiene como objetivo general diseño e implementación de un prototipo electrónico de control inteligente de un sistema de iluminación LED con suministro eléctrico en corriente continua LVDC en una plataforma Cloud IoT. En este sentido, la propuesta consiste en desarrollar e implementar un prototipo de control inteligente que permita encender, atenuar y apagar las luminarias de manera automática al detectar la presencia o ausencia dentro del espacio interior, gestionado desde una plataforma Cloud IoT, que además tiene la capacidad de adquirir y gestionar la información necesaria para la optimización energética del funcionamiento del sistema de iluminación.

El prototipo electrónico permite maximizar la aportación de iluminación natural con la apertura y cierre de persianas en función al nivel de iluminación existente en el exterior y necesario en el interior de las aulas y laboratorios, considerando los parámetros de iluminación en lugares interiores, establecidos en la normativa UNE-EN 12464-1. El sistema de iluminación cuenta con un suministro eléctrico de corriente directa en baja tensión, por tanto, el sistema de control de las luminarias LED se realiza en corriente directa. En la figura 4.1, se presenta el esquema general del prototipo electrónico de control inteligente de un sistema de iluminación LED con suministro eléctrico en corriente continua LVDC integrada a en una plataforma Cloud IoT. El prototipo cuenta con dos componentes importantes: el control de la iluminación mediante una placa electrónica y la gestión de información a través de la plataforma Cloud IoT.

Inicialmente se considera que el sistema de iluminación está apagado. Si el prototipo detecta movimiento, en el espacio evaluado, activa los sensores de luz y estima los niveles de iluminación exterior e interior. El prototipo compara los niveles de iluminación interior y exterior y, en función del resultado obtenido, se inicia la activación del control de las persianas. La apertura y cierre de las persianas se realiza en rangos establecidos dentro de la programación del Arduino Nano, maximizando el aprovechamiento de luz natural. Al mismo tiempo, se controla la luminosidad de la lámpara LED mediante el control de modulación por ancho de pulsos, PWM, con el objetivo de mantener el nivel de iluminación mínimo establecido según la normativa UNE-EN 12461-4. El tiempo establecido para la desconexión del sistema de iluminación es de 5 minutos, siempre y cuando no se detecte movimiento por debajo del tiempo establecido, un tiempo superior implica un mayor consumo eléctrico del sistema de iluminación.

En el microcontrolador, Arduino Nano, se realizan los siguientes procesos: acondicionamiento de la señal de los sensores de iluminación interior y exterior, sensor de corriente, sensor de movimiento; comparación de los niveles de iluminación interior y exterior; adquisición de los valores de intensidad a través del sensor de corriente y el valor del voltaje de acuerdo a los niveles de intensidad; control del motor a pasos para la apertura y cierre de la persiana; control PI para obtener el nivel establecido y requerido de iluminación mediante PWM; control de la activación del sistema de iluminación por medio de un relé.

La información de las mediciones de voltaje y corriente de la luminaria LED es enviada desde el microcontrolador, Arduino Nano, hacia el servidor alojado en un microprocesador, raspberry pi 3, a través de una comunicación alámbrica serial, USB. La nube permite el acceso de la información desde cualquier parte del mundo permitiendo la visualización y gestión de la información del consumo eléctrico del sistema de iluminación a través de una página web, accesible desde cualquier dispositivo que cuente con un navegador de internet. El suministro eléctrico del prototipo se realiza en corriente continua. Se utiliza conversores de voltaje DC-DC en dos casos: en el primer caso se utiliza un elevador de voltaje DC-DC para la alimentación del circuito de control de iluminación LED. En el segundo caso se utiliza

un reductor de voltaje DC-DC para obtener el voltaje requerido y soportado para el funcionamiento correcto del microcontrolador y microprocesador, así como, de los sensores y actuadores que cuenta el prototipo.

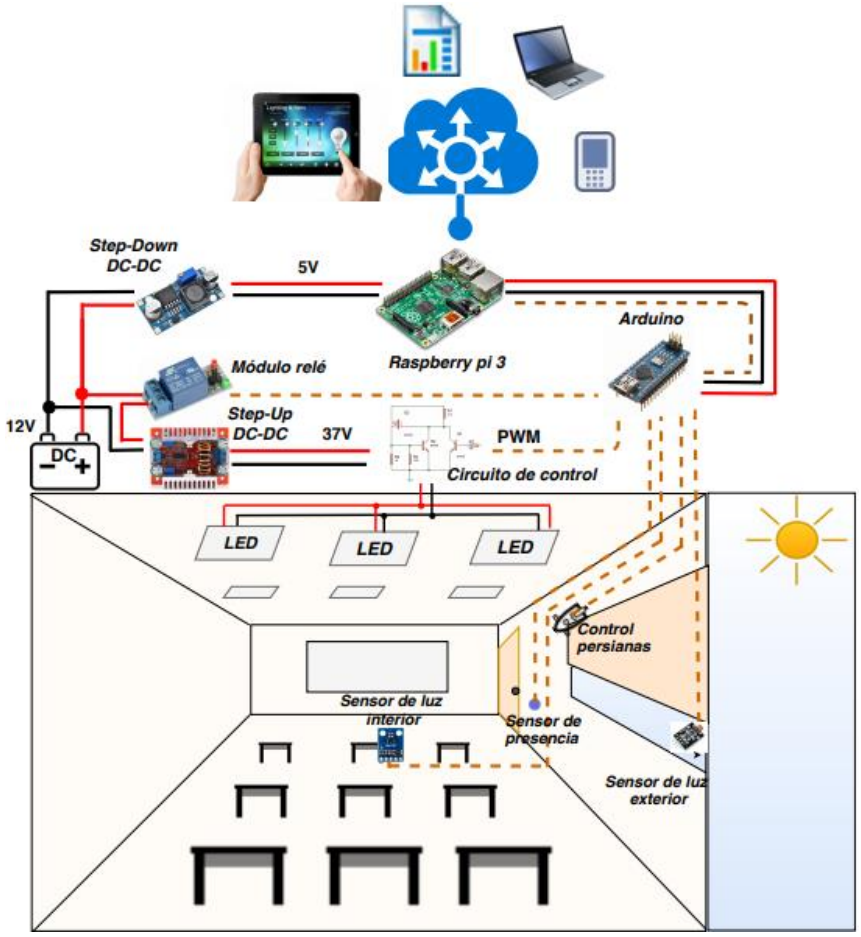


Figura 4.1: Esquema general de control y monitoreo del sistema de iluminación LED.
Elaborado por: Investigador

El prototipo del sistema control inteligente de iluminación interior presenta las siguientes funcionalidades:

- Utiliza la iluminación solo cuando y donde sea necesaria.
- Ajusta los niveles de iluminación para reducir el consumo energético del sistema de iluminación.
- Permite una iluminación uniforme mejorando la visibilidad.
- Mejora la calidad de vida de los estudiantes, el personal docente y los visitantes.
- Permite la gestión y control del sistema desde una página web.
- Permite la visualización de información y la elaboración de informes técnicos.

4.2 NORMATIVA DE ILUMINACIÓN UNE-EN 12464-1

4.2.1 Normativa de Iluminación en Lugares Interiores

Los niveles de iluminación son un aspecto importante para el confort y la visibilidad de los usuarios en el desempeño de diferentes actividades en un determinado lugar de trabajo. La normativa de iluminación española UNE-EN 12464-1 especifica los requisitos de los niveles de iluminación necesarios según el lugar de trabajo y tipo de actividad [47]. En la tabla 4.1 se muestra los requisitos de iluminación según el tipo de actividad.

Tabla 4.1: Requerimientos de iluminación en establecimientos educativos [47].

Tipo de interior, tarea y actividad	**Iluminancia de áreas circundantes inmediatas Lux**	**Iluminancia de tarea, E_m Lux**	**UGR**	**R_a**	**Observaciones**
Aulas, aulas de tutoría	200	300	19	80	La iluminación debería ser controlable
Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	300	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
Pizarra	300	500	19	80	Evitar reflexiones especulares
Aulas de prácticas y laboratorios	300	500	19	80	
Salas de conferencia y reuniones	300	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
Oficinas de personal	300	500	19	80	

4.3 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LA FISEI

La FISEI cuenta con un sistema de iluminación de conmutación manual, las lámparas instaladas son tubos fluorescentes que varían de potencia 18W y 36W cuyas luminarias alcanzan potencias de 54W, 64W, 96W y 128W. En la tabla 4.2 se muestra el número de luminarias instaladas en aulas, laboratorios y salas.

Tabla 4.2: Potencia instalada en aulas y laboratorios de la FISEI.

Código Aula, Lab.	Aulas-Salas-Laboratorios	Número de Luminarias	Número de Lámparas	Potencia Lámpara W	Potencia Luminaria W	Potencia Total espacio interior W
A05	Sala de Investigación 3	4	3	32	96	384
A08	Laboratorio CTT	8	3	32	96	768
A03 - A04	Sala de Profesores 1	12	3	32	96	960
A14	Sala de Investigación 1	4	3	18	54	216
A15	Sala de Investigación 2	7	3	18	54	378
A13	Sala de Audiovisuales	8	3	32	96	768
CTT02	Laboratorio CTT 02	6	3	32	96	576
B09	Lab. Computación 1	8	2	32	64	512
B08	Administración de Redes	3	4	32	128	384
B07	Lab. Computación 2	4	4	32	128	512
B06	Laboratorio de Redes 2	6	2	32	64	384
B05	Laboratorio Máquinas Eléctricas	4	2	32	64	256
B04	Lab. Electrónica Básica	4	2	32	64	256
B03	Laboratorio de Redes 1	4	2	32	64	256
C14	Auxiliares de laboratorio 1	1	4	32	128	128
C13	Lab. Computación 3	6	2	32	64	384
C12	Lab. Computación 4	6	4	32	128	768
C11	Lab. Computación 5	6	2	32	64	384
C10	Lab. Computación 6	6	4	32	128	768
C08	Sala de Grados	6	2	32	64	384
C06	Lab. Computación 7	6	2	32	64	384
C03	Lab. Mecatrónica	6	3	32	96	576
C02	Sala de Asistentes de Investigación	6	3	32	96	576
D01	Auxiliares de laboratorio 2	2	2	32	64	128
D02	Laboratorio de Comunicaciones	6	2	32	64	384
D03	Laboratorio CNC	4	3	32	96	384
D04	Lab. Automatización Industrial	4	3	32	96	384
D07	Laboratorio de Robótica y Redes Indistriales	6	2	32	64	384
D08	Laboratorio Industrial 2	6	2	32	64	384
D09	Laboratorio de Electrónica Avanzada	9	2	32	64	576
D10	Laboratorio Industrial 1	6	2	32	64	384
E01	Lab. Instrumentación Virtual	6	4	32	128	768

E02 - E03	Sala de Profesores 2	24	3	32	96	2304
F01	Aula de clases	6	4	32	128	768
F02	Aula de clases	6	4	32	128	768
F03	Aula de clases	8	4	32	128	1024
F04	Aula de clases	8	4	32	128	1024
F08	Aula de clases	6	4	32	128	768
G02	Aula de clases	6	4	32	128	768
G03	Aula de clases	6	4	32	128	768
G04	Aula de clases	6	4	32	128	768
H02	Aula de clases	6	4	32	128	768
H03	Aula de clases	8	4	32	128	1024
H04	Aula de clases	8	4	32	128	1024
H05	Aula de clases	6	4	32	128	768
I01	Aula de clases	6	3	32	96	576
I02	Aula de clases	6	3	32	96	576
I03	Aula de clases	6	3	32	96	576
J01	Aula de clases	6	3	32	96	576
J02	Aula de clases	6	3	32	96	576
J05	Aula de clases	6	3	32	96	576
	Auditorio	12	3	32	96	1152
Total Potencia Instalada						**31890**

Elaborado por: Investigador

La factura eléctrica del mes de septiembre de 2018 de la Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi fue de $ 12 515,85 según la facturación por parte de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A, factura presentada en el anexo A. En el campus Huachi existen ocho facultades que laboran en diferentes jornadas. El consumo eléctrico de cada una de las facultades no es el mismo. No obstante, para realizar un análisis aproximado del coste económico del sector eléctrico de cada facultad se distribuyó el total de la facturación para el total de facultades que cuenta la universidad. Por tanto, el monto aproximado asignado a la FISEI es de $ 1 564,48 correspondiente al uso en general de electricidad en el cual se incluye el sistema de iluminación.

La FISEI cuenta, aproximadamente, con una potencia instalada del sistema de iluminación de 31,890kW correspondientes a diferentes aulas, laboratorios y salas. Habitualmente, el horario de trabajo dentro de la FISEI es de siete de la mañana a diez de la noche. Las aulas, laboratorios y oficinas administrativas funcionan en dos

jornadas, de siete de la mañana a una de la tarde y de dos de la tarde a diez de la noche. No obstante, se considera para un cálculo aproximado y análisis del consumo energético del sistema de iluminación que las luminarias se encuentran encendidas durante 14 horas, es decir durante las dos jornadas de trabajo. Un cálculo aproximado, permite indicar que el consumo de energía eléctrica en las luminarias de aulas y laboratorios esta alrededor de 8 929,2 kWh⁄mes. El costo económico mensual correspondiente es de $562,54 a una tarifa de 0,063 USD/kWh

Para determinar el costo económico del consumo eléctrico del sistema de iluminación según lo estipulado en el Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas, Servicio Público de Energía Eléctrica la tarifa es de 0,063 USD/kWh [1].

EL espacio interior evaluado fue la sala de investigación 2 por la disponibilidad y accesibilidad para realizar el estudio, análisis, simulaciones del sistema de iluminación actualmente existente y el propuesto. Las características del espacio evaluado no difieren en gran medida con el resto de espacios interiores como aulas, laboratorios y salas. El análisis del consumo eléctrico y costo del consumo eléctrico del sistema de iluminación de la sala de investigación permitió escalar los resultados obtenidos al edificio principal de la FISEI.

4.4 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA

El prototipo de control inteligente del sistema de iluminación LED consta de cuatro bloques. En el primer bloque se realiza la medición y adquisición de información con ayuda de sensores de movimiento, corriente, así como de dos sensores de luz, exterior e interior. El segundo bloque se encarga del acondicionamiento y procesamiento de datos, con ayuda de un controlador Arduino Nano, en función a la programación previamente establecida, que procesa la información adquirida por los sensores. En el tercer bloque se realiza la activación de diferentes funcionalidades del sistema de control inteligente de iluminación LED: encendido/apagado de las luminarias LED al detectar presencia o ausencia de personas; apertura/cierre de las persianas para la maximización del aprovechamiento de la luz natural; control de la luminosidad de las lámparas LED, en coordinación con el cierre/apertura de las persianas para garantizar

el mínimo nivel de iluminación, establecido en la normativa vigente; envío de información de las magnitudes del sistema de iluminación a la plataforma Cloud IoT.

Finalmente, el cuarto bloque se encarga del almacenamiento de la información adquirida del sistema de control inteligente de iluminación implementado en una base de datos en un servidor, alojado en una raspberry pi 3. La monitorización, gestión y visualización de la información del sistema de Iluminación LED se realiza a través de la plataforma Cloud IoT. En la figura 4.2, se presenta el diagrama de bloques del control inteligente del sistema de Iluminación LED, con suministro eléctrico en corriente continua LVDC

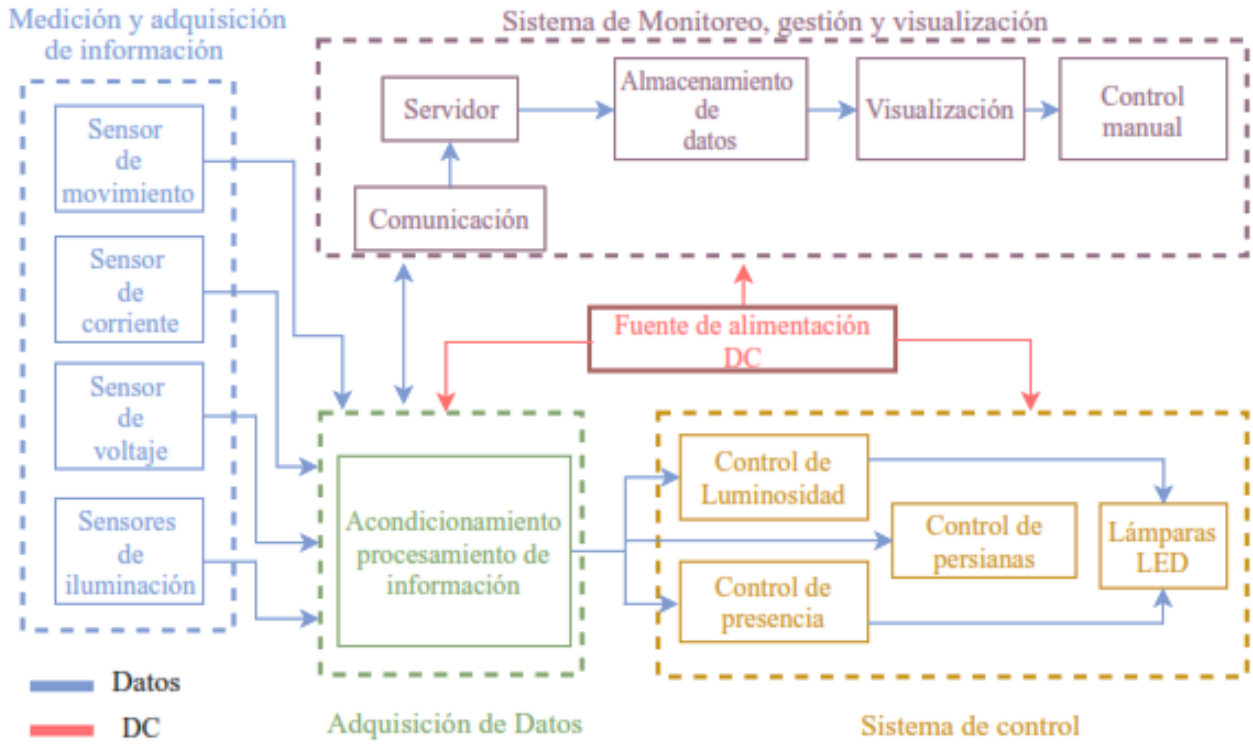


Figura 4.2: Diagrama de bloques del sistema.
Elaborado por: Investigador

4.5 SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN Y ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN

La implementación práctica del prototipo de control inteligente del sistema de iluminación LED se necesita de varios sensores y actuadores que junto a instrucciones

programadas en el microcontrolador interactúan de tal forma que responden a las necesidades requeridas del sistema de iluminación LED. A continuación, se presenta un análisis comparativo de diferentes sensores que fueron seleccionados para la implementación del prototipo anteriormente indicado.

4.5.1 Sensor de Movimiento

Se ha seleccionado el sensor de movimiento HC-SR501, conocido como sensor infrarrojo PIR, por su amplio grado de sensibilidad para la detección de los usuarios dentro del espacio interior, con una distancia de medición que alcanza los 7 metros. El sensor infrarrojo PIR cuenta con un lente de Fresnel que permite el paso de la radiación infrarroja, cuenta con un ángulo de detección de 110° concentrando la energía en la superficie de detección del sensor que permite una mayor sensibilidad. Además, cuenta con 2 potenciómetros los cuales sirven para calibrar la sensibilidad y la distancia de detección [48].

En la tabla 4.3 se presenta un análisis técnico de sensores de presencia más utilizados con Arduino.

Tabla 4.3: Características técnicas de sensores de movimiento/presencia.

Parámetros Técnicos	**HC-SR04**	**HC-SR501**	**GP2Y0A21YKOF**
Costo	$ 4,00	$ 4,00	$ 12
Señal de salida	Digital	Digital	Analógico
Tiempo de retardo	10 us	3seg- 5 min	-
Rango	15°	110°	15°
Distancia	4m	7m	1.5m
Consumo	15 mA	65 mA	30 mA
Temperatura de operación	-15° a 70° C.	-15° a 70° C.	-10° a 60°
Voltaje de alimentación	5V	5V a 12V	4,5V a 5,5V

Elaborado por: Investigador

4.5.2 Sensor de Corriente

El sensor de corriente seleccionado es el ACS712 por su mayor sensibilidad en la medición y porque las lecturas de corriente requeridas no superan los 5 amperios y la salida analógica está en el rango de 0 a 5 voltios, que es un voltaje adecuado para el manejo de los pines de entrada de los microcontroladores actuales en el mercado, también por tener un costo inferior a los demás sensores. El análisis de los sensores de corriente utilizados en la mayoría de proyectos electrónicos se presenta en la tabla 4.4.

Tabla 4.4: Características técnicas de sensores de corriente.

Parámetros técnicos	**ACS712**	**ACS714**	**SCT-013-000**
Costo	$7,00	$12,00	$13,50
Sensibilidad	185mV/A	66mV/A	0,5mV/A
Salida lineal	si	Si	si
Señal de salida	0V a 5V	0V a 5V	0mV a 50mV
Rango	-5A a 5A	-30A a 30A	0A a 100A
Conector de entrada	si	si	no

Elaborado por: Investigador

4.5.3 Medición de Voltaje de la Luminaria

Se realizó una tabla de medición que asocia el nivel de voltaje de acuerdo al nivel de corriente que consume la luminaria. Los datos se presentan en la tabla 4.5. Los valores de voltaje asociados a los de la corriente se establecen previamente dentro de la programación para su almacenamiento en la base de datos. La tabla que relaciona voltaje y corriente se justifica porque la conmutación rápida que ejerce el PWM no permite una medición exacta con el uso de un sensor de voltaje, lo que implica variaciones y medidas erróneas.

Tabla 4.5: Valores de voltaje de acuerdo a los niveles de corriente.

Corriente (A)	Voltaje (V)
1,028	36,7
0,902	35,2
0,866	34,8
0,726	32,9
0,626	31,7
0,544	30,4
0,440	28,8
0,337	27,3
0,237	25,7
0,132	23,9

Elaborado por: Investigador

4.5.4 Sensor de Iluminación

La información del nivel de iluminación tanto exterior como interior es importante para la ejecución de procesos en el prototipo de control y para el cumplimiento de la normativa de iluminación en lugares interiores UNE-EN 12464-1. En la tabla 4.6 se presentan las características de varios sensores de luz.

Tabla 4.6: Características técnicas de sensores de luz.

Parámetros técnicos	**BH1750**	**TSL2561**	**KY – 018**
Costo	$ 14,00	$ 16,00	$ 3,00
Voltaje de operación	3V – 5V	2,7V - 3,6V	3V – 5V
Comunicación	I2C	I2C	Analógica
Rechazo de ruido	50/60 Hz	-	-
Rango de medición	1 – 65535 lux	0.1 a 40,000 lux	0 a 1023 valor analógico
Rango de temperatura	-	-30 to 80ºC	.
Dimensiones	18,4 x 14 mm	19x16x1mm	2.5x1.6x0.7cm
Peso	40,8 gr	1.1 gr	2 g

Elaborado por: Investigador

De acuerdo a las necesidades del proyecto y el análisis comparativo de las características técnicas se eligió el sensor BH1750 por su disponibilidad en el mercado, precio, compatibilidad con diversos microcontroladores y su rango de medición en luxes. Este sensor se utilizó para la medición de la iluminación en el espacio interior.

Además, se eligió el módulo sensor de luz KY-018 para la medición de luz natural que existe en el exterior. El módulo está formado por una fotocelda que reacciona variando su resistencia al incidir luz sobre la fotocelda, el valor de la medición varia de 0 a 1023 dependiendo de la cantidad de luz que incida sobre la fotocelda.

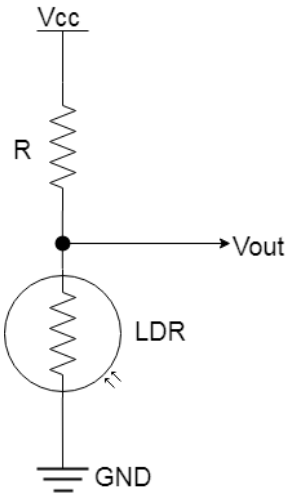


Figura 4.3: Sensor de iluminación ambiental LDR.

4.6 SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Existe una gran variedad de microcontroladores de diferentes fabricantes y marcas, que presentan diferentes características para su uso en distintas aplicaciones. La utilización de microcontroladores que componen placas de hardware libre como Arduino tienen un gran soporte técnico practico y existe una gran variedad de librerías dentro de su entorno de desarrollo integrado IDE que permiten el correcto funcionamiento y manejo de sensores existentes para diferentes propósitos.

Las tarjetas controladoras permiten el procesamiento de los datos obtenidos por los sensores, permitiendo ejecutar procesos mediante instrucciones, así como la ejecución de todo tipo de cálculos. En la tabla 4.7, se analiza diferentes propuestas tomando en cuenta las características más relevantes y necesarias para el desarrollo del prototipo.

Tabla 4.7: Análisis técnico de tarjetas microcontroladoras.

Parámetros técnicos	**Arduino Nano**	**Pingüino 18F2550**	**Fpga Mojo V3**
Costo	$7,00	$15,25	$75,00
Microcontrolador	ATmega328	PIC18 F2550	ATmega32U4
Voltaje de operación	5 V	2V – 5,5V	2.7 V - 5.5 V
Pines de propósito general E/S	14	23	84
Entradas analógicas	8	5	8
Canales PWM	6	2	-
Corriente pines E/S	40 mA	25 mA	-
Memoria flash	32 KB	32 KB	32 KB
SRAM	2 KB	2 KB	2.5 KB
EEPROM	1 KB	256 B	1 KB
Cristal	16 MHZ.	20 MHz	16 MHz
Comunicaciones	Serial, UART, I2C, SPI	UART, I2C, SPI, USB	I2C, SPI, UART/ USART, USB
Dimensiones	1.85x 4.3 cm	Depende versión	8 x 1.5 x 6.4 cm
Peso	5g	12g	9.07 g

Elaborado por: Investigador

Se ha seleccionado el microcontrolador de la tarjeta de desarrollo Arduino Nano tomando en cuenta todas las características técnicas presentadas. Además, la extensa

compatibilidad que ofrece las placas Arduino con diferentes sensores y actuadores, sus puertos de entrada y salida digital, sus entradas analógicas y canales de PWM, su bajo costo, accesibilidad de información de manuales y aplicaciones prácticas para su uso, por sus dimensión y peso que permiten incluirlos en placas electrónicas.

4.7 SELECCIÓN E INSTALACIÓN DE SOFTWARE DEL SERVIDOR

El Servidor es un ordenador u otro tipo de dispositivo capaz de almacenar y proporcionar información a distintas máquinas llamadas clientes. La interfaz que permite la visualización e interacción con el cliente o usuario es la página web, que interpreta la información enviada por el servidor a través de un navegador web. El servidor tiene la capacidad de gestionar servicios, respondiendo a peticiones realizadas por los clientes. Existen varios servidores en función de su uso y su contenido como: servidor de correo, servidor de transferencia de archivos, servidor web, Telefonía, servidor de base de datos, entre otros.

4.7.1 Selección del Hardware del Servidor

El presente proyecto propone un prototipo de monitoreo por lo que es necesario la utilización de un equipo u ordenador, que aloje el servidor para el almacenamiento de datos y otro tipo de archivos necesarios, que permitan a los clientes interactuar con la página web. La capacidad del servidor depende directamente del hardware que lo compone, la elección del hardware depende de las funciones que se van a realizar. El hardware debe proporcionar características necesarias como una elevada memoria RAM, alta velocidad de procesamiento y gran capacidad de almacenamiento. En la tabla 4.8, se presenta una comparativa de características de hardware para servidores web.

Tabla 4 8: Hardware para servidor web.

