



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“DISEÑO DE UNA RED INTELIGENTE PARA LUMINARIAS
TIPO LED USANDO MCU ESP32 Y UN SISTEMA SCADA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Dispositivo tecnológico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR:

BYRON JAVIER SAGÑAY LLININ

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“DISEÑO DE UNA RED INTELIGENTE PARA LUMINARIAS
TIPO LED USANDO MCU ESP32 Y UN SISTEMA SCADA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Dispositivo tecnológico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR: BYRON JAVIER SAGÑAY LLININ

DIRECTOR: Ing. JORGE LUIS PAUCAR SAMANIEGO

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Byron Javier Sagñay Llinin

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Byron Javier Sagñay Llinin, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 08 de Marzo del 2022



Byron Javier Sagñay Llinin

060459226-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Dispositivo tecnológico, “**DISEÑO DE UNA RED INTELIGENTE PARA LUMINARIAS TIPO LED USANDO MCU ESP32 Y UN SISTEMA SCADA**”, realizado por el señor **BYRON JAVIER SAGÑAY LLININ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Vinicio Altamirano Santillan PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2022-03-08
Ing. Jorge Luis Paucar Samaniego DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2022-03-08
Ing. José Luis Morales Gordón MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2022-03-08

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Segundo Sagñay y Rosita Llinin, que son los pilares fundamentales en este camino recorrido, que gracias a sus consejos y esfuerzos, me demostraron que el trabajo y el amor es lo más importante para la felicidad, a mis hermanas, que siempre están allí en mis momentos de tristeza y felicidad, dándome su apoyo, pero en especial a mi hermana Susana Sagñay quien es mi fortaleza, fuente de inspiración y mi apoyo durante el transcurso de mi vida, que gracias a su amor verdadero supo creer en mí y darme su la confianza necesaria para luchar por mis metas, a mi hija Arleth Sagñay por ser la fuente de inspiración que necesito para seguir luchando cada día y forjarme como persona, la que me brinda su amor verdadero y la que guiare siempre.

Byron

AGRADECIMIENTO

A En primer lugar, a mis padres por todas las bendiciones brindadas en el transcurso de mi vida. De la misma manera a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por darme la maravillosa oportunidad de recibir una educación de calidad en tan noble institución. De la misma manera a los docentes de la carrera de Ingeniería Electrónica en Electrónica y Automatización por todos los conocimientos que nos han brindado, su paciencia, su dedicación y apoyo incondicional durante el transcurso de la toda la carrera, con el fin de forjarnos como unos profesionales competitivos y grandes seres humanos. A mi tutor Ing. Jorge Luis Paucar, por todo el apoyo brindado durante el desarrollo de este trabajo de titulación. Finalmente, a todas las personas quienes de una u otra forma han hecho posible este logro.

Byron

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1 Diodo LED.....	4
<i>1.1.1 Funcionamiento.....</i>	<i>4</i>
<i>1.1.2 Lámparas LED.....</i>	<i>4</i>
<i>1.1.2.1 Tipos de lámparas LED que existen en el mercado.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.2.2 Reflectores de alta potencia.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.3 Beneficios de los reflectores LED.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.4 Térmico utilizado en redes de luminarias.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.4.1 Flujo luminoso.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.4.2 Luminancia.....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.4.3 Reflectancia.....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.4.4 Depreciación del flujo luminoso.....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.4.5 Eficacia.....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.4.6 Consumo eléctrico.....</i>	<i>8</i>
1.2 Redes de luminaria inteligente.....	8
<i>1.2.1 Tipos de arquitectura y protocolo de red.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.2 Arquitectura.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.3 Protocolo del controlador de la red.....</i>	<i>10</i>
<i>1.2.3.1 ZigBee.....</i>	<i>10</i>
<i>1.2.3.2 Bluetooth Low Energy (BLE).....</i>	<i>11</i>
<i>1.2.3.3 EnOcean.....</i>	<i>11</i>
<i>1.2.3.4 Wi-Fi.....</i>	<i>11</i>
<i>1.2.4 Latencia de comunicación.....</i>	<i>12</i>
1.3 Microcontrolador (MCU).....	13
<i>1.3.1 Selección de un microcontrolador.....</i>	<i>14</i>

1.3.2	<i>Selección de microcontrolador ESP32</i>	15
1.3.3	<i>Especificaciones del módulo ESP32 WROOM</i>	16
1.3.3.1	<i>Procesadores</i>	16
1.3.3.2	<i>Memoria</i>	17
1.3.3.3	<i>Conectividad</i>	17
1.3.3.4	<i>Timers</i>	17
1.3.3.5	<i>Watchdog</i>	17
1.3.3.6	<i>Relojes del sistema</i>	17
1.3.3.7	<i>Radiofrecuencia</i>	18
1.3.3.8	<i>Periféricos y sensores</i>	18
1.4	Entornos de desarrollo	20
1.4.1	<i>Arduino IDE</i>	21
1.5	Electrónica de potencia	22
1.5.1	<i>Circuitos integrados de administración de energía</i>	23
1.5.2	<i>Dispositivos semiconductores de potencia</i>	23
1.5.3	<i>Tipos de circuitos electrónicos de potencia</i>	23
1.5.3.1	<i>Convertidores de CA a CC</i>	23
1.5.3.2	<i>Convertidores de CC a CC</i>	24
1.5.3.3	<i>Convertidores de CC a CA</i>	24
1.5.3.4	<i>Convertidores de CA a CA</i>	24
1.5.4	<i>Rectificadores monofásicos</i>	24
1.5.4.1	<i>Rectificadores controlados de media onda</i>	25
1.5.4.2	<i>Rectificadores controlados de onda completa</i>	25
1.5.4.3	<i>Rectificadores no controlados de media onda</i>	25
1.5.4.4	<i>Rectificadores no controlados de onda completa</i>	25
1.5.5	<i>Cruce por cero</i>	26
1.5.5.1	<i>Detector de cruce por cero de media onda simple</i>	26
1.5.5.2	<i>Detector de cruce por cero de media onda con salida complementaria</i>	26
1.5.5.3	<i>Cruce por cero de onda completa</i>	26
1.5.6	<i>Modulación por ancho de pulso</i>	27
1.5.7	<i>Controlador PWM sincronizado con Arduino</i>	28
1.6	Sistema SCADA	29
1.6.1	<i>Definición</i>	29
1.6.2	<i>Descripción general de un SCADA</i>	29
1.6.3	<i>Arquitectura general de un sistema SCADA</i>	29
1.6.4	<i>Arquitectura del hardware</i>	30
1.6.4.1	<i>Interfase hombre-máquina (HMI-MMI)</i>	31

1.6.4.2	<i>Unidad central (MTU, Master Terminal Unit)</i>	31
1.6.4.3	<i>Unidad remota (RTU, Remote Terminal Unit)</i>	31
1.6.4.4	<i>Microcontrolador programable (MCU)</i>	31
1.7	LabVIEW	32
1.8	Data Dashboard	33
CAPÍTULO II		
2.	PROPUESTA Y DISEÑO DEL PROTOTIPO	34
2.1	Métodos de investigación	34
2.1.1	<i>Etapa de investigación</i>	34
2.1.2	<i>Métodos empíricos</i>	35
2.1.3	<i>Métodos teóricos</i>	35
2.1.4	<i>Etapa de diseño</i>	36
2.2	Operación general del sistema	36
2.2.1	<i>Proceso de recolección de datos</i>	39
2.2.2	<i>Proceso de transformación de datos</i>	40
2.2.3	<i>Proceso de control de luminosidad</i>	40
2.3	Requerimientos del prototipo de red inteligente A-LED	41
2.4	Fase de selección de hardware y software	41
2.4.1	<i>Selección de hardware</i>	41
2.4.1.1	<i>Transformador de 110 AC a 24 AC con tap central</i>	41
2.4.1.2	<i>Puente de diodos rectificador DB 104</i>	42
2.4.1.3	<i>ESP32 WROOM 38</i>	43
2.4.1.4	<i>Arduino Nano</i>	44
2.4.1.5	<i>Optoacoplador Arduino Pely 4n25</i>	45
2.4.1.6	<i>Sensor de corriente ACS712-5 A</i>	46
2.4.1.7	<i>Mosfet IRFZ44N</i>	47
2.4.1.8	<i>Sensor LDR</i>	48
2.4.1.9	<i>Convertidor de voltaje DC-DC Step-Up 2,5 A XL6009</i>	48
2.4.2	Transistores	49
2.4.2.1	<i>Transistor 2n3904</i>	49
2.4.2.2	<i>Transistor 2n3906</i>	50
2.4.3	Selección de software	51
2.4.3.1	<i>Selección de entorno de programación para el Arduino Nano y MCU ESP32</i>	51
2.5	Fase de diseño	52
2.5.1	Diseño estructural	52
2.5.1.1	<i>Diseño PCB</i>	52
2.5.2	Cálculo del reflector LED	53

2.6	Etapa de funcionamiento	56
2.6.1	<i>Análisis de la carga.....</i>	56
2.6.2	<i>Etapa de control.....</i>	57
2.6.3	<i>Etapa de acondicionamiento de la señal</i>	59
2.7	Diseño de placa del prototipo A-LED	60
2.7.1	<i>Implementación de elementos en el prototipo</i>	61
2.8	Selección de software para el dispositivo	61
2.8.1	<i>Desarrollo de programación en Arduino IDE.....</i>	62
2.8.2	<i>Desarrollo de programación en LabVIEW.....</i>	63
2.9	Aplicación móvil para el control de luminarias	67
CAPÍTULO III		
3.	VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO	69
3.1	Análisis de la red inteligente A-LED.....	69
3.2	Pruebas de campo.....	70
3.2.1	<i>Pruebas para obtener datos de latencia.....</i>	70
3.2.2	<i>Pruebas de luminosidad (Luxes)</i>	74
3.2.3	<i>Pruebas de consumo de energía</i>	78
3.3	Análisis de funcionalidad del dispositivo	80
CAPÍTULO IV		
4.	EVALUACIÓN ECONÓMICA	82
4.1	Análisis de costos	82
4.2	Comparación de costos con productos similares.....	82
CONCLUSIONES.....		84
RECOMENDACIONES.....		85
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Cuadro de resumen de las principales magnitudes	8
Tabla 2-1:	Comunicación inalámbrica	12
Tabla 3-1:	Características principales de microcontroladores	14
Tabla 4-1:	Características principales de módulos ESP32.....	15
Tabla 5-1:	Cuadro de resumen de las principales magnitudes	19
Tabla 6-1:	Nombres y funciones de terminales del lado dos del ESP32.....	19
Tabla 7-1:	Ventajas y desventajas de los entornos de desarrollo ESP32 WROOM.....	21
Tabla 1-2:	Etapas de desarrollo del proyecto.....	34
Tabla 2-2:	Características técnicas principales del transformador	42
Tabla 3-2:	Características técnicas principales del puente de diodos DB104	43
Tabla 4-2:	Características técnicas principales del MCU ESP32 WROOM 32	44
Tabla 5-2:	Características técnicas principales de Arduino Nano.....	44
Tabla 6-2:	Características técnicas principales del optoacoplador Arduino Pelv 4n25	45
Tabla 7-2:	Características técnicas principales del sensor de corriente ACS712-5 A.....	47
Tabla 8-2:	Características técnicas principales del Mosfet IRFZ44N.....	48
Tabla 9-2:	Características técnicas principales del convertidor de voltaje DC-DC XL600949	
Tabla 10-2:	Características técnicas principales del transistor 2n3904.....	50
Tabla 11-2:	Características técnicas principales del transistor 2n3906.....	50
Tabla 12-2:	Descripción del reflector LED	56
Tabla 1-3:	Pruebas de latencia.....	71
Tabla 2-3:	Pruebas de luminosidad (Lux)	74
Tabla 3-3:	Pruebas de potencia	78
Tabla 4-3:	Pruebas de funcionamiento	80
Tabla 5-3:	Resultados finales de funcionamiento y errores	81
Tabla 1-4:	Costos del dispositivo	82
Tabla 2-4:	Ventajas y desventajas de los productos existentes en el mercado	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Luminaria tipo LED	5
Figura 2-1:	Reflector LED	6
Figura 3-1:	Implementación de un sistema de red inteligente	9
Figura 4-1:	Clasificación de las redes inalámbricas	10
Figura 5-1:	Esquema general de un microcontrolador.....	13
Figura 6-1:	Arquitectura de un módulo ESP32	16
Figura 7-1:	Disposición de los terminales de ESP32 WROOM	20
Figura 8-1:	Entorno Arduino.....	22
Figura 9-1:	Esquema eléctrico de un rectificador de onda completa	25
Figura 10-1:	Formas de onda de entrada y salida del convertidor	26
Figura 11-1:	Detector de cruce por cero de onda completa no controlado	27
Figura 12-1:	PWM para el control de intensidad	28
Figura 13-1:	Representación del sistema SCADA	29
Figura 14-1:	Arquitectura básica del <i>hardware</i> de un sistema SCADA.....	30
Figura 15-1:	Entorno LabVIEW	32
Figura 16-1:	Data Dashboard.....	33
Figura 1-2:	Diseño de la red inteligente	36
Figura 2-2:	Diagrama de bloques del funcionamiento del circuito	37
Figura 3-2:	Operación general del sistema.....	38
Figura 4-2:	Proceso de recolección de datos	39
Figura 5-2:	Proceso de transformación de datos	40
Figura 6-2:	Proceso de control de luminosidad.....	40
Figura 7-2:	Transformador de 110 V a 24 V con tap central.....	42
Figura 8-2:	Puente de diodos DB104	43
Figura 9-2:	MCU ESP32.....	43
Figura 10-2:	Arduino Nano.....	44
Figura 11-2:	Optoacoplador 4n25	45
Figura 12-2:	Sensor de corriente ACS712-5 A	46
Figura 13-2:	Mosfet IRFZ44N.....	47
Figura 14-2:	Sensor de luz LDR	48
Figura 15-2:	Convertidor de voltaje DC-DC XL6009.....	48
Figura 16-2:	Transistor 2n3904.....	49
Figura 17-2:	Transistor 2n3906.....	50

Figura 18-2:	Entorno de programación Arduino IDE.....	51
Figura 19-2:	Entorno de programación LabVIEW y Data Dashboard.....	51
Figura 20-2:	Diseño de conexión de A-LED.....	52
Figura 21-2:	Diseño de PCB del prototipo A-LED	53
Figura 22-2:	Diseño 3D del prototipo A-LED.....	53
Figura 23-2:	Reflector calculado de 30 W	56
Figura 24-2:	Onda de carga resistiva.....	57
Figura 25-2:	Programación para el cálculo de ancho de pulso	58
Figura 26-2:	Ciclos de trabajo para señales PWM	59
Figura 27-2:	Señales de ciclo de trabajo en función de la corriente	59
Figura 28-2:	Etapas de acondicionamiento de la señal	60
Figura 29-2:	Implementación en placa del prototipo A-LED	60
Figura 30-2:	Incorporación de elementos en la placa del prototipo A-LED.....	61
Figura 31-2:	Librerías utilizadas en Arduino IDE.....	62
Figura 32-2:	Esquema de la programación usada en Arduino IDE	62
Figura 33-2:	Codificación para recolección de datos en Arduino IDE.....	63
Figura 34-2:	Comunicación TCP/IP para MCU en el sistema SCADA	63
Figura 35-2:	Comunicación TCP/IP para MCU2 en el sistema SCADA	64
Figura 36-2:	Creación de variables globales en LabVIEW	64
Figura 37-2:	Codificación de opción de control de luminaria en LabVIEW	65
Figura 38-2:	Codificación para presentación de datos en LabVIEW.....	65
Figura 39-2:	Codificación para presentación de datos en pantalla LabVIEW	66
Figura 40-2:	Codificación para archivar en la nube LabVIEW	66
Figura 41-2:	Diseño de pantalla de sistema SCADA en LabVIEW	67
Figura 42-2:	Puerto IP designado por el sistema SCADA en LabVIEW.....	67
Figura 43-2:	Diseño de pantalla en el dispositivo móvil en Datash Board	68
Figura 44-2:	Comunicación mediante puerto IP entre el móvil y el sistema SCADA	68
Figura 1-3:	Sistema de red inteligente A-LED en funcionamiento.....	69
Figura 2-3:	Vista del sistema de red inteligente A-LED en funcionamiento	70
Figura 3-3:	Funcionamiento del sistema A-LED controlado desde el móvil.....	70
Figura 4-3:	Medición de latencia en el sistema de red inteligente A-LED	71
Figura 5-3:	Sistema de red inteligente A-LED medición de luminosidad	74
Figura 6-3:	Sistema de red inteligente A-LED medición de potencia mediante PWM.....	78

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Pruebas de latencia en la mañana.....	72
Gráfico 2-3:	Pruebas de latencia en la tarde	73
Gráfico 3-3:	Pruebas de latencia en la noche.....	73
Gráfico 4-3:	Pruebas de luminosidad a 30 cm.....	75
Gráfico 5-3:	Pruebas de luminosidad a 50 cm.....	76
Gráfico 6-3:	Pruebas de luminosidad a 70 cm.....	76
Gráfico 7-3:	Pruebas de luminosidad a 90 cm.....	77
Gráfico 8-3:	Pruebas de luminosidad 1,5 m	77
Gráfico 9-3:	Pruebas de corriente por sensor y pinzas amperimétricas	79
Gráfico 10-3:	Pruebas de consumo del dispositivo A-LED y valores medidos	79
Gráfico 11-3:	Funcionalidad del dispositivo	81

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** CÓDIGO FUENTE
- ANEXO B:** CÓDIGO FUENTE DEL SISTEMA SCADA
- ANEXO C:** DATOS TÉCNICOS DEL MCU ESP32 DEVKIT C
- ANEXO D:** DATOS TÉCNICOS DEL SENSOR DE CORRIENTE ACS712
- ANEXO E:** DATOS TÉCNICOS CONVERTIDOR DC/DC XL6009
- ANEXO F:** DATOS TÉCNICOS ARDUINO NANO
- ANEXO G:** EVIDENCIA DE PRUEBAS REALIZADAS
- ANEXO H:** DATOS ALMACENADOS EN LA NUBE

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ADC:	Analog Digital Converter
ARDUINO:	Software
AC:	Corriente Alterna
CAD:	Computer Aided Design
CAS:	Chemical Abstracts Service
CC:	Corriente Continua
CTR:	Current Transfer Ratios
EDA:	Electronic design automation
GND:	Ground, Tierra, Masa
I²C:	Inter Integrated Circuit
IDE:	Integrated Development Environment
IEC:	International Electrotechnical Commission
IP:	Ingress Protection
IPC:	Association Connecting Electronics Industries
LED:	Light Emitting Diode
PCB:	Printed Circuit Board
PWM:	Pulse Width Modulation
SCR:	Silicon controlled Rectifier
SD:	Secure Digital
UART:	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
USB	Universal Serial Bus

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación fue la implementación de un sistema SCADA realizado en la plataforma LabVIEW, que controló la luminosidad de luminarias tipo led, mediante un dispositivo móvil (celular), utilizando una unidad de microcontrolador (MCU) ESP-32, que permitió la comunicación inalámbrica, proporcionando datos de consumo eléctrico, cantidad de lúmenes emitidos y cantidad de luxes, los mismos que fueron almacenados en la nube (Google Drive). Se logró la selección de elementos, sensores, la unidad de microcontroladores (MCU), entornos de programación y demás elementos lo cual sirvió para creación del circuito del dispositivo. Los datos obtenidos fueron visualizados en un sistema SCADA y además se controló mediante una aplicación móvil. El diseño de la red inteligente consto de dos secciones, la primera sección es el diseño del circuito y el diseño del sistema SCADA con la aplicación móvil; la segunda sección se procedió a realizar el algoritmo del sistema SCADA en LabVIEW donde se observó el monitoreo de los datos requeridos, permitiendo una conexión directa con la aplicación móvil para un control bidireccional con una comunicación Wi-Fi, los datos obtenidos se subieron de forma automática a Google Drive. Para la validación del proyecto se procedió a realizar pruebas de funcionamiento a la red inteligente en su totalidad, tanto la lectura de sensores, comunicación inalámbrica de recepción de datos, control de consumo de energía y la transferencia de datos a Google Drive, dando un 80% de buena funcionalidad, mientras que los errores son mínimos desde la totalidad de pruebas que se lo realizó. Se concluye que es un sistema confiable y cumple con los objetivos establecidos al momento de iniciar con la investigación.

Palabras clave: <RED INTELGENTE> <SISTEMA SCADA> <MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSO>, <COMUNICACIÓN INALÁMBRICA> <SENSORES> <UNIDAD DE MICROCONTROLADOR>.



0569-DBRA-UPT-2022

2022-04-01

ABSTRACT

The aim of this graduate research project was to implement a SCADA system carried out in the LabVIEW platform, which controlled the luminosity of LED-type luminaires through a mobile device (cell phone), using an ESP-32 microcontroller unit (MCU), which allowed wireless communication, providing data on electrical consumption, the number of lumens emitted and the number of luxes, these were stored in the cloud (GoogleDrive). It was achieved by selecting elements, sensors, the microcontroller unit (MCU), programming environments, and other components used to create the device's circuit. The data obtained were displayed in a SCADA system, and it was also controlled through a mobile application. The smart network design consisted of two sections; the first section is circuit design and SCADA system design with mobile application; In the second section, the algorithm of the SCADA system was carried out in LabVIEW, where the required data monitoring was observed, allowing a direct connection with the application mobile for bidirectional control with Wi-Fi communication, the data obtained was uploaded automatically to Google Drive. The project validation was carrying out tests on the operation of the smart network completely, both the reading of sensors, wireless communication of data reception, control of power consumption, and data transfer to Google Drive, giving 80% good functionality. At the same time, errors are minimum from all the performed tests. It is concluded that it is a reliable system and meets the objectives established when starting with the research.

Keywords: <SMART NETWORK> <SCADA SYSTEM> <PULSE WIDTH MODULATION>, <WIRELESS COMMUNICATION> <SENSORS> <MICROCONTROLLER UNIT >

INTRODUCCIÓN

En base a datos recopilados por el Operador Nacional de Electricidad (CENACE), en 2019, el consumo de energía eléctrica alcanzó 25.310 GWh, lo que significó un incremento del 4,5% en relación con la demanda de energía de 2018, año en que el consumo eléctrico fue de 24.213 GWh, En febrero de 2019, se registró un consumo de 1993,5 GWh, siendo el mes con menor nivel de consumo. En mayo, se utilizaron 2203 GWh, convirtiéndose en el mes que registró la mayor demanda de energía (CENACE, 2020). Esto hace que los municipios tomen la iniciativa de implementación de luminarias tipo diodo emisor de luz (LED, por su sigla en inglés), que les permita disminuir el consumo de sus distritos.

Migrar a tecnología LED trae consigo múltiples ventajas: el consumo es de un 88% menos de energía eléctrica que un bombillo incandescente tradicional y hasta un 50% menos que un tubo fluorescente, consumen menos Watts (W) y ofrecen un importante ahorro energético y económico. Por ejemplo, una luminaria de calle tipo mercurio consume 175W, la podemos reemplazar por una LED de 60W y tener un ahorro de un 65%, resultando en una importante disminución de la factura eléctrica para la municipalidad y/o gobierno local (SICA, 2018).

Los microcontroladores (MCU) especializados en características de seguridad están avanzando para ofrecer seguridad al origen del sistema integrado. Es algo bueno, porque no hay duda de que se necesita una nueva generación de soluciones integradas para proteger las aplicaciones de Internet de las cosas (IoT, por su sigla en inglés), integran capacidades de seguridad para contrarrestar ataques físicos y remotos. Esta sección explicará las MCU de seguridad especializadas, a menudo llamadas elementos seguros, que actúan como un chip complementario de la MCU principal mientras se vinculan a través de un protocolo de comunicación interfaz I2C o de cable único (AHMAD, 2020).

Estos microcontroladores de bajo costo permiten desarrollar comunicaciones de red inalámbrica, por sus características de comunicación Wi-Fi y Bluetooth que posee, se podrá desarrollar proyectos basados en (IOT) de bajo costo, que podrán adaptarse a sistemas de lenguajes de desarrollo de programación como Arduino IDE, como es el caso del proyecto de fin de carrera a realizarse, donde se logra fusionar las características importantes de un ESP-32 con una comunicación inalámbrica, para formar una red de iluminación inteligente.

Este proyecto busca la disminución de consumo eléctrico, pero con tecnología diferente y de bajo costo, la misma que pueda servir de guía para referencias o modificaciones de esta en un futuro.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo desarrollar una red inteligente que permita una comunicación fluida en ambas direcciones entre una luminaria tipo Led y el usuario utilizando herramientas informáticas, domóticas y donde se pueda aplicar nuevas tecnologías?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué dispositivos permiten realizar una comunicación bidireccional en una red eléctrica inteligente para controlar el funcionamiento óptimo de dos luminarias tipo LED?

¿Qué circuitos y dispositivos electrónicos permitirán conectar una red eléctrica inteligente para monitorizar y medir el comportamiento eléctrico de reflectores tipo led?

¿Qué circuitos y dispositivos permitirán controlar la intensidad de iluminación de una lámpara LED y ser registrados por un sistema SCADA?

¿Qué tipos de pruebas se podrán aplicar al sistema de tal manera que se pueda validar su correcto funcionamiento analizando variables como latencia de comunicación, cantidad de lúmenes emitidos y energía consumida?

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Andrade y Pinzón (2013) menciona que en términos de conducencia y pertinencia la investigación gira en torno a la automatización de espacios, no solamente como factor de indicador de progreso, sino también como una necesidad claramente identificada en la dinámica global, las nuevas tendencias enfocan a la domótica como una de las tecnologías transversales de mayor importancia en el contexto del desarrollo sostenible (PINZÓN GONZÁLEZ, y otros, 2013 pág. 10). En transformación de la matriz productiva para alcanzar el buen vivir los autores indican: “*Sustitución selectiva de importaciones con bienes y servicios que se produce actualmente y que son capaces de sustituir en corto plazo: industria farmacéutica, tecnología (software, hardware y servicios informáticos) y metalmecánica*” (SENPLADES, 2012 pág. 16).

En el Art. 8 de la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES) literal a indica “*aportar al desarrollo del pensamiento universal, al despliegue de la producción científica y a la promoción de las transferencias e innovaciones tecnológicas*” (ASAMBLEA NACIONAL, 2010 pág. 11).

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

La implementación de un controlador de intensidad luminosa, ayudará a mejorar la calidad de iluminación para distintos tipos de ambientes que el usuario lo necesite, haciéndolos más

eficientes, reduciendo costos de consumo energético, controlando por medio de un dispositivo móvil (celular), el mismo que estará conectado a una pantalla de un sistema Scada diseñada en LabView que se comunicará con un MCU ESP32 programable, todas estas conexiones se realizara mediante conexión Wi-Fi, los datos obtenidos serán enviados como documento Excel a la nube (Google Drive). A pesar de que estos tipos de dispositivos no se los aplicado aún en nuestro medio, se lo realizará con tecnologías nuevas, accesibles, de bajo costo y que se encuentren a la venta en la ciudad de Riobamba, con el fin de reducir costos de fabricación e implementación, este tipo de dispositivo será aplicado a los reflectores LED que son muy sensibles a los cambios de intensidad de la corriente. Con este tipo proyecto se tratará de ahorrar más energía eléctrica que con las bombillas o focos tradicionales.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una red inteligente para luminarias tipo LED usando MCU ESP32 y un sistema SCADA.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mediante la investigación analítica y experimental desarrollar una comunicación bidireccional en una red eléctrica inteligente para controlar el funcionamiento óptimo de dos luminarias tipo LED utilizando MCU ESP-32.
- Crear un dispositivo electrónico que permitirá conectar una red eléctrica inteligente para monitorizar y medir el comportamiento eléctrico de reflectores tipo LED.
- Diseñar un protocolo de funcionamiento del sistema basado en el análisis de variables como la latencia de comunicación, cantidad de lúmenes y energía consumida
- Realizar pruebas que permitan conocer la eficacia y funcionamiento del sistema SCADA para la comunicación inalámbrica del reflector LED

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En el presente capítulo se realiza el estudio de los fundamentos teóricos importantes que sustentan los campos necesarios para el desarrollo del dispositivo.

1.1 Diodo LED

El diodo emisor de luz o (LED, por su sigla en inglés), es una fuente de luz que emite fotones cuando se recibe una corriente eléctrica de muy baja intensidad. El LED por lo general se encierra en un material plástico de color que acentúa la longitud de onda generada por el diodo y ayuda a enfocar la luz en un haz. El terminal positivo, o ánodo, por lo general es la más larga de los dos terminales, algunos diodos LED's tienen una base plana que sirve para identificar el terminal negativo, o cátodo (MECATRÓNICA LATAM, 2021).

1.1.1 *Funcionamiento*

Son diodos semiconductores que permiten que la corriente fluya en una sola dirección, el material semiconductor está en capas en forma de unión p-n, cuando se aplica una tensión adecuada a los cables, los electrones pueden recombinarse con los agujeros dentro del dispositivo, liberando energía en forma de fotones, todos los diodos pueden emitir radiación electromagnética. Los materiales semiconductores utilizados en los LED se seleccionan para emitir en el rango visible además los diferentes materiales producen luz con diferentes longitudes de onda y, por lo tanto, diferentes colores (PREMIUM LIGHT PRO, 2017 pág. 53).

1.1.2 *Lámparas LED*

Las lámparas LED son bombilla de estado sólido que utiliza diodos emisores para poder emitir luz. Siendo un componente eléctrico posee dos terminales de conducción que va en una sola dirección. Aplicando corriente eléctrica emite una luz brillante. Este tipo de lámparas ofrecen una larga vida de consumo y alto rendimiento. En la actualidad, son las luminarias más confiables del mercado (LBA INDUSTRIAL, 2018).

La figura 1-1 representa una LED, cuyas ventajas primordiales ante las incandescentes y fluorescentes, con una vida útil aproximada de 60,000 h, con encendido instantáneo, además presenta posibilidades de un manejo de control de flujo e intensidad, sin tener que afectar su vida de utilidad, como ocurre en el caso de las lámparas convencionales fluorescentes, con una excelente direccionalidad de luz, permite un mayor factor de rendimiento, alta fiabilidad y mínima contaminación lumínica, la gran ventaja de utilización de estas luminarias es el bajo costo de

operación y mantenimiento, libre de componentes como el mercurio, plomo, entre otros, que son contaminantes (TWENERGY, 2019).



Figura 1-1: Luminaria tipo LED

Fuente: (LBA INDUSTRIAL, 2018)

En la actualidad, existen muchos proyectos con luces LED. La mayoría de los hogares ya han implementado tecnología LED como un sistema de iluminación, pero también son semáforos, letreros informativos, alumbrado de exterior, tecnología móvil y mucho más (TWENERGY, 2019).

1.1.2.1 Tipos de lámparas LED que existen en el mercado

Las luminarias tipo LED se clasifican en tres grupos: baja corriente, corriente estándar y ultra alto rendimiento, mediante esta clasificación se puede encontrar LED de potencia alta, que producen un brillo intenso que los otros, los mismos que están siendo utilizados en aplicaciones de tipo domésticas. Se puede encontrar LED de super flujo y se los encuentran en grandes informativos, y, para finalizar las LED intermitentes que son independientes siendo utilizados como indicadores. Integran un vibrador al circuito que es capaz de interrumpir su flujo en intervalos (LBA INDUSTRIAL, 2018).

En realidad, existen un sin fin de luces LED y más aplicaciones de lo que se lo imagine. Muchos hogares ya incorporan la tecnología LED como sistema de lumínico, además, la tecnología ha revolucionado y pudiéndose decir que se han creado un sistema inteligente basado en luminarias LED, los mismos que se adaptan a los campos de la arquitectura, mobiliario, diseño y hasta lo industria textil (TWENERGY, 2019).

1.1.2.2 Reflectores de alta potencia

Los reflectores de alta potencia son los utilizados para la iluminación de empresas, edificios, industrias y muchos lugares más, como se puede divisar en la Figura 2-1, el reflector es un gran ejemplo de este tipo de luminaria LED.