Parámetros Técnicos	**PC**	**Raspberry pi 3**	**Orange pi**	**Banana pi**
Costo	> $300	$60	$100	$80
Consumo	Depende del PC	5V-600mA	5V-500mA	5V-1A
Almacenamiento	> 500 GB	SD	SD	
RAM	> 2 GB	1GB	1GB	1GB
Procesador	Intel Pentium Intel Core i3 Intel Core i5 Intel Core i7	ARM v8 1.2 GHz	Allwinner H3 1.6 GHz	ARM Cortex-A7
Núcleos	2, 3	4	2	2
Sistema operativo	Windows Linux	Linux Raspbian Fedora	Android Lubuntu Debian	Bananian Raspbian Debian
Tamaño	Grande	Pequeño	Pequeño	Pequeño

Elaborado por: Investigador

El hardware elegido como servidor web es la raspberry pi 3 por ser un ordenador de tamaño reducido a un bajo precio con excelentes prestaciones. Además, por ser versátil y compatible con varios sistemas operativos como: Raspbian, Fedora, Linux Ubuntu mate, Windows 10 IoT Core, entre otros sistemas operativos de terceros para Raspberry Pi.

4.7.2 Instalación del Servidor LAMP

4.7.2.1 Linux

El sistema operativo que se instaló en la raspberry pi 3 es Rasbian Stretch por ser el sistema operativo actualmente más estable y con actualizaciones constantes en lo que a paquetería se refiere. Una distribución de GNU/Linux adaptada para trabajar con los distintos tipos de arquitecturas de raspberry pi. Para empezar, es necesario descargar

la imagen de Raspbian Stretch desde la página oficial ***raspberrypi.org.*** Es necesario contar con una tarjeta SD de una capacidad de más de 8 Gb de clase 10, un cable HDMI, un monitor con entrada HDMI, teclado y mouse. A continuación, se describe los pasos realizados para la instalación del sistema operativo.

- Con la ayuda de un ordenador y del programa *SDFormatter* se formatea la tarjeta SD, después de que se haya seleccionado la unidad de almacenamiento SD reconocida por el equipo.

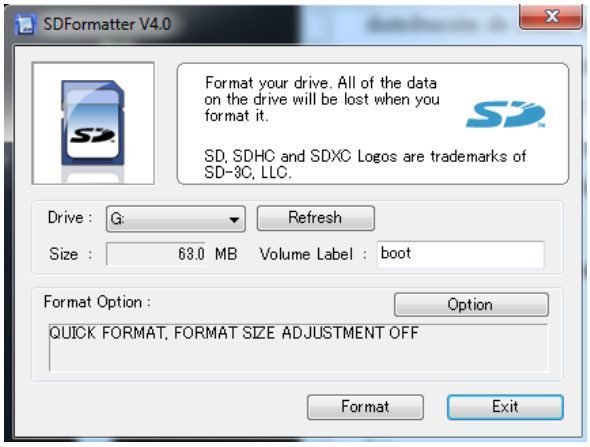


Figura 4.4: Formateo tarjeta SD.
Elaborado por: Investigador

- Luego con el programa *Win32 Disk Imager* se instala la imagen de Raspbian stretch, seleccionando la ruta de almacenamiento de la imagen y posteriormente presionando Write.

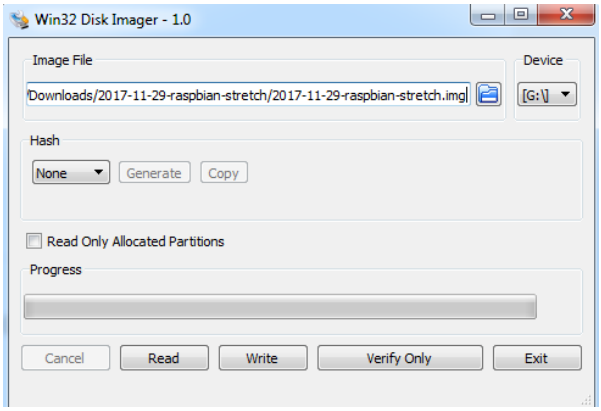


Figura 4.5: Instalación de la imagen raspbian stretch.
Elaborado por: Investigador

Luego de haber realizado los dos pasos preliminares se procede a insertar la tarjeta SD en la ranura de la Raspberry pi 3. Luego se conecta la rapberry pi al monitor con el cable HDMI, se conecta el teclado, el mouse y finalmente se conecta la fuente de alimentación de la raspberry pi para el iniciar con la instalación de Apache, MySQL y PHP a través de un intérprete de comandos u órdenes denomindo como terminal, consola o shell.

4.7.2.2 Apache

La instalación del Servidor Web HTTP Apache se realiza desde un terminal de raspbian con el comando:

sudo apt-get install -t stretch apache2

Luego de concluir con la instalación del paquete Apache, es posible comprobar que la instalación se realizó de manera correcta. Desde el acceso a un navegador web se coloca la dirección IP de la Raspberry pi, en este caso la IP es 192.168.1.15. En la figura 4.6 se puede observar un mensaje de funcionamiento del servidor Apache.

La instalación de apache crea el directorio /var/www/html/, que almacenan los archivos de páginas y documentos web. Es necesario dar permisos de usuario root para guardar archivos y realizar cambios en dicho directorio, con ayuda de las siguientes líneas de código.

cd /var/www/html

sudo chmod 777 /var/www/html

Finalmente se reinicia el servicio de apache con el comando:

sudo service apache2 restart

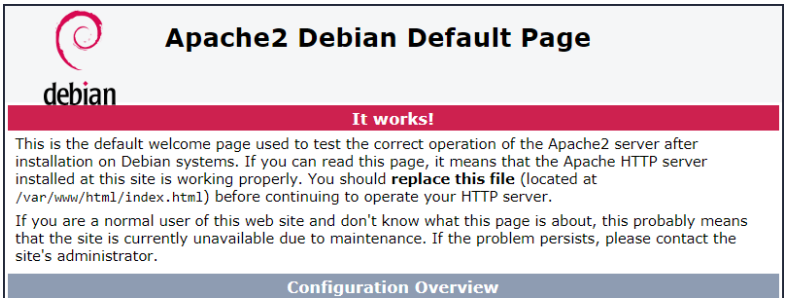


Figura 4.6: Comprobación del servidor web apache.
Elaborado por: Investigador

4.7.2.3 MySQL

La instalación del gestor de la base de datos se realiza con los siguientes comandos:

sudo apt-get install -t stretch mysql-server

sudo apt-get install -t stretch mysql-client

Para acceder al gestor de base de datos y poder configurarlo se utiliza el comando *mysql -u mysql –p.* La creación del usuario "tes" se muestra en la figura 4.7, otorgándole todos los privilegios.

```
pi@ras:~ $ su root
Contraseña:
root@ras:/home/pi# mysql -u root -p
Enter password:
Welcome to the MariaDB monitor.  Commands end with ; or \g.
Your MariaDB connection id is 18
Server version: 10.1.23-MariaDB-9+deb9u1 Raspbian 9.0

Copyright (c) 2000, 2017, Oracle, MariaDB Corporation Ab and others.

Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the current input statement.

MariaDB [(none)]> create user 'tes'@'localhost' identified by '123';
Query OK, 0 rows affected (0.00 sec)

MariaDB [(none)]> grant all privileges on *.* to 'tes'@'localhost';
Query OK, 0 rows affected (0.00 sec)

MariaDB [(none)]> flush privileges;
Query OK, 0 rows affected (0.00 sec)
```

Figura 4.7: Creación del usuario en MySQL.

Elaborado por: Investigador

4.7.2.4 PHP y PHP MyAdmin

Para instalar PHP se utilizó los siguientes comandos:

sudo apt-get install -t stretch php7.0

sudo apt-get install -t stretch php7.0-mysql

Para comprobar que se instaló correctamente, se agrega un archivo con el nombre info.php en el directorio del servidor Apache /var/www/html/, dentro del archivo se coloca el siguiente código:

```
<?php
phpinfo();
?>
```

Luego de guardar el código se procede abrirlo desde un navegador web de la siguiente manera http://localhost/info.php obteniendo la información de PHP 7 como se muestra en la figura 4.8.

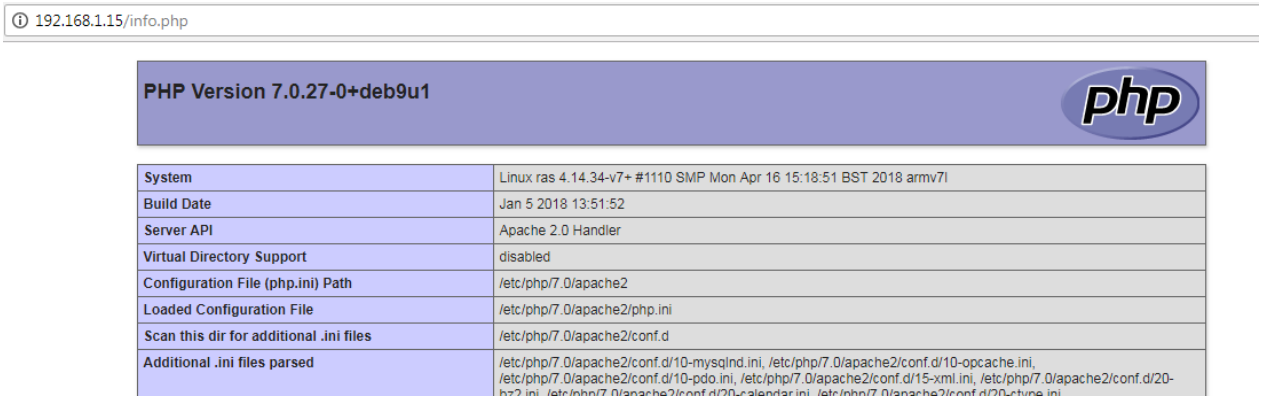


Figura 4.8: Comprobación de instalación de PHP.

Elaborado por: Investigador

Para poder acceder y gestionar la base de datos mediante una interfaz gráfica se instaló PHP MyAdmin con el comando:

sudo apt-get install phpmyadmin

Durante la instalación se debe seleccionar el servidor apache2, y se deberá colocar una contraseña. Al terminar la instalación se podrá acceder al gestor de base de datos a través de la interfaz gráfica de PHP MyAdmin desde un navegador ingresando a http://localhost/phpmyadmin como se muestra en la figura 4.9.

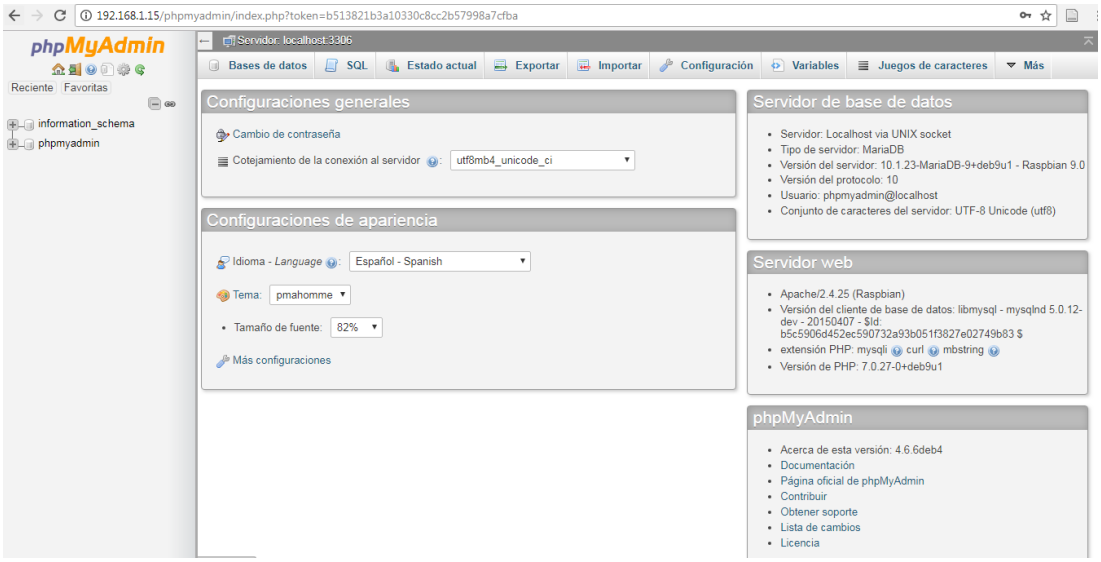


Figura 4.9: Pantalla principal PHP MyAdmin.

Elaborado por: Investigador

4.8 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS DE COMUNICACIÓN

Para la comunicación entre el sistema de control y el servidor es necesario establecer un medio de comunicación para la transferencia de datos. Las tecnologías de comunicación de medios guiados y no guiados revisados se presentan en la tabla 4.9.

Tabla 4.9: Tecnologías de comunicación.

Parámetros Técnicos	**USB**	**Ethernet**	**Wifi**	**Bluetooth**	**ZigBee**
Costo	$2	$5	$7	$6	$50
Medio de transmisión	Guiado	Guiado	Radio Frecuencia	Radio Frecuencia	Radio Frecuencia
Velocidad de transmisión	480 Mbit/s	10 Mbit/s a 1 Gbit/s	11 Mbit/s a 248 Mbit/s	1 Mbit/s a 32 Mbit/s	250kbit/s
Distancia Máxima	5m	100	30m -100m	10m-100m	75m

Elaborado por: Investigador

La distancia entre el prototipo del sistema de control de iluminación LED con el servidor es corta, por tal razón, se seleccionó la tecnología de comunicación de tipo serial USB, Universal Serial Bus, que proporciona una transmisión de datos rápida y eficiente. Además, sirve como fuente de alimentación de la placa Arduino. No obstante, para la interacción con la página web se utilizará comunicación Wifi.

4.9 SELECCIÓN DE LUMINARIAS LED

Las luminarias LED presentan una vida útil prolongada, niveles de iluminación adecuados con un bajo consumo. En la actualidad, la iluminación LED se ha incrementado tanto en la iluminación interior como exterior. El desarrollo de la tecnología LED pretende alcanzar una mayor eficacia lumínica con un bajo costo de consumo dejando a un lado a otras tecnologías de iluminación como son las Fluorescentes. En la tabla 4.10 se muestra las características técnicas de algunas luminarias LED.

Tabla 4.10: Análisis técnico de luminarias LED.

Panel LED	**Sylvania MYL741**	**LEDvance Osram**	**Microplus Germany PN-060060**	**Lithonia 2GTL4**
Costo	42,99	69,99	273,78	76,5
Voltaje de entrada 50/60Hz	100-277V~	120-240V~	90-265V~	120 V~
Flujo Luminoso, Lm	3200	4000	3450	4222
Potencia, W	40	40	30	36
Temperatura de Color, °K	6000	6500	5500	4000
lm/W	80	100	125	117,3
Vida útil Horas	35000	30000	50000	60000
Protección/ Certificación	IP20	IP20	IP65	CSA, LM79
Dimensiones LxWxH cm	60x60x1	60x60x1.05	59.5x59.5x3.2	122x61x8.2

Elaborado por: Investigador

Todos los paneles LED trabajan en corriente continua, por tanto, cuentan con un driver que transforma de AC a DC para su correcto funcionamiento. Para el desarrollo de la propuesta no será necesario el uso del driver AC-DC ya que el sistema de control en general trabajó exclusivamente con una fuente de alimentación en DC. El Panel LED seleccionado para el desarrollo del prototipo de control de iluminación es Sylvania MYL741 por sus características lumínicas, precio y disponibilidad en el mercado.

4.10 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

4.10.1 Selección de la Batería de Alimentación

El prototipo implementado está únicamente alimentado por corriente directa de baja tensión LVDC, es decir que los diferentes dispositivos que integra el prototipo como la tarjeta Arduino Nano, raspberry pi 3, sensores, actuadores y luminarias LED estarán alimentados por una fuente en DC proporcionado por una batería. En la tabla 4.11 se indica un análisis de diferentes tipos de batería.

Tabla 4.11: Tipos y características de baterías DC [22].

Tipo	Precio	Ciclado profundo	Mantenimiento	Precio $
Plomo-ácido				
Plomo-Antimonio	Bajo	Bueno	Alto	
Plomo-Calcio abiertas	Bajo	Pobre	Medio	≥ 100
Plomo-Calcio selladas	Bajo	Pobre	Bajo	
Hibridas (Antimonio/calcio)	Medio	Bueno	Medio	
Electrolito inmovilizado				
Gel	Medio	Muy bueno	Bajo	≥ 280
AGM	Medio	Muy bueno	Bajo	
Niquel-Cadmio				
Placas “sintered”	Alto	Bueno	Ninguno	≥ 200
Placas “pocked”	Alto	Bueno	Medio	

Se seleccionó una batería de plómo ácido con un voltaje de 12VDC y corriente de 85Ah (C20) para el uso en el prototipo. Se decidió utilizar esta batería por su bajo precio, accesibilidad, disponibilidad en el mercado actual y facilidad de carga. No

obstante, la mejor batería para utilizar es una batería estacionaria de gel que permite un ciclado profundo y no requiere de mantenimiento, pero su precio es elevado.

4.10.2 Convertidores de Voltaje

Los convertidores de voltaje DC-DC se clasifican en elevadores y reductores de voltaje. Existe una gran variedad de convertidores de ambos tipos y se diferencian por los valores de voltaje de entrada y valores de voltaje de salida que soportan. En el prototipo se requirió de un reductor de voltaje de 12VDC a 5VDC para la alimentación de la raspberry pi 3 y del microcontrolador arduino nano. Además, se utilizó un elevador de voltaje de 12VDC a 37VDC para la alimentación del Panel LED. En la tabla 4.12 se presenta las características técnicas de los convertidores de voltaje DC que se utiliza en el desarrollo del prototipo de control inteligente del sistema de iluminación LED.

Tabla 4.12: Elevador y reductor de voltaje DC-DC.

Parámetros Técnicos	**Reductor de voltaje**	**Elevador de voltaje**
Tipo	DC-DC	DC-DC
Costo	$ 6,38	$ 45.00
Voltaje de entrada	4.5 - 40V	6 - 60V
Voltaje de salida	1.25 - 35V (ajustable)	6 - 90V (ajustable)
Corriente de entrada	5A máximo	10A máximo
Corriente de salida	3A máximo	10A máximo
Potencia de salida	25 W máximo	600W máximo
Dimensiones	43x20x14mm	104x60x44mm
Peso	20 g	295 g

Elaborado por: Investigador

4.11 SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL CIRCUITO DE CONTROL DE LUMINOSIDAD Y CONTROL DE LA PERSIANA

Para la selección de los elementos del circuito de control de luminosidad de la luminaria LED, en corriente continua, es necesario conocer los valores de voltaje y corriente de la luminaria LED en operación nominal. Las mediciones de voltaje y corriente realizadas en el driver AC-DC del panel LED Sylvania de 40W se presentan en la tabla 4.13. Las mediciones realizadas permiten constatar el valor de voltaje y corriente de la luminaria con el objetivo de conocer los valores nominales de operación en la etapa de DC y limitar esos valores en el diseño del circuito de control de luminosidad. La alimentación en corriente alterna del driver es de 120 voltios y el voltaje máximo de salida en corriente continua del driver es de 35,7 voltios, con una corriente de 1,002 amperios, obteniendo una potencia promedio de 36W.

Tabla 4.13:Mediciones de voltaje-corriente en driver AC-DC Sylvania 40W.

Dato	Voltaje DC [V]	Intensidad [A]	Potencia Panel LED [W]
1	35,3	0,983	34,70
2	35,6	0,995	35,42
3	35,6	0,996	35,46
4	35,7	0,998	35,63
5	35,7	0,999	35,66
6	35,7	1,000	35,70
7	35,7	1,002	35,77

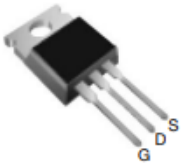
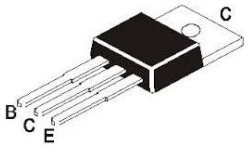
Elaborado por: Investigador

Por tanto, el voltaje requerido para el funcionamiento de la luminaria LED a una potencia nominal de 40W es de 37V, con una corriente de 1,08 A como máximo.

4.11.1 Selección del MOSFET

El MOSFET seleccionado para el circuito de control de luminosidad de la lámpara LED es el IRF530 de canal N, por su disponibilidad en el mercado actual, la corriente que soporta de 10A y el rango de temperatura de operación. En la tabla 4.14 se muestra las características técnicas de diferentes conmutadores de estado sólido [49].

Tabla 4.14: Características de conmutadores de estado sólido.

Parámetros Técnicos	MOSFET 			DARLINGTON 		
Modelo	IRF530	IRF640	IRF830	TIP120	TIP121	TIP122
Voltaje	100	200	500	60	80	100
Corriente	10 A	11 A	4.5 A	5 A	5 A	5 A
Potencia	88 W	125 W	74W	65W	65W	65W
Temperatura de operación	-55°C a +175°C	- 55°C a +150°C		-65°C a +150°C		

Elaborado por: Investigador

4.11.2 Selección del Transistor

Para el proceso de conmutación se necesita un dispositivo semiconductor NPN capaz de soportar tensiones entre 30V y 40V requeridos por la luminaria, así como para la aplicación de PWM. En la tabla 4.15 se muestra las características técnicas de varios transistores NPN. El transistor seleccionado es el BC547 que es capaz de soportar un voltaje de hasta 45VDC, una corriente de 100mA y una potencia de 1.5W.

Tabla 4.15: Características transistores NPN [50].

Parámetros Técnicos	2N3904	BC546	BC547	BC548
Voltaje	40 V	65 V	45 V	30
Corriente	200 mA	100 mA	100 mA	100 mA
Potencia	625mW	1.5W	1.5 W	1.5W
Temperatura de operación	-55°C a +150°C	- 55°C a + 150°C		

Elaborado por: Investigador

4.11.3 Selección de Control de la Persiana

Los dispositivos más utilizados para el control de las persianas son los motores a pasos. Se seleccionó el motor a pasos Nema 23 KM-C051-09V cuyo torque cumple con los requerimientos del prototipo, además, por su precio accesible y disponibilidad en el mercado actual. En la tabla 4.16 se muestra un análisis técnico de varios motores a pasos.

Tabla 4.16: Parámetros técnicos de motores a pasos.

Parámetros Técnicos	**MOTORES A PASOS**		
Modelo	Nema 23 KM-C051-09V	23LM-C355-P6V	28BYJ48
Precio	$ 25,00	$ 25,00	$ 5,00
Voltaje	9V – 12V	6V -12V	5V o 12V
Corriente	2 A máx	1.5 A máx	0.08 A máx
Resistencia al bobinado	2.0 Ohm	2.2 Ohm	50 Ohm
Inductancia	4.4 mH	5.5 mH	-
Torque de sostenimiento	9,9 kgf/cm	6.2 Kgf/cm	0,34 Kgf/cm
Diámetro en eje	6.35 mm	6 mm	5 mm
Configuración	Híbrido (Unipolar ó Bipolar)	Bipolar	Unipolar
Número de hilos	6	6	5
Peso	500 gr	450 gr	38 gr

Elaborado por: Investigador

Para el control adecuado del motor a pasos es necesario utilizar un driver compatible con las tarjetas microcontroladoras de la actualidad. Por lo tanto, se utiliza el driver A4988 para la configuración de trabajo y la corriente necesaria para el funcionamiento del motor a pasos.

En la figura 4.10 se presenta el esquema de conexión del driver, mientras que en la tabla la tabla 4.17 se presenta las cinco configuraciones de tamaño de paso que proporciona el driver A4988. El tamaño de pasos que se utilizó fue de un cuarto de pasos. A continuación, se muestran las características más relevantes del driver a motor a pasos:

- Voltaje de operación del driver de 3.3V a 5V.
- Limitación de corriente ajustable hasta 1A máximo.
- Cinco resoluciones de tamaño de pasos.
- Voltaje de suministro al motor a pasos de 8V a 35V.

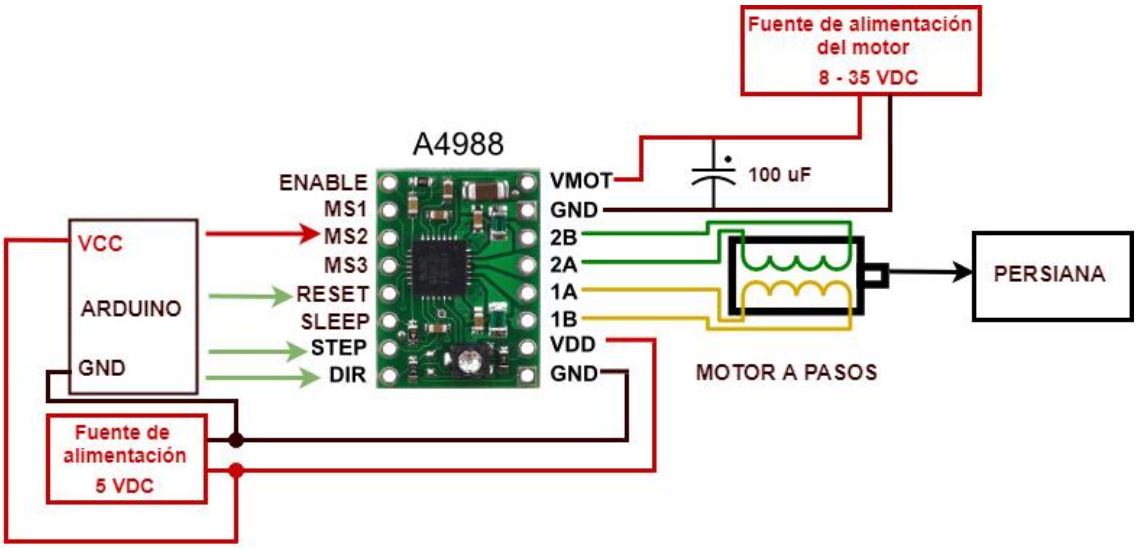


Figura 4.10: Conexiones del driver A4988.

Elaborado por: Investigador

Tabla 4.17: Resoluciones de tamaño de pasos driver A4988 [51].

MS1	MS2	MS3	TAMAÑO DE PASO
Bajo	Bajo	Bajo	Paso Completo
Alto	Bajo	Bajo	Medio Paso
Bajo	Alto	Bajo	Cuarto de Paso
Alto	Alto	Bajo	Octavo de Paso
Alto	Alto	Alto	Dieciseisavo de Paso

4.12 DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL INTELIGENTE DE ILUMINACIÓN LED

En este apartado se describe el proceso de diseño y dimensionado del sistema de control de luminosidad de la lámpara LED. El control de luminosidad consiste en regular el nivel de luxes que proporciona la lámpara LED en una superficie de trabajo. En la figura 4.11 se presenta el esquema de conexiones del prototipo de control inteligente de iluminación LED. En el prototipo implementado, el nivel de luminosidad es proporcional a la óptima combinación tanto del nivel de iluminación interior, así como de la aportación exterior de luz natural, que depende de la apertura de las persianas. De acuerdo al nivel de iluminación exterior medido se activa el motor a pasos, acoplado a las persianas. La apertura de las persianas se realiza en un rango determinado, programado en función de diferentes niveles de iluminación exterior. Por ejemplo, si el sensor de luz exterior detecta un nivel de iluminación natural máximo aprovechable, la apertura de la persiana es total. En el caso que el nivel de iluminación natural no sea aprovechable se bloquea la apertura de las persianas. El nivel de iluminación de luz natural exterior aprovechable, dependiente de la apertura de las persianas, activa el control electrónico de luminosidad de la lámpara LED de tal forma que se garantice un nivel de iluminación en la superficie de trabajo igual a 300 luxes, como una combinación de la aportación exterior de luz natural y del control de luz artificial.