Figura 2-1: Reflector LED

Fuente: (DEBIASE, 2021a)

1.1.3 Beneficios de los reflectores LED

Un reflector LED ofrece más de 30,000 horas de trabajo. Son diseñados para el 60% del consumo eléctrico, como no es el caso de los bombillos incandescentes, halógenos y fluorescentes. Requieren de mínimo mantenimiento y capaces de repeler insectos (MUNDO LED, 2021).

Los beneficios que ofrece los reflectores LED están en: su alta potencia que tiende a brindar más de 40,000 horas de funcionamiento. Esto dependerá de la capacidad y potencia de cada modelo. La luz de estos dispositivos, aunque es una luz clara, no significa que carezca de fuerza e intensidad. Los reflectores LED ofrecen una luz limpia, sin que llegue a ser excesiva o molesta y la Capacidad Lumínica cuya emisión de luz permanece constante a través del tiempo (DEBIASE, 2020b).

1.1.4 Térmico utilizado en redes de luminarias

Para referirse a una red de iluminación se necesita saber algunos términos importantes, que facilitara la comprensión y la importancia al momento de una instalación.

1.1.4.1 Flujo luminoso

Las lámparas LED se caracterizan por tener un flujo luminoso producido, cuyo dato dado por el fabricante, El flujo luminoso se produce por un elemento lumínico, estas es la cantidad de luz emitida en un segundo, en cualquier dirección, su símbolo es la letra griega Φ y tiene al lumen (lm) como unidad. Estas lámparas pierden su potencia luminosa con el pasar del tiempo “envejecen”. Se denomina vida de utilización o tiempo de duración útil de una lámpara, al transcurso de tiempo cuando la lampara empieza a perder hasta el 80% del flujo luminoso inicial (IKASTAROAK, 2020).

1.1.4.2 Luminancia

Es una relación que sucede entre la superficie aparente y la intensidad luminosa, observado por el ojo humano en una dirección determinada. Su simbología utiliza la letra L y la unidad de medida es la candela /metro cuadrado (cd/m²) (IKASTAROAK, 2020).

1.1.4.3 Reflectancia

Es un fenómeno en donde un espectro de la luz se está siendo reflejado por la superficie de un objeto. La cantidad de reflejo depende del material que este compuesto el objeto, porque algunos elementos absorben una cierta cantidad de rango luminoso del espectro mientras reflejan otro objeto (ILUMINET, 2018).

1.1.4.4 Depreciación del flujo luminoso

La depreciación del flujo luminoso de la lámpara toma en cuenta la reducción progresiva y gradual del flujo luminoso de la lámpara por el deterioro y envejecimiento de los componentes que la forman, es inherente al tipo de lámpara y balasto utilizado y lo establece el fabricante, sobre la base del desempeño de la lámpara desde que inicia su operación a través del tiempo a lo largo de su vida. Este efecto de depreciación se recupera con el reemplazo de las lámparas. Las lámparas de descarga presentan una depreciación del flujo luminoso acentuado durante las primeras 100 horas de vida que puede llegar a ser del 10%. El flujo luminoso publicado por el fabricante es el valor medio después de esas primeras horas de encendido. A partir de dicho tiempo la disminución es mucho más gradual durante el resto de la vida de la lámpara (MOCKEY, y otros, 2013).

1.1.4.5 Eficacia

Otra característica importante de las eléctricas se denomina rendimiento luminoso, que no es nada más que relación del flujo total que se producido en la lámpara (lúmenes), con la potencia eléctrica que consume (vatios). Quedando como expresión el lumen/vatio. Esta magnitud es la más importante al momento de seleccionar un sistema de iluminación, debido a que mayor sea la productividad de la lámpara, el consumo de energía eléctrica se reducirá (IKASTAROAK, 2020). En la tabla 1-1, se da a conocer algunas magnitudes calculadas para desarrollar una red de iluminación.

Tabla 1-1: Cuadro de resumen de las principales magnitudes

Magnitud	Símbolo	Unidad	Relaciones
Flujo luminoso	Φ	lumen	$\Phi = I * w$
Intensidad luminosa	I	candela	$I = \frac{\Phi}{W}$
Iluminancia	E	lux	$E = \frac{\Phi}{S}$
Luminancia	L	Candela /metro cuadrado	$L = \frac{I}{S} * \cos a$
Rendimiento luminoso	ε	Lumen/watio	$E = \frac{\varepsilon}{P}$

Fuente: (IKASTAROAK, 2020)

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

- **w:** ángulo sólido
- **S:** superficie
- **P:** potencia
- **α :** ángulo de la radiación luminosa

1.1.4.6 Consumo eléctrico

Este viene dado por (CHIARI, 2021):

- **Vatio (W):** El vatio es como mayormente se especifica la potencia consumida por un aparato electrónico. Se trata de una unidad que viene indicada en todos los dispositivos que se conectan a la red eléctrica, y por descontado debéis fijaros en ella cuando vayáis a comprar cualquier electrodoméstico o bombilla led.
- **Voltio (V):** El voltio es la unidad empleada para medir la tensión eléctrica del suministro, y por lo general es de 230V en España. En otros países es de 120V. Se trata de una referencia muy importante, pues si conectáis en una red de 230V un dispositivo de 120 V se estropeará.
- **Consumo eléctrico (KW/h):** El kilovatio/hora es la unidad con la que se mide la potencia consumida por un dispositivo a lo largo de una hora de funcionamiento. Se muestra en volúmenes de 1000 W.

1.2 Redes de luminaria inteligente

La iluminación inteligente ofrece más que solo iluminación: la combinación de tecnología LED y sistemas de control de iluminación inteligente ha reducido significativamente el uso de energía al tiempo que reduce los gastos operativos y aborda los requisitos cada vez más estrictos del código de construcción (PICCIRILLO, 2018).

En la figura 3-1, se puede observar como la tecnología de una red de iluminaria inteligente puede ser aplicada en la Industria, las redes son creadas a partir de una instalación de controles inteligentes para el alumbrado urbano como parques, plazas, calles, avenidas y dependiendo del

ámbito industrial en cual serán utilizadas, ayuda a las fábricas y ayuntamientos a tener un bajo consumo de eléctrico. Basados en el informe de Navigant Research da a explicar que, a pesar de las virtudes de los controles inteligentes, estos son pocos utilizados. Según este informe, se muestra que se podrá lograr mayores ahorros en el consumo energético, brinda una gran información sobre la posibilidad de usar este tipo de redes para aplicaciones de tengan un gran beneficio para las ciudades (B-LED, 2017).



Figura 3-1: Implementación de un sistema de red inteligente

Fuente: (PICCIRILLO, 2018)

1.2.1 Tipos de arquitectura y protocolo de red

Para realizar una red inteligente de luminarias led, se debe especificar la arquitectura de diseño, pero lo fundamental es dar relevancia al modo de comunicación inalámbrica por la cual será diseñada, permitiendo una viabilidad, factibilidad y reduciendo costos en el momento de implementación.

1.2.2 Arquitectura

Entre los tipos de arquitectura con la cual se puede implementar un sistema inteligente de luminarias LED, podemos decir que son: Inalámbrica, Alámbrica o Híbrida. En un sistema de iluminación inalámbrico, los dispositivos de control son capaces de comunicarse por medio del aire simplemente con la utilización de ondas de radio frecuencia sin tener la necesidad de usar cableado eléctrico, puesto que las extensiones de la red cableada para otorgar cobertura en áreas difíciles son costosas, generalmente este tipo de redes se los está desarrollando utilizando protocolos de red de comunicación inalámbricas que nos ahorran costos y tiempos de ejecución, donde se podrá utilizar Microcontroladores que cumplan los requerimientos necesarios para realizar este tipo de red (ILUMINET, 2018).

Existen factores que influyen para la toma de decisión del diseño y construcción del sistema, hay que tomar en cuenta que los factores que se deben ser considerados para una óptima par

construcción del sistema es: saber el estado de cómo se encuentra el edificio ya sea nueva obra, existente o en construcción, que tan confiable es el sistema aunque se puede decir que la tecnología inalámbrica ya tiene su tiempo de recorrido, por lo que en algunas situaciones la única solución más confiable sigue siendo el cableado, la flexibilidad permite agregar hardware en el momento que se lo requiera y por último el presupuesto del proyecto (ILUMINET, 2018).

1.2.3 Protocolo del controlador de la red

Las redes inalámbricas son redes que utilizan ondas de radio frecuencia para conectar los dispositivos, sin la necesidad de utilizar cables de ningún tipo. La infraestructura inalámbrica puede ser construida a muy bajo costo en comparación con las alternativas cableadas tradicionales. Pero el ahorro de dinero justifica muy parcialmente la construcción de redes inalámbricas. Si a la gente de una comunidad local se le proporciona un acceso más barato y fácil a la información, se beneficiarán directamente de lo que Internet tiene para ofrecer (SALAZAR, 2018).

En la Figura 4-1 se visualiza los protocolos de comunicación inalámbricas con los cuales se encuentran para trabajar hasta la actualidad.

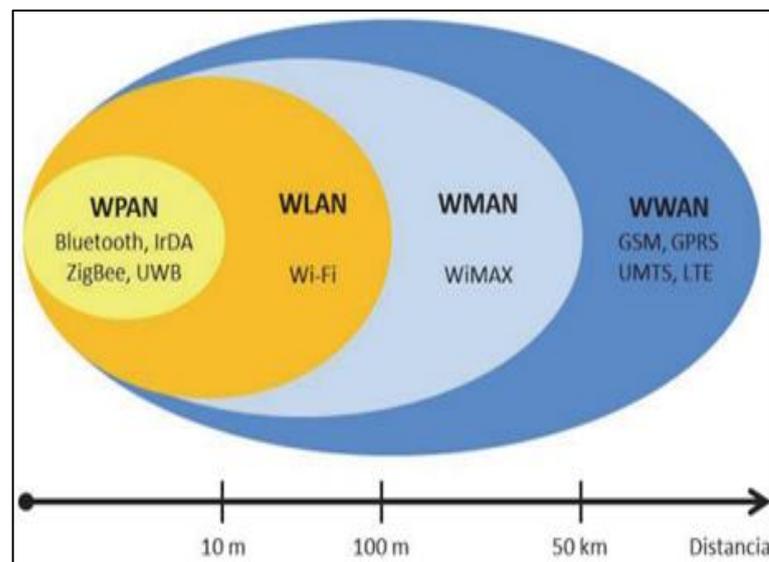


Figura 4-1: Clasificación de las redes inalámbricas

Fuente: (SALAZAR, 2018)

Según trabajos desarrollados la mayoría de las implementaciones de sistemas de iluminación inteligentes se lo realiza mediante los siguientes protocolos:

1.2.3.1 ZigBee

Diseñado para ser un protocolo de comunicación de red de malla inalámbrica de baja potencia y con una baja velocidad en la transferencia de datos, es una forma de comunicación simple y de

bajo costo comparados con otros protocolos de comunicación de red inalámbrica como es el Wi-Fi o Bluetooth (ILUMINET, 2018).

1.2.3.2 Bluetooth Low Energy (BLE)

Entre sus principales características y ventajas incluyen la confianza del consumidor, contiene un ecosistema ampliamente establecido y además de contar con una gran variedad de suministro de múltiples proveedores. Se considera que es un protocolo estándar, BLE no es abierto, puesto que hay que obtener licencia del Grupo de Interés Especial de Bluetooth (ILUMINET, 2018).

1.2.3.3 EnOcean

Estándar que utiliza la recolección de energía para la alimentación de sensores e interruptores que pueden operar sin la utilización de baterías o una alguna fuente de energía por medio de cable. Considerada un protocolo estándar, no es abierto, ya que se debe adquirir la licencia de EnOcean (ILUMINET, 2018).

1.2.3.4 Wi-Fi

Por la arquitectura y su funcionalidad, este protocolo es el más utilizado para realizar proyectos basados redes de sistemas inteligentes, proporciona una capacidad de ancho de banda mucho mayor que ZigBee, Bluetooth y EnOcean, pero su costo es más elevado y con un consumo de energía un poco más alto (ILUMINET, 2018).

El estándar Wi-Fi IEEE 802.11g opera en la banda de 2,4 GHz y es capaz de alcanzar una velocidad de transferencia máxima de 54 Mbps. La norma Wi-Fi 802.11n trabaja tanto en la banda de 2,4 GHz como en la de 5 GHz, y consigue alcanzar una velocidad de transferencia máxima de 72 Mbps utilizando un único enlace y hasta 600 Mbps cuando usa cuatro flujos de datos simultáneamente, una frecuencia más alta permite alcanzar mayores velocidades de transferencia, pero hay otros factores que también condicionan el rendimiento de una tecnología inalámbrica, como el número de flujos de datos que es capaz de administrar de forma simultánea (LÓPEZ, 2020).

En la tabla 2-1, se da a conocer las ventajas y desventajas de las redes inalámbricas más utilizadas generalmente en la actualidad.

Tabla 2-1: Comunicación inalámbrica

Redes Inalámbricas	Ventajas	Desventajas
ZigBee	Estructura de red flexible. Batería de muy larga duración. Bajo consumo de energía. Es fácil de instalar. Admite una gran cantidad de nodos, es decir, 6500 nodos aproximadamente. Tiene un costo muy bajo. Es más confiable y autocurativo.	Es muy arriesgado utilizarlo para información privada oficial. Tasa de transmisión baja. Reemplazarlo con aparatos compatibles con Zigbee puede ser costoso. No tiene muchos dispositivos finales disponibles. No es seguro como el sistema seguro basado en Wi-Fi.
Bluetooth Low Energy (BLE)	Simplicidad Baja potencia Compatibilidad Radio robusta Operación en tiempo real	Velocidad. 25 Mb Alcance: 100m Seguridad: menor se puede adquirir fácilmente la información Compatibilidad: existe diversos problemas de compatibilidad con otras versiones de bluetooth
EnOcean	Posibilidad de introducir repetidores Soporta también operaciones de configuración y mantenimiento vía radio. Protocolo sencillo Sensores puedan trabajar sin activar la recepción radio constantemente Rango de cobertura está especificado en 300 metros en condiciones ideales	Transmitir pequeñas cantidades de datos Ausencia de estándar internacional
Wi-Fi	Conveniencia, permiten que varios usuarios se conecten a través de la misma red. Movilidad, con Wifi podrás realizar tus trabajos habituales desde cualquier lugar que desees especialmente con los dispositivos móviles Productividad, el personal de una empresa puede realizar sus tareas asignadas con una red Wifi Implementación, relativamente fácil. Capacidad de expansión, Agregar nuevos usuarios a una red Wifi es una tarea fácil. Costo, ofrecen ventajas significativas en términos de costo y mano de obra.	Seguridad, vulnerable a la piratería Alcance, El alcance que ofrece una red Wifi es limitado Velocidad mucho más lenta que una conexión por cable Fiabilidad, obstaculizada debido a las ondas electromagnéticas Ancho de banda conectar 30 dispositivos como máximo

Fuente: (ILUMINET, 2018), (LÓPEZ, 2020)

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

1.2.4 Latencia de comunicación

La latencia es aquella que se mide en ping que representa el tiempo en milisegundos de demora en transmitir paquetes de información a través de la red. Esta tardanza de milisegundos depende de factores importantes que son: la tecnología que usamos para acceder a Internet y la fibra óptica, presenta una menor latencia que ADSL. También influyen las distancias en los cuales se encuentran los puntos que están en comunicación y los obstáculos que entre ellos se puedan presentar. Se puede decir que un ordenador con mucha potencia presenta menor latencia que un smartphone (DISETE, 2019).

1.3 Microcontrolador (MCU)

Los microcontroladores en la actualidad cumplen funciones específicas debido a su arquitectura y protocolos de comunicación de red inalámbrica que poseen, para el desarrollo autónomos de las industrias o para realizar plataformas (IoT) o también denominado el internet de las cosas cuya plataforma permite: Conectar a un *hardware* sensores y dispositivos. Maneja diferentes protocolos de comunicación entre *software* y *hardware*, proporcionando seguridad y autenticación para los distintos dispositivos y usuarios, además de recopila, visualiza y analiza datos que los sensores o dispositivos recopilan y los integra (NEWS AMERICA DIGITAL, 2020).

Los microcontroladores se encuentran dentro de una infinita cantidad de dispositivos. Los microcontroladores son una muy buena solución en el mundo de la electrónica puesto que contiene una arquitectura eficaz para soportar una gran variedad de conectividad (DESCUBRE ARDUINO, 2021).

El propósito fundamental de los microcontroladores es el de leer y ejecutar los programas que el usuario le escribe, es por esto por lo que la programación es una actividad básica e indispensable cuando se diseñan circuitos y sistemas que los incluyan. El carácter programable de los microcontroladores simplifica el diseño de circuitos electrónicos. Permiten modularidad y flexibilidad, ya que un mismo circuito se puede utilizar para que realice diferentes funciones con solo cambiar el programa del microcontrolador (ELECTRÓNICA ESTUDIO, 2019).

Un microcontrolador está constituido en su interior por las tres principales unidades funcionales de una computadora, las cuales son: Microprocesador, periféricos (unidades de entrada/salida), memoria (MARMOLEJO, 2017). En la figura 5-1, se observa el esquema general de un microcontrolador, constituido por todos sus elementos internos más representativos y a su vez la comunicación que existe entre ellas mediante los buses de direccionamiento y buses de datos.

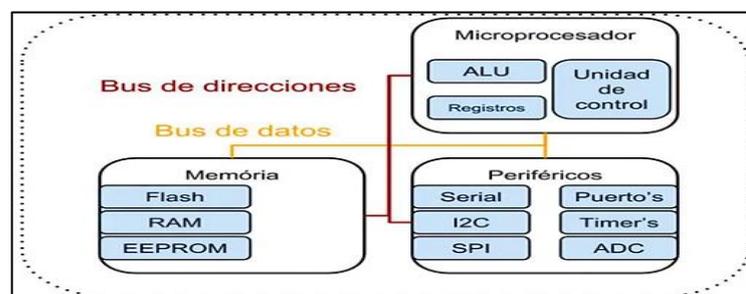


Figura 5-1: Esquema general de un microcontrolador

Fuente: (MARMOLEJO, 2017)

El propósito fundamental de los microcontroladores es el de leer y ejecutar los programas que el usuario le escribe, es por esto por lo que la programación es una actividad básica e indispensable cuando se diseñan circuitos y sistemas que los incluyan. El carácter programable de los

microcontroladores simplifica el diseño de circuitos electrónicos. Permiten modularidad y flexibilidad, ya que un mismo circuito se puede utilizar para que realice diferentes funciones con solo cambiar el programa del microcontrolador (ELECTRÓNICA ESTUDIO, 2019).

1.3.1 Selección de un microcontrolador

Las interfaces de comunicación, es el primordial paso que el diseñador debe tener en cuenta para la evaluación de un microcontrolador. Esta evaluación adecuada de los periféricos, puertos de E/S permiten tener una mejor rendimiento y administración de las señales que producen los sensores externos utilizados, no solo influyen en gran proporción en los aspectos de la programación, sino también en aspectos de hardware que se relaciona directamente con el número de terminales requeridos (DESCUBRE ARDUINO, 2021).

La selección del microcontrolador es una tarea sumamente dificultosa, debido que se tiene en cuenta factores técnicos relativos al hardware y al software, su confiabilidad y presupuesto.

Para poder realizar una elección adecuada, la Tabla 3-1, que se refiere a las características de los Microcontroladores, será de gran ayuda puesto que permitirá obtener un microcontrolador que se adecua al proyecto a realizar, esta comparación es entre tres microcontroladores que tienen condiciones similares de funcionamiento y los cuales son: ESP32, Arduino Uno y Raspberry Pi 4.

Tabla 3-1: Características principales de microcontroladores

Características MCU	ESP32	Arduino	Raspberry Pi 4
Cpu	Xtensa Dual-Core 32-bit LX6 con 600 DMIPS	AVR Atmega	Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz
Wi-fi	802,11 b/g/n (2,4 Ghz)	NO	2.4 GHz y 5.0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac wireless LAN
Canales GPIO	2 a 34	22	40
Bluetooth	Si	No	Si
Canales dac	2	No	No
Canales adc	2 a 18	8	8
Interfaces	SPI/I2C/UART/I2S/CAN	UART/ SPI/ I2C	SPI/I2C/UART
Sram	520 kB (8 Kb de SRAM en RTC)	2KB (Atmega328)	No
Protocolos de red	Ipv4, Ipv6, SSL, TCP/HTTP/FTP/MQTT	No	Gigabit Ethernet
Interfaz periférica	UART/SDIO/SPI/I2C/I2S /IR/GPIO/ADC/DAC/Touch/PWM/LED	UART/SPI/I2C/PWM/ADC	UART/I2C/SPI/PWM/ADC
Canales PWM	2 a 18	6	8
Rango de temperatura de funcionamiento	-40°C ~ +85°C	-55°C ~ +125°C	0°C ~ +50°C
Tensión de funcionamiento	2.5V ~ 3.6V	5 V	3.3V ~ 5V
Entorno de desarrollo	MicroPython, Arduino IDE, ESP-IDF	Arduino IDE, C++, AVR	Ubuntu, Raspbian o Pidora, IOT Core
Costo	13,00\$ a 106,59\$	9,00\$ a 40,00\$	75,00\$ a 180,00\$

Fuente: (DESCUBRE ARDUINO, 2021)

Realizado por: Sañay Byron, 2022.

El Microcontrolador que cumple con las características necesarias para realizar el proyecto es el ESP32, el mismo cuya funcionalidad y mejor arquitectura lo que permitirá satisfacer las necesidades requeridas en el proyecto, además de su bajo costo proporcionará la viabilidad y factibilidad de poder implementarlo sin ningún tipo de problema.

1.3.2 Selección de microcontrolador ESP32

La tabla 4-1, permite conocer las características más relevantes que tienen los microcontroladores ESP 32, a su vez un panorama más concreto de lo que se necesita para poder desarrollar el proyecto, conociendo las necesidades, formas de comunicación, su costo, el cual es la parte fundamental de implementación y desarrollo.

Tabla 4-1: Características principales de módulos ESP32

Características ESP32	WROOM 32	PIKO KIT	KORVO	LYRAT	WROVER KIT VB	DEV KITC
CPU	Dual core Tensilica Xtensa LX6 (32 bit)	Dual core Tensilica Xtensa LX6 (32 bit)	Dual core Tensilica Xtensa LX6 (32 bit)	Dual core Tensilica Xtensa LX6 (32 bit)	Dual core Tensilica Xtensa LX6 (32 bit)	Dual core Tensilica Xtensa LX6 (32 bit)
Interfases	UART/SPI/I2C/PWM	UART, SPI, I2C, I2S, PWM	USB-UART, JTAG, USB, Camera, UART, SPI, MicroSD	USB-UART, I2S, USB, Camera, UART, SPI, MicroSD	I/O, JTAG, USB, Camera, UART, SPI, MicroSD	WPA2-PSK, WPS, I2C, SPI/PWM/CAN 2.0
Canales ADC	18	18	4 de audio, 3 de micrófono	2	16	18
Canales DAC	2	2	NO	2	2	2
Canales GPIO	24	34	NO	17	30	34
Memoria Flash	448 Kb	SPI de 4 MB	16 Mb	SPI -32 Mb	4 MB	SPI-4 Mb
SRAM	512 kB	4 MB	8 Mb	32 Mb	8 Mb	8 Mb
Canales PWM	10	18	NO	2	16	16
Wi-Fi	802.11b/g/n/e/i	802.11	802.11 a/b/g/n	802.11b / g / n, Classic BT y BLE	802.11 a/b/g/n	802.11 a/b/g/n
Bluetooth	Bluetooth 4.2 control dual	Bluetooth V4.2 BR/EDR	Smart Ready 4.x	Smart Ready 4.x	Smart 4.x Low Energy (BLE)	Smart 4.2, BR/EDR, Low Energy (BLE)
Regulador de voltaje (LDO)	2,5 V – 3V	5V a 3,3V	NO	NO	5V a 3,3V	0 V a 3,3 V
Regulador de potencia	No	No	3.3 V a 5V	3.3 V a 5V	No	No
Aplicación	Proyectos (IOT) Servidor web Transmisión de video, cámara con reconocimiento y detección de rostros	Proyectos de bajo nivel basados en aplicaciones y escenarios de potencia.	Proyectos de audio, reconocimiento de voz con bajo consumo de energía, pantallas inteligentes	Parlantes de audio, Wi-Fi o BT, controladores remotos basados en voz Electrodomésticos inteligentes	Redes de sensores de baja potencia, codificación de voz, transmisión de música y decodificación de MP3	Hub genérico de baja potencia, registradores de datos IoT y red de malla, aplicaciones móviles, dispositivos electrónicos portátiles
Costo	14 ,00\$	30,00 \$	106,59 \$	19,74 \$	40,00 \$	13,00 \$

Fuente: (DOCS-ESPRESSIF, 2016b)

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

1.3.3 Especificaciones del módulo ESP32 WROOM

El microcontrolador ESP32 WROOM, cumple las condiciones que se requieren para poder desarrollar e implementar el proyecto investigativo.

Se logra destacar que es una placa de desarrollo con un módulo de uso general con flash SPI de 4 MB. Esta placa integra funciones completas de Wi-Fi y Bluetooth LE. La mayoría de los terminales de E/S están divididos en los encabezados de los terminales en ambos lados para facilitar la interconexión. Los desarrolladores pueden conectar periféricos con cables de puente o montar ESP32-C3-DevKitC-02 en una placa de pruebas (DOCS-ESPRESSIF, 2021a).

En la Figura 6-1, se representa la arquitectura del módulo ESP32 con todos sus componentes los cuales se detallarán en los siguientes ítems.

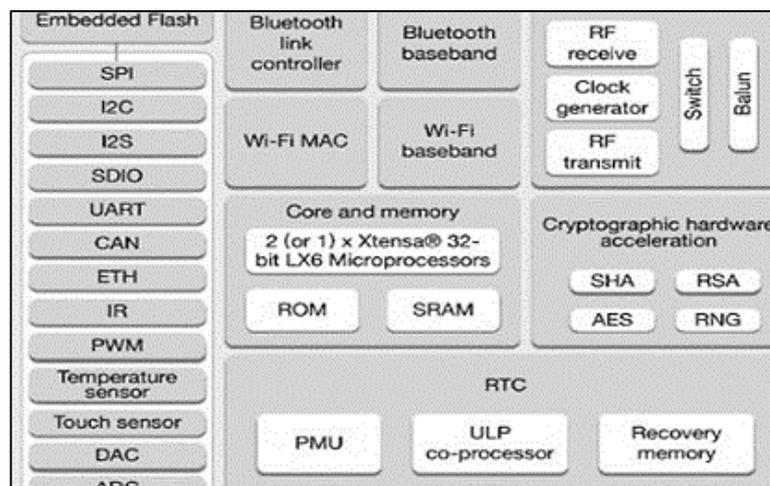


Figura 6-1: Arquitectura de un módulo ESP32

Fuente: (ESPRESSIF, 2019)

1.3.3.1 Procesadores

El ESP32 monta uno o dos microprocesadores Tensilica Xtensa 32-bit LX6, dependiendo del modelo, tiene una frecuencia de reloj de 240MHz y un rendimiento efectivo de 600 DMIPS. Incorporado por un procesador ULP (Ultra Low Power) tiene la capacidad de trabajar cuando la CPU entra en el modo deep-sleep de ahorro de energía. Ejecuta conversiones ADC, operaciones computacionales y verificar el estado de los terminales con un consumo minúsculo. Este procesador ULP en conjunto con la memoria RTC permanecen encendidas durante el modo Deep-sleep. Siendo utilizada para diseños de aplicaciones donde la CPU necesita despertarse por un evento o interrupción, manteniéndose en un consumo mínimo durante el resto del tiempo (ESPRESSIF, 2019).

1.3.3.2 Memoria

Este módulo en su arquitectura contiene las siguientes memorias (ESPRESSIF, 2019):

- Memoria ROM de 448 KiB, para funciones de núcleo y boot.
- Memoria SRAM de 520 KiB, para datos e instrucciones.
- Memoria RTC fast SRAM de 8 KiB, para almacenamiento de datos. Puede ser usada por el núcleo principal durante el boot desde el modo deep-sleep.
- Memoria RTC slow SRAM de 8KiB, para que el coprocesador acceda durante el modo deep-sleep.
- Memoria flash embebida, que, dependiendo del modelo, tiene un tamaño de 0 a 4MiB.
- Con la facilidad de acoplar una memoria flash externa de hasta 16MiB, o una SRAM de hasta 8MiB, dependiendo del modelo adquirido.

1.3.3.3 Conectividad

El SoC ESP32 posee soporte para tecnologías Wi-Fi y Bluetooth, soportando tecnologías estándar Wifi 802.11 b/g/n. (802.11n a 2.4 GHz hasta 150 Mbit/s) en su versión Wi-Fi, por otro lado, la versión de Bluetooth soportada es la v4.2 BR/EDR y dispone además de BLE (ESPRESSIF, 2019).

1.3.3.4 Timers

El SoC dispone de cuatro temporizadores de propósito general embebidos de 64 bits, basados en prescalers de 16 bits (de 2 a 65536), teniendo Timers son configurables en cuenta ascendente o descendente y pueden ser generados como interrupción por nivel o por flanco (ESPRESSIF, 2019).

1.3.3.5 Watchdog

Este módulo cuenta con tres Watchdog Timers, uno en cada núcleo, llamados Main Watchdog Timer (MWDT) y otro en el RTC, llamado RTC Watchdog Timer (RWDT), que están destinados a recuperar al dispositivo ante un fallo imprevisto, pudiendo desencadenar distintas acciones como el reinicio de la CPU, del núcleo o del sistema. Se puede programar un temporizador diferente para cada tipo de reinicio. Solo el RWDT puede ejecutar el reinicio del sistema y del propio RTC (Real Time Clock) (ESPRESSIF, 2019).

1.3.3.6 Relojes del sistema

Este dispositivo cuenta con diferentes tipos de relojes del sistema. En primer lugar, el reloj de la CPU, cuya fuente de reloj es por defecto un reloj de cristal externo de 40MHz que se conecta a un PLL para generar una frecuencia de 160Mhz, también cuenta con un oscilador interno de

8MHz, dependiendo de la aplicación se puede elegir que reloj utilizar en el sistema. En segundo lugar, un reloj de tiempo real (RTC), cuya fuente puede ser un reloj de un oscilador RC interno de 150KHz, de un oscilador interno de 8MHz, o del cristal externo al dispositivo (ESPRESSIF, 2019).

1.3.3.7 Radiofrecuencia

EL módulo ESP32 consta con los siguientes bloques de radiofrecuencia: Un receptor de 2.4 GHz que demodula la señal de radiofrecuencia y la convierte al dominio digital por medio de dos ADCs de alta resolución. Para adaptarse a las diferentes condiciones de la señal, el chip monta filtros de RF, control automático de ganancia, cancelación de continua y filtros de banda base integrados. Un transmisor de 2.4Ghz que modula la señal en banda base a señal de RF a 2.4Ghz, que posteriormente sale por la antena gracias a un amplificador de potencia basado en CMOS. Incluye calibraciones integradas que permiten cancelar las imperfecciones de ruido. Un generador de reloj que produce una señal en cuadratura de 2.4Ghz para transmisión y recepción de Wi-Fi con todos los componentes integrados y calibración automática (ESPRESSIF, 2019).

1.3.3.8 Periféricos y sensores

Este módulo cuenta diferentes periféricos y sensores los cuales se menciona a continuación (ESPRESSIF, 2019):

Terminales de propósito general que son 32 GIOP a los que se le pueden asignar distintas funciones mediante la programación de los registros apropiados además el dispositivo cuenta con distintos tipos: digitales, digitales y analógicos, y con función *touch*. La mayoría de los terminales GIOP se pueden configurar como pull-up, pull-down, o alta impedancia. Además, cuenta con sus 16 conversores analógico-digital (ADC) de 12-bit SAR, los cuales pueden soportan hasta 18 canales de entrada analógica, siendo capaz de funcionar cuando el dispositivo entra en modo de ahorro de energía, gracias al coprocesador de bajo consumo. También posee dos conversores digital- analógico (DAC) de 8 bits que permite convertir dos señales digitales en analógicas.