El sistema de control de luminosidad de la lámpara LED está compuesto por un Arduino Nano, en el que se establece previamente la programación para el control de los diferentes sensores y actuadores que contiene el prototipo. Además, la adquisición y el procesamiento de la información se realiza en el Entorno de Desarrollo Integrado, IDE de Arduino. La señal PWM proveniente de un pin analógico del Arduino se conecta en la entrada del circuito de control de la luminaria LED que permite la conmutación de la señal para la activación, atenuación y desactivación. La información proveniente del sensor de luz exterior permite realizar la apertura y cierre de la persiana a través del movimiento de un motor a pasos, acoplado en la estructura de la persiana, maximizando el aprovechamiento de la fuente de luz natural.

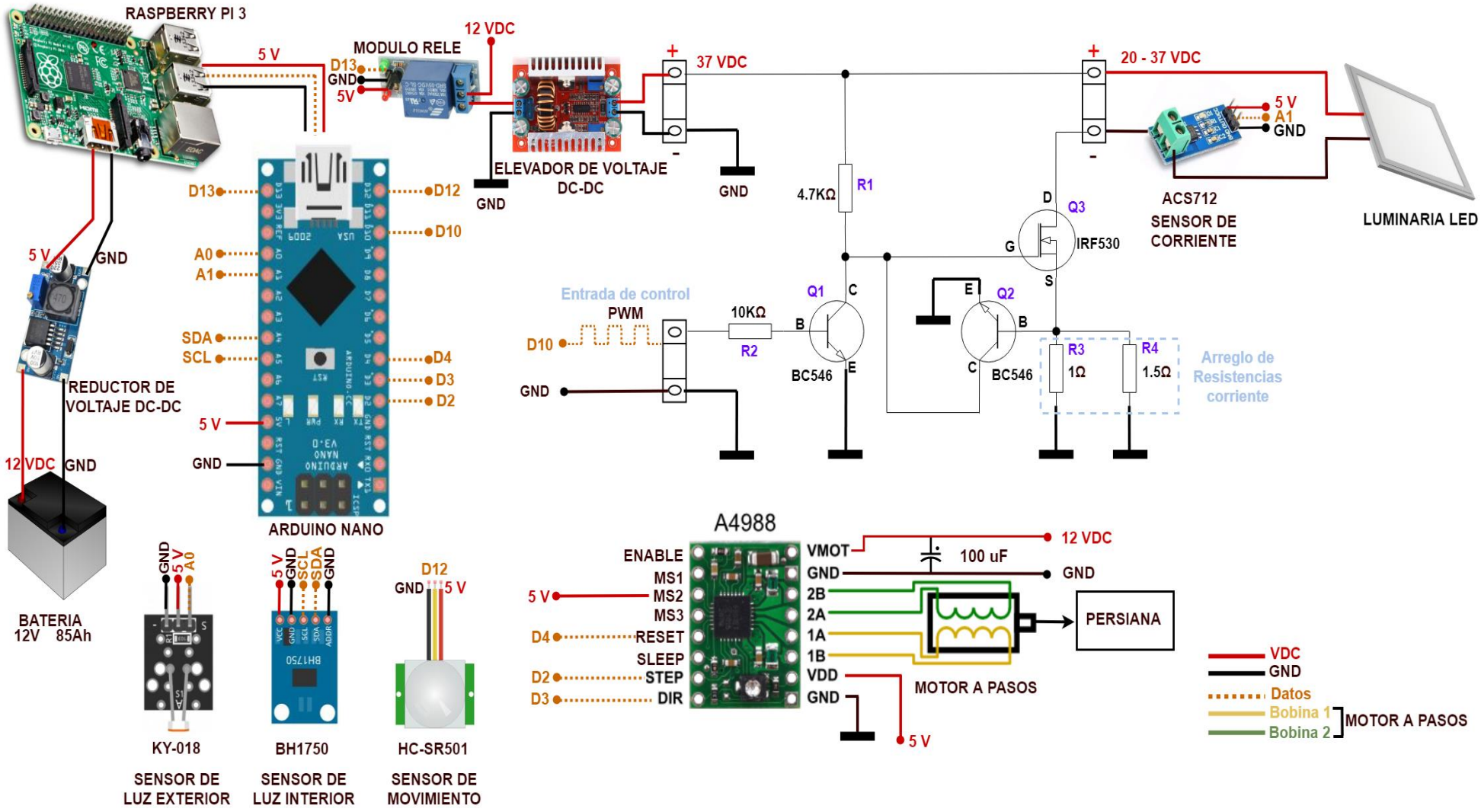


Figura 4.11: Esquema de conexiones del prototipo de control inteligente de iluminación LED.

Elaborado por: Investigador

El sensor de iluminación interior permite establecer el nivel de iluminación requerido en la superficie de trabajo evaluado según la normativa de iluminación en espacios interiores UNE-EN 12464-1.

La activación de la funcionalidad de encendido/apagado se realiza con la detección o ausencia de movimiento en el espacio interior evaluado por el sensor PIR. Al iniciarse las actividades en la FISEI, por la mañana, el sensor PIR detecta movimiento y envía una señal al Arduino, que activa un puerto para el módulo relé, que se encarga de la conmutación de la fuente y enciende la LED. En caso de ausencia de movimiento, el tiempo establecido para la desconexión es de 5 minutos. El sensor PIR está configurado para enviar disparos repetitivos de señal al detectar movimiento en el espacio interior evaluado. Si se detecta movimiento dentro del tiempo establecido para la desconexión, el tiempo de desconexión se establece nuevamente en 5 minutos. En la figura 4.12 se muestra el grado de detección de movimiento y las conexiones del sensor PIR.

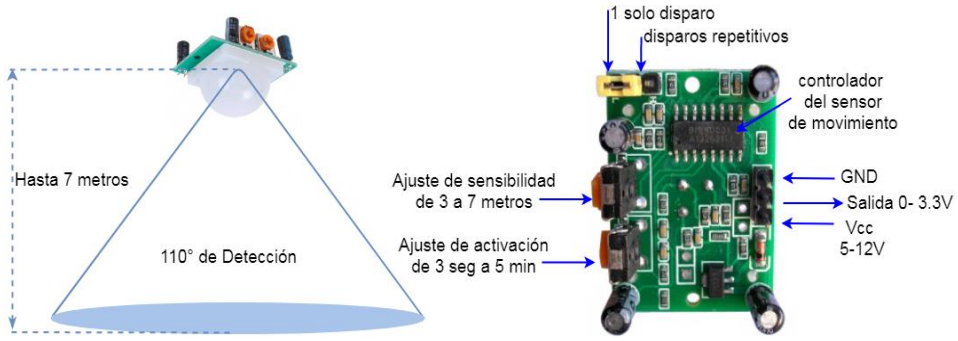


Figura 4.12: Sensor PIR.

Elaborado por: Investigador

En el prototipo implementado se utiliza un módulo relé para la conmutación de la fuente de alimentación, que a través de un dispositivo elevador de voltaje DC-DC, suministra voltaje en continua para el encendido de la luminaria LED. La activación del módulo relé se realiza al recibir una señal desde el microcontrolador, al detectar movimiento por el sensor PIR. En la figura 4.13 se presenta las conexiones de los sensores y dispositivos en el arduino nano.

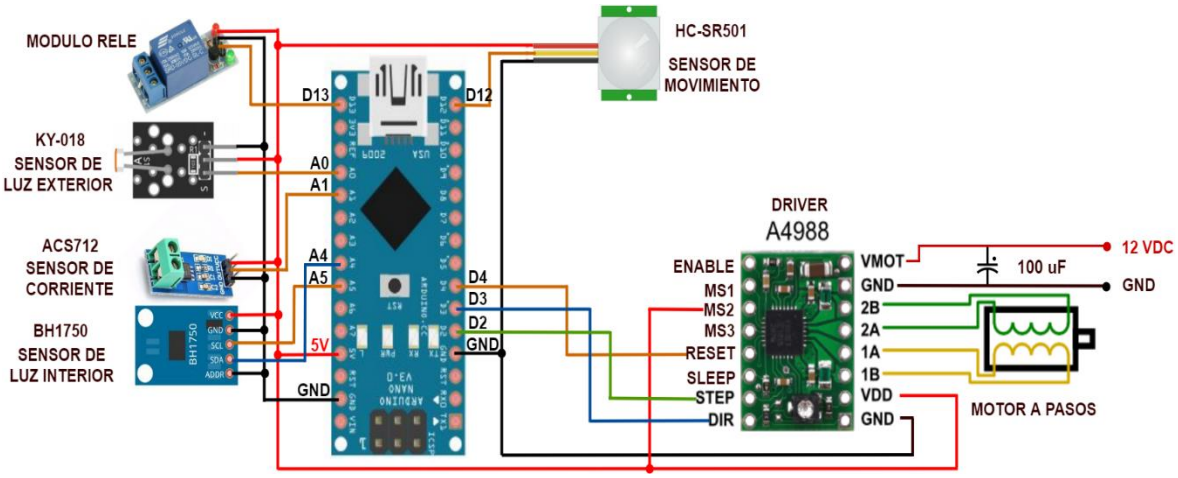


Figura 4.13: Conexiones de sensores y dispositivos al Arduino Nano.

Elaborado por: Investigador

4.12.1 Diseño del Circuito de Control de Luminosidad de la Luminaria LED

En la figura 4.14 se muestra el esquema del circuito de control de luminosidad de la lámpara LED y las conexiones de los elementos utilizados, así como, la entrada de la fuente de voltaje, la entrada del PWM, proveniente de una tarjeta microcontroladora, y la salida para la conexión de la luminaria LED. El circuito de control de luminosidad se base en un circuito de control de LED de alta potencia [52]. Los elementos que posee el circuito de control son: cuatro resistencias; R1= 4.7KΩ, R2= 10KΩ y un arreglo de resistencias en paralelo que se calcula posteriormente R3 y R4; 2 transistores BC546 tipo NPN y un MOSFET IRF530 de canal N.

El transistor Q1 utilizado en el circuito de control de luminosidad de la lámpara LED sirve como entrada de la señal de control PWM, proveniente del microcontrolador Arduino Nano. El transistor Q2 se utiliza para limitar la corriente de la luminaria junto al arreglo de resistencias.

Cuando se aplica el PWM el MOSFET IRF530 recibe en el "gate" una tensión positiva a través de la señal proveniente del transistor Q1 permitiendo la conducción y control del voltaje y corriente. Además, soporta una rápida conmutación cuando se aplica la modulación por ancho de pulsos, PWM.

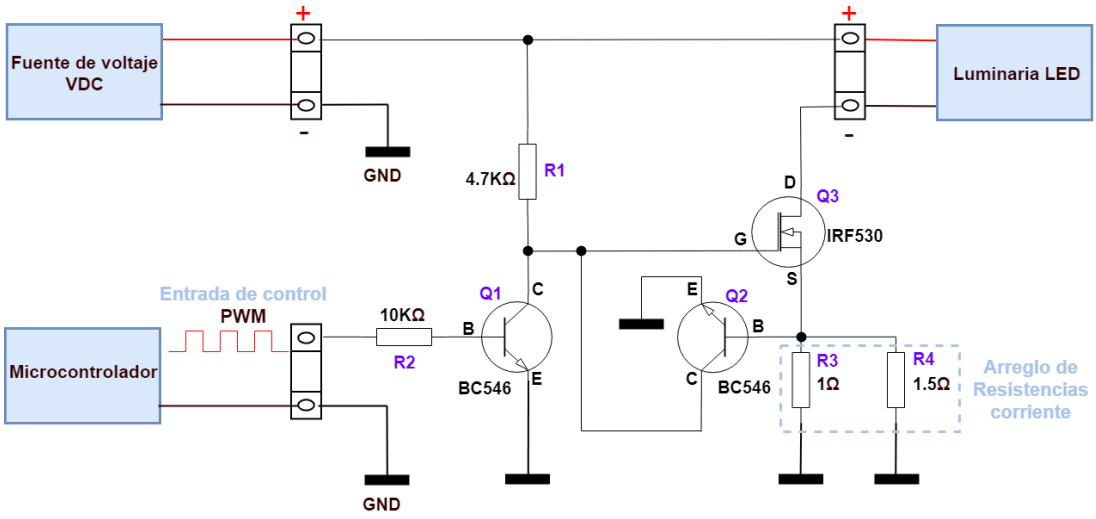


Figura 4.14: Circuito de control de luminosidad LED en corriente continua [52].

Elaborado por: Investigador

El arreglo de resistencias tiene como función limitar la corriente que consume la lámpara LED al valor máximo de potencia nominal. Por tanto, es necesario realizar el cálculo del valor de la resistencia del dispositivo de control electrónico de la lámpara LED.

El cálculo de la resistencia parte de los valores de voltaje y la potencia de la luminaria seleccionada, 37V y 40W respectivamente. Para el cálculo de la corriente se utiliza la siguiente fórmula:

$$I_{LED} = \frac{P_{LED}}{V_{LED}} = \frac{40W}{37V} = 1{,}08A \quad (1)$$

Posteriormente al cálculo del valor nominal de la intensidad de corriente se procede al cálculo de la resistencia limitadora de corriente con la siguiente fórmula:

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

El valor de 0,625 voltios es un valor constante correspondiente al umbral de conducción del transistor.

$$R = \frac{0{,}625V}{1{,}08A} = 0{,}58\Omega$$

El valor de la resistencia es muy bajo y no está disponible en el mercado actual. Por esta razón, se realiza un arreglo de resistencias en paralelo con el objetivo de aproximarse al valor óhmico de 0,58 ohmios, redondeando 0,6 ohmios. Se utilizó el valor de resistencias disponibles existentes en el mercado de 1 ohmio y de 1,5 ohmios. Aplicando la fórmula de resistencias en paralelo se obtiene la resistencia total que se aproxima a la resistencia requerida para el circuito.

$$R_T = \frac{R3 * R4}{R3 + R4} = \frac{1\Omega * 1.5\Omega}{1\Omega + 1.5\Omega} = \frac{1.5\Omega^2}{2.5\Omega} = 0{,}6\Omega \qquad (3)$$

Por otro lado, para el control del nivel de luminosidad automático del sistema de iluminación se emplea un control proporcional e integral, PI, que garantiza el nivel de iluminación de 300 luxes, requerido en el espacio interior evaluado, en función de la óptima combinación del máximo aprovechamiento de luz natural y minimización de iluminación artificial. En la figura 4.15 se muestra el esquema del sistema de control proporcional e integral de lazo cerrado.

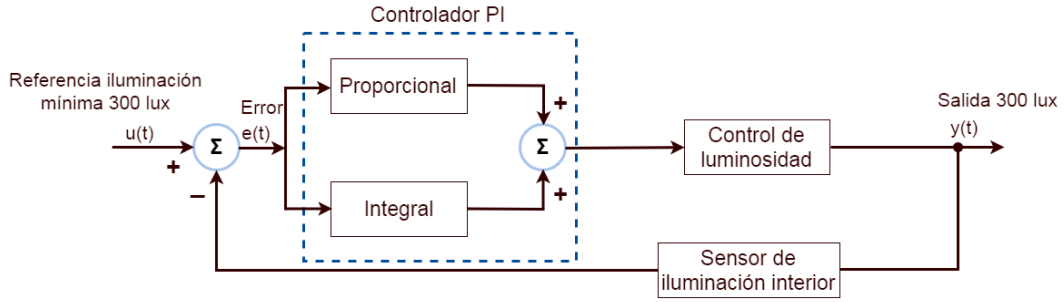


Figura 4.15: Sistema de control PI de lazo cerrado.

Elaborado por: Investigador

El controlador proporcional e integral, PI, permite mantener la consigna del nivel de iluminación establecida para proporcionar a la salida el mismo nivel de iluminación en el espacio de trabajo, eliminando el error que se produce por las variaciones de iluminación del exterior. Un controlador PI discreto se caracteriza por la expresión presentada en la ecuación (4) [53].

$$U(z) = k\frac{z+a}{z-1} \tag{4}$$

Donde:

U(z)= función de transferencia

E(z)= transformada Z

Aplicando la transformada Z y resolviendo se tiene:

$$\frac{U(z)}{E(z)} = k\frac{z+a}{z-1}$$

$$\frac{zU(z) - U(z)}{z} = \frac{kE(z)z - akE(z)}{z}$$

$$U(z) - z^{-1}U(z) = kE(z) - akz^{-1}E(z)$$

Luego se aplica la transformada Z inversa para obtener la ecuación en diferencias del sistema.

$$Z^{-1}\{U(z) = kE(z) - akz^{-1}E(z) + z^{-1}U(z)\}$$

Finalmente se obtiene la ecuación en diferencias del controlador PI. La ecuación se establece dentro de la programación en el IDE de Arduino y permite el control automático del nivel de iluminación requerido.

$$U(n) = kE(n) - akE(n-1) + U(n-1) \tag{5}$$

4.12.2 Simulación del Circuito de Control de Luminosidad

La simulación del circuito de control de la lámpara LED se realizó con ayuda del software Proteus. Previamente se realizó la programación en el Arduino Nano, que permite regular la modulación por ancho de pulsos, PWM, así como el pin de salida de la señal analógica. La señal PWM proveniente del Arduino se conecta en la base del transistor Q1 del circuito de control, que regula el nivel de luminosidad de la lámpara LED. En la figura 4.16 se observa el circuito de control de luminosidad a simular, mientras que en la figura 4.17 se presentan las imágenes de modulación por ancho de pulsos de la onda de voltaje, PWM, en los porcentajes de 75%, 50% y 25%.

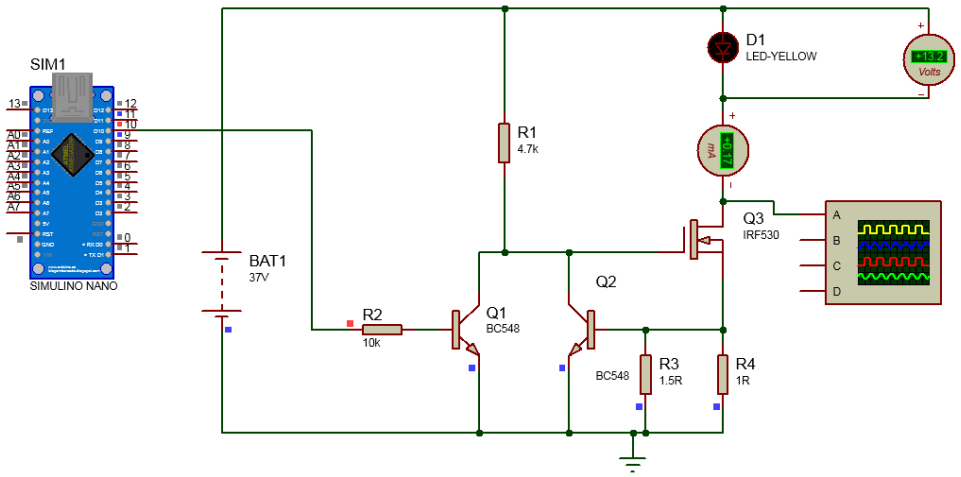


Figura 4.16: Simulación del circuito de control de luminosidad.

Elaborado por: Investigador

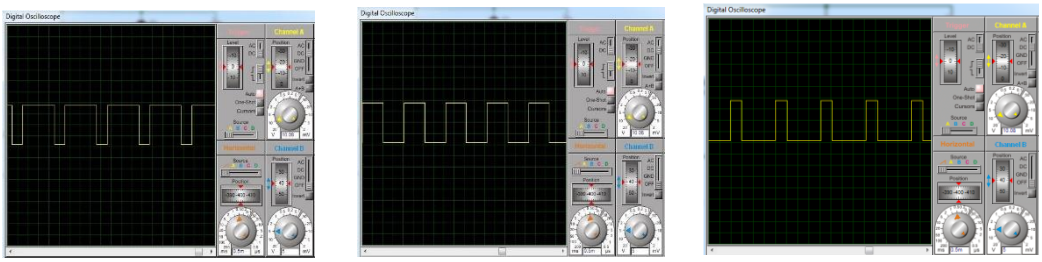


Figura 4.17: Porcentaje de PWM 75% - 50% - 25%.

Elaborado por: Investigador

4.13 IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO DE CONTROL INTELIGENTE DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED

Luego de seleccionar los materiales eléctricos y electrónicos, así como, los dispositivos que se emplearon en el desarrollo del proyecto se procede a la implementación y validación práctica del prototipo de Plataforma IoT de Control Inteligente de un Sistema de Iluminación LED con Suministro Eléctrico en Corriente Continua LVDC. El diseño de la estructura de soporte de la luminaria LED, así como, la estructura de soporte de la persiana se realizó en AutoCAD, se presenta con detalle en el ANEXO E y F. En la figura 4.18 se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento del prototipo de control y en la figura 4.19 se presenta el diagrama de flujo de la inserción de información en la base de datos.

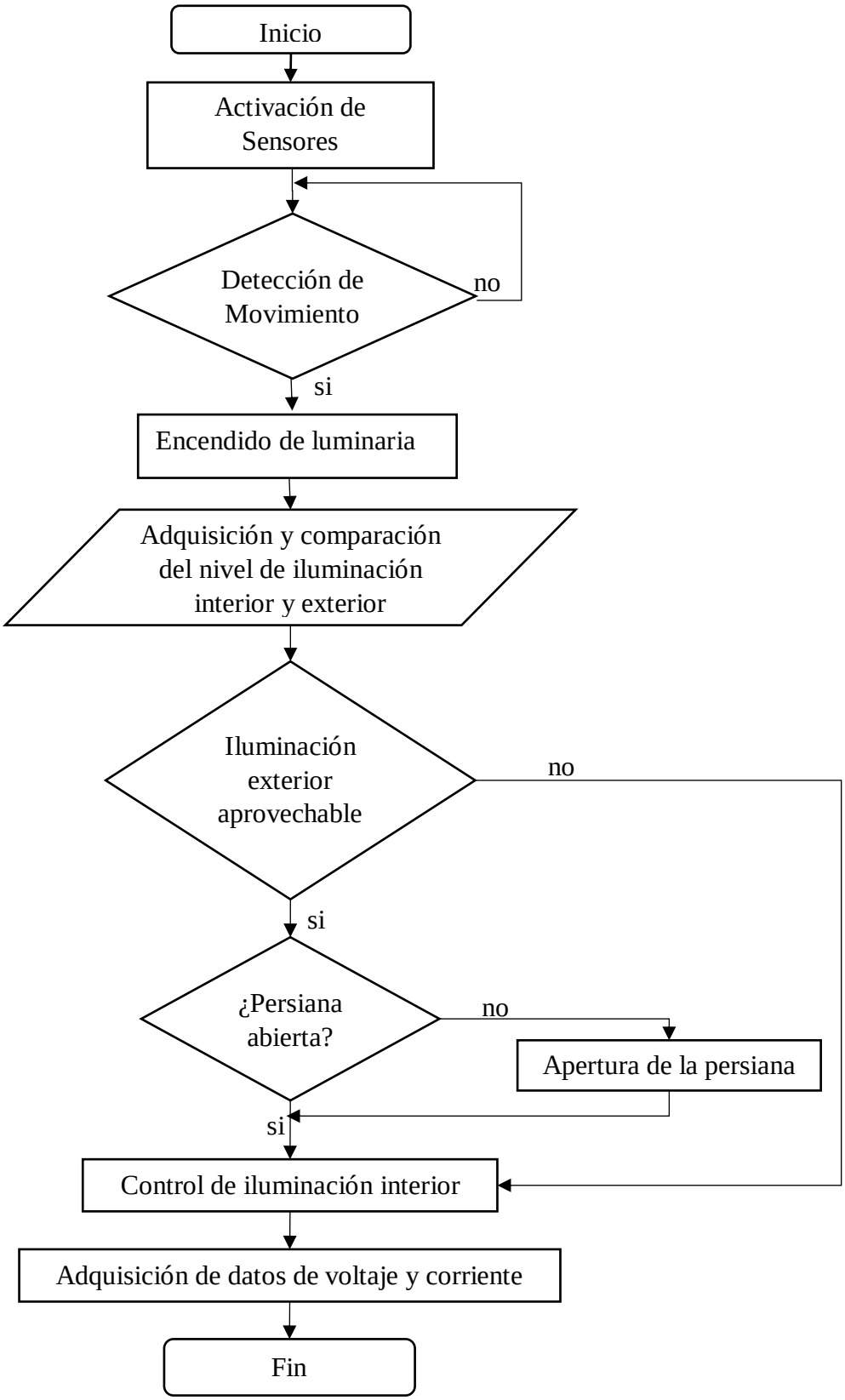


Figura 4.18: Diagrama de flujo del funcionamiento del prototipo.

Elaborado por: Investigador

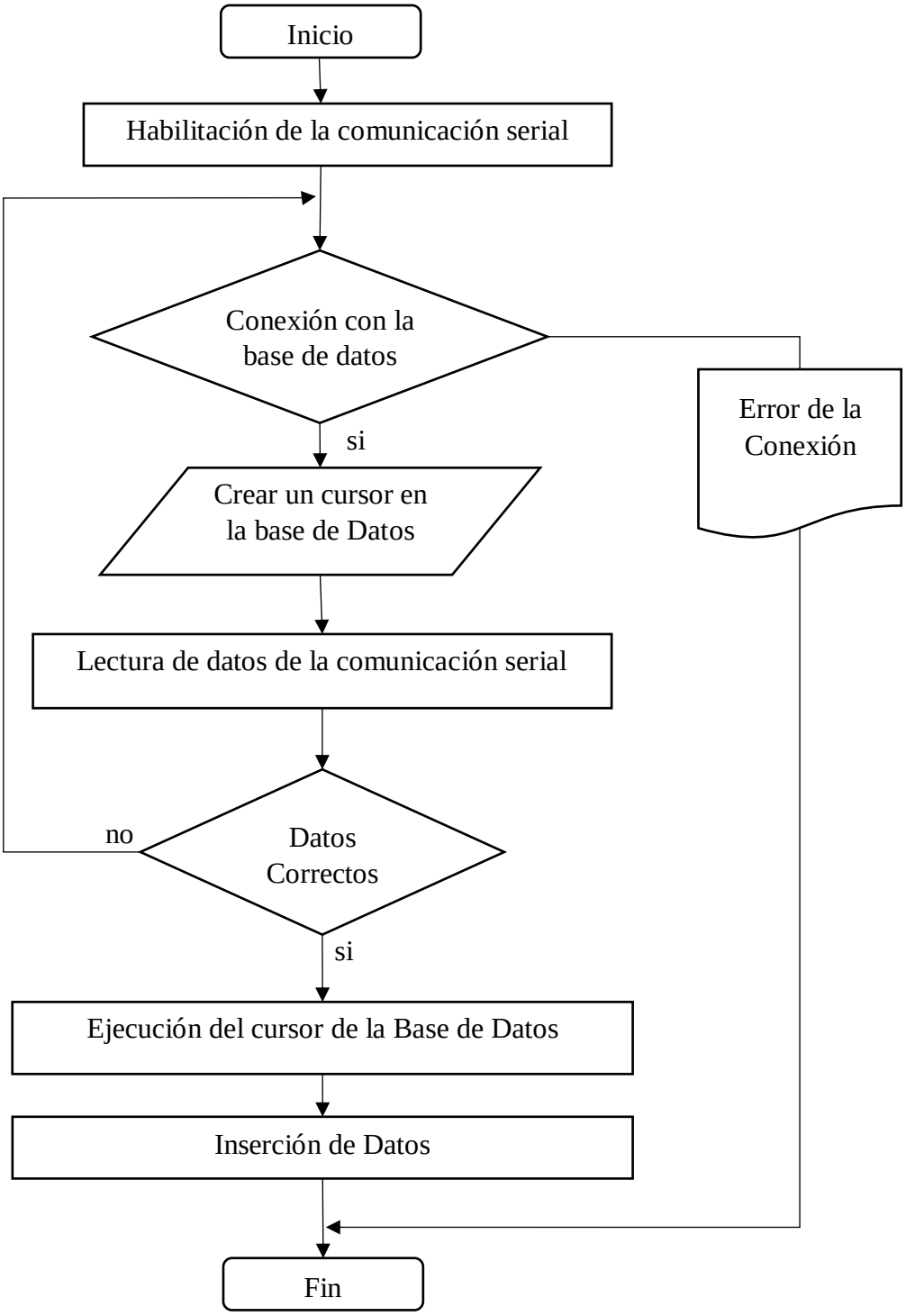


Figura 4.19: Diagrama de flujo de la inserción de información en la base de datos.