En la tabla 5-1, se proporciona el nombre y la función de los encabezados de los terminales en el lado uno de la placa.

Tabla 5-1: Cuadro de resumen de las principales magnitudes

No.	Nombre	Función
1	3V3	3,3V
2	EN	EN, Reset
3	SP	GIOP36, ADC0
4	SN	GIOP 39, ADC3
5	G34	GIOP34, ADC6
6	G35	GIOP35, ADC7
7	G32	GIOP32, ADC4, TOUCH9
8	G33	GIOP33, ADC5, TOUCH8
9	G25	GIOP25, ADC18, DAC1
10	G26	GIOP26, ADC19, DAC2
11	G27	GIOP27, ADC17, TOUCH7
12	G14	GIOP14, ADC16, TOUCH6
13	G12	GIOP12, ADC15, TOUCH5
14	GND	GND
15	G13	GIOP13, ADC14, TOUCH4
16	SD2	GIOP9, FLASH D2, RX1
17	SD3	GIOP10, FLASH D3TX1
18	CMD	CMD
19	5V	Vin 5V

Fuente: (ESPRESSIF, 2019)

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

La Tabla 6-1, describe cada uno de los nombres y la funcionalidad de los encabezados de los terminales del lado 2 de la placa.

Tabla 6-1: Nombres y funciones de terminales del lado dos del ESP32

No.	Nombre	Función
38	GND	GND
37	G23	GIOP23, VSPI MOSI
36	G22	GIOP22, I2C SCL
35	TX0	GIOP1, TX0
34	RX0	GIOP3, RX0
33	G21	GIOP21, I2C SDA
32	GND	GND
31	G19	GIOP19, VSPI MSO
30	G18	GIOP18, VSPI SCK
29	G5	GIOP5, VSPI SS
28	G17	GIOP17, TX2
27	G16	GIOP16, RX2
26	G4	GIOP4, ADC10, TOUCH0
25	G0	GIOP0, ADC11, TOUCH1
24	G2	GIOP2, ADC12, TOUCH2
23	G15	GIOP1, ADC 13, TOUCH 3
22	SD1	GIOP8, FLASH D1
21	SD0	GIOP7, FLSH D0
20	CLK	GIOP6, FLASH CK

Fuente: (ESPRESSIF, 2019)

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

Este dispositivo cuenta con una serie de sensores internos como un sensor de temperatura, un sensor de efecto Hall, que permite detectar si existe campo magnético cerca del dispositivo, o sensores tipo touch existentes en algunos terminales que pueden detectar variaciones al acercarse o tocar el pin con el dedo o con un objeto, pero además de un controlador SD/SDIO/MMC que soporta traspaso de datos desde dispositivos externos de hasta 80Mhz con diferentes buses: de

1bit, de 4bits y de 8bits. Para la comunicación da datos serie el dispositivo cuenta con tres interfaces UART que proporcionan comunicación asíncrona de hasta 5Mbps (ESPRESSIF, 2019).

Con todo lo mencionado en la Figura 7-1, describe las posiciones de los terminales y funcionalidad que cumplen.

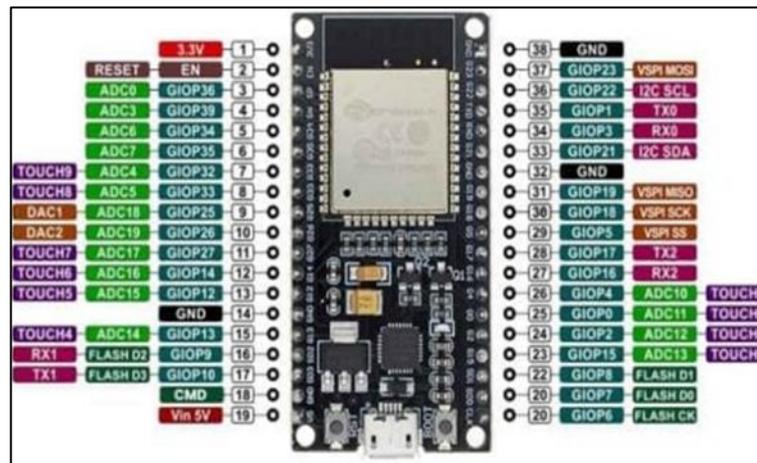


Figura 7-1: Disposición de los terminales de ESP32 WROOM

Fuente: (ESPRESSIF, 2019)

1.4 Entornos de desarrollo

Existen varios entornos y lenguajes de programación con los que se puede tratar el ESP32, Espressif Systems, ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework) y el que se ha utilizado en este proyecto la aplicación Arduino IDE (Arduino Integrated Development Enviroment). Además, existen distintos entornos como Duktape (que corre motores de JavaScript), MicroPython IDE, o LUA-NodeMCU, PlatformIO (ESP-PRODUCT-SELECTOR, 2021a).

En la tabla comparativa 7-1, da a conocer los entornos de desarrollo en los cuales el microcontrolador ESP32 puede trabajar, las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

Tabla 7-1: Ventajas y desventajas de los entornos de desarrollo ESP32 WROOM

ESP32 WROOM	Ventajas	Desventajas
MicroPhyton	<p>Compatible con el propio chip ESP32</p> <p>Se instala una sola vez, y para acceder al código de y hacer modificaciones sólo se acceso a un sistema de archivos.</p> <p>Se pueden agregar tantas librerías o scripts como uno desee. El número sólo está limitado por la memoria flash del dispositivo</p>	<p>No existe mucha información de programación, debido a la complejidad de instalación.</p>
Arduino IDE	<p>El archivo de programa se compila a lenguaje máquina, lo que lo hace más eficiente.</p> <p>IDE determina el puerto empleado por la placa.</p> <p>Existes mucha más información de desarrollos y ejemplos de aplicaciones.</p> <p>Consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI). Además, en el caso de Arduino incorpora las herramientas para cargar el programa ya compilado en la memoria flash del <i>hardware</i>.</p> <p>Se puede utilizar el 90% de las bibliotecas.</p>	<p>Descargar e instalar el entorno gráfico de GIT (repositorio organizado de código en desarrollo que contiene copias de programas que los programadores voluntarios van creando y depurando)</p> <p>El proceso de compilado y enlace del programa se hace cada que se cambia el código, así como el proceso de flasheado.</p> <p>La compilación del programa puede demorar más entre más librerías se incluyan.</p>
ESP-IDF	<p>Plataforma de desarrollo oficial de espressif para los módulos ESP32</p> <p>ESP-IDF que esencialmente contiene API para ESP32 y scripts para operar la cadena de herramientas.</p>	<p>Instalación en un sistema operativo Linux para Windows se requiere crear una máquina virtual</p> <p>Programación más compleja.</p> <p>No existen mucha información sobre programación, ni proyectos realizados.</p> <p>Necesita de ECLIPSE IDE para tener un mejor entorno de programación.</p>

Fuente: (ESPRESSIF, 2019), (PDA CONTROL, 2017), (PROMETEC, 2019), (WORDPRESS, 2017), (CODEGEEK, 2020), (330 OHMS, 2020)

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

Mediante el análisis de la tabla, Arduino IDE es el seleccionado para el entorno de trabajo con el MCU ESP32, puesto que se encuentra mucha más información y proyectos realizados en la web.

1.4.1 *Arduino IDE*

Una de las primordiales ventajas de Arduino es su facilidad de uso tanto en su interfaz como en la programación y la gran comunidad que tiene detrás por lo que se puedes encontrar mucha ayuda, consejos a la hora de estar trabajando con diferentes dispositivos. Junto con ESP-IDF son los dos entornos, más utilizados para el desarrollo de aplicaciones con el ESP32. Al igual que el entorno de Espressif, Arduino IDE también utiliza C/C++. De tal manera, las funciones que se aplican en ESP- IDF, son compatibles con Arduino, ya que fue Espressif quien desarrolló Arduino Core para trabajar con el ESP32, de forma que se pueda obtener todo el partido y potencial al dispositivo (HERRANZ, 2019 págs. 37-38).

Una vez trabajando en el entorno de programación como se lo indica en la figura 8-1, se puede configurar tanto el puerto, como la frecuencia, la velocidad del monitor serie (en el que vemos lo que nos está devolviendo el ESP32 o cualquier otro dispositivo que se esté utilizando), entre otros aspectos.

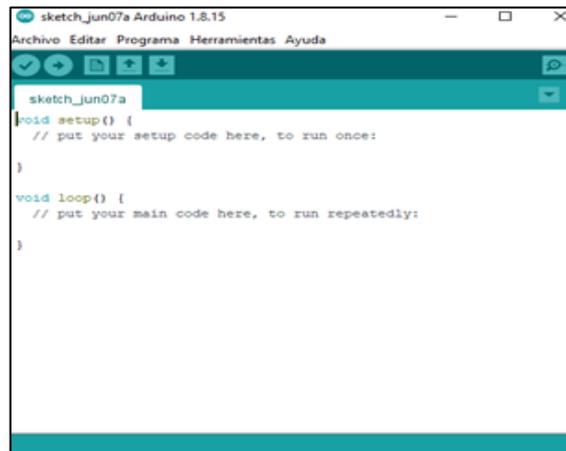


Figura 8-1: Entorno Arduino

Fuente: Sagnay Byron, 2022.

Tiene una interfaz muy sencilla con pocos botones, destinados a compilar, subir, abrir o guardar los proyectos, debajo de la ventana de programación, se observa un espacio en el que saldrán los errores o si se ha tenido éxito a la hora de cargar el programa. Además, se pueden encontrar muchas librerías a mano que se puede utilizar en los proyectos. No hay grandes diferencias entre programar con Arduino IDE o ESP-IDF. Este segundo, está enfocado para los productos de Espressif, por lo que aquello que se desarrolle solo podrá ser utilizado en productos de Espressif Systems. En cambio, desarrollando el programa con Arduino IDE, si se deseara cambiar de microcontrolador, por necesidades de proyecto o cualquier problema que surgiera, el código podría ser utilizado sin mayores problemas. Por ello y por el previo conocimiento de este entorno de programación se ha decidido por desarrollar la aplicación con Arduino (LLINARES, 2020).

1.5 Electrónica de potencia

El estudio de controlar el flujo de energía eléctrica con la ayuda de circuitos electrónicos se define como Electrónica de Potencia, este tema es la fusión del campo de los sistemas de energía eléctrica y los dispositivos electrónicos de estado sólido. Es la disciplina que involucra el estudio, análisis y diseño de circuitos que convierten la energía eléctrica de una forma a otra (DADEMUCH CONNECTION, 2019).

Los convertidores electrónicos de potencia se pueden encontrar siempre que sea necesario modificar la forma de la energía eléctrica (es decir, modificar su voltaje, corriente o frecuencia). Con la electrónica "clásica", las corrientes eléctricas y el voltaje se utilizan para transportar

información, mientras que, con la electrónica de potencia, llevar el poder. Algunos ejemplos de usos de los sistemas electrónicos de potencia son los convertidores CC / CC que se utilizan en muchos dispositivos móviles, como teléfonos móviles o PDA, y los convertidores CA / CC en computadoras y televisores. La electrónica de potencia a gran escala se utiliza para controlar cientos de megavatios de flujo de energía en toda nuestra nación (NC STATE UNIVERSITY, 2020).

1.5.1 Circuitos integrados de administración de energía

Los circuitos integrados de administración de energía se utilizan para administrar el flujo de energía preciso en dispositivos portátiles y de mano, como amplificadores de potencia de teléfonos celulares y pantallas LED, CPU, DRAM, gráficos, E/S de alta velocidad y USB. Además, se monitorea el bajo voltaje u otras condiciones de falla para evitar daños al sistema. La función de arranque suave reduce la tensión en los componentes de la fuente de alimentación y aumenta la confiabilidad del producto. La implementación se realiza normalmente mediante circuitos integrados analógicos, pero existe una fuerte tendencia a avanzar hacia la implementación de señales digitales o mixtas (NC STATE UNIVERSITY, 2020).

1.5.2 Dispositivos semiconductores de potencia

Los dispositivos semiconductores de potencia introducidos hasta la fecha son el transistor de unión bipolar (BJT), el transistor de efecto de campo de óxido metálico (MOSFET), el interruptor de apagado de la puerta (GTO), el tiristor controlado por MOS (MCT) y los dispositivos híbridos como la puerta aislada. transistor de unión bipolar (IGBT) (LORENZO, 2020).

1.5.3 Tipos de circuitos electrónicos de potencia

Principalmente, existen cuatro tipos de circuitos electrónicos de potencia y cada uno cumple un propósito específico.

1.5.3.1 Convertidores de CA a CC

El voltaje de CA de entrada se convierte en voltaje de CC en los niveles requeridos. Tradicionalmente se utiliza un puente rectificador de diodos para estas aplicaciones. Pero esta configuración da como resultados corrientes que tienen altos valores pico y alto contenido de armónicos. Los convertidores de refuerzo se utilizan comúnmente para extraer corrientes que están en fase con el voltaje de CA (NC STATE UNIVERSITY, 2020).

1.5.3.2 Convertidores de CC a CC

La entrada de energía de CC, ya sea no regulada o regulada, se convierte en energía de CC regulada en la salida. Sin convertidores electrónicos de potencia, es muy difícil generar potencia de CC variable. Con la disponibilidad de diferentes configuraciones de convertidores de CC a CC, la potencia de CC en los niveles deseados se ha vuelto indispensable. Los convertidores Buck, boost y buck-boost son tres convertidores básicos que pueden reducir, intensificar y proporcionar ambos niveles, respectivamente (NC STATE UNIVERSITY, 2020).

1.5.3.3 Convertidores de CC a CA

La alimentación de CC de entrada de las baterías se invierte para proporcionar alimentación de CA. Esta alimentación de CA se utiliza para controlar motores de CA con precisión y eficiencia. Una combinación de convertidores de CA a CC y CC a CA se utiliza en la transmisión de alta potencia donde dos redes diferentes están conectadas sin preocuparse por la sincronización (NC STATE UNIVERSITY, 2020).

1.5.3.4 Convertidores de CA a CA

La entrada de CA que tiene una magnitud y frecuencia variables se procesa para proporcionar una salida de CA que tiene tanto magnitud como frecuencias reguladas. La generación de energía eólica es una aplicación popular de este tipo de convertidores. La salida del aerogenerador varía tanto en magnitud como en frecuencia dependiendo de la velocidad del viento. Para conectar esta energía a la red o una carga, el voltaje y la frecuencia necesitan regulación. Esta funcionalidad la proporcionan los convertidores de CA a CA (NC STATE UNIVERSITY, 2020).

1.5.4 Rectificadores monofásicos

Por lo general los convertidores CA/CC tienen distintas topologías en función de sus señales de voltaje en sus entradas y salidas, de tal manera si existe una tensión alterna de entrada la cual posee una frecuencia y valor eficaz constante, y se desea llegar a una tensión continua de salida constante, se debe recurrir a rectificadores estáticos no controlados, pero si se obtenemos una salida la cual posee un valor eficaz que varía en el tiempo, o a la cual se le debe asignar diferentes valores, el rectificador debe poseer algún tipo de control. De tal manera, se dirá que los rectificadores se clasifican en no controlados y controlados, las mismas que presentan estructuras básicas de rectificación las cuales son de media onda y onda completa para ambos rectificadores (MAÑANA CANTELI, 2013).

1.5.4.1 Rectificadores controlados de media onda

Es un rectificador semi-controlado, teniendo como principal elemento un transistor, el mismo que transmite un control de conducción sencillo (MAÑANA CANTELI, 2013).

1.5.4.2 Rectificadores controlados de onda completa

Uno de los métodos más adecuados para controlar la salida de un rectificador de onda completa consiste en implementar tiristores de control, de esta manera el valor de continua de la salida será ajustable de acuerdo se vaya variando el ángulo de encendido. Los tiristores que conducen energía en el semiciclo positivo de la tensión de entrada, se activaran a partir de que se aplique una señal de control a sus terminales de puerta, esto sucede también con los tiristores que conducen en el semiciclo negativo de la tensión de entrada, a partir del momento en que se aplique una señal de control a sus terminales de puerta estos empezaran a conducir (MAÑANA CANTELI, 2013).