Elaborado por: Investigador

4.13.1 Implementación y Validación Práctica del Circuito de Control

La comprobación del correcto funcionamiento del circuito de control de luminosidad de la lámpara LED se realizó con ayuda de simulaciones en el software Proteus. Un paso previo para la implementación práctica del circuito de control de luminosidad de la lámpara LED es el diseño de la placa electrónica. El diseño de la placa electrónica se realizó con ayuda del software Proteus. Posteriormente, se realizó la implementación física de la placa y soldado de los elementos electrónicos del circuito de control de luminosidad de la lámpara LED. En la figura 4.20a, se muestra la implementación física del circuito de control armado en una protoboard. Asimismo, en la figura 4.20b se presenta la placa electrónica del circuito de control realizada en el software mencionado anteriormente, mientras que, en la figura 4.20c se presenta la placa elaborada físicamente.

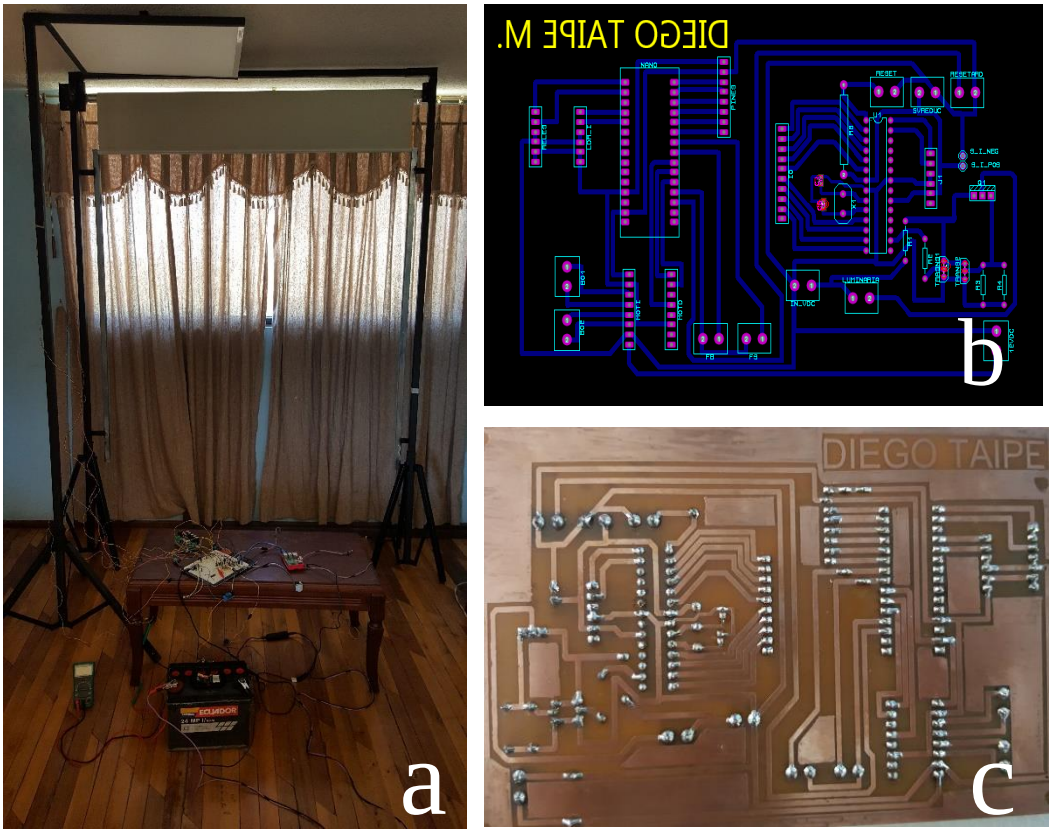


Figura 4.20: Implementación del circuito de control.

Elaborado por: Investigador

En la figura 4.21 se muestra el desarrollo de la implementación del sistema de control inteligente del sistema de iluminación LED. El circuito de control, los sensores y actuadores se encuentran distribuidos en una caja de madera, cumpliendo con el propósito establecido. En la figura 4.22 se presenta el acoplamiento del motor a pasos en la estructura de la persiana.

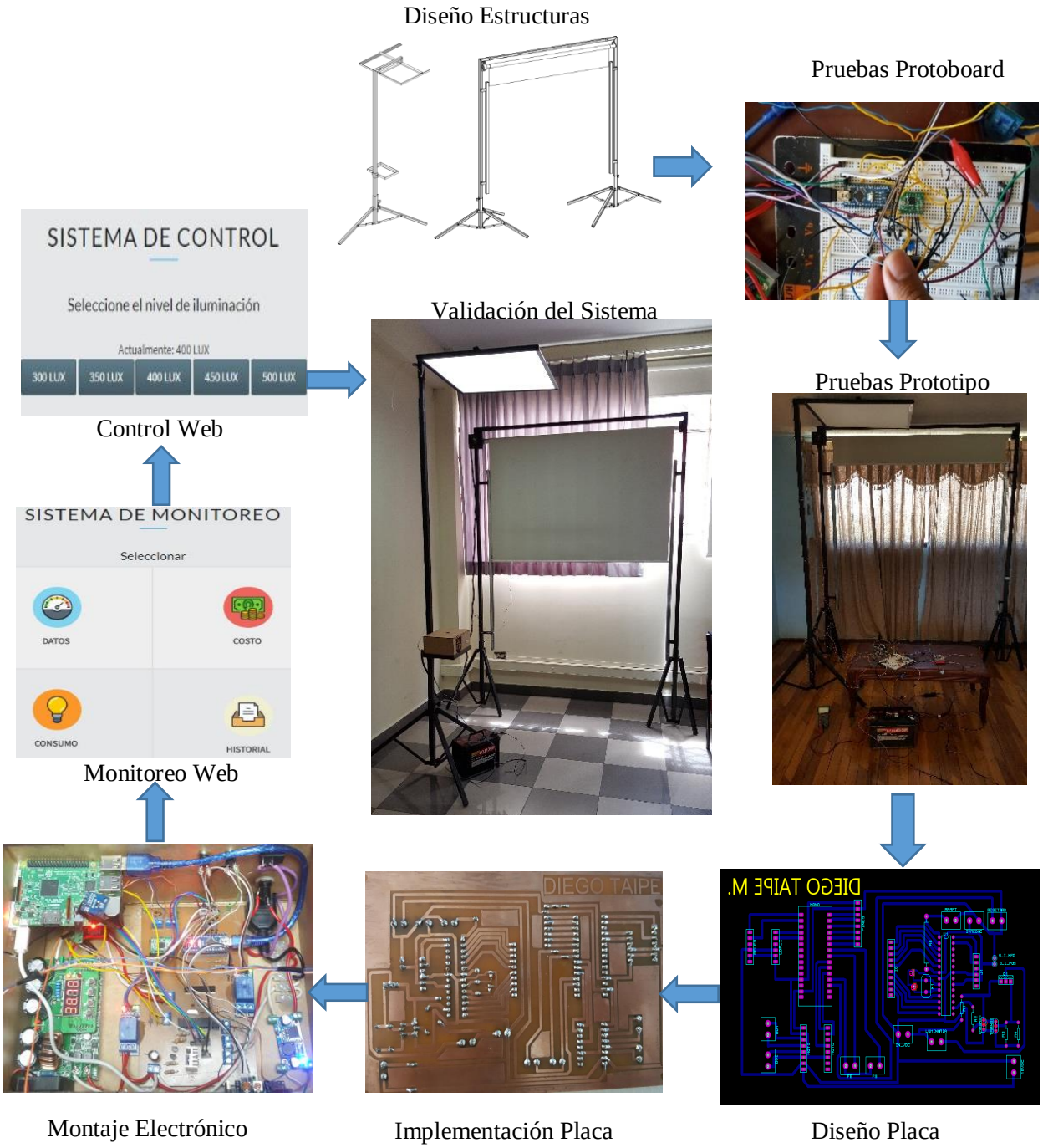


Figura 4.21: Implementación y validación del sistema de control inteligente.

Elaborado por: Investigador

Figura 4.22: Acoplamiento del motor a pasos en la estructura de la persiana.

Elaborado por: Investigador

En la figura 4.23 se presenta la validación práctica del circuito de control de luminosidad de la lámpara LED. Se presenta los siguientes casos de funcionamiento de la luminaria LED: la luminaria se encuentra en estado apagado, puesto que no detecta presencia de ninguna persona, con las persianas cerradas, figura 4.23a. Posteriormente la lámpara se enciende por la presencia de personas y ajusta el valor a 300 luxes, figura 4.23b. La persiana se abre al detectar luz natural aprovechable y apaga la luminaria, puesto se alcanza el valor de luxes establecidos con la luz natural, exterior, figura 4.24a. Finalmente, para validar el circuito de control de luminosidad de la LED, con ayuda de la plataforma cloud se ajusta el valor de luxes en el plano de trabajo evaluado en 500 luxes, figura 4.24b.

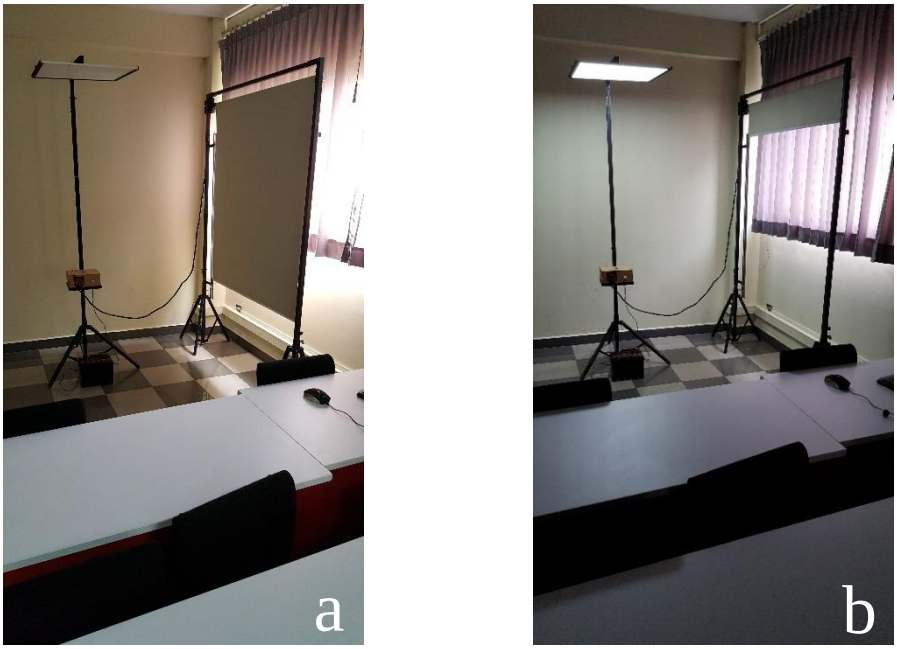


Figura 4.23: Validación práctica del circuito de control de luminosidad.

Figura 4.24: Validación práctica del circuito de control de luminosidad.

Elaborado por: Investigador

4.13.2 Descripción del Diseño, Implementación y Validación de la Plataforma

La plataforma fue diseñada con ayuda del gestor de contenidos WordPress desarrollado para el diseño de páginas web, ofrece una gran variedad de plantillas, temas de personalización de forma dinámica y sencilla. Además, funciona sobre el código PHP y MySQL, su instalación es de formal local en el propio servidor proporcionando un mayor control sobre su configuración. En la figura 4.25 se presenta la estructura de la interfaz web desarrollada. Por otro lado, en la figura 4.26 se presenta la portada de inicio de la página web del sistema de monitoreo y gestión de iluminación interior.

La interfaz del sistema de monitoreo cuenta con cuatro páginas que brindan información de las variables eléctricas, el consumo en kilovatios hora, el costo atribuido al consumo realizado y un historial de datos. Cada una de las paginas fueron desarrollados con lenguaje de programación HTML y PHP.

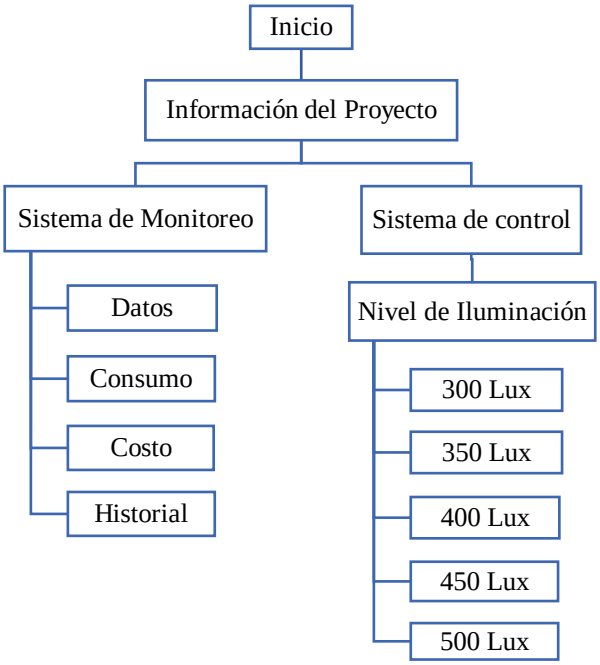


Figura 4.25: Estructura de la interfaz web.

Elaborado por: Investigador

Figura 4.26: Interfaz de la portada de la página web.

Elaborado por: Investigador

A continuación, en la figura 4.27 se presenta la funcionalidad de cada página del sistema de monitoreo. En la opción datos se encuentra las variables de voltaje, corriente y potencia visualizadas en una gráfica. En la opción de consumo se puede consultar por fechas específicas el consumo en kWh del sistema de iluminación, asimismo, existe una opción donde se puede con consultar el costo del consumo, se puede realizar las consultas de acuerdo a las fechas requeridas por el usuario.

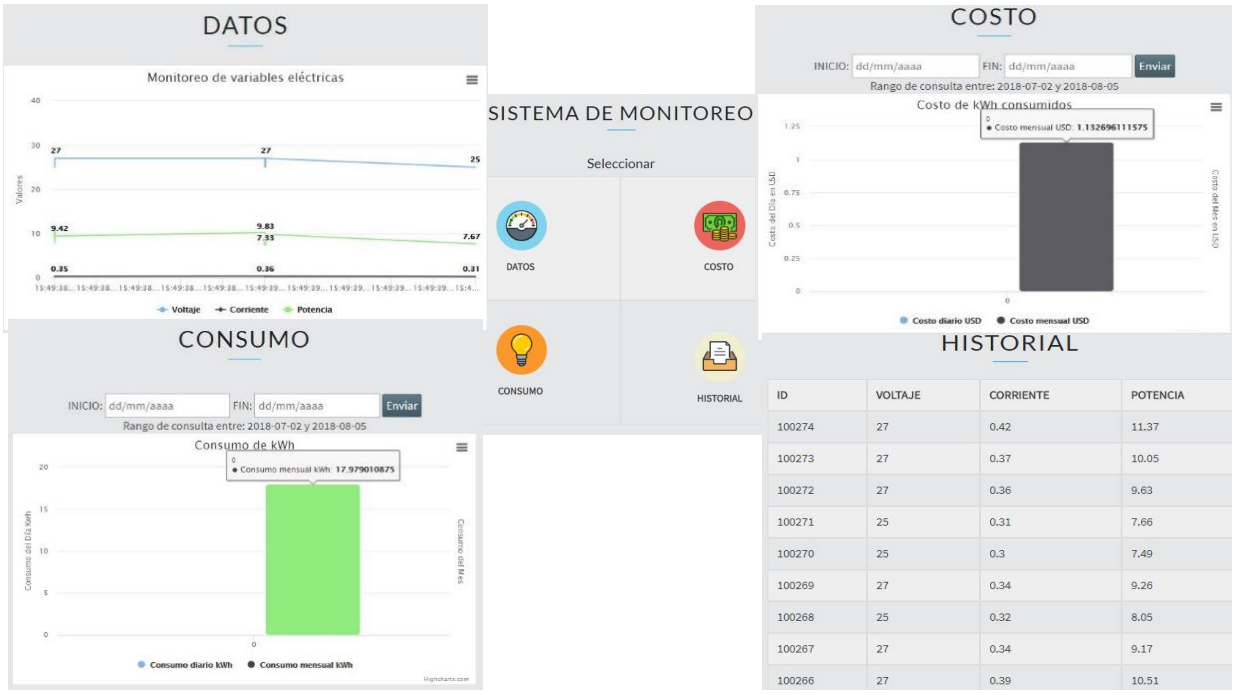


Figura 4.27: Interfaz del sistema de monitoreo.

Elaborado por: Investigador

La interfaz del sistema de control permite seleccionar el nivel de luxes que se requiere en la superficie de trabajo. Las opciones de niveles de iluminación son: 300 lux, 350 lux, 400 lux, 450 lux y 500 lux, que pueden ser utilizados de acuerdo a los requerimientos de los usuarios o dependiendo del espacio interior evaluado.

Por otra parte, el sistema de control puede desarrollarse aún más para la gestión y monitorización de un mayor número de luminarias, así como también para un determinado número de espacios interiores de la FISEI. En la figura 4.28 se presenta la interfaz de control Web.

Figura 4.28: Interfaz de del sistema de control.

Elaborado por: Investigador

En la figura 4.29 se presenta la validación práctica del sistema de control inteligente de iluminación desde la plataforma IoT. En la figura se observa el proceso de funcionamiento del sistema de control inteligente de iluminación. Inicialmente, el espacio interior evaluado se encuentra desocupado, por tanto, el sistema de iluminación está apagado, 11:05 am. Cuando el sistema de control inteligente detecta presencia de personas establece el nivel de iluminación establecido en la programación de la plataforma, igual a 300 luxes, 11:10 am. Si se abandona el espacio interior, el sistema de control inteligente apaga la luminaria, 11:22 am. Posteriormente, se observa que el espacio interior es nuevamente ocupado y se enciende la luminaria a las 11:40 am. La plataforma cloud, que gestiona el sistema de control inteligente, establece dos diferentes niveles de iluminación, de 400 y 500 luxes, a las 12 pm y a las 12:20 pm, respectivamente.

Asimismo, en figura 4.30a y 4.30b, se observa las pantallas de la plataforma del sistema inteligente de control, estableciendo los correspondientes a los niveles de iluminación 400 y 500 luxes, respectivamente.

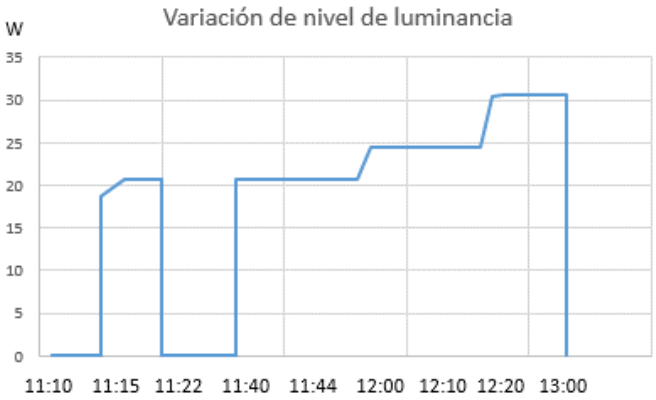


Figura 4.29: Validación práctica del control inteligente de iluminación LED

Elaborado por: Investigador

Figura 4.30: Niveles de iluminación en la plataforma.

Elaborado por: Investigador

4.13.3 Análisis de Mediciones de los Sensores

En este apartado se realiza una validación práctica del funcionamiento del circuito de control de luminosidad. La validación práctica consiste en realizar mediciones de los valores de voltaje y corriente de la lámpara LED, así como los niveles de iluminación en luxes del espacio interior evaluado. Los valores medidos por sensores de voltaje y corriente utilizados en el prototipo del circuito de control de luminosidad se comparan con los valores medidos por equipos especializados. Los equipos especializados para la validación de las mediciones físicas de voltaje, corriente e iluminancia son: multímetro Pro´sKit MT-1232, pinza amperimétrica Pro´sKit MT-3109 y luxómetro DIGI-SENSE modelo 20250-00, respectivamente. Por otra parte, con los valores

obtenidos de las mediciones se calcula el error absoluto y el error relativo. En la tabla 4.18 se presenta las mediciones de voltaje y corriente, así como el cálculo del error absoluto y el error relativo de cada medición. Las fórmulas empleadas para el cálculo del valor absoluto y valor relativo son las siguientes:

$$Error\ absoluto = |V.medido\ multímetro - V.medido\ prototipo| \quad (5)$$

$$Error\ relativo = \frac{Error\ absoluto}{V.medido\ multímetro} * 100\% \quad (6)$$

Tabla 4.18: Análisis de voltaje y corriente.

Medición de Voltaje [V]		Error		Medición de Corriente [I]		Error	
Prototipo	Multímetro	Absoluto [V]	Relativo [%]	Prototipo	Amperímetro	Absoluto [V]	Relativo [%]
24	23.7	0.3	1.26	0.22	0.23	0.01	4.34
25	25.2	0.2	0.8	0.29	0.27	0.02	7.4
36	36.6	0.6	1.6	1.02	1	0.02	2
37	36.8	0.2	0.5	1.06	1.1	0.04	3.6
33	33.4	0.4	1.1	0.78	0.76	0.02	2.6
35	35.6	0.6	1.7	0.93	0.95	0.02	2.1
27	26.6	0.9	0.7	0.34	0.33	0.01	3.03
28	27.5	0.5	1.8	0.49	0.47	0.02	4.25
29	29.4	0.4	1.3	0.55	0.53	0.02	3.7
30	30.1	0.1	0.3	0.59	0.60	0.01	1.6

Elaborado por: Investigador

Los valores de voltaje proporcionados por el prototipo no difieren en gran medida con los valores obtenidos con el multímetro, el error relativo más significativo es de 1.26%, encontrándose en un rango aceptable. Del mismo modo, el error relativo más alto del análisis de las mediciones de corriente es del 7.4%. No obstante, al utilizar un sensor de corriente de medición por efecto hall, los valores medidos pueden variar por cualquier perturbación eléctrica que generara ruido. En la figura 4.31 se muestra el análisis de las mediciones de voltaje, mientras que, en la figura 4.32 se presenta el análisis de las mediciones de corriente.

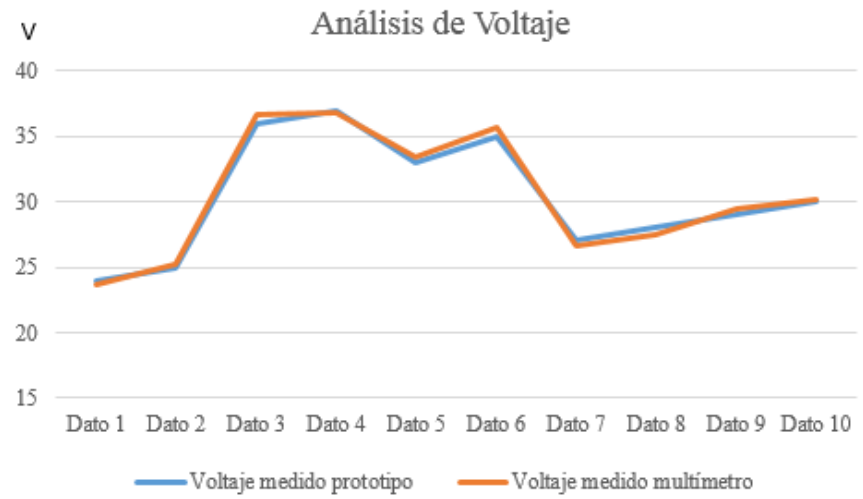


Figura 4.31: Análisis de voltaje.

Elaborado por: Investigador

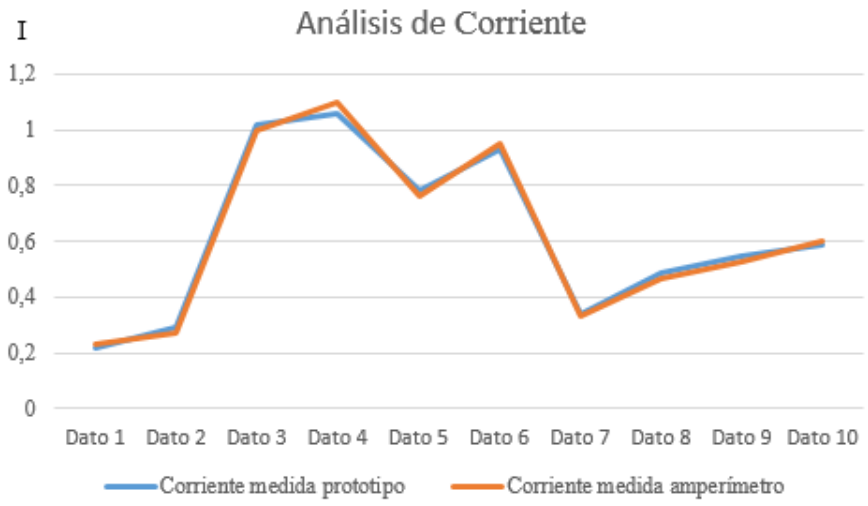


Figura 4.32: Análisis de corriente.

Elaborado por: Investigador

En la tabla 4.19 se presenta las mediciones de los valores de iluminancia proporcionadas por el sensor BH1750 y comparadas con los valores medidos con el luxómetro DIGI-SENSE modelo 20250-00. El error relativo más alto entre las mediciones es del 1,5%, los valores de iluminación obtenidos por el sensor BH1750 tienden acercarse a los valores del luxómetro. En la figura 4.33 se presenta el análisis de niveles de iluminación.

Tabla 4.19: Análisis de niveles de iluminación.

Mediciones de Iluminación [lux]		Error	
BH1750	Luxómetro	Absoluto [lux]	Relativo [%]
282	284	2	0.7
308	311	3	0.9
315	316	1	0.3
160	160	0	0
300	303	3	0.9
322	325	3	0.9
325	327	2	0.6
248	250	2	0.8
351	350	1	0.2
522	530	8	1.5

Elaborado por: Investigador

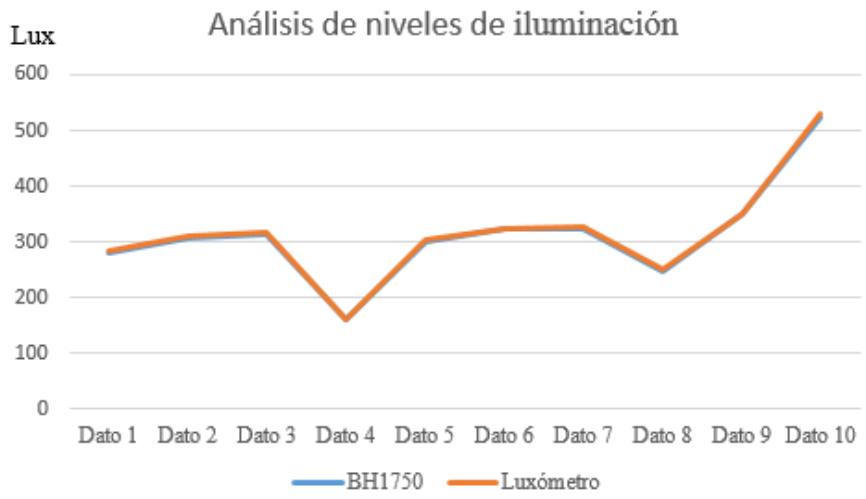


Figura 4.33: Análisis de niveles de iluminación.