1.5.4.3 Rectificadores no controlados de media onda

El diseño más sencillo de este tipo de rectificador es utilizando un único diodo, en donde se obtiene una tensión de entrada es sinusoidal de frecuencia y valor eficaz constantes. El comportamiento del diodo es de un corto circuito cuando tiene una intensidad positiva en el sentido ánodo a cátodo (MAÑANA CANTELI, 2013).

1.5.4.4 Rectificadores no controlados de onda completa

Conformado por cuatro diodos, donde su etapa de rectificación elimina la componente AC, dando como resultado una señal constante, si el voltaje es positivo y mayor que el voltaje en directa estos empiezan a conducir. Si el diodo esta polarizado en inversa no conduce, generando dos caminos en nuestro puente rectificador donde la primera mitad del periodo es positiva y la segunda es negativa.

En el circuito de la figura 9-1, se puede visualizar que el diodo D1 conduce durante el semiciclo positivo de la tensión V1, mientras que el diodo D2 lo hace durante el semiciclo negativo.

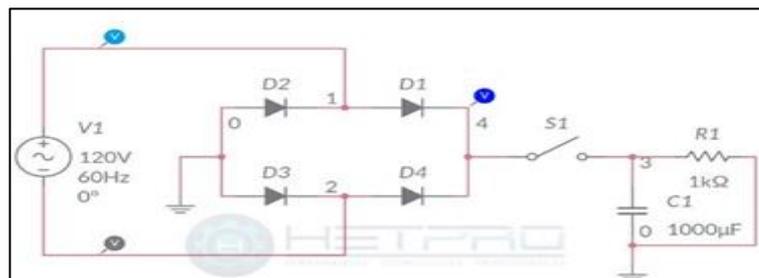


Figura 9-1: Esquema eléctrico de un rectificador de onda completa

Fuente: (TORRES, 2018)

En la figura 10-1 se observa las respuestas del sistema, donde existe una onda constante en un solo ciclo, dando como resultado una señal rectificada.

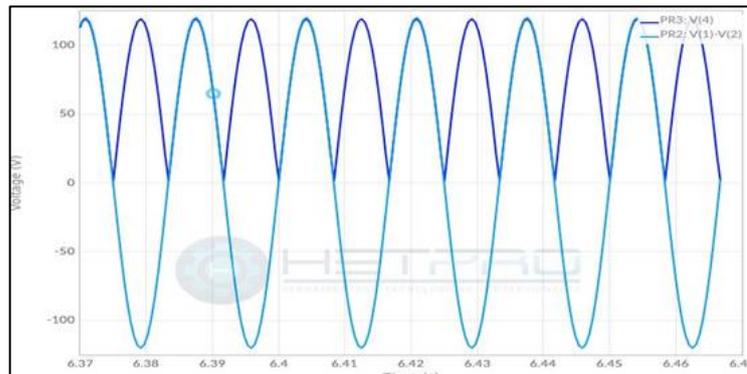


Figura 10-1: Formas de onda de entrada y salida del convertidor

Fuente: (TORRES, 2018)

1.5.5 Cruce por cero

El cruce por cero señala cuando la señal de la onda cambia de polaridad. Siendo utilizados en circuitos que son necesarios para obtener una señal de referencia para un control por ángulo, como en el caso de los controladores AC o en circuitos rectificadores controlados. Se conoce de tres diferentes circuitos básicos, los cuales utilizan específicamente resistencias, diodos y optoacopladores para su diseño (LAITON, 2018).

1.5.5.1 Detector de cruce por cero de media onda simple

Como su nombre mismo lo menciona es usado en rectificadores en circuitos controladores AC o rectificadores controlados de media onda, cuya principal funcionalidad es tener un diodo en antiparalelo el cual protege la entrada del opto acoplador cuando existe una señal negativa (LAITON, 2018).

1.5.5.2 Detector de cruce por cero de media onda con salida complementaria

Utilizados en rectificadores controlados o en controladores AC de onda completa y cuyo dispositivo de potencia son los SCR, no utilizan diodos extras puesto que los opto acopladores están conectados en antiparalelos que se protegen entre ellos mismo (LAITON, 2018).

1.5.5.3 Cruce por cero de onda completa

Su funcionalidad son en controladores AC de onda completa donde se utilizan dispositivos de potencia utilizada son los TRIACs, donde el puente de diodo además de proteger al optoacoplador es de rectificar la señal AC (LAITON, 2018).

En la figura 11-1 se observa el diseño del detector de cruce por cero, utilizando un opto TRIAC donde se permite observar su señal tanto en la entrada como en la salida.

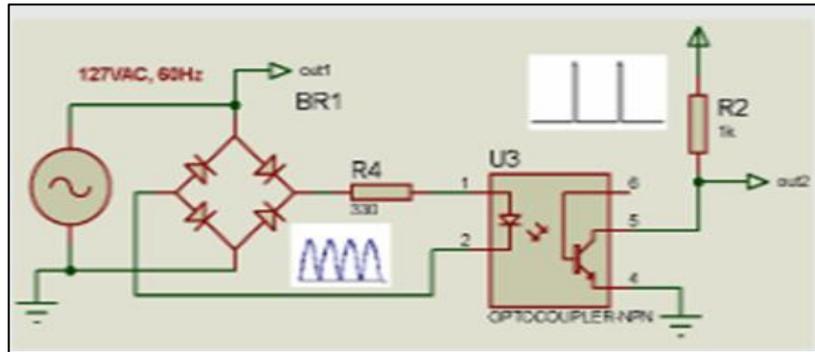


Figura 11-1: Detector de cruce por cero de onda completa no controlado

Fuente: (MAÑANA CANTELI, 2013)

1.5.6 Modulación por ancho de pulso

Es una técnica de control utilizada en el convertidor de electrónica de potencia para regular la energía suministrada desde la fuente de energía a la carga. El ciclo de trabajo es la variable de salida de PWM que transporta información y codifica la función de control del convertidor.

En muchas aplicaciones donde se debe suministrar energía constante a la carga y el voltaje de salida es constante, como el convertidor de potencia en modo conmutado, se requiere una señal PWM de frecuencia fija de ciclo de trabajo constante para el control (SANTRA, 2018).

Esta generación de señales PWM se puede realizar en un dominio analógico o en un dominio digital. En el dominio analógico, los circuitos de amplificador operacional se utilizan ampliamente para generar PWM a partir de señales portadoras y moduladoras. Pero debido al envejecimiento de los componentes, la variación de temperatura y el nuevo diseño de hardware para una ligera variación, se restringe el uso del dominio analógico para generar señales PWM (SANTRA, 2018).

Mientras que, en el control digital, la generación de señales PWM es bastante fácil y el programa de escritura puede cambiar el patrón de la señal de control de manera efectiva por ende la aplicación de microcontroladores y procesadores de señales digitales (DSP) está aumentando tanto en el control del convertidor de la electrónica de potencia como en la protección del sistema de potencia (SANTRA, 2018).

Los esquemas de modulación de ancho de pulso digital se clasifican en dos categorías amplias, es decir, convertidor CC-CC PWM e inversor PWM. En el ciclo de trabajo fijo de frecuencia fija del convertidor de CC a CC, PWM se usa principalmente para configuraciones de bucle abierto. Suelen ser aplicaciones de 20 kHz a 100 kHz. Pero este rango de frecuencia no está limitado como

con el avance de la tecnología de semiconductores de potencia como SiC, GaN, la frecuencia puede aumentar más allá de 100 kHz para lograr una operación de alta densidad de potencia (SANTRA, 2018).

En la modulación de ancho de pulso Pulse Width Modulation (PWM), los pulsos son de amplitud constante, pero varían su duración (ancho del pulso / ciclo de vida útil) proporcionalmente a los valores de $f(t)$ (la información) en los instantes de muestreo. La modulación de ancho de pulso PWM, a veces también se nombra modulación de duración de pulso y se denota como PDM (TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO, 2021).

En la Figura 12-1, se puede observar cómo es la forma de onda en la señal positiva, para el caso de señales negativas (< 0) el PWM no tiene respuesta, pero el problema se soluciona aplicando una componente de DC lo que provoca que únicamente se representen valores positivos de la señal (TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO, 2021), un claro ejemplo de aplicación es la variación de intensidad lumínica de un componente resistivo, en este caso una luminaria led.

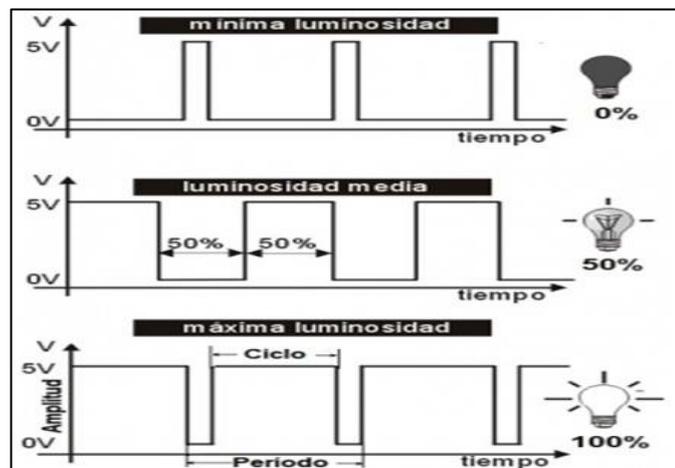


Figura 12-1: PWM para el control de intensidad

Fuente: (SHOPTRONICA, 2021)

1.5.7 Controlador PWM sincronizado con Arduino

El MCU ESP32 tiene un controlador LED PWM con 16 canales independientes, como se demuestra en la tabla 1-2, estos canales se los designa del 0 al 15 donde los GPIO nos dan salidas PWM, con Arduino IDE y las librerías que proporciona se podrá realizar esta modulación de ancho de pulso digital.

La programación en el microcontrolador permite salidas digitales, que se derivan del estudio de electrónica de potencia, donde se puede realizar esta modulación analógicamente.

1.6 Sistema SCADA

La interfaz gráfica de proyectos electrónicos se los puede realizar mediante un sistema SCADA, el mismo que permite un control hombre máquina de todos los elementos del cual consta el proyecto.

1.6.1 Definición

Los sistemas de Supervisory Control And Data Acquisition o Control con Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA), cuentan con una estructura básica que parte de sus controladores lógicos programables (PLC) o unidades de terminal remotas (RTU), es decir, de microordenadores que se comunican con múltiples objetos, ya sean máquinas, dispositivos, sensores o HMI. Estos microordenadores PLC, RTU y MCU después de comunicar envían la información desde estos objetos a los ordenadores con el software SCADA (VETERTRAINING, 2019). La figura 13-1, muestra la representación estructurada de un sistema SCADA.

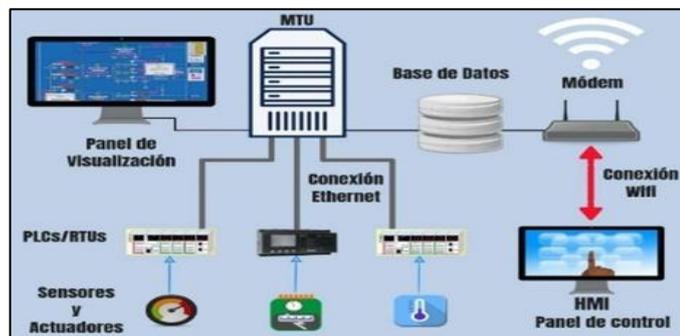


Figura 13-1: Representación del sistema SCADA

Fuente: (AULA 21, 2021)

1.6.2 Descripción general de un SCADA

Todos los sistemas, de mayor o menor complejidad, orientados a lo anteriormente dicho, aparecen bajo uno de los nombres más habituales para definir esta relación: Interfase hombre-máquina (MMI, por su sigla en inglés). Y Interfase humano-máquina (HMI, por su sigla en inglés) (RODRÍGUEZ PENIN, 2013).

1.6.3 Arquitectura general de un sistema SCADA

Las primeras incursiones informáticas en el campo de la automatización localizaban todo el control en el PC y tendían progresivamente a la distribución del control en planta. De esta manera, el sistema queda dividido en tres bloques principales: Software de adquisición de datos y control (SCADA), Sistemas de adquisición y mando (sensores y actuadores) y Sistema de interconexión (comunicaciones) (RODRÍGUEZ PENIN, 2013).

El usuario, mediante herramientas de visualización y control, tiene acceso al Sistema de Control de Proceso, generalmente un ordenador donde reside la aplicación de control y supervisión (se trata de un sistema servidor). La comunicación entre estos dos sistemas se suele realizar a través de redes de comunicaciones corporativas (Ethernet). El Sistema de Proceso capta el estado del Sistema a través de los elementos sensores e informa al usuario a través de las herramientas HMI (RODRÍGUEZ PENIN, 2013).

Basándose en los comandos ejecutados por el usuario, el sistema de proceso inicia las acciones pertinentes para mantener el control del sistema a través de los elementos actuadores. La transmisión de los datos entre el sistema de proceso y los elementos de campo (sensores y actuadores) se lleva a cabo mediante los denominados buses de campo. La tendencia actual es englobar los sistemas de comunicación en una base común, como Ethernet Industrial. Mediante el software de adquisición de datos y control, el mundo de las máquinas se integra directamente en la red empresarial (RODRÍGUEZ PENIN, 2013).

1.6.4 Arquitectura del hardware

Un sistema SCADA a escala conceptual, está dividido en dos grandes bloques: Captadores de datos: recopilan los datos de los elementos de control del sistema (por ejemplo, Automatas, reguladores, registradores) y los procesan para su utilización. Son los Servidores del sistema, utilizadores de datos: los que utilizan la información recogida por los anteriores, como pueden ser las herramientas de análisis de datos o los operadores del sistema (Clientes) y mediante los clientes, los datos residentes en los servidores pueden evaluarse, permitiendo realizar las acciones oportunas para mantener las condiciones nominales del sistema (RODRÍGUEZ PENIN, 2013).

Como se observa en la figura 14-1 los Buses de Campo, los controladores de proceso (generalmente autómatas programables o sistemas de regulación) envían la información a los servidores de datos (Data Servers), los cuales, a su vez, intercambian la información con niveles superiores del sistema automatizado a través de redes de comunicaciones de área local y están formados por los siguientes elementos básicos: interfase hombre-máquina, unidad central unidad remota y sistema de comunicaciones (RODRÍGUEZ PENIN, 2013).

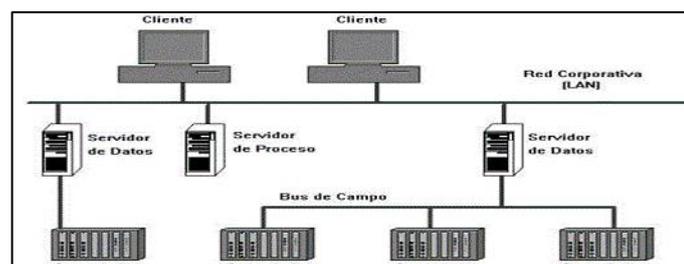


Figura 14-1: Arquitectura básica del *hardware* de un sistema SCADA

Fuente: (RODRÍGUEZ PENIN, 2013)

1.6.4.1 Interfase hombre-máquina (HMI-MMI)

Comprende los sinópticos de control y los sistemas de presentación gráfica. La función de un panel sinóptico es la de representar, de forma simplificada, el sistema bajo control (un sistema de aprovisionamiento de agua, una red de distribución eléctrica, una factoría) (RODRÍGUEZ PENIN, 2013).

1.6.4.2 Unidad central (MTU, Master Terminal Unit)

Centraliza el mando del sistema. Se hace uso extensivo de protocolos abiertos, lo cual permite la interoperabilidad de multiplataformas y multisistemas, es posible intercambiar información en tiempo real entre centros de control y subestaciones situadas en cualquier lugar. En el centro de control se realiza, principalmente, la tarea de recopilación y archivado de datos. Toda esta información que se genera en el proceso productivo se pone a disposición de los diversos usuarios que puedan requerirla (RODRÍGUEZ PENIN, 2013).

1.6.4.3 Unidad remota (RTU, Remote Terminal Unit)

Por Unidad o Estación Remota, podemos entender aquel conjunto de elementos dedicados a labores de control y/o supervisión de un sistema, alejados del Centro de control y comunicados con éste mediante algún canal de comunicación. Dentro de esta clasificación podemos encontrar varios elementos más o menos diferenciados: RTU (Remote Terminal Unit): especializados en comunicación., MCU (Microcontroladores Programables): tareas generales de control, IED (Intelligent Electronic Device): tareas específicas de control (RODRÍGUEZ PENIN, 2013).

Las Unidades remotas se encargaban, en un principio, de recopilar los datos de los elementos de campo (Autómatas reguladores) y transmitirlos hacia la Unidad Central, a la vez que enviar los comandos de control a éstos. Serían los denominados procesadores de comunicaciones. Suelen estar basadas en ordenadores especiales que controlan directamente el proceso mediante tarjetas convertidoras adecuadas o que se comunican con los elementos de control (PLC, Reguladores) mediante los protocolos de comunicación adecuados (RODRÍGUEZ PENIN, 2013).

1.6.4.4 Microcontrolador programable (MCU)

Dado que el uso industrial hizo que los sistemas PLC fueran muy costosos, tanto para su compra como la reparación de estos, agregando además las habilidades altamente específicas solicitadas a los diseñadores de software para extraer el máximo potencial de los controladores. Esto ha dado paso a buscar nuevas tecnologías más económicas que puedan sustituir los usos del PLC, un microcontrolador o PIC, es una buena idea para automatizar algunos procesos dentro de la industria y aunque pudiera parecer atractivo una alternativa al uso de PLC con el uso de un

microcontrolador es importante conocer las limitantes que implica el uso de microcontroladores (INTELLIGY, 2018).

Los sistemas SCADA se representan gráficamente En un software que permita realizar una interfaz gráfica del procedimiento a realizarse, la mayoría de las representaciones de estos sistemas se lo realiza en la plataforma de desarrollo embebido LabVIEW, el mismo que costa con librerías específicas capaces de realizar dicho procedimiento.

1.7 LabVIEW

La plataforma de diseño embebido de NI la unión de un gran conjunto software, hardware que están óptimamente integrados, personalizado y una gran variedad de usuarios en IP. El diseño de sistemas de comunicación inalámbrica, LabVIEW Communications, permite desarrollar e implementar sistemas inalámbricos para múltiples dispositivos de hardware, como procesadores de uso general, SOs NI Linux Real-Time y FPGAs en el mismo entorno (INTEREMPRESAS, 2020).

Los equipos de generación de prototipos y diseño inalámbrico pueden reducir el tiempo para validar algoritmos inalámbricos con señales por aire (OTA) usando un enfoque unificado de programación gráfica y la habilidad de llamar directamente a código creado con el software The MathWorks, Inc. MATLAB e importar código VHDL personalizado. Los usuarios de LabVIEW con una membresía activa del Programa de Servicio Estándar (SSP) son elegibles para actualizar a la última versión (INTEREMPRESAS, 2020).

En la Figura 15-1, se observa cómo es el entorno de trabajo de LabVIEW para realiza los VI's que son los programas desarrollados en este lenguaje, estos instrumentos virtuales contienen una interfaz de usuario interactiva llamada Front Panel (panel frontal), ya que simula un panel de instrumentos real, con botones, perillas, gráficas y muchos otros tipos de controles e indicadores, además de recibir la información del Block Diagram (Diagrama de bloques). Estos diagramas equivalen al código en cualquier otro lenguaje de programación (JIMÉNEZ, 2018).

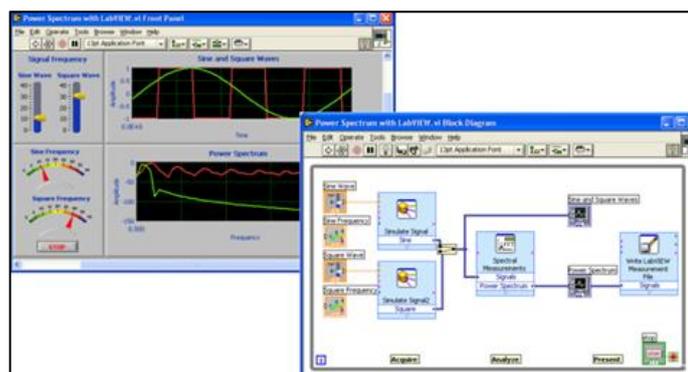


Figura 15-1: Entorno LabVIEW

Fuente: (JIMÉNEZ, 2018)

Los VI's usan una estructura jerárquica y modular. Esto quiere decir que se pueden usar como programa de primer nivel o guardarse para posteriormente ser utilizados como subrutinas, enviando información de un VI a otro (JIMÉNEZ, 2018).

1.8 Data Dashboard

Permite crear vistas portátiles personalizadas de las aplicaciones de NI LabVIEW. Con esta aplicación, puede crear tableros para mostrar los valores de las variables compartidas publicadas en la red y los servicios Web de LabVIEW implementados en indicadores, como gráficos, medidores, cuadros de texto y LED (KNOWLEDGE, 2021). Como muestra la figura 16-1, el modo de trabajo de esta aplicación.

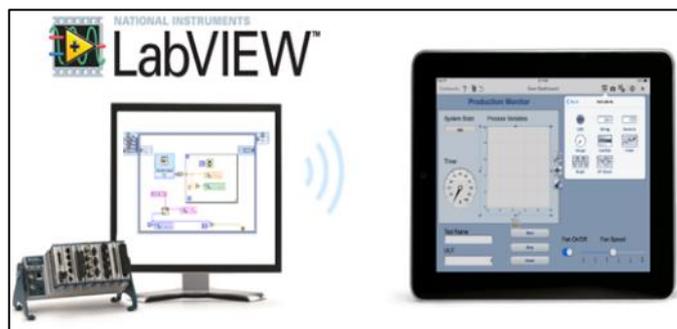


Figura 16-1: Data Dashboard

Fuente: (FORUMS NATIONAL INSTRUMENTS, 2017)

La aplicación Data Dashboard para LabVIEW le permite crear un tablero personalizado que puede controlar y monitorear remotamente la ejecución de aplicaciones NI LabVIEW. Esto se hace mediante la implementación de redes NI Shared Variables, LabVIEW Web Services o NI Technical Data Cloud con objetos visuales como gráficos, medidores y conmutadores, entre muchos otros controles e indicadores disponibles (FORMID APP, 2015).

Controle y monitorea de forma remota las aplicaciones de LabVIEW, su diseño personalizado de forma libre y temas de color para objetos de tablero, la habilidad para compartir tableros y bloquearlos, accede y reconoce datos almacenados en NI Technical Data Cloud, se puede realizar múltiples tableros con múltiples páginas, posee nuevos controles e indicadores (es decir, cuadro de lista, gráfico xy, conmutador, control deslizante, menú desplegable). Los requisitos de para crear variables compartidas de NI es tener la aplicación NI LabVIEW instalado con el driver NXG (FORMID APP, 2015).

CAPÍTULO II

2. PROPUESTA Y DISEÑO DEL PROTOTIPO

Este capítulo presenta el diseño del prototipo del sistema inteligente de iluminación (A-LED), el mismo que se realiza mediante un proceso que tiene fuente y técnicas de observación, con una recolección minuciosa de datos que permite solucionar el problema planteado, la parte práctica está dirigida al desarrollo de una aplicación con la tarjeta de desarrollo ESP32 Dev KitC de Espressif.

Se desarrolla un dispositivo electrónico, que permita regular la potencia de un reflector led, el cual se lo podrá controlar la intensidad desde aplicación del móvil (celular). Se emplea un protocolo de comunicación Wi-Fi IEEE 802.11, para la comunicación entre el Módulo ESP 32 y el router, el cual enviara datos a un sistema SCADA diseñado, mostrando latencia de comunicación, cantidad de lúmenes emitidos y energía consumida, mismos datos serán almacenados en la nube (Google Drive), enviado mediante una hoja de trabajo de Excel.

2.1 Métodos de investigación

La metodología de la investigación utilizada para la implementación del prototipo del controlador que permita el control de potencia de la luminaria tipo led se describe en la tabla 1-2, que permite visualizar las etapas de desarrollo del proyecto desde la investigación hasta la culminación la cual será su evolución.

Tabla 1-2: Etapas de desarrollo del proyecto

Etapas	Características
Investigación	Recolección de información necesaria para el desarrollo del proyecto. Análisis de hardware y software. Estudio y análisis de proyectos relacionados con el microcontrolador.
Selección	Selección de microcontroladores Selección de elementos electrónicos para el controlador Selección de software para el microcontrolador Selección del software para el sistema SCADA
Diseño	Simulación del diseño del controlador. Diseño electrónico Diseño del algoritmo para cruce por cero, PWM y comunicación Wi-Fi Diseño sistema SCADA
Implementación	Construcción del controlador Montaje total del circuito electrónico para el funcionamiento.
Evaluación	Prueba de los algoritmos del sistema desarrollado. Medición de análisis y resultados.

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

2.1.1 Etapa de investigación

La presente investigación se enmarca en el desarrollo de un dispositivo tecnológico, se requiere de un estudio en la cual refleja la aplicación de métodos y técnicas de investigación de tipología

básica/aplicativa, este tipo de investigación se selecciona debido a sus ideas que se orientan en emplear y aplicar conocimientos obtenidos en transcurso de toda la investigación. Con la investigación aplicada se pretende obtener un resultado óptimo en el control de la luminaria además de establecer un software óptimo que pueda satisfacer las necesidades del proyecto para la implementación del prototipo.

2.1.2 Métodos empíricos

Es un modelo de investigación científica basado en la experiencia, que permite al investigador descubrir características y relaciones del fenómeno estudiado. Aplica la lógica empírica, que establece relaciones entre objetos y fenómenos a través de la observación (SIGNIFICADOS, 2020). Para este trabajo de titulación se aplican los siguientes métodos empíricos y se los detalla a continuación:

- **Experimentación:** Necesariamente útil para poder determinar las condiciones ideales para el funcionamiento adecuado del reflector LED, como corriente, voltaje y potencia. Además de aplicar prototipos de circuitos electrónicos, que permita realizar un control de potencia y luminosidad apropiada.
- **Observación:** Se emplea para poder validar el sistema en cada una de las fases concernientes al diseño e implementación del sistema.

2.1.3 Métodos teóricos

Están comprendidos toda una serie de procedimientos que posibilitan la asimilación teórica de la realidad y que se adecuan a las condiciones en que se va a desarrollar la investigación.

Permiten adquirir conocimientos nuevos mediante una serie de procedimientos que posibilitan la asimilación teórica de la realidad, posibilitando una interpretación conceptual de los datos empíricos, donde se crea teorías científicas mediante la clasificación, selección, análisis, síntesis, comparación, y la generalización que son los pilares fundamentales para recolección de datos que serán útiles para elaboración de la investigación. A continuación, se hablará de los métodos teóricos utilizados en el trabajo de titulación.

- **Revisión de documentación:** Se utiliza con la finalidad de adquirir la mayor información posible relacionada con proyectos similares a la de la investigación, dando ideas más claras de lo que se quiere desarrollar. Además, esta información está ligada directamente al progreso tecnológico de la electrónica, específicamente en tecnologías comunicación inalámbrica y tarjetas de desarrollo

- **Sistematización:** Necesaria para aplicar en la información adquirida, al esquema del sistema, control de luminosidad del reflector LED, la verificación de la comunicación inalámbrica de la red y la activación de sensores que permite la recolección de datos.
- **Análisis y síntesis:** Parte fundamental para un análisis de resultados de toda la información obtenida, permite obtener conclusiones y recomendaciones del trabajo desarrollado.

2.1.4 Etapa de diseño

En la etapa de diseño se ejecuta el método aplicativo y experimental, con el fin de diseñar un controlador electrónico, que permita realizar el control de luminosidad de los reflectores Led, además visualizar mediante una interfaz amigable hombre-máquina, proporcionando datos requeridos en el trabajo investigativo. Finalmente, mediante el método de evaluación se procede a evaluar la funcionalidad del dispositivo, de tal forma que se pueda conocer la eficiencia del sistema ya implementada en una red de iluminación. La figura 1-2, se puede observar el diseño de la red inteligente que se va a implementar, dando a conocer cada una de las partes de la cual va a estar compuesta el proyecto.

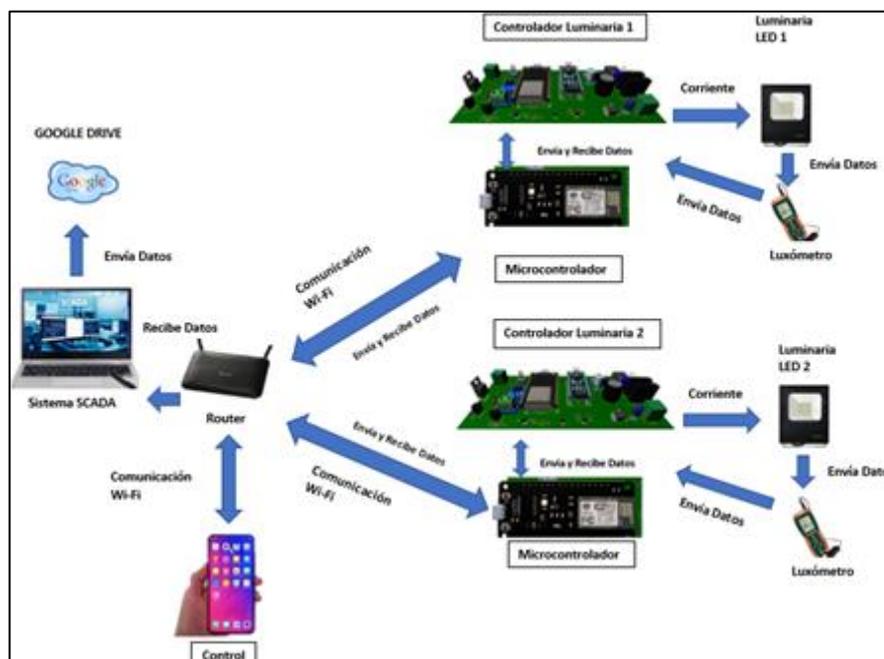


Figura 1-2: Diseño de la red inteligente

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

2.2 Operación general del sistema

El funcionamiento del sistema va a estar representado por diferentes diagramas de flujo, para la mejor comprensión del modo del trabajo del prototipo, cada uno de estos diagramas detalla la fase de alimentación del sistema, la fase de control de luminosidad del reflector y la forma de

recolección de datos mediante el sistema Scada y el control de intensidad mediante el móvil (Celular).

En la figura 2-2 mediante un diagrama de bloques se muestra la forma de alimentación del sistema, la cual consta de un transformador, el mismo que reducirá el voltaje de 110 V AC a 24 V AC, este voltaje pasara por dos puentes de diodos que rectificara la señal de un voltaje alterno a un voltaje continuo, la primera rectificación de señal DC, permitirá conectarse a una fuente de voltaje que alimentara a todo el circuito, dando una energía necesaria para la funcionalidad de cada uno de los componentes. La segunda rectificación del voltaje permitirá realizar un detector de cruce por cero, cuyos datos adquiridos son recogidos por el Arduino Nano para que este ejecute operaciones que permitirán la sincronización y el cálculo del ancho de pulso, además esta codificación permitirá que las señales emitidas puedan acoplarse con la frecuencia de la red que es de 60Hz.