Elaborado por: Investigador

4.14 EVALUACIÓN DE LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO EN ESPACIOS INTERIORES DE LA FISEI

4.14.1 Análisis del Impacto Energético y Económico de la Sustitución de Luminarias Fluorescentes por LEDs

En este apartado se presenta un estudio de reducción del consumo eléctrico del sistema de iluminación en espacios interiores de la sala de investigación del edificio principal de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato. El estudio de reducción del consumo eléctrico se basa en el análisis comparativo de los resultados obtenidos del diseño y simulación de dos diferentes sistemas de iluminación: el actualmente existente, conformado por luminarias fluorescentes, y el propuesto a instalar, conformado por luminarias LED. El diseño de los sistemas de iluminación evaluados debe cumplir la normativa española de iluminación en espacios interiores UNE-EN 12464-1, garantizando los niveles mínimos de iluminancia. Para el diseño y simulación de los sistemas de iluminación, anteriormente mencionados, se empleó el software DIALux, que permite simular los sistemas de iluminación y verificar que se cumplan las especificaciones y recomendaciones, establecidos en la normativa vigente. Finalmente, se presenta un análisis comparativo del consumo eléctrico y del coste económico de los sistemas de iluminación evaluados, escalados al sistema de iluminación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, FISEI, de la Universidad Técnica de Ambato, UTA.

La propuesta de sustitución de lámparas fluorescentes por lámparas LEDs permite demostrar la potencial reducción del consumo eléctrico de los sistemas de iluminación en espacios interiores de la Universidad Técnica de Ambato. Asimismo, el análisis de los resultados permitió demostrar que los niveles de iluminación del sistema fluorescente existente no cumplen con las especificaciones técnicas de la normativa vigente de iluminación.

Las simulaciones realizadas de los sistemas de iluminación LED cumplen los requerimientos de iluminación en espacios interiores, especificados en la Norma de iluminación en espacios interiores UNE-EN 12464-1, que establece los niveles máximos y mínimos de iluminancia y el índice de deslumbramiento unificado, UGR, entendido como la condición de visión, asociada a la incomodidad o disminución en la capacidad para distinguir objetos, que deben garantizar los sistemas de iluminación en espacios interiores de establecimientos educativos [47].

El diseño y simulación de los sistemas de iluminación se realizó con ayuda del software DIALux, que permite simular las características del espacio interior y calcular los niveles de iluminación de los espacios interiores evaluados. DIALux es un software gratuito que se utiliza para el diseño, cálculo y visualización de sistemas de iluminación de forma profesional, orientado a iluminación en espacios interiores, espacios exteriores, iluminación de la calzada, espacios simples, luz natural e iluminación de emergencia [54].

En los siguientes apartados se describió el diseño y simulación del sistema de iluminación interior de un establecimiento de educación superior, basado en luminarias fluorescentes y en luminarias LED, con ayuda del software DIALux. El objetivo de la presente evaluación es realizar un análisis comparativo de los niveles de iluminación, que proporcionan las luminarias fluorescentes existentes y luminarias LED, en una sala de investigación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, FISEI, de la Universidad Técnica de Ambato, UTA. El software DIALux permite calcular si la iluminancia mantenida, Em, en los planos útiles de trabajo, y el índice de deslumbramiento unificado, UGR, Unified Glare Rating, se encuentran dentro del rango establecido en la Norma de iluminación en espacios interiores UNE-EN 12464-1 [47].

Inicialmente, se adquirió la información del espacio interior evaluado, considerando características físicas como la altura, dimensiones del lugar, posición de las luminarias, posición de los planos de trabajo, tipo de luminaria y los rangos de reflectancia útil para las principales superficies interiores, permitiendo introducir todas las características del diseño para su respectiva simulación en el software DIALux.

Posteriormente, se procedió a la selección de luminarias LED para el diseño y simulación del sistema de iluminación, considerando la eficiencia lumínica, potencia eléctrica y precio de las luminarias. Asimismo, se realizaron diferentes simulaciones del sistema de iluminación fluorescente existente, adaptando sus características técnicas para que garanticen los niveles de iluminación dentro del rango establecido en la Norma UNE-EN 12464-1. Por ejemplo, incrementando la potencia instalada de las luminarias fluorescentes.

Finalmente, los resultados obtenidos de las simulaciones permitieron realizar un análisis comparativo de los dos tipos de luminarias empleados. El análisis propuesto permite comparar el consumo eléctrico y el coste económico de la instalación, reposición de luminaria y factura de consumo eléctrico de los dos sistemas de iluminación evaluados, escalados a un edificio de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, en un horizonte temporal de 15 años.

En la figura 4.34, se muestra el diagrama conceptual de la metodología de investigación empleada en el estudio. El diagrama describe el proceso general de las actividades realizadas en la elaboración de la presente investigación. Inicialmente, se adquiere la información previa necesaria, normativas y datos iniciales de los sistemas de iluminación. La información es introducida en el software DIALux para proceder al diseño y simulación de los sistemas de iluminación evaluados. Finalmente, a partir de los resultados obtenidos se realiza el análisis comparativo de los parámetros eléctricos y económicos.

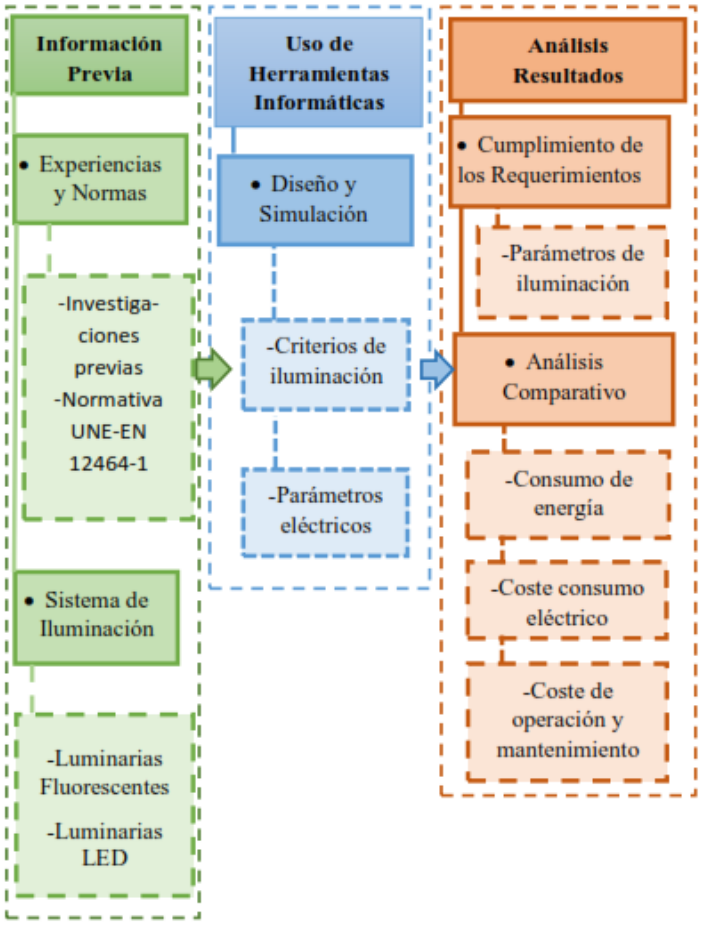


Figura 4.34: Diagrama conceptual de la metodología de investigación.

Elaborado por: Investigador

4.14.1.1 Descripción del Espacio Interior Analizado

Los parámetros geométricos del espacio interior de la sala de investigación número dos de la FISEI a considerar en el diseño se presentan en la figura 4.35, las características consideradas para el diseño y simulación son:

- Altura de la oficina: 2.8 metros
- Plano útil: 0,8 metros
- Área: 41 m^2

El plano útil indica la altura de las mesas de trabajo con respecto al suelo y los planos de trabajo se refiere a las mesas en las que se realizan las actividades.

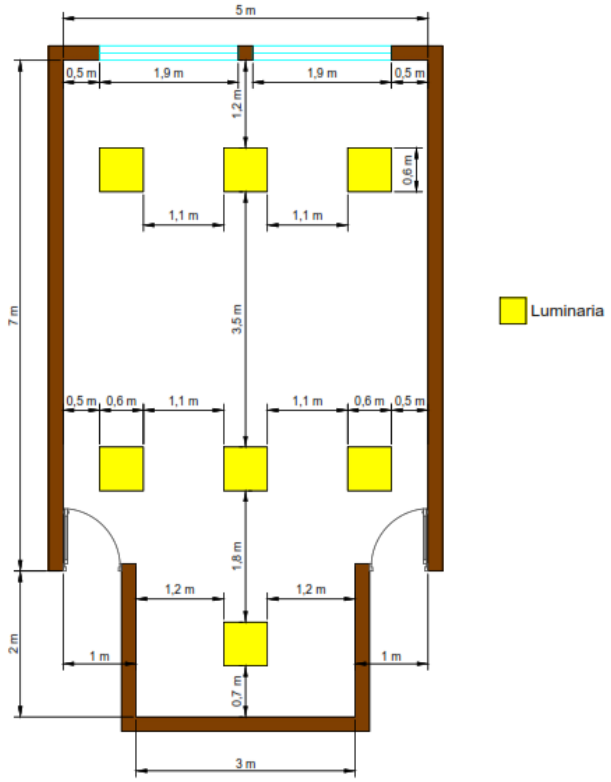


Figura 4.35: Parámetros geométricos del espacio interior evaluado.

Elaborado por: Investigador

La norma UNE-EN 12464-1 establece los rangos de reflectancia útil para las principales superficies interiores, tabla 4.20, es decir, paredes, piso y techo en espacios de trabajo interiores. Asimismo, establece los requerimientos de iluminación en edificios educativos, entre los que destacan, la iluminancia mantenida, E_m, y la iluminancia en áreas circundantes inmediatas, así como, el índice de deslumbramiento unificado, UGR, y el índice de rendimiento de colores general, Ra, presentados previamente en la tabla 4.1.

Tabla 4.20: Márgenes de reflexión superficies interiores [64].

Datos del espacio interior simulado		**Norma EN 12464-1**
Superficies	**Grado de reflexión**	**Márgenes de reflexión**
Techo	80%	0,6 – 0,9
Paredes	50%	0,3 - 0,8
Suelo	20%	0,1 – 0,5
Planos de trabajo	--	0,2 – 0,6

4.14.1.2 Mediciones de Niveles de Iluminación

Para determinar los niveles de iluminación del sistema de iluminación fluorescente existente se realizaron mediciones, con ayuda del luxómetro DIGI-SENSE modelo 20250-00 [55]. Se registraron las mediciones de luz en luxes durante la noche en diferentes puntos del espacio interior evaluado, figura 4.36. Se utilizó el método de la cuadrícula en el que se determina el número mínimo de puntos de medición en un espacio interior a evaluar. Los parámetros geométricos del espacio considerado para el cálculo es el ancho, largo y la altura de montaje de la luminaria, por lo tanto, de acuerdo al método utilizado el número mínimo de puntos de medición son 9. No obstante se consideró realizar un mayor número de mediciones para disponer de mayor fiabilidad de los resultados y porque no existe una limitación en relación al número máximo de puntos de evaluación en el método considerado.

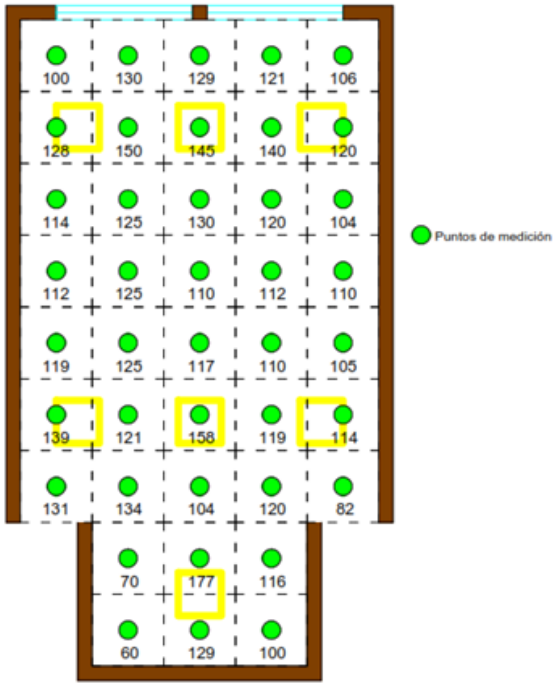
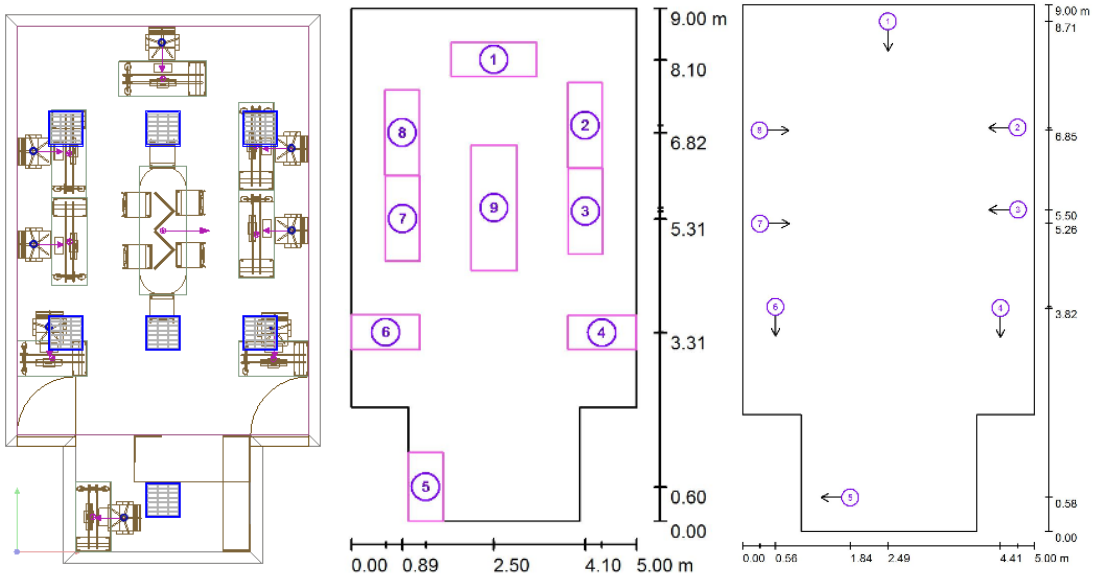


Figura 4.36: Medición de iluminancia del sistema de iluminación fluorescente.
Elaborado por: Investigador

4.14.1.3 Descripción y Simulación del Sistema Iluminación Fluorescente

La posición de las superficies de cálculo de la iluminancia y la orientación de los puntos de cálculo del índice UGR se ubican en el mismo lugar para todas las

simulaciones propuestas, tanto para las luminarias fluorescentes como para las luminarias LED. De esta manera se realiza una comparación en igualdad de condiciones respecto al espacio interior. En la figura 4.37a se muestra el diseño y distribución del sistema de iluminación fluorescente existente; en la figura 4.37b se muestra la posición de las superficies de cálculo y en la figura 4.37c los puntos de cálculo UGR. En la Figura 4.38a se presenta una fotografía del espacio interior a evaluar, mientras que en la figura 4.38b, se presenta la imagen procesada en 3D proporcionado por el software DIALux. Las luminarias del sistema de iluminación fluorescente son de la marca Osram del tipo Modular 3x18W.



a b c

Figura 4.37: Diseño y distribución de puntos de cálculo del sistema de iluminación Fluorescente.

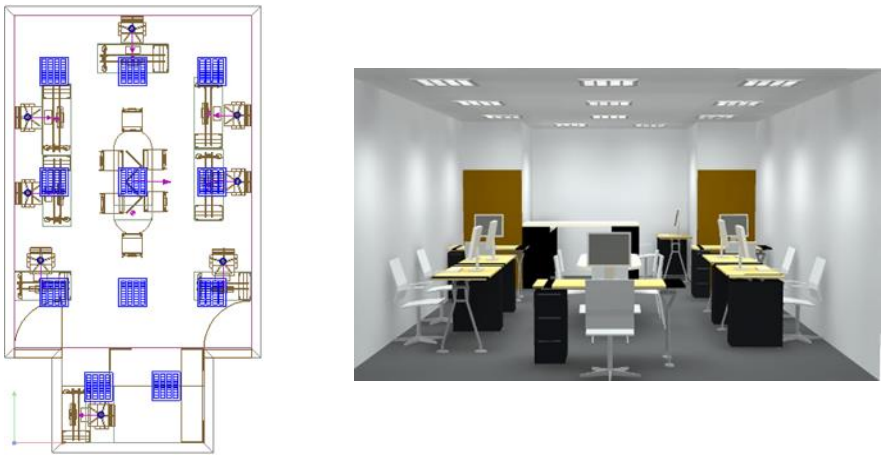
a b

Figura 4.38: Espacio interior evaluado.

De acuerdo a los resultados presentados en DIALux, la iluminancia, E_m, obtenida en el entorno de trabajo es de 207 lux. En las 9 superficies de cálculo evaluadas no se cumple con el rango establecido en la Norma UNE-EN 12464-1. El índice de deslumbramiento unificado, UGR, se encuentra por debajo del valor de 19, cumpliendo lo establecido en la Norma de iluminación en espacios interiores.

4.14.1.4 Simulación del Sistema de Iluminación Fluorescente Repotenciado

En la figura 4.39a, se presenta el diseño del sistema iluminación fluorescentes repotenciado. Se incrementa la potencia instalada de las luminarias Osram del tipo Modular a 4x18W. El aumento de la potencia de las luminarias fluorescentes permite garantizar un nivel de iluminancia, E_m, dentro del rango establecido en la Norma UNE-EN 12464-1. Para cumplir con el rango de iluminancia mantenida de acuerdo a la norma española de iluminación en espacios interiores se aumentó de 7 a 11 luminarias Osram del tipo Modular 4X18W T8 Fluorescente, figura 4.39b.



a b

Figura 4.39: Diseño y distribución repotenciado de la iluminación existente.

Elaborado por: Investigador

El aumento del número de luminarias fluorescentes garantiza que el nivel de iluminancia mantenida, E_m, y el índice de deslumbramiento unificado, UGR, cumplan las especificaciones establecidas en las superficies de trabajo. Las características técnicas de las luminarias y los resultados obtenidos en DIALux para el sistema de

iluminación fluorescente existente y repotenciado, se presentan en la tabla 4.21 y 4.22. En la tabla 4.22 y 4.25, la barra inclinada "/" indica la inexistencia de deslumbramiento unificado, resultado obtenido de la simulación en DIALux.

Tabla 4.21: Características técnicas de las luminarias fluorescentes.

Sistema de Iluminación	Tipo Luminaria	Potencia Luminarias W	lm	lm/W	Horas útiles	Luminarias Cantidad	Potencia Total W
Existente	Modular 3X18W T8	54	3150	58	5000	7	378
Repotenciado	Modular 4X18W T8	72	4200	58	5000	11	792

Tabla 4.22: Resultados de la simulación en DIALux del sistema de iluminación fluorescente.

Sistema de Iluminación	E_m (lux)	UGR max	Lista de superficies de cálculo E_m[lux]									Lista de Puntos de cálculo UGR Observador UGR								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Existente	207	12	229	222	162	199	154	199	164	219	227	12	/	/	/	/	/	/	/	/
Repotenciado	404	17	474	421	468	431	439	432	471	419	500	17	<10	<10	11	<10	11	<10	<10	<10

Elaborado por: Investigador

4.14.1.5 Diseño y Simulación del Sistema de Iluminación LED

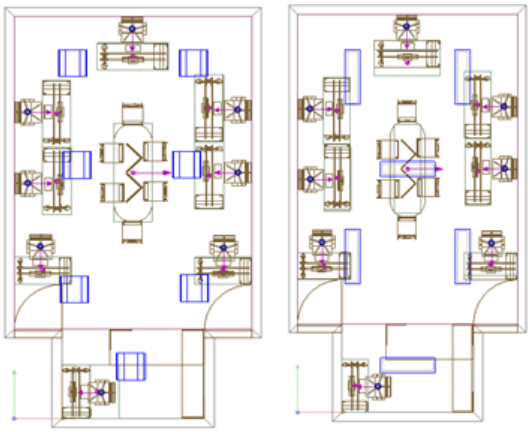
- **Criterios de Selección de las Luminarias LED**

La selección de las luminarias LED se basó en los siguientes criterios técnicos: voltaje de entrada, flujo luminoso, potencia, temperatura de color, eficacia lumínica y vida útil. Las luminarias LED seleccionadas, pertenecen a las marcas Sylvania, Osram, Microplus Germany y Lithonia. Las características de las luminarias LED se presentan en la Tabla 4.23. Las características y precios de cada tipo de luminaria se han obtenido de los catálogos disponibles de los fabricantes en internet.

- **Descripción del Diseño con Luminarias LED**

La distribución de las luminarias LED Sylvania, Osram y Microplus Germany en el espacio interior evaluado es similar. En la figura 4.40a se muestra el diseño de distribución de las luminarias LED en DIALux con las diferentes marcas

seleccionadas: Sylvania 40W, Osram 40W, Microplus Germany 30W. Por otro lado, la distribución de las luminarias Lithonia 36W, figura 4.40b, difiere sustancialmente de la distribución de las luminarias de la figura 4.39a. Las características de la distribución de las luminarias se presentan en la tabla 4.23.



a b

Figura 4.40: Diseño y distribución de las luminarias LED con DIALux.

Tabla 4.23: Características técnicas de las luminarias LED.

Panel LED	Voltaje de entrada 50/60Hz	Flujo Luminoso Lm	Potencia W	Temperatura de Color K	lm/W	Vida útil Horas	Protección/ Certificación	Dimensiones LxWxH cm
Sylvania MYL741	100-277V~	3200	40	6000	80	35000	IP20	60x60x1
LEDvance Osram	120-240V~	4000	40	6500	100	30000	IP20	60x60x1.05
Microplus Germany PN-060060	90-265V~	3450	30	5500	125	50000	IP65	59.5x59.5x3.2
Lithonia 2GTL4	120 V~	4222	36	4000	117.3	60000	CSA, LM79	122x61x8.2

Elaborado por: Investigador

Tabla 4.24: Datos de entrada para el Software especializado DIALux.

Tipo Luminaria	Potencia Luminarias W	Marca Comercial	Lm	lm/W	Horas útiles	Luminarias Cantidad	Potencia total W
Panel LED MYL741	40	Sylvania	3200	80	35000	7	280
LEDvance Panel	40	Osram	4000	100	30000	7	280
Panel LED PN-060060	30	Microplus Germany	3450	115	50000	7	210
Panel LED 2GTL4	36	Lithonia	4222	117.3	60000	6	216
Panel LED MYL741 $E_{m\,min}$	36	Lithonia	4222	117,3	60000	5	180

Elaborado por: Investigador

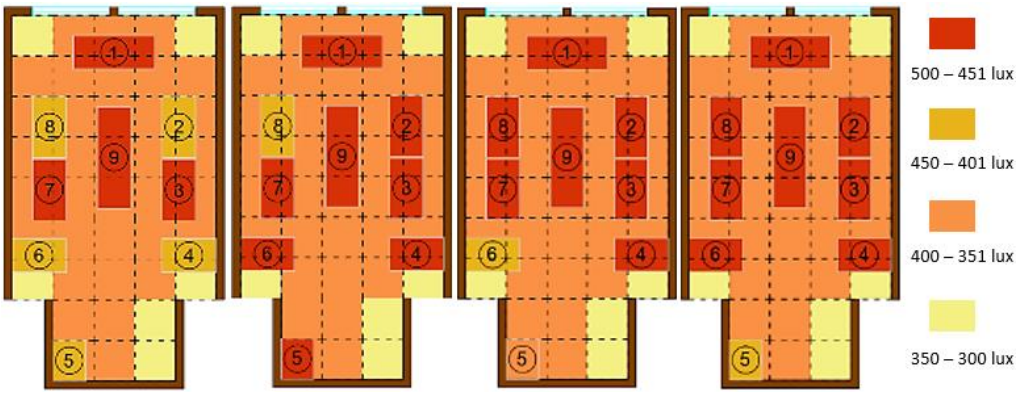
- **Simulaciones de los Sistemas de Iluminación LED**

El software DIALux permite obtener la imagen en 3D de la distribución de las luminarias. Así, en la figura 4.41a y 4.41b se presenta la imagen procesada en 3D de la distribución de las luminarias de las figuras 4.40a y 4.40b, respectivamente. Las simulaciones realizadas de los cuatro sistemas de distribución de luminarias propuestas corroboran que los niveles de iluminancia se encuentran dentro del rango establecido en la Norma UNE-EN 12464-1, tabla 4.25.

a b

Figura 4.41: Imagen procesada en 3D en el software DIALux.

El uso de luminarias LED Osram proporciona el mayor nivel de iluminancia, *Em*, de las simulaciones realizadas, 451 lux. Por otra parte, Sylvania es la luminaria LED que ofrece menor nivel de iluminancia, *Em*, 397 lux. Las luminarias LED de Microplus Germany y Lithonia, proporcionan niveles de iluminación de 419 lux y 430 lux, respectivamente. En comparación con el sistema de iluminación fluorescente repotenciado, que cumple con los niveles de iluminación de la normativa, la sustitución por tecnología LED permite reducir la cantidad de luminarias necesarias. Los diferentes valores de iluminación de cada superficie de cálculo para las diferentes propuestas de distribución LED se presentan en la tabla 4.25. Asimismo, en la figura 4.42, se observa el nivel de iluminación por colores de las superficies de cálculo dentro del espacio interior evaluado para las diferentes configuraciones de luminarias LED, Sylvania 40W, figura 4.42a; Osram 40W, figura 4.42b; Microplus 30W, figura 4.42c; y Lithonia 36 W, figura 4.42d.



a b c d

Figura 4.42: Nivel de iluminación por colores de las superficies de cálculo de las simulaciones del sistema de iluminación LED.

Elaborado por: Investigador

- **Diseño y Simulación con Niveles Mínimos de Iluminación**

Se realizó una simulación adicional, garantizando que el sistema de iluminación LED cumpla con los niveles mínimos, tabla 4.25. Se empleó la luminaria LED Lithonia por su mayor eficacia lumínica, precio y vida útil. En la figura 4.43a se presenta la distribución de las luminarias, mientras que la imagen procesada en 3D en DIALux se presenta en la figura 4.43b. Para garantizar el valor mínimo de iluminación, según la normativa española, se reduce el número de luminarias Lithonia de 6 a 5.

a b

Figura 4.43: Distribución e imagen 3D procesada en DIALux con niveles mínimos de iluminación.

Tabla 4.25: Resultados de la simulación del sistema de iluminación LED en DIALux.

Tipo Luminaria	E_m [lx]	UGR max	Lista de superficies de cálculo E_m [lx]									Lista de Puntos de cálculo UGR Observador UGR								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sylvania	397	19	484	440	488	405	415	405	490	434	491	16	17	19	<10	/	<10	19	17	18
LEDvance Osram	451	19	490	476	495	499	484	492	499	441	484	16	16	19	<10	/	<10	19	16	19
Microplus Germany	419	19	498	496	498	451	396	427	493	497	498	11	16	19	18	/	17	19	16	19
Lithonia	430	19	498	482	473	487	419	485	461	470	500	16	18	15	<10	/	<10	15	18	19
Lithonia $E_{m\,min}$	365	19	394	362	353	336	337	341	365	367	387	15	18	14	<10	/	<10	15	18	18

Elaborado por: Investigador

4.14.1.6 Análisis Comparativo del Consumo Eléctrico y Coste Económico de la Sustitución de Luminarias Fluorescentes por Luminarias LED

En este apartado se presenta el análisis comparativo del consumo eléctrico y coste económico de los sistemas de iluminación fluorescente y LED simulados. Inicialmente, se analizó el sistema de iluminación fluorescente existente y los propuestos, con luminarias LED, en la sala de investigación de la FISEI. Posteriormente, se escaló el análisis comparativo para uno de los edificios de la Facultad, comparando el sistema de iluminación fluorescente existente y repotenciado con el sistema de iluminación LED, compuesto por luminarias Lithonia 36W, distribuidos de tal forma que garantizan el mínimo nivel de iluminación dentro de lo establecido en la normativa vigente.

- **Análisis del Consumo Eléctrico y Coste Económico de la Sala de Investigación en la FISEI**

En la tabla 4.26 se muestra el costo de instalación de los sistemas de iluminación para las diferentes simulaciones realizadas del espacio interior evaluado. Además, se presentan los cálculos del consumo eléctrico, así como, el costo económico del consumo eléctrico anual y en un horizonte estimado de 15 años. Asimismo, se ha estimado el número de recambios necesarios realizar de las luminarias, en un horizonte de 15 años. Se observa que el periodo analizado, se deberán realizar 9 recambios de luminarias fluorescentes, mientras que las luminarias LEDs 1 o 2 recambios como máximo. El uso promedio de las luminarias en la sala de investigación es de 14 horas

al día dentro de la institución, con un costo 0,063 USD/kWh, según lo estipulado en el Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas, Servicio Público de Energía Eléctrica de Ecuador [1].

De acuerdo a los resultados obtenidos de la tabla 4.26, se deduce que, en un horizonte de 15 años, el coste económico total – instalación, reposición de luminarias y factura de consumo - de los sistemas de iluminación LED, a excepción de las luminarias Osram y Microplus Germany, estaría por debajo del coste económico total de los sistemas fluorescentes, tanto existente, que no cumple con los niveles de iluminación, como el sistema fluorescente repotenciado. Asimismo, en el horizonte evaluado de 15 años, el coste económico total del funcionamiento del sistema de iluminación LED, con el uso de luminarias Lithonia 36W, cumpliendo los requisitos mínimos de iluminación, es inferior a los sistemas fluorescentes evaluados. En este caso, el ahorro obtenido sólo por la sustitución de luminarias fluorescentes repotenciados, que cumplen los requisitos de iluminación, por luminarias LED Lithonia, en tan sólo una sala de investigación, sería de $2 223,22 en un horizonte de análisis de 15 años. Se estima una reducción anual del consumo eléctrico en la sala de investigación del 52,38%.

Tabla 4.26: Consumo de energía y coste económico de diferentes sistemas de iluminación de la sala de investigación.

Sistema de Iluminación	Coste Instalación, $			Consumo Eléctrico, kWh			Costo Consumo Eléctrico, $			Coste Operación y Mantenimiento, $		Coste Total $ 15 años
	Módulo de Soporte	Luminaria	Total Sistema	Mes	Año	15 años	Mes	Año	15 años	Recambio 15 años	Recambio Total	
Existente	50	4,5	381,5	105,84	1270,08	19051,2	6,67	80,02	1200,23	9	283,5	1865,23
Repotenciado	50	4,5	599,5	221,76	2661,12	39916,8	13,97	167,65	2514,76	9	445,5	3559,76
LED Sylvania	—	42,99	300,93	78,4	940,8	14112	4,94	59,27	889,06	1	300,93	1490,92
LED Osram	—	69,99	489,93	78,4	940,8	14112	4,94	59,27	889,06	2	979,86	2358,85
LED Microplus Germany	—	273,78	1916,46	58,8	705,6	10584	3,70	44,45	666,79	1	1916,46	4499,71
LED Lithonia	—	76,5	459	60,48	725,76	10886,4	3,81	45,72	685,84	1	459	1603,84
Lithonia $E_{m\,min}$	—	76,5	382,5	50,4	604,8	9072	3,18	38,10	571,54	1	382,5	1336,54

Elaborado por: El investigador

- **Análisis del Consumo Eléctrico y Coste Económico del Edificio de la FISEI**

El edificio principal de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial cuenta con un total de 256 luminarias fluorescentes con una potencia de 96W cada una. De acuerdo a los resultados obtenidos de la Tabla 4.26, se concluye que, el remplazo por luminarias LED Lithonia con niveles mínimos de iluminación permitiría reducir 64 luminarias, dejando un total de 192 luminarias. El análisis económico y eléctrico de los sistemas de iluminación existente y propuesto para el edificio de la FISEI se presenta en la tabla 4.27.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la tabla 4.27, se deduce que, en un horizonte de 15 años, la sustitución de los sistemas de iluminación fluorescentes existentes en el edificio por luminarias LED Lithonia ofrece un menor coste económico total, instalación y operación. El ahorro que representa el uso de luminarias LED Lithonia, con niveles de iluminación mínimos dentro del rango de la normativa de iluminación vigente en espacios interiores, sería de $51 030,74 dólares. En un horizonte de 15 años se obtendría un ahorro anual equivalente de $4 252,56 dólares para uno de los edificios de la FISEI y una reducción del consumo energético del 52,38%.

Tabla 4.27: Consumo de energía y coste económico de diferentes sistemas de iluminación del edificio principal de la FISEI.

Sistema de Iluminación	Coste Instalación, $			Consumo Eléctrico, kWh			Costo Consumo Eléctrico, $			Coste Operación y Mantenimiento, $		Gasto Total $ 15 años
	Módulo de Soporte	Luminaria	Total Sistema	Mes	Año	15 años	Mes	Año	15 años	Recambio 15 años	Total	
Fluorescente existente	50	4,5	13952	6881,28	82575,36	1238630,4	433,52	5202,25	78033,72	9	10368	102353,72
Lithonia $E_{m\,min}$	—	76,5	14688	1935,36	23224,32	348364,8	121,93	1463,13	21946,98	1	14688	51322,98

Elaborado por: Investigador

En la figura 4.44 se presenta una comparativa del coste económico del consumo eléctrico entre el sistema fluorescente existente y el sistema LED propuesto para la FISEI. En el horizonte evaluado de 15 años, el coste económico del consumo eléctrico del sistema fluorescente superaría los $78 033,72 dólares, en tanto que para el sistema

LED sería de $21 946,98 dólares. En un horizonte de 15 años, el ahorro económico, gracias a la reducción del consumo eléctrico por sustitución de luminarias fluorescentes ineficientes, en el edificio principal de la FISEI, sería de aproximadamente $56 086,2 dólares. El coste de inversión inicial del sistema fluorescente existente es igual a $ 13 952, en tanto que para el sistema de iluminación LED propuesto sería igual a $ 14 688. Los beneficios en la reducción de consumo energético y gasto en la facturación eléctrica son muy significativos para la FISEI. Si se incluye la inversión inicial y los recambios de lámparas a realizar en el horizonte evaluado de 15 años, para el sistema de iluminación fluorescente y LED, tabla 4.27, el ahorro correspondiente sería igual a $ 51 030,74.

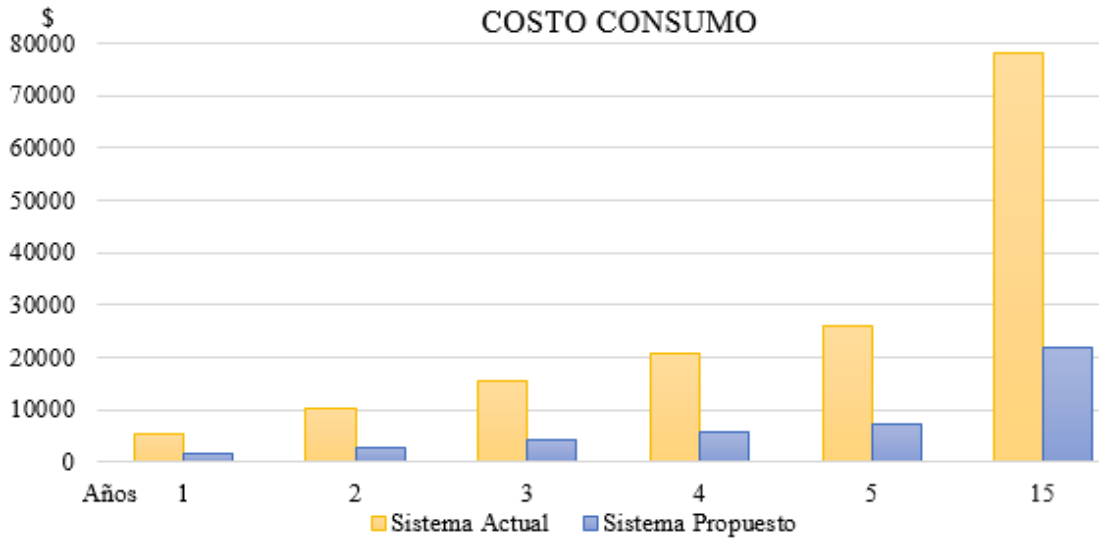


Figura 4.44: Comparativa del costo económico del consumo eléctrico de los sistemas de iluminación.

Elaborado por: Investigador

En la tabla 4.28 se presenta un resumen del análisis comparativo del consumo eléctrico de los sistemas de iluminación evaluados en la sala de investigación y escalados al edificio principal de la FISEI. Además, se realiza un cálculo de las emisiones de CO_2 de cada uno de los sistemas de iluminación. El factor de emisión de CO_2 debido a la generación de electricidad en el Ecuador considerado es de 342.6 g CO_2/kWh [56].

Tabla 4.28: Resumen económico del consumo de electricidad de los sistemas de iluminación.

Espacio interior	Sistema de iluminación	Consumo Eléctrico kWh		Costo Consumo Eléctrico $		Emisiones CO_2 kg CO_2	
		año	15 años	año	15 años	año	15 años
Sala de investigación	Fluorescente	1270,08	19051,2	80,02	1200,23	435,1	6526,9
	LED Lithonia	604,8	9072	38,10	571,54	207,2	3108,07
Edificio Principal FISEI	Fluorescente	82575,3	1238630,	5202,2	78033,7	28290,3	424354,8
	LED Lithonia	23224,3	348364,	1463,13	21946,9	7956,6	119349,7

Elaborado por: Investigador

4.14.2 Análisis del Impacto Energético y Económico de la Implementación del Control Inteligente en Luminarias LEDs con alimentación en LVDC

En este apartado se procede a realizar la evaluación técnica y económica del impacto de la implementación de un sistema de control inteligente en una luminaria LED. Los resultados prácticos obtenidos se escalan a un análisis teórico del consumo eléctrico, coste económico e impacto medioambiental de una sala de investigación de la FISEI, Universidad Técnica de Ambato. Es importante indicar que el objetivo del sistema de control inteligente implementado es reducir el consumo eléctrico de la iluminación LED de la sala de investigación, maximizando el aprovechamiento de luz natural.

Para comparar la efectividad de la implementación del sistema de control inteligente se realiza un análisis comparativo de los resultados obtenidos con el sistema fluorescente existente y con el sistema de iluminación LED sin ningún tipo de control, propuesto para sustituir al sistema de iluminación fluorescente actualmente existente en la sala de investigación de la FISEI.

La reducción del consumo eléctrico en la sala de investigación evaluada se obtiene gracias a dos funcionalidades del sistema de control inteligente implementado: encendido y apagado automatizado de las luminarias ante la ausencia/presencia de personas en el espacio interior evaluado; y el control coordinado de las persianas y de la luminosidad de las lámparas LED para maximizar el aprovechamiento de luz natural.

Una de las funcionalidades integradas en el sistema control inteligente de iluminación es el encendido/apagado de las luminarias LED en los espacios interiores ante la detección de movimiento. El tiempo establecido para la desconexión de las luminarias si no detectan movimiento es de 5 minutos. En la FISEI, entre las 13 y 14 horas de lunes a viernes no existen actividades académicas. Entre las 13 y 14 horas es el horario asignado al almuerzo de profesores y personal administrativos. En este sentido, todas las aulas, laboratorios y espacios del personal administrativo deberían estar cerrados y con las luminarias apagadas.

El apagado de las luminarias es de conmutación manual, por tanto, existe el riesgo de que las luminarias no sean apagadas entre las 13 y14 horas del día, provocando un consumo eléctrico innecesario. Es importante indicar que en el presente estudio no se ha considerado, en el cálculo de consumo eléctrico, el periodo de tiempo entre las 13 y 14 horas de lunes a viernes. Es decir, se considera que en ese periodo de tiempo no existe consumo de energía eléctrica.

Por otro lado, en los horarios laborables de 7 a 13 horas y de 14 a 22 horas, el encendido/apagado automatizado de las luminarias LED, realizado por el sistema de control inteligente es aleatorio y depende de la presencia o ausencia de alumnos, profesores y personal administrativo en los espacios interiores. Por ejemplo, en el caso de la sala de investigación de la FISEI, en el horario de 7 a 13 horas y de 14 a 22 horas, el apagado automático de la sala podría ocurrir si los profesores son convocados a alguna reunión o por coincidencia ninguno de ellos se encuentra en la sala de investigación en un periodo de tiempo superior a 5 minutos, tiempo establecido de apagado automático de las luminarias LED.

En la figura 4.41 se presenta una comparativa del funcionamiento del sistema de iluminación fluorescente, existente actualmente, y el sistema de iluminación LED, propuesto para sustituir a las luminarias fluorescentes, en un día laborable cualquiera de lunes a viernes, en la sala de investigación. El sistema de iluminación fluorescente se considera está en funcionamiento de 7 a 13 horas y de 14 a 22 horas, con una potencia instalada de 378 W. El sistema de iluminación LED funcionaría en el mismo intervalo de tiempo, pero con una potencia instalada de 180 W. No obstante, en el

periodo de 13 a 14 horas, en el horario de almuerzo, podrían quedar algunos espacios interiores encendidos, por tanto, con un consumo de energía eléctrica innecesario.

Por otro lado, en la figura 4.45, las líneas punteadas de color morado representan el proceso de encendido y apagado al implementar el sistema de control inteligente en las luminarias LED. Se observa que a las 7 de la mañana y las 22 de la noche el sistema automatiza el encendido y apagado de las luminarias LED, respectivamente. Asimismo, se observa que entre las 7 y las 13 horas y las 14 y 22 horas, se presenta de forma demostrativa, el encendido y apagado de al menos dos veces, en cada periodo indicado del horario laboral. El sistema de control inteligente realiza dos procesos de apagado/encendido, que son aleatorios e impredecibles de determinar con exactitud a lo largo de las horas laborables del día.

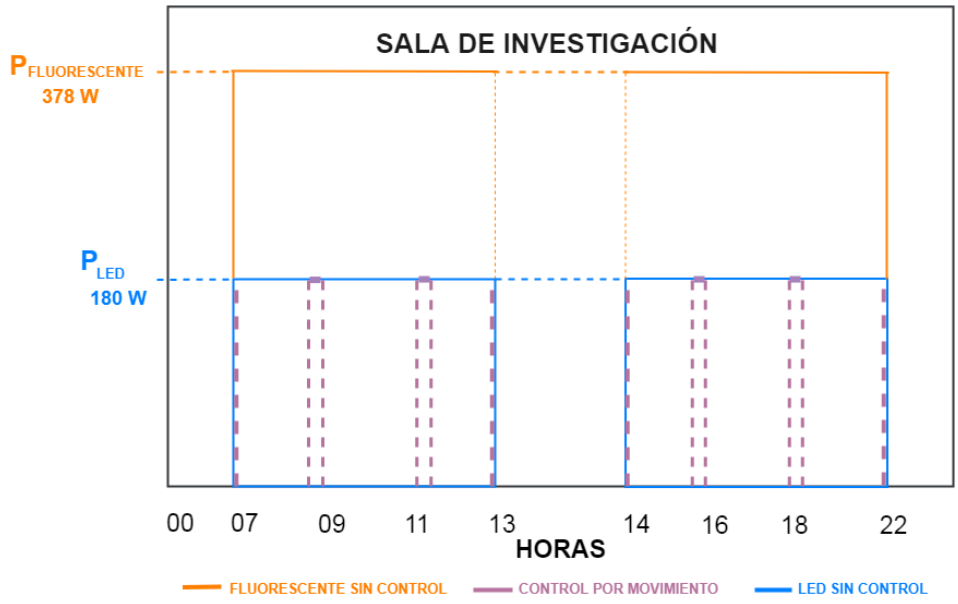


Figura 4.45: Sistema de iluminación fluorescente y LED sin control.

La segunda funcionalidad a describir es la maximización del aprovechamiento de luz natural en el espacio interior evaluado, que depende de las condiciones meteorológicas del lugar. Para simplificar el estudio se han considerado tres casos: día soleado, día parcialmente nublado y día nublado. Para cada caso indicado de tipo de día a analizar corresponde un determinado valor de luxes aportados por la luz natural. En la tabla 4.29 se presenta los valores en luxes de diferentes niveles de iluminación natural.

Tabla 4.29: Niveles de iluminación natural[57]

FUENTE	ILUMINACIÓN (lux)
Día soleado	103 000
Día parcialmente soleado	50 000
Día nublado	1000 – 10 000
Cielo nocturno urbano	0,05 – 0,1
Cielo estrellado natural	0, 001
Cielo nocturno natural nublado	0,00003 – 0,0001

Para la evaluación del impacto en el consumo eléctrico y coste económico de la maximización del aprovechamiento de la luz natural, en un periodo de un año, es necesario conocer los números de días soleados, parcialmente nublados y nublados en la ciudad de Ambato, lugar donde se han realizado las pruebas del sistema de control de iluminación. En la figura 4.46 se muestra la información meteorológica obtenida de la plataforma meteoblue de los días soleados, parcialmente nublados y nublados de la ciudad Ambato en un periodo de un año [58]. En la tabla 4.30 se presenta el número de días de sol, parcialmente nublados, nublados y días con precipitaciones para cada mes del año, en la ciudad de Ambato, como resultado de 30 años de simulaciones en modelos meteorológicos. Asimismo, se observa la existencia de precipitaciones en los diferentes meses del año evaluado en la ciudad de Ambato.

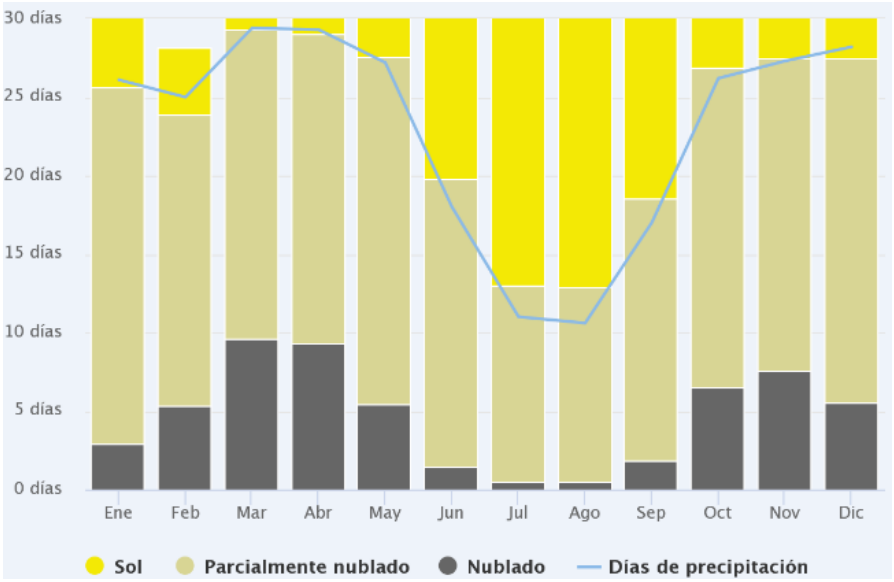


Figura 4.46: Días de sol, parcialmente nublado, nublado y precipitaciones [58].

Tabla 4.30: Días de sol, parcialmente nublado, nublado y precipitaciones [58].

Mes	Días			
	Sol	Parcialmente Nublados	Nublado	Precipitaciones
Enero	5.4	22.7	2.9	26.1
Febrero	4.3	18.6	5.3	25
Marzo	1.6	19.7	9.6	29.4
Abril	1	19.7	9.3	29.3
Mayo	3.4	22.2	5.4	27.2
Junio	10.2	18.3	1.5	18
Julio	18	12.5	0.5	11
Agosto	18.2	12.4	0.5	10.6
Septiembre	11.5	16.7	1.8	17
Octubre	4.1	20.4	6.5	26.2
Noviembre	2.5	19.9	7.6	27.3
Diciembre	3.5	22	5.5	28.2

4.14.2.1 Análisis del Consumo Eléctrico y Coste Económico de la Sala de Investigación en la FISEI

El análisis del consumo eléctrico y coste económico de la implementación del sistema de control inteligente de iluminación de las luminarias LED en la sala de investigación se estima para los días tipo anteriormente descritos: soleados, parcialmente nublados y nublados. El análisis del impacto de la implementación del sistema inteligente de control se realiza para cada día tipo seleccionado. Posteriormente, se realiza la evaluación del consumo eléctrico y coste económico, en el periodo de un año, del sistema de iluminación LED de la sala de investigación.

- **Impacto del Sistema de Control Inteligente en un Día Soleado**

Para el estudio del impacto de la implementación del sistema de control inteligente de las luminarias en la sala de investigación de FISEI, en un día tipo soleado, se considera un nivel de iluminación proveniente de la luz natural igual a 103 000 luxes. En este caso, las pruebas experimentales realizadas, en la sala de investigación de la FISEI, demostraron que, en días soleados, la potencia total de las luminarias se redujo de 180W a 30W, en promedio, en las horas de aprovechamiento de luz solar, entre las 7 y 13 horas, y las 14 y 18 horas. A las 18 horas, aproximadamente el nivel aprovechable de luz natural se reduce sustancialmente y las luminarias LED empiezan a funcionar a su valor nominal, 180 W. Para un día soleado se estima que el consumo eléctrico promedio de las luminarias LED de la sala de investigación es igual a 1,008 kWh, con un coste económico de 0,063 ctvs. La reducción obtenida gracias a la implementación del sistema inteligente de control en un día soleado sería en promedio un 60% en relación al consumo de las luminarias LED sin ningún tipo de control. La reducción del consumo eléctrico de las luminarias LED, con un sistema de control inteligente integrado, en relación al sistema de iluminación fluorescente existente sería del 81%. Es importante indicar que los porcentajes de reducción de consumo eléctrico pueden oscilar significativamente en función de las características del espacio interior evaluado. En la figura 4.47 se muestra el comportamiento del sistema de control del sistema de iluminación LED en un día soleado.

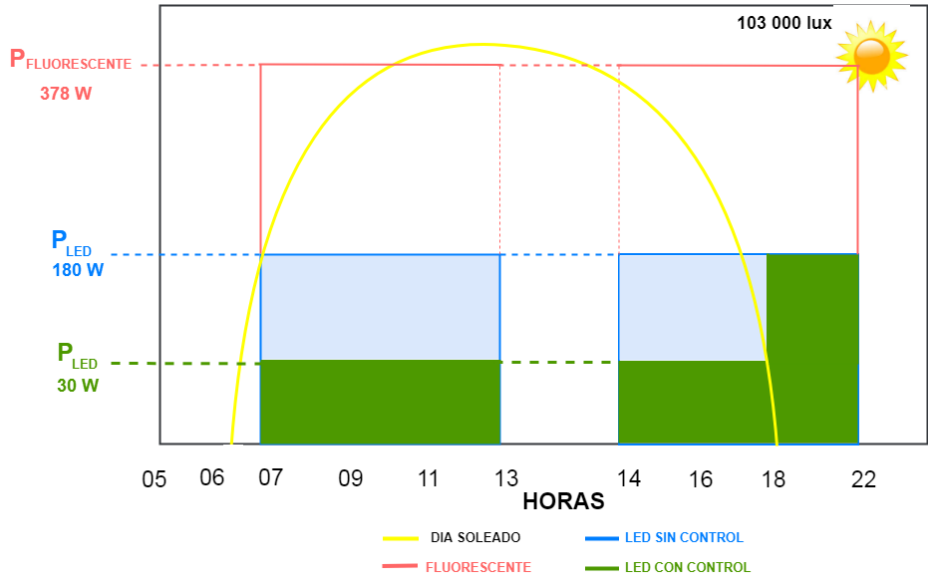


Figura 4.47: Sistemas de iluminación en día soleado.
Elaborado por: Investigador

- **Impacto del Sistema de Control Inteligente en un Día Parcialmente Nublado**

En un día tipo parcialmente nublado, se considera un nivel de iluminación proveniente de la luz natural igual a 50 000 luxes. En este caso, las pruebas experimentales realizadas, en la sala de investigación de la FISEI, demostraron que, en días parcialmente nublados, la potencia total de las luminarias se redujo de 180W a 80W, en promedio, en las horas de aprovechamiento de luz solar, entre las 7 y 13 horas, y las 14 y 18 horas. A las 18 horas, aproximadamente el nivel aprovechable de luz natural se reduce sustancialmente y las luminarias LED empiezan a funcionar a su valor nominal, 180 W. Para un día parcialmente nublado se estima que el consumo eléctrico promedio de las luminarias LED de la sala de investigación es igual a 1,512 kWh, con un coste económico de 0,095 ctvs. La reducción obtenida gracias a la implementación del sistema inteligente de control en un día soleado sería en promedio un 40% en relación al consumo de las luminarias LED sin ningún tipo de control. La reducción del consumo eléctrico de las luminarias LED, con un sistema de control inteligente integrado, en relación al sistema de iluminación fluorescente existente sería del 71%. En la figura 4.48 se muestra el comportamiento del sistema de control del sistema de iluminación LED en un día parcialmente nublado.

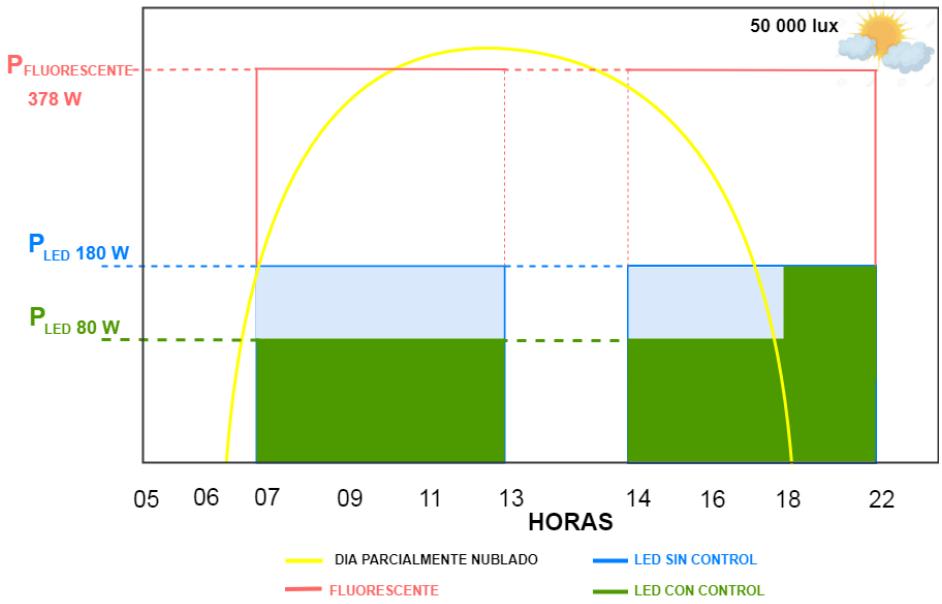


Figura 4.48: Sistemas de iluminación en días parcialmente nublados.

Elaborado por: Investigador

- **Impacto del Sistema de Control Inteligente en un Día Nublado**

En un día tipo nublado, se considera un nivel de iluminación proveniente de la luz natural igual puede variar de 1000 a 10 000 luxes. En este caso, las pruebas experimentales realizadas, en la sala de investigación de la FISEI, demostraron que, en días parcialmente nublados, la potencia total de las luminarias se redujo de 180 W a 150 W, en promedio, en las horas de aprovechamiento de luz solar, entre las 7 y 13 horas, y las 14 y 18 horas. A las 18 horas, aproximadamente el nivel aprovechable de luz natural se reduce sustancialmente y las luminarias LED empiezan a funcionar a su valor nominal, 180 W. Para un día nublado se estima que el consumo eléctrico promedio de las luminarias LED de la sala de investigación es igual a 2,268 kWh, con un coste económico de 0,143 ctvs. La reducción obtenida gracias a la implementación del sistema inteligente de control en un día soleado es en promedio un 12% en relación al consumo de las luminarias LED sin ningún tipo de control. En la figura 4.49 se muestra el comportamiento del sistema de control del sistema de iluminación LED en un día nublado.

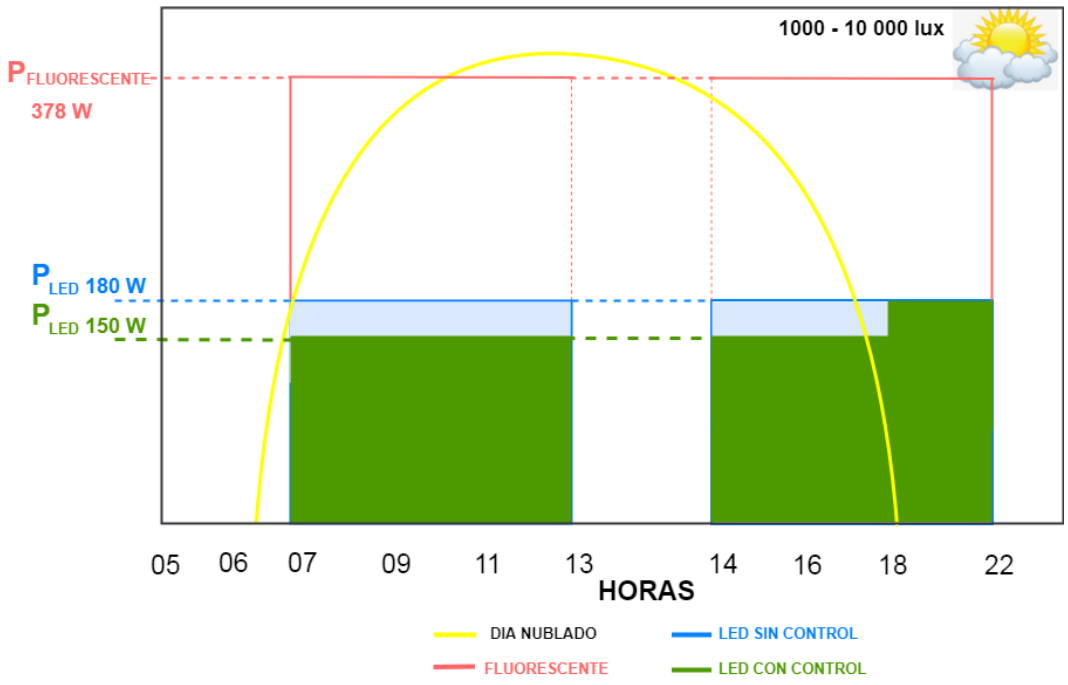


Figura 4.49: Sistemas de iluminación en días nublados.

Elaborado por: Investigador

Los resultados obtenidos del consumo eléctrico y del coste económico en los diferentes sistemas de iluminación analizados, fluorescente existente y LED, propuesto para sustituir al sistema fluorescente, así como del sistema LED con un sistema de control, para los tres tipos de día – soleado, parcialmente nublado y nublado – se presenta en la tabla 4.31. La sustitución de lámparas fluorescentes por lámparas LED permiten un ahorro del 52%. El ahorro del consumo de electricidad de un día soleado en comparación a las luminarias fluorescentes es del 81%. Del mismo modo el ahorro presentado en un día parcialmente nublado y nublado en comparación a las luminarias fluorescentes es del 71% y 58%, respectivamente. Asimismo, se estima el nivel de emisiones de CO_2, asociadas a los diferentes casos evaluados, tabla 4.31.

Tabla 4.31: Consumo de energía y coste económico de diferentes sistemas de iluminación de la sala de investigación de la FISEI.

Tipo de control	Sala de investigación	Porcentaje de ahorro	Consumo Eléctrico kWh	Costo Consumo Eléctrico $	Emisiones CO_2 kg CO_2
Sin control	**Fluorescente**	0	5,292	0,333	1,813
Sin control	**LED**	0,52	2,52	0,158	0,863
LED con Control	**Soleado**	0,81	1,020	0,0635	0,349
	Parcialmente Nublado	0,71	1,520	0,095	0,521
	Nublado	0,57	2,220	0,142	0,761

Elaborado por: Investigador

- **Análisis del Consumo Eléctrico y Coste Económico de la Sala de Investigación de la FISEI**

La estimación del consumo eléctrico y coste económico en la sala de investigación se realizó para el periodo de un año. Se ha estimado, en función de la tabla 4.30, el número de días soleados, parcialmente nublados y nublados para la ciudad de Ambato en un año. Se ha ajustado el número de días estimados, para los tres tipos de día evaluados, al calendario académico de la Universidad Técnica de Ambato. Posteriormente, se escaló, de un año a 15 años, la estimación del consumo eléctrico de la sala de investigación.

En la tabla 4.32, se presentan los resultados de la estimación del consumo eléctrico y del coste económico de la sala de investigación de la FISEI. durante un año y en un horizonte de 15 años. Es importante indicar, que la estimación para el sistema iluminación LED con control inteligente, incluye los resultados obtenidos para los tres tipos de días evaluados, soleado, parcialmente nublado y nublado. Asimismo, se estima el nivel de emisiones de CO_2, asociadas a los diferentes casos evaluados, tabla 4.32.

Tabla 4.32: Consumo de energía y coste económico de diferentes sistemas de iluminación de la sala de investigación.

Sistema de Iluminación	**Consumo Eléctrico kWh**		**Costo Consumo Eléctrico $**		**Emisiones CO_2 Ton CO_2**	
	año	**15 años**	**año**	**15 años**	**año**	**15 años**
Fluorescente	1270,08	19051,2	80,02	1200,23	435,13	6526,94
LED	604,8	9072	38,10	571,52	207,20	3108,07
Control LED	363,2	5448	22,88	343,22	124,43	1866,48

Elaborado por: Investigador

De acuerdo a los resultados obtenidos de la tabla 2, se deduce que, en un horizonte de 15 años, el coste económico del consumo eléctrico total del funcionamiento del sistema de iluminación LED con control, cumpliendo los requisitos mínimos de iluminación, se reduce significativamente en comparación con los sistemas de iluminación fluorescentes y LED sin control. En el caso estudiado, el ahorro obtenido en la factura de electricidad del consumo eléctrico en las luminarias de la sala de investigación sería $857,01, en un horizonte de análisis de 15 años, en comparación al consumo del sistema fluorescente existente. Por tanto, se estima una reducción anual del consumo eléctrico en la sala de investigación del 71% en relación al sistema de iluminación fluorescente.

- **Análisis del Consumo Eléctrico y Coste Económico del Edificio Principal de la FISEI**

La estimación del consumo eléctrico y coste económico del edificio principal de la FISEI se realizó para el periodo de un año, posteriormente escalado a 15 años. En el

horizonte evaluado de 15 años, el coste económico del consumo eléctrico del sistema fluorescente supera los $78 033,72 dólares, en tanto que para el sistema LED con control es de $13 179,80 dólares. En un horizonte de 15 años, el ahorro económico del consumo eléctrico del sistema de iluminación en el edificio principal de la FISEI, sería de aproximadamente $64 853,92 dólares. Asimismo, presenta una reducción significativa de contaminación por emisiones de CO_2 presentada en la tabla 4.33.

Tabla 4.33: Consumo de energía y coste económico de diferentes sistemas de iluminación del edificio principal de la FISEI.

Sistema de Iluminación	**Consumo Eléctrico kWh**		**Costo Consumo Eléctrico $**		**Emisiones CO_2 Ton CO_2**	
	año	**15 años**	**año**	**15 años**	**año**	**15 años**
Fluorescente	82575,4	1238630,4	5202,25	78033,72	28,29	424,35
LED	23224,3	348364,8	1463,13	21946,98	7,96	119,35
Control LED	13946,9	209203,2	878,65	13179,80	4,78	71,67

Elaborado por: Investigador

En la tabla 4.34 se presenta una tabla de resumen de la estimación del consumo eléctrico, costo consumo eléctrico y emisiones de CO2, en el periodo de un año y escalado en un horizonte de 15 años tanto de la sala de investigación como del edificio principal de la FISEI.

Tabla 4.34: Resumen del consumo eléctrico, costo consumo eléctrico y emisiones de CO_2 de los sistemas de iluminación.

Espacio interior	**Sistema de Iluminación**	**Consumo Eléctrico kWh**		**Costo Consumo Eléctrico $**		**Emisiones CO_2 Ton CO_2**	
		año	**15 años**	**año**	**15 años**	**año**	**15 años**
Sala de Investigación	**Fluorescente**	1270,08	19051,2	80,02	1200,23	435,13	6526,94
	LED	604,8	9072	38,10	571,52	207,20	3108,07
	Control LED	363,2	5448	22,88	343,22	124,43	1866,48
Edificio Principal FISEI	**Fluorescente**	82575,4	1238630,4	5202,25	78033,72	28,29	424,35
	LED	23224,3	348364,8	1463,13	21946,98	7,96	119,35
	Control LED	13946,9	209203,2	878,65	13179,80	4,78	71,67

Elaborado por: Investigador

4.15 PRESUPUESTO DEL PROTOTIPO

El presupuesto total para la implementación del prototipo de Plataforma IoT de Control Inteligente de un Sistema de Iluminación LED con Suministro Eléctrico en Corriente Continua LVDC es de $ 493,24. A continuación, en la tabla 4.35 se describe el costo de los sensores, dispositivos y elementos electrónicos, así como los materiales eléctricos utilizados en la construcción del prototipo.

Tabla 4.35: Presupuesto de construcción del prototipo.

N°	Materiales	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Batería	1	100	100
2	Eeleveador de voltaje DC-DC	1	45	45
3	Reductor de voltaje DC-DC	1	6,38	6,38
4	Módulo Relé	1	4	4
5	Módulo Sensor de luz KY-018	1	3	3
6	Módulo Sensor de luz BH1750	1	14	14
7	Arduino Nano	1	7	7
8	Sensor corriente ACS712	1	7	7
9	Cables	1	7	7
10	Driver de motor a pasos A4988	1	3	3
11	Motor a pasos Nema 23KM	1	25	25
12	Sensor PIR HC-SR501	1	4	4
13	Raspberry pi 3	1	60	60
14	Elementos circuito de control	1	2,5	2,5
15	Estructuras Prototipo	2	35	70
16	Persiana	1	70	70
17	Panel LED	1	42,99	42,99
18	Case 3D	1	8	8
			Subtotal	478,87
			Imprevistos (3%)	14,37
			Total	**493,24**

Elaborado por: Investigador

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Los sistemas de iluminación fluorescentes de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial son tecnologías ineficientes que representan un elevado consumo eléctrico. Asimismo, los sistemas de iluminación fluorescentes existentes no garantizan los parámetros técnicos mínimos que establecen las normativas vigentes de iluminación interior que es de 300 a 500 lux en el espacio de trabajo.

- El análisis comparativo realizado entre luminarias fluorescentes y LED, con ayuda del software de diseño y simulación DIALux, permitió determinar que las luminarias LED ofrecen una mayor eficiencia lumínica y energética en comparación a las luminarias fluorescentes. Las luminarias LED permiten garantizar el nivel de iluminancia mantenida de 300 lux en las diferentes superficies de trabajo dentro de los rangos establecidos en la normativa de iluminación de espacios interiores UNE-EN 12464-1.

- El prototipo permite optimizar el consumo eléctrico del sistema de iluminación al encender la luminaria únicamente al detectar presencia en el espacio interior evaluado y apagarse al detectar ausencia de usuarios. Además, permite maximizar el aprovechamiento de la luz natural con la apertura automática de la persiana implicando una reducción adicional del consumo eléctrico.

- Con un nivel de iluminación de 300 lux dentro del espacio interior evaluado el análisis del prototipo de control de iluminación inteligente frente a los días de sol y parcialmente nublado ofrece un ahorro del 81% y 71%, respectivamente, en el consumo de electricidad, mientras que, en los días nublados el ahorro es del 58%, estos porcentajes se obtuvieron al compararse la luminaria LED controlada frente a la luminaria fluorescente existente.

- Los estudios comparativos realizados del ahorro en consumo eléctrico y coste económico para las diferentes propuestas de sustitución de luminarias de la sala de investigación evaluada confirman el importante ahorro económico a obtener por la sustitución de luminarias ineficientes por luminarias LED. En la sala de investigación evaluada, la estimación del ahorro obtenido sólo por la sustitución de luminarias fluorescentes por luminarias LED Lithonia, en tan sólo una sala de investigación, sería de $2 223,22 en un horizonte de análisis de 15 años. Se estima una reducción anual del consumo eléctrico en la sala de investigación del 52,38%.

- El análisis comparativo de consumo eléctrico y coste económico realizado al edificio principal de la FISEI. En el horizonte de 15 años, la estimación del ahorro económico del consumo eléctrico del sistema de iluminación con control en el edificio principal de la FISEI, sería de aproximadamente $64 853,92 dólares, en comparación con los sistemas de iluminación fluorescentes existentes.

5.2 RECOMENDACIONES

- Considerar usar luminarias con la tecnología MicroLed que ofrece un mayor rendimiento lumínico en el orden de los 140 a 150 lm/W. No obstante, la tecnología MicroLed se encuentra en desarrollo, pero pronto se encontrará disponible en los distribuidores de sistemas de iluminación a nivel nacional.

- Es necesario cambiar el microcontrolador Arduino Nano por el Arduino Mega si se requiere de un control de más de 6 luminarias, o si se masifica la implementación del sistema en varios espacios interiores. El Arduino Mega posee un mayor número de salidas de control PWM. Además, reemplazar el elevador de voltaje DC-DC por otro, de acuerdo a la potencia total del sistema de iluminación que se vaya a controlar.

- Se sugiere investigar acerca de sistemas energéticos fotovoltaicos en trabajos futuros con el objetivo de acoplar el sistema de control inteligente de iluminación LED con un sistema fotovoltaico y de esta manera aprovechar la energía renovable para el funcionamiento del sistema de iluminación.

- Evitar que la batería de alimentación del sistema de control llegue a su límite de descarga porque podría causar fallos y daños en el sistema. Si se requiere de una batería con un mayor tiempo de descarga es necesario utilizar baterías de ciclo profundo.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Agencia de Regulación y Control de Electricidad, ARCONEL, ‹‹Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas, Servicio Público de Energía Eléctrica,›› 2018. [En línea]. Available: http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/2018-01-11-Pliego-y-Cargos-Tarifarios-del-SPEE-20182.pdf

[2] Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC, ‹‹Consumo Anual Per Cápita,›› 2015. [En línea]. Available: http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/recaudacion-anual/

[3] S. Kim, W. Kang, and H. Ku, ‹‹Networked smart LED lighting system and its application using Bluetooth beacon communication,›› Consumer Electronics-Asia (ICCE-Asia), IEEE International Conference on. IEEE, 2016. [En línea]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7804837/

[4] U.S. Department of Energy. Energy Efficiency & Renewable Energy, ‹‹Solid-State Lighting R&D Plan,›› June 2016, DOE/EE-1418. [En línea]. Available: https://energy.gov/eere/ssl/downloads/solid-state-lighting-2016-rd-plan

[5] E. Rodriguez, F. Chen, J. Vasquez, J. Guerrero, R. Burgos, and D. Boroyevich, ‹‹Voltage-Level Selection of Future Two-Level LVdc Distribution Grids: A Compromise Between Grid Compatibiliy, Safety, and Efficiency,›› IEEE, Electrification Magazine 4.2, Junio 2016. [En línea]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7480936/

[6] A. Mohammed, C. Sigi, and P. R. Dhanesh, ‹‹LVDC architecture for residential application,›› Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), 2017 IEEE International Conference on. IEEE, 2017. [En línea] Available: http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7914226/

[7] C. Stergiou, and K. E. Psannis, ‹‹Recent advances delivered by mobile cloud computing and internet of things for big data applications: a survey,›› International Journal of Network Management 27.3. 2017.

[8] D. Floarea and V. Sgârciu, ‹‹LED Smart Illumination with RFID Indoor Positioning,›› 21st International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS), 2017. [En línea]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/document/7968607/

[9] J. R. Anabalón, ‹‹Internet of Threats (IoT): Una visión de la arquitectura, aplicaciones, riesgos y desafíos futuros,›› ISSA Chile 2016. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/28289361/Internet_of_Threats_IoT_Una_visi%C3%B3n_de_la_arquitectura_aplicaciones_riesgos_y_desaf%C3%ADos_futuros

[10] M. Castro, N. Posligua, ‹‹Diseño de iluminación con luminarias tipo LED basado en el concepto eficiencia energética y confort visual, implementación de estructura para pruebas,›› Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería Eléctrica, Sede Guayaquil, marzo 2015. [En línea]. Available: http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10253/1/UPS-GT001344.pdf

[11] A. Mahajan and D. Markande, ‹‹Design of Intelligent System for Indoor Lighting,›› IEEE, International Conference on Computing Communication Control and automation, ICCUBEA 2016. [En línea]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/document/7860139/

[12] F. Pesántez, A. Valdez, X. Serrano, W. Orozco and G. Escrivá, ‹‹A Digital Control System for Lighting Energy Consumption Efficiency (LECE),›› IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC), 2017. [En línea]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/8261640/

[13] J. Mota, G. Freitas, M. Santana, A. Spacek, L. Biléssimo, O. Ando and R. Giansela ‹‹Use of natural sunlight incident to an internal environment with control and compensation of luminosity through an electronic system,›› 6th International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), Santa Margherita Ligure, 2017. [En línea]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/8004729/

[14] J. Llaneza Álvarez, ‹‹Ergonomía y Psicosociología Aplicada. Manual para la formación del especialista,›› España, LEX NOVA, 2009.

[15] A. Gago and J. Fraile, ‹‹Iluminación con Tecnología LED,›› Ediciones Paraninfo S. A., España. 2012. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=8FN1mCQVzrIC&printsec=frontcover&dq

[16] Asifunciona.com, ‹‹Estructura interna de un Diodo LED,›› 2015. [En línea]. Available: http://www.asifunciona.com/fisica/af_leds/af_leds_4.html

[17] V. Márquez, J. Gonzáles and J. Pérez, ‹‹Eficiencia energética en las instalaciones de iluminación interior y alumbrado exterior,›› Primera Edición, IC Editorial. 2014. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=sdKNCwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq

[18] J. Moreno, D. Lasso and C. Fernández, ‹‹Instalaciones eléctricas interiores,›› cuarta edición, Paraninfo, 2016. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=wXk3DAAAQBAJ&pg=PR6&dq#v

[19] M. Déleg, ‹‹Tecnología LED,›› Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. [En línea]. Available: http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/tecnologia-led-ensayo/tecnologia-led-ensayo.pdf

[20] T. Kaipia, J. Karppanen, P. Nuutinen, A. Pinomaa, A, Mattsson, P. Peltoniemi, P. Silventoinen and J. Partanen, ‹‹LVDC rules-towards industrial-scale application of low-voltage direct current in public power distribution,›› IEEE, CIRED Workshop 2016. [En línea]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/document/7861319/

[21] E. Díaz, F. Chen, J. Vasquez, J. Gerrero, R. Burgos and D. Boroyevich, ‹‹A compromise between grid compatibility, safety, and efficiency. Voltage-Level Selection of Future Two-Level LVdc Distribution Grids,›› IEEE Electrification Magazine, June, 2016. [En línea]. Available: http://vbn.aau.dk/files/234746726/Article_Electrification_Magazine2016_Final.pdf

[22] M. A. Abella, ‹‹SISTEMAS FOTOVOLTAICOS,›› Madrid: ERA SOLAR, 2005. [En línea]. Available: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf

[23] C. Angulo and C. Raya, ‹‹Tecnología de sistemas de control,›› Universidad Politécnica de Cataluña, Primera Edición, Ediciones UPC, Barcelona – España. 2004. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=Vbd11zVvk_QC&printsec=frontcover&dq

[24] J. M. Huidobro and R. J. Millán, ‹‹Manual de Domótica,›› Creaciones Copyright, España, 2010. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=V6IzqqDcfF8C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

[25] J. Jiménez, ‹‹Instalación y puesta en marcha de sistemas domóticos e inmóticos,›› Primera Edición, IC Editorial, 2015. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=M2VNDwAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false

[26] R. Saavedra, ‹‹Automatización de viviendas y edificios,›› España, Ceac, 2009. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=3UA6pL4184cC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false

[27] S. Gomáriz, D. Biel, J. Matas and M. Reyes, ‹‹Teoría de Control Diseño Electrónico,›› Edicions UPC, Segunda Edición, 2001. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=Jro3rHU_urMC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false

[28] C. Angulo and C. Raya, ‹‹Tecnología de sistemas de control,›› Primera Edición, Edicions UPC, 2004. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=Vbd11zVvk_QC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false

[29] E. Mandado, L. Menéndez, L. Fernández and E. López, ‹‹Microcontroladores PIC: Sistema integrado para el autoaprendizaje,›› Primera Edición, MARCOMBO, S. A., 2007. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=86uGLMp4vg

AC&printsec=frontcover&dq

[30] ‹‹Adquisición de magnitudes físicas mediante microcontrolador,›› [En línea]. Available: http://www.quieroapuntes.com/adquisicion-de-magnitudes-fisicas-mediante-microcontrolador.html

[31] J. Gallego and L. Folgado, ‹‹Montaje y mantenimiento de equipos,›› Editex, 2011. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=ESzTAwAAQBAJ&source=gbs_navlinks_s

[32] Otapiki, ‹‹Estructura del microprocesador CPU,›› 2010. [En línea]. Available: https://otapiki.wordpress.com/2010/04/13/estructura-del-microprocesador-cpu/

[33] E. E. Embajadores, «Catalogo de Robotica y Sensores,» Abril 2016. [En línea]. Available: http://www.electronicaembajadores.com/Admin/Content/ovccz5rb.pdf

[34] Naylampmechatronics, «Tutorial sensor de corriente ACS712,» [En línea]. Available: https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-acs712.html

[35] L. Luis, «Medir voltajes de hasta 25v con arduino y fz0430,» Luisllamas.com [En línea]. Available: https://www.luisllamas.es/medir-voltajes-de-hasta-25v-con-arduino-y-fz0430/

[36] Centre for Microcomputer Applications, «Sensor de Voltaje Diferencial BT32i,» [En línea]. Available: http://cma-science.nl/resources/dealers/es/manuals/bt_sensors/BT32i_es.pdf

[37] EATON, «Sensor de Voltaje VoltageWatch,» Eaton.com [En línea]. Available: http://www.eaton.com.co/Andean/ProductsandSolutions/Energia/ProductosyServicios/AutomationandControl/SensoresyFinalesdeCarrera/SensoresdePotencia/SensoresdeVoltaje/index.htm#tabs-2.

[38] Ecured, «Hardware libre,» Ecured.cu, 2016. [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Hardware_libre

[39] R. Enriquez, Guia de Usuario de Arduino, Cordova: Creattive Commons, ›› 2009. [En línea]. Available: http://www.uco.es/aulasoftwarelibre/wp-content/uploads/2010/05/Arduino_user_manual_es.pdf

[40] Xataka, «www.xataka.com,» [En línea]. Available: https://www.xataka.com/makers/empezar-con-arduino-genuino-como-elegir-la-placa-modelos-compatibles-y-kits-de-iniciacion

[41] J. Pastor, "Raspberry Pi", Xataka.com, 2016. [Online]. Available: https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-3

[42] L. Luis, «Qué es Raspberry pi,» Luisllamas.com [En línea]. Available: https://www.luisllamas.es/que-es-raspberry-pi/

[43] KaaIoT Technologies, ‹‹The Big Bang of the IoT,›› 2018. [En línea]. Available: https://www.kaaproject.org/what-is-iot/?utm_content=buffer7be6b&utm_medium=social&utm_source=plus.google.com&utm_campaign=buffer

[44] IHS Technology, ‹‹IoT platforms: enabling the Internet of Things,›› mar, 2016. [En línea]. Available: http://cdn.ihs.com/www/pdf/enabling-IOT.pdf

[45] B. Bearnes, Linux, «Apache, MySQL, PHP,» Digitalocean.com [En línea]. Available: https://www.digitalocean.com/community/tutorials/como-instalar-linux-apache-mysql-php-lamp-en-ubuntu-16-04-es

[46] E. Rosebrock and E. Filson, «Setting Up LAMP: Getting Linux, Apache, MySQL, and PHP Working Together,» London, Sybex, 2004, pp. 2-7

[47] AENOR, ‹‹Norma UNE-EN 12464-1 Iluminación de Lugares de Trabajo en interiores,›› 2003. [En línea]. Available: https://enerfigente.files.wordpress.com/2015/08/une-en_12464-12003.pdf

[48] «Manual Sensor PIR HC_SR501,» Electronics.com [En línea]. Available: a-electronics.com.mx/index.php?controller=attachment&id_attachment=486

[49] ‹‹ Datasheet MOSFET IRF530,›› [En línea]. Available: https://www.vishay.com/docs/91019/91019.pdf

[50] «Datasheet Transistor BC546, BC547, BC548,» [En línea]. Available: https://www.onsemi.com/pub/Collateral/BC546-D.PDF

[51] «Datasheet Driver A4988,» [En línea]. Available: https://www.robotshop.com/media/files/pdf/datasheet-1182.pdf

[52] Inventable, ‹‹ Driver LED de alta potencia,›› Inventable.eu [En línea]. Available: https://www.inventable.eu/2014/06/21/driver-leds-potencia-con-entrada-pwm/

[53] S. Gomáriz, D. Biel, J. Matas and M. Reyes, ‹‹Teoría de Control Diseño Electrónico,›› Ediciones UPC, Barcelona. 2001, pp.231-232. [En línea].

[54] D. GmbH, «DIALux,» DIAL GmbH. [En línea]. Available: https://www.dial.de/en/dialux

[55] «Digi-Sense Data Logging Light Meter Model 20250-00 User Manual,» [En línea]. Available: https://pim-resources.coleparmer.com/instruction-manual/digi-sense-20250-00-data-logging-light-meter-instruction-manual.pdf.

[56] R. Parra «Factor de emisión de CO2 debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001 - 2014,» [En línea]. Available: https://www.usfq.edu.ec/publicaciones/avances/archivo_de_contenidos/Documents/volumen_7_numero_2/C80-7-2-2015.pdf

[57] P. Ponce, «Estudio de la Contaminación Lumínica y Eficiencia Energética en Alumbrado Exterior,» 2014.

[58] Meteoblue, «Diagramas Climáticos Ambato,» [En línea]. Available: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/ambato_ecuador_3660689

ANEXOS

ANEXO A

EMPRESA ELECTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.

R.U.C. 1890001439001 **CONTRIBUYENTE ESPECIAL RESOLUCION 5368 DEL 2 DE JUNIO DE 1995**

Aut. del S.R.I.: 0210201801189000143900120010120092504840925048417 Fecha Aut.: 2018-10-02T17:32:53-05:00

Dirección: 12 de Noviembre 11-29 y Espejo
Teléfono: 03-2998600

Factura Nro. 001012 - 009250484 Valor a Pagar: **14,168.93**

Fecha Emisión: 02-Oct-2018 **Vencimiento:** 11-Oct-2018 **Mes Consumo:** Septiembre-2018 **Bloque Facturacion: 2**

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR

Nombre: UNIVERSIDAD TECNICA AMBATO **CC/ RUC:** 1860001450001
Dirección del Servicio: RIO PAYAMINO Y RIO TALATAG **Ruta:** 4 - 46 - 1
Provincia / Cantón / Parroquia: TUNGURAHUA / AMBATO/
Tipo de Tarifa: BENEFICIO PUBLICO CON DEMANDA

Código Único Eléctrico Nacional: **0100081656**

Medidor Número: 5148575 **Factor Multiplicación** 420.00
Lectura Desde: 31-08-2018 **Lectura Hasta:** 30-09-2018 **Días Facturados** 30
Factor Potencia: 0.99859 **Factor Corrección:** 0.92

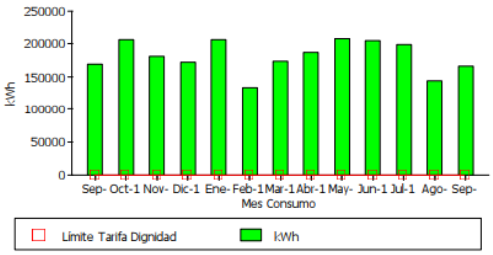
1 FACTURACION SERVICIO ELECTRICO Y ALUMBRADO PUBLICO

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Und
Activa	43902	43507	165900	kWh
Dem Máxima	1.28	0.98	537.6	kW
Dem Pico	1.26	0.75	529.2	kW
08h00-18h00 L-V	32958.68	32717.89	101131.8	kWh
18h00-22h00 L-V	3109.8	3036.1	30954	kWh
22h-08h LVSDF	7833.32	7753.34	33591.6	kWh
Reactiva	2986	2965	8820	kVAR

Concepto	Valor USD
Valor Consumo	10,399.52
Demanda Facturable	1,587.60
Interés Servicio Electrico	398.32
Valor Comercialización	1.41
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	**12,386.85**
Alumbrado Público	129.00
Subtotal Alumbrado Público (APG)	**129.00**

Sep-17	168840	4,077.55
Oct-17	206220	6,962.57
Nov-17	181020	5,133.17
Dic-17	171780	4,438.78
Ene-18	206640	6,927.05
Feb-18	133560	1,140.95
Mar-18	173040	4,254.79
Abr-18	187740	5,504.44
May-18	207480	7,042.28
Jun-18	205800	6,889.11
Jul-18	198660	6,329.25
Ago-18	143640	1,401.70
Sep-18	165900	4,168.93

HISTORIAL DE CONSUMOS



Total IVA 12%	
Total IVA 0%	12,515.85
IVA 12%	
IVA 0%	0.00
TOTAL SE y APG (1)	**12,515.85**

2 VALORES PENDIENTES

Concepto	Descripción	Valor Dólares
Abonos		0.00
Planillas Anteriores		0.00
VALORES PENDIENTES (2):		**0.00**

SUBSIDIO DEL GOBIERNO	
Subsidio Tarifa Eléctrica	3,917.65
TOTAL SUBSIDIOS:	**3,917.65**

EL GOBIERNO SUBSIDIA ESTE SERVICIO

TOTAL	
Total Servicio Eléctrico(1)	12,515.85
Valores Pendientes (2):	0.00
Recaudación Terceros (3):	
TOTAL (1)+(2)+(3) Sector Eléctrico	**12,515.85**

Clave Acceso: 0210201801189000143900120010120092504840925048417

NOTIFICACIÓN DE PAGO POR TASA DE RECOLECCIÓN BASURA DEL MUNICIPIO DEL CANTÓN AMBATO

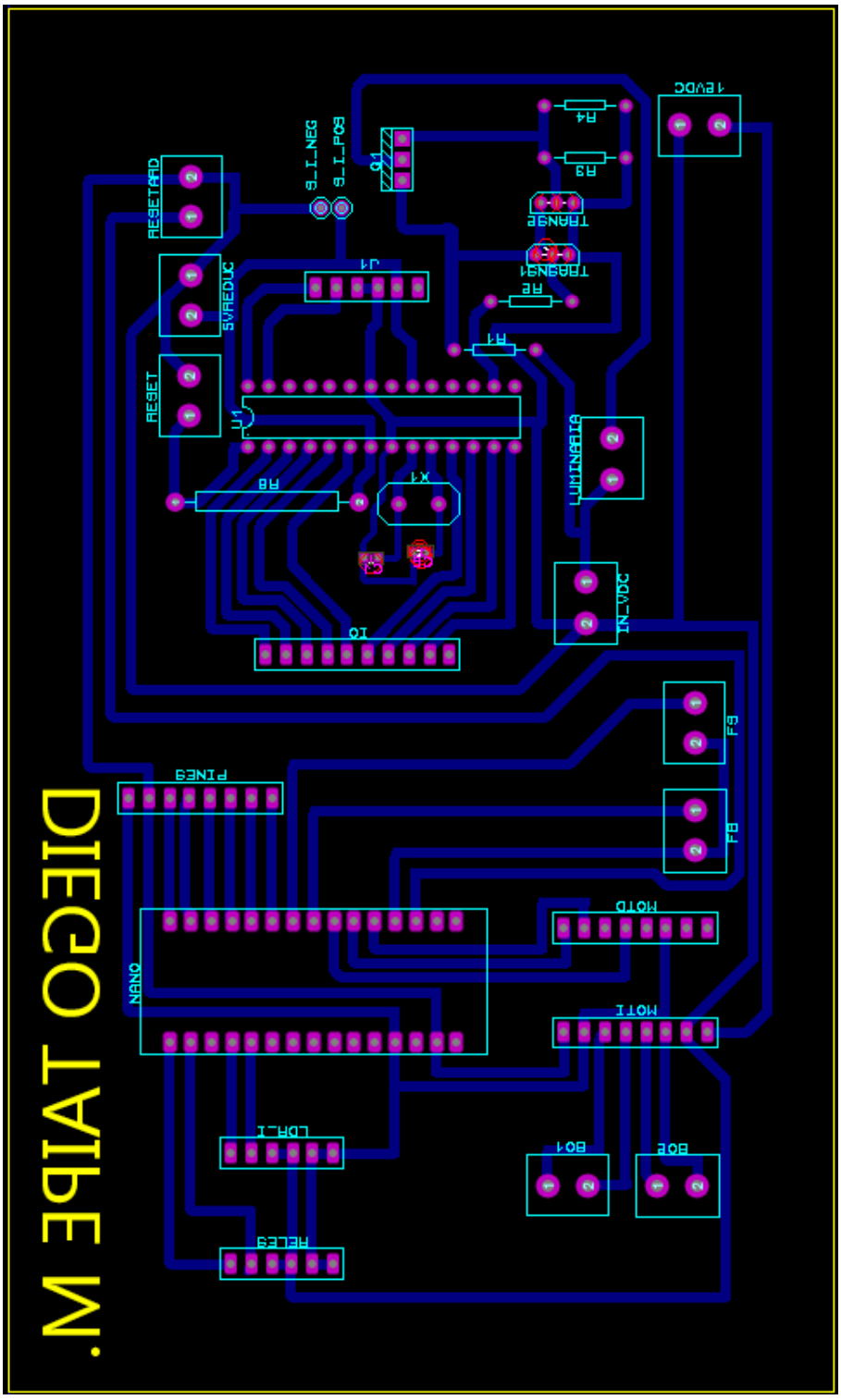
RUC.: 1865033840001 **Suministro:** 81656
Nombre: UNIVERSIDAD TECNICA AMBATO **Cédula/RUC.:** 1860001450001
Dirección Servicio: RIO PAYAMINO Y RIO TALATAG
Fecha Emisión: 02-10-2018

Concepto:	Valor:
Tasa Basura	1,653.08
TOTAL TASA DE RECOLECCIÓN DE BASURA (5):	1,653.08

EL PAGO OPORTUNO DE SU FACTURA EVITA VALORES POR CORTE Y/O RECONEXION DE SERVICIO

ANEXO B

DISEÑO DE LA PLACA ELECTRÓNICA PCB PROTEUS



ANEXO C

CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN SISTEMA DE CONTROL

Insertar Librerías

```
#include <Wire.h>              //I2C
#include <BH1750.h>            //Sensor de luz interiro
```

Declaración de Variables Globales

```
int steps = 2;
int direccion = 3;
int reset = 4;
int estado;
int valdr;          // ldr
int aux = 6;         // variables auxiliaesr
int aux1 = 3;
int aux2 = 3;
int sensor = A0;
int paso_total = 0;
float p=0;
float v=0;
float Sensibilidad=0.13; //sensibilidad en Voltios/Amperio para sensor de 5A
string cadenaTx;
string inputString = "";
boolean stringComplete = false;
#define rele_pin 13  //Pin donde va conectado el LED-activación relé
#define pir_pin 12  //Pin donde va conectado el sensor de movimiento
#define FB_PIN 5
#define FS_PIN 6
#define PWM_PIN 10
#define lu_uno 7
#define lu_dos 8
#define lu_tres 9
BH1750 Luxometro;
```

```
int i=0;
int aux0 = 5;          // variable auxiliar
int sensor = A0;
int ek = 0;
int pk = 0;
float ukant = 0;
float ekant = 0;
float uk = 0;
int delta = 0;
float a = 0.0002;
float kp = 0.25;
```

Inicio del Programa

```
Serial.begin(9600);
inputString.reserve(200);
Luxometro.begin(BH1750;CONTINUOUS_HIGH_RES_MODE); //inicializa sensor
```

CONTROL PI EN DIFERENCIAS

```
 ek = i - lux;
  pk = kp*ek;
 uk = pk – kp*ekant + ukant;
 ukant = -uk;
 ekant = ek;
 delta = uk;
 delta = constrain(delta, 0, 255);
analogWrite(PWM_PIN, delta);
 delay(160);
```

CONTROL DE PRESCENCIA Y APERTURA Y CIERRE DE LA PERSIANA

```
if (digitalRead(FS_PIN)==HIGH && aux1!=0)
 {
 digitalWrite(reset, LOW);      //Mientras reset este en LOW el motor permanecerá
```

apagado y no sufrirá. El chip apagará todos los puertos y no leerá comandos.

```
  delay(1000);
  digitalWrite(reset, HIGH);   //Cuando reset se encuentre en HIGH el motor arrancará
y leerá los comandos enviados.
  digitalWrite(direccion, HIGH);
  //Serial.println("abiriendo cortina");
    abrir_cortinaconteo();
    aux1=0;
     }
  if (digitalRead(FB_PIN)==HIGH && aux2!=0)
  {
  digitalWrite(reset, LOW);
  delay(1000);
  digitalWrite(reset, HIGH);
  digitalWrite(direccion, LOW);
  //Serial.println("cerrando cortina");
   cerrar_cortinaconteo();
   aux2=0;
  //Serial.println(paso_total);
  }
```

CONTROL DE LA PERSIANA MEDIANTE CASOS

```
  if ((valdr < 200) && (aux != 0))
  {
  digitalWrite(reset, LOW);
  delay(1000);
  digitalWrite(reset, HIGH);
  digitalWrite(direccion, LOW);
    cerrar_cortina();
    aux = 0;
    //Serial.println("cortina cerrada");
    digitalWrite(reset, LOW);
  }
```

```
if (((valdr > 250) && (valdr < 990)) && (aux != 1))
{
digitalWrite(reset, LOW);
delay(1000);
digitalWrite(reset, HIGH);
digitalWrite(direccion, HIGH);
  abrir_cortina();
  aux = 1;
  //Serial.println("cortina abierta");
  digitalWrite(reset, LOW);
}
if ((valdr > 1000) && (aux != 2) && (digitalRead(FS_PIN)==LOW))
{
digitalWrite(reset, LOW);
delay(1000);
digitalWrite(reset, HIGH);
digitalWrite(direccion, LOW);
  abrir_mitad_cortina_abajo();
  aux = 2;
  //Serial.println("cortina a la mitad de arriba-abajo");
  digitalWrite(reset, LOW);
}
if ((valdr > 1000) && (aux != 3) && (digitalRead(FB_PIN)==LOW))
{
digitalWrite(reset, LOW);
delay(1000);
digitalWrite(reset, HIGH);
digitalWrite(direccion, HIGH);
  abrir_mitad_cortina_arriba();
  aux = 3;
  //Serial.println("cortina a la mitad de abajo-arriba");
  digitalWrite(reset, LOW);
}
```

```
}
 else {
if (estado==LOW)
{
  //Serial.println("Sin movimiento");
  digitalWrite(rele_pin, HIGH);  //Apaga el LED si no detecta movimiento
  delay(100); }}
void girar_horario(void)
{
  digitalWrite(direccion, HIGH);
    digitalWrite(steps, HIGH);
    digitalWrite(steps, LOW);
    delayMicroseconds(stepDelay);
}
void girar_ahorario(void)
{
  digitalWrite(direccion, LOW);
    digitalWrite(steps, LOW);
    digitalWrite(steps, HIGH);
    delayMicroseconds(stepDelay);
}
void girar_ahorarioconteo(void)
{
  digitalWrite(direccion, LOW);
    digitalWrite(steps, LOW);
    digitalWrite(steps, HIGH);
    delayMicroseconds(stepDelay);
    paso_total++;
}
void abrir_cortinaconteo(void)
{
  while(digitalRead(FS_PIN))
    {
```

```
      girar_horario();}}
void cerrar_cortinaconteo(void)
{
  // CERRAR CORTINA
    while(digitalRead(FB_PIN))
    {
      girar_ahorarioconteo();}}
void cerrar_cortina(void)
{
  // CERRAR CORTINA
    while(digitalRead(FB_PIN))
    {
      girar_ahorario();}}
void abrir_cortina(void)
{
  while(digitalRead(FS_PIN))
    {
      girar_horario();}}
void abrir_mitad_cortina_abajo(void)
{
  // CERRAR CORTINA MITAD

    for (int i = 0; i < (paso_total)/2; i++)
    {
      girar_ahorario();}}

void abrir_mitad_cortina_arriba(void)
{
//abrir cortina a la mitad
    for (int i = 0; i < (paso_total)/2; i++)
    {
      girar_horario(); }}
    float get_corriente(int n_muestras)
```

```
{
  float voltajeSensor;
  float corriente=0;
  for(int i=0;i<n_muestras;i++)
  {
    voltajeSensor = analogRead(A1) * (5.0 / 1023.0);          ////lectura del sensor
    corriente=corriente + (voltajeSensor-2.51)/Sensibilidad;  //Ecuación  para obtener
la corriente
  }
  corriente=corriente/n_muestras;
  return(corriente);
}
```

CONTROL DESDE LA PAGINA WEB

```
void serialEvent()
{
  while (Serial.available())
  {
    char inChar = (char)Serial.read();
    inputString += inChar;
    if (inChar == '\n')
    {
      stringComplete = true;
    }
    if (stringComplete)
    {
      int pwm = inputString.toInt()
      inputString = "";
       switch(pwm)
       {
        case 300:
          digitalWrite(9,LOW);
          digitalWrite(10,LOW);
          digitalWrite(11,LOW);
```

```
  break;

 case 350:
  digitalWrite(9,LOW);
  digitalWrite(10,LOW);
  digitalWrite(11,HIGH);
  break;

 case 400:
  digitalWrite(9,LOW);
  digitalWrite(10,HIGH);
  digitalWrite(11,LOW);
  break;

 case 450:
  digitalWrite(9,LOW);
  digitalWrite(10,HIGH);
  digitalWrite(11,HIGH);
  break;

  case 500:
  digitalWrite(9,HIGH);
  digitalWrite(10,LOW);
  digitalWrite(11,LOW);
  break;

 default:
  digitalWrite(9,LOW);
  digitalWrite(10,LOW);
  digitalWrite(11,LOW);
  break;
}}}
```

ANEXO D

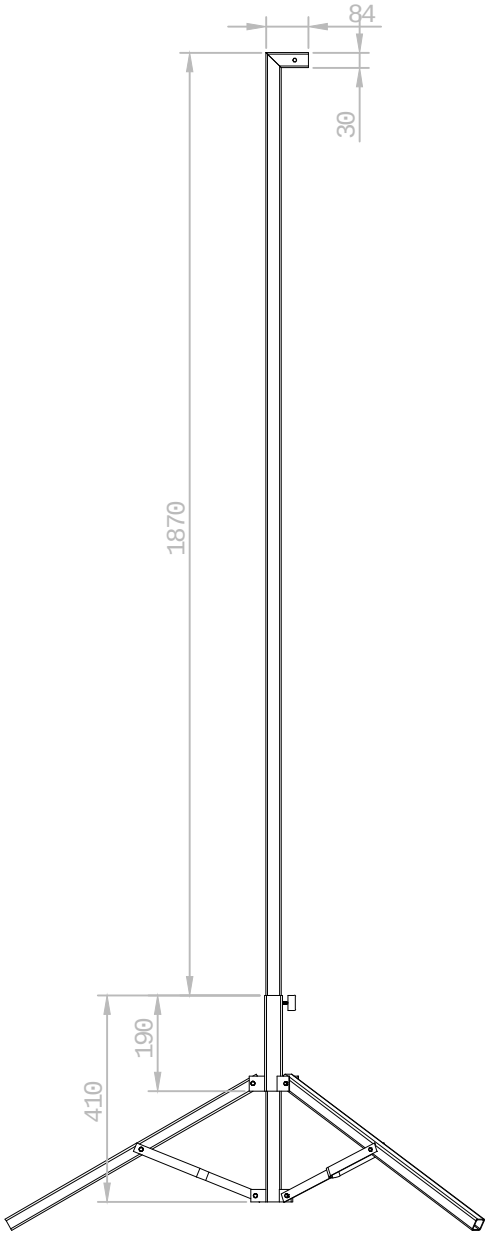
CONEXIÓN Y ALMACENAMIENTO EN LA BASE DE DATOS PYTHON

```
#!/usr/bin/env python
import time
import serial
import os
import MySQLdb
db = MySQLdb.connect(host="localhost",user="pi",passwd="raspberry",
db="variables")
cur = db.cursor()

ser = serial.Serial(
    port='/dev/ttyUSB0',
    baudrate = 9600,
    parity=serial.PARITY_NONE,
    stopbits=serial.STOPBITS_ONE,
    bytesize=serial.EIGHTBITS,
    timeout=1
)
def main():
    contador = 0
    while 1:
        x=ser.readline()
        x.replace('\r\n', ' ')
        x.strip()
        if x.endswith("\n"):
            x.strip('\n')
        if x:
            if len(x)>10:
                print 'DIN:' + x
                print 'Lon:' , len(x)
                indV = x.find('V')
```

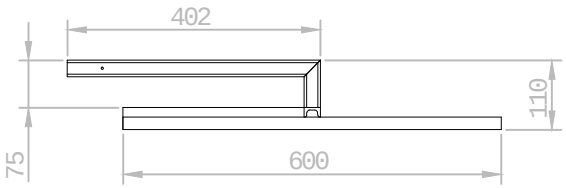
```
                    indI = x.find('I')
                    indP = x.find('P')
                    indF = x.find('F')
                    vol = x[indV+1:indI]
                    cor = x[indI+1:indP]
                    pot = x[indP+1:indF]
                    #print vol+" "+cor+" "+pot
                    peticion = "INSERT INTO datos (id, vol, cor, pot, tiempo) VALUES (NULL, "+cor+", "+vol+", "+pot+", CURRENT_TIMESTAMP)"
                    print peticion
                    cur.execute(peticion)
                    db.commit()
                    contador = contador + 1
                    if contador > 2:
                        peticion = "SELECT valor FROM control WHERE id=1"
                        cur.execute(peticion)
                        respuesta = cur.fetchone()
                        cadena = str(respuesta[0])+ "\n"
                        print "escribiendo en arduino: ",cadena
                        ser.write(cadena)
                        contador=0
                else:
                    print '>>' + x

try:
    main()
except KeyboardInterrupt:
    ser.close()
    cur.close()
    db.close ()

    print('\n\n Interrupcion por teclado')
    exit()
```

ANEXO E

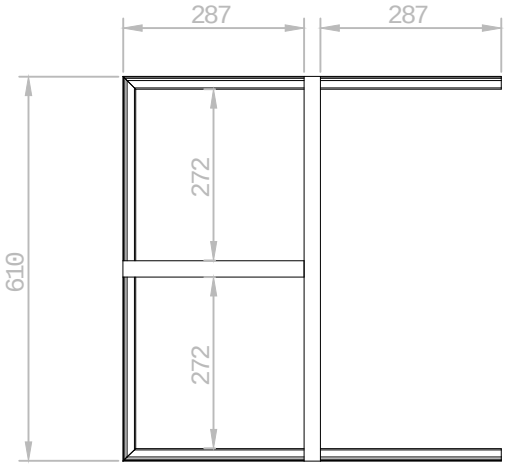
DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE LA LUMINARIA DEL PROTOTIPO



VISTA FRONTAL ESTRUCTURA BASE
ESCALA: 1:15

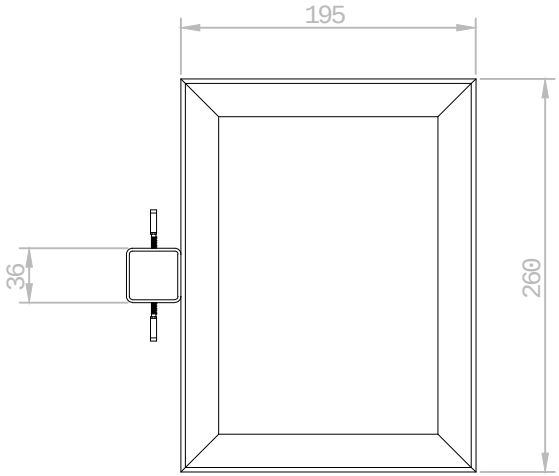


VISTA FRONTAL ESTRUCTURA LED
ESCALA: 1:12

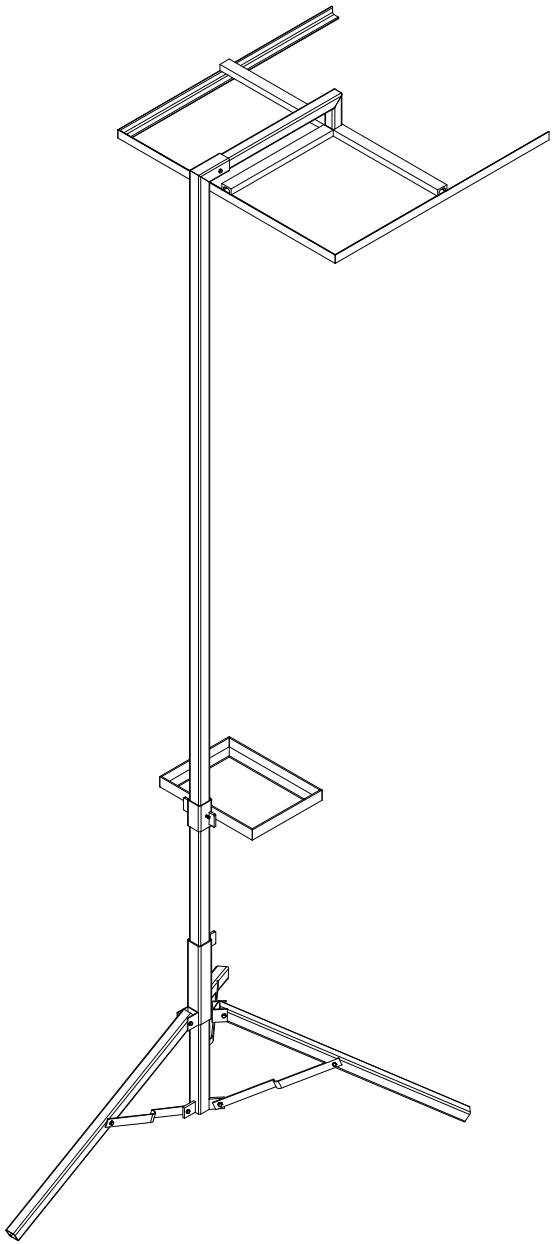


VISTA SUPERIOR ESTRUCTURA LED
ESCALA: 1:12

VISTA FRONTAL ESTRUCTURA
CONTROL
ESCALA: 1:5



VISTA SUPERIOR ESTRUCTURA
CONTROL
ESCALA: 1:5



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:15

				Fecha	19.03.2018
				Diseñó	D. Taipe
A1	CONSTRUCCIÓN	10.03.2018	D.T.	Reviso	A. Ríos
Revisión	Nota	Fecha	Nomb.	Aprobo	A. Ríos

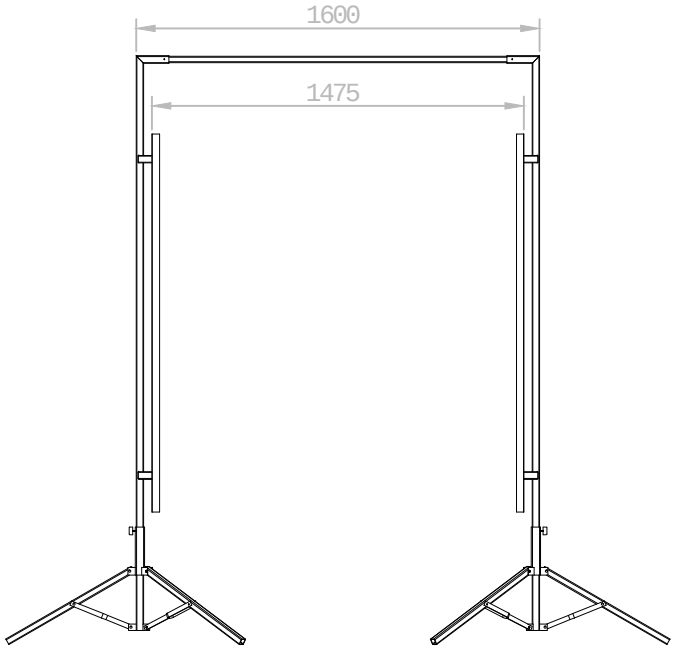
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

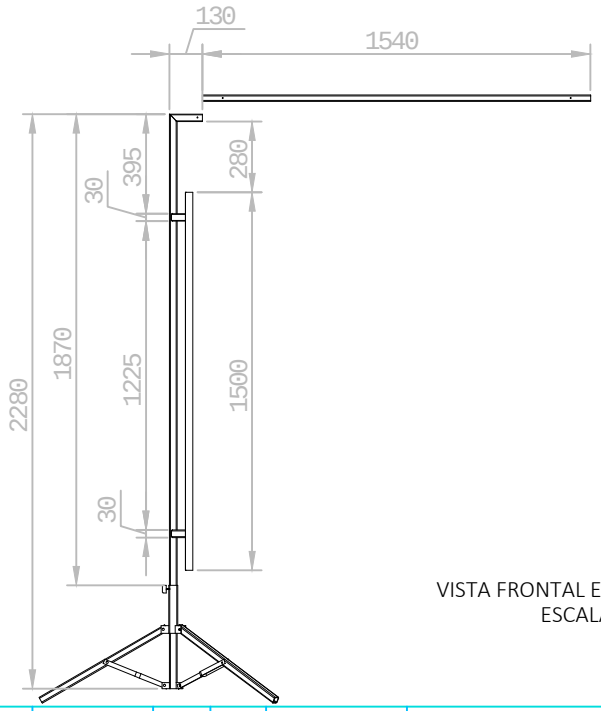
Estructura de luminaria LED

Unidades:	mm
Escala:	
Carrera:	Ing. en Electrónica y Comunicaciones
HOJA	1

ANEXO F

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE LA PERSIANA DEL PROTOTIPO





VISTA FRONTAL ESTRUCTURA BASE
ESCALA: 1:30

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:20

				Fecha	19.03.2018
				Diseñó	D. Taipe
A1	CONSTRUCCIÓN	10.03.2018	D.T.	Reviso	A. Ríos
Revisión	Nota	Fecha	Nomb.	Aprobo	A. Ríos

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

Estructura de la persiana

Unidades:	mm
Escala:	
Carrera:	Ing. en Electrónica y Comunicaciones
HOJA	2