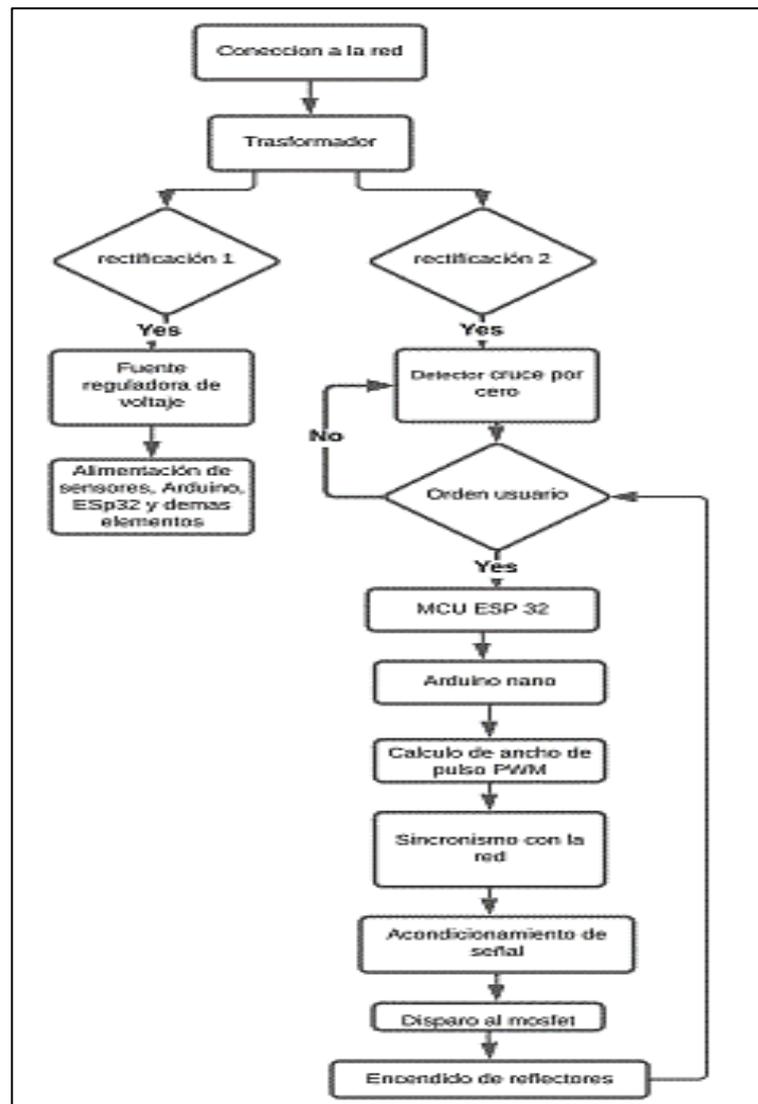


Figura 2-2: Diagrama de bloques del funcionamiento del circuito

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

El ESP32 será programado para poder conectarse a internet mediante una comunicación Wi-Fi, donde el router asignara un puerto IP a cada módulo, estos puertos serán utilizados para la conexión del sistema SCADA mediante una comunicación inalámbrica, emitirá órdenes al Arduino nano donde se dará a conocer la cantidad de luminosidad que se requiere, todo esto se representa en un diagrama de bloques en la figura 3-2 para un mejor entendimiento.

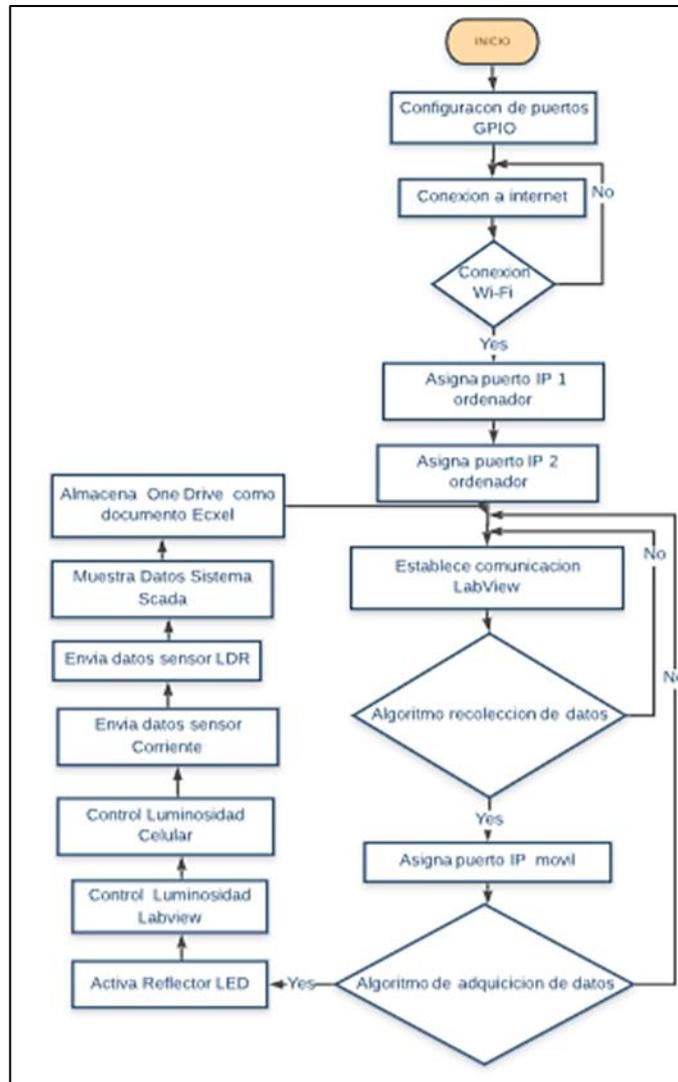


Figura 3-2: Operación general del sistema

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

Para el diseño de la aplicación móvil, se lo realizara en la aplicación Data Dashboard, que permite establecer una comunicación inalámbrica entre el sistema SCADA y el móvil. Esta comunicación es posible puesto que el sistema SCADA asigna un puerto IP a la aplicación donde se pueda acceder diferentes librerías realizadas en el sistema SCADA.

Al momento de ejecución del sistema SCADA se activa todo el dispositivo, empezando a emitir los datos requeridos por el sistema. Se activará la aplicación del móvil donde se podrá controlar la intensidad de los reflectores, el sensor de corriente, sensor LDR encargado de medir los luxes

emitidos por la luminaria y el detector de voltaje emitirán los datos para poder ser codificados y ser presentados en la pantalla HMI, así como también la Latencia de comunicación (ms), cantidad de lúmenes emitidos (Lux) y energía consumida (W).

Los resultados emitidos en nuestra pantalla HMI del sistema SCADA serán transferidos a una hoja Excel que será guardado automáticamente en la nube (Google Drive) como un archivo.

2.2.1 *Proceso de recolección de datos*

Para la obtención de datos se aplica operaciones de tipo matemático tanto para el PWM, la latencia, luxes y potencia consumida. Cabe recalcar que el control del PWM que se ejecuta es en función de una señal de voltaje y se lo obtendrá de uno de los terminales GIOP del MCU, manteniendo un voltaje constante que será transmitido hacia el driver de acondicionamiento de señal que permitirá realizar los disparos de activación hacia el mosfet y de esta manera poder alimentar a los reflectores LED.

Las ecuaciones matemáticas que se utiliza para determinar el ancho de pulso o PWM se lo hace en relación con la cantidad de voltaje que emite el ESP 32. La cantidad de lúmenes se obtendrá mediante mediciones con el luxómetro, el cual se obtendrá datos que serán representados en una gráfica para conseguir una ecuación, que mediante la ayuda de la sensibilidad del LDR permitirá obtener valores y serán presentados en la pantalla del HMI, y por último la energía consumida se obtiene mediante la relación entre la corriente y el voltaje. En la figura 4-2 se puede observar el diagrama de este proceso.

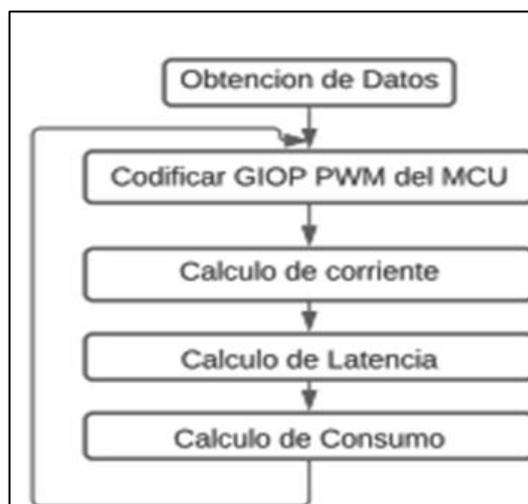


Figura 4-2: Proceso de recolección de datos

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

2.2.2 Proceso de transformación de datos

En el sistema SCADA tendrá que presentar los datos emitidos por los sensores en formas de bits, los cuales se transforman a números mediante codificación de bloques, que se lo realiza en el diseño del sistema SCADA. En la figura 5-2 se muestra un diagrama que contiene el proceso descrito.

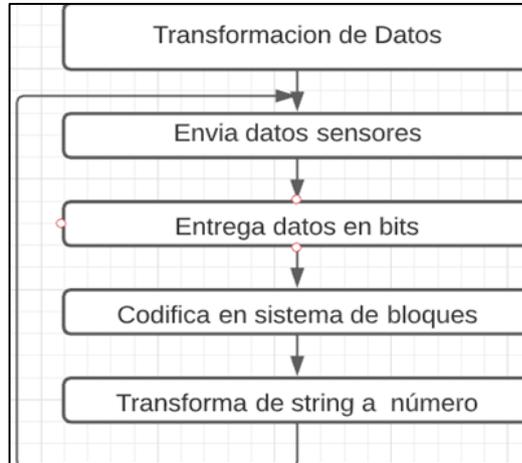


Figura 5-2: Proceso de transformación de datos

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

2.2.3 Proceso de control de luminosidad

El proceso de control se lo realiza una vez que los dispositivos se encuentren conectados a la red Wi-Fi. Mediante la codificación de los MCU, se logra asignar dos puertos de comunicación TCP/IP para los dos dispositivos, los mismos que se son utilizados en el entorno de programación del sistema SCADA, para poder realizar el control de luminosidad de forma inalámbrica, mediante el mismo procedimiento se efectúa la comunicación y el control en un dispositivo móvil (celular). En la figura 6-2 se puede observar el proceso de esta fase.

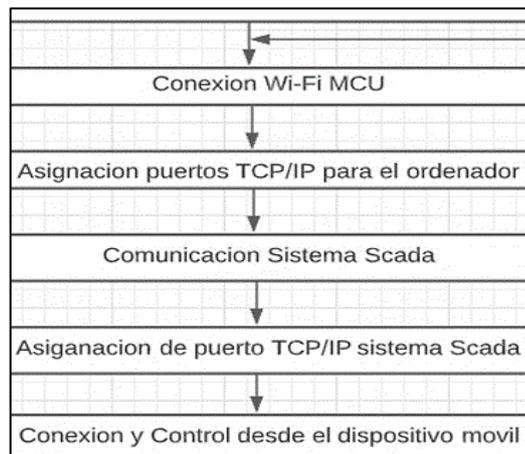


Figura 6-2: Proceso de control de luminosidad

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

2.3 Requerimientos del prototipo de red inteligente A-LED

Para realizar este punto, se procede a efectuar una investigación teórica, de la cual se pudo obtener una información puntual que permitió tomar decisiones del hardware y software que será utilizado para el diseño, desarrollo e implementación del prototipo tecnológico A-LED, dicha investigación se lo aprecia en el capítulo 1. En parte del documento se listarán los todos los elementos indispensables para la implementación de A-LED:

- Elegir una tarjeta de desarrollo que cumpla los requerimientos básicos del sistema.
- Encontrar una alternativa de fuente de alimentación, que permita la alimentación a la tarjeta de desarrollo.
- Implementar el prototipo tecnológico A-LED.
- Elección de una alternativa de sensor de corriente para obtención de datos.
- En contar una opción de Luxómetro, que permita obtener medición de lúmenes del reflector.
- Implementación de un reflector LED.
- Elegir del lenguaje de programación que permita realizar la conexión inalámbrica, permitiendo realizar el control PWM y permita realizar la recolección de datos mediante los sensores a utilizar.
- Seleccionar un entorno de programación de diseño para la etapa de visualización en el sistema SCADA, donde permita interactuar con una aplicación de Android desde un dispositivo móvil.
- Encontrar un entorno de programación donde se realice el diseño para la etapa de control mediante un dispositivo móvil.

2.4 Fase de selección de hardware y software

Se procede a realizar la selección de los elementos que van a ser implementados en el diseño del prototipo A-LED, además elegir el *software* que permitirá una conexión con el *hardware* mediante una comunicación inalámbrica lo cual es primordial para la elaboración.

2.4.1 Selección de hardware

Por medio del estudio realizado y analizado en el capítulo anterior, se define los elementos utilizados en el prototipo A-LED son los siguientes.

2.4.1.1 Transformador de 110 AC a 24 AC con tap central

Los transformadores denominados también transformadores de voltaje, son dispositivos pasivos que no agregan energía, utilizados para cambiar el voltaje que se fluirá en el circuito. Pueden ser

utilizados para intensificar o reducir el voltaje, trabajan solo con circuitos diseñados en corriente alterna (AC). El transformador cuenta con derivación de Tap central que permite obtener la mitad del voltaje para el cual fue diseñado, al tomar el cable central y uno de los dos cables de los extremos del transformador como se muestra en la figura 7-2. Pero si se desea obtener el voltaje total con el q fue diseñado el transformador, se toman los dos cables de los extremos al mismo tiempo (CARROD ELECTRÓNICA, 2014).



Figura 7-2: Transformador de 110 V a 24 V con tap central

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

En la tabla 2-2, se detalla características y valores que tiene el transformador que va a ser utilizado en la implementación del prototipo.

Tabla 2-2: Características técnicas principales del transformador

Característica	Valor
Entrada de voltaje	110V
Salida de voltaje	24V
Salida de voltaje con Tap central	12 V
Salida de corriente	1,2 A
Numero de cales	5
Modelo	TR24-1,2 A
Costo	\$ 10

Fuente: (CARROD ELECTRÓNICA, 2014)

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

2.4.1.2 Puente de diodos rectificador DB 104

Es un arreglo de componentes electrónicos, formado por 4 diodos conectados de forma específica, tienen la funcionalidad de transformar la corriente alterna en directa. Tiene una baja caída de tensión directa además de una alta capacidad de corriente (UNIT ELECTRONICS, 2014b). Este puente de diodo se lo puede apreciar en la figura 8-2.



Figura 8-2: Puente de diodos DB104

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

La tabla 3-2 permite conocer con detalles concretos las características y valores del puente de diodo DB104 además de su costo en el mercado.

Tabla 3-2: Características técnicas principales del puente de diodos DB104

Características	Valor
V _{rrm} máximo	400 V
Corriente directa I _f (AV)	1 A
Voltaje directo V _F máximo	1,1 V
Temperatura mínima	-65°C
Temperatura máxima	150°C
Costo	\$ 1,60

Fuente: (TOSTATRONIC, 2017)

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

2.4.1.3 ESP32 WROOM 38

Con el estudio realizado en el capítulo anterior y basado en la tabla de tipos de microcontroladores ESP-32, se tomó la decisión de elegir al esp32 WROOM 32, como se muestra en la figura 9-2, por ser un diseño que está acorde con las necesidades del proyecto, además por su costo y funcionalidad.

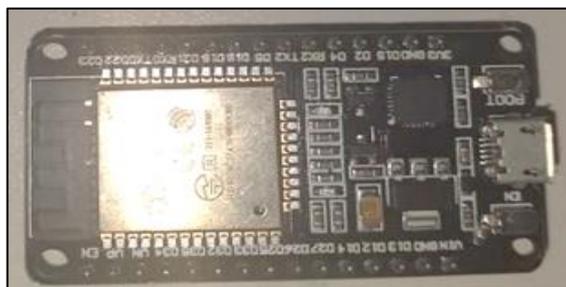


Figura 9-2: MCU ESP32

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

La tabla 4-2, da a conocer las características importantes y necesarias que son de utilidad para su selección.

Tabla 4-2: Características técnicas principales del MCU ESP32 WROOM 32

Descripción	Características
CPU y Chip de Memoria	ESP32 devKit tiene un incorporado un Chip, un microprocesador Xtensa® single-core 32-bit LX7 que trabaja hasta 240 MHz 128 KB ROM 320 KB SRAM 16 KB SRAM en RTC Flash 4 MB PSRAM 2 MB
Wi-Fi	802.11 b/g/n Bit rate: 802.11n hasta 150 Mbps A-MPDU y A-MSDU agregados 0,4 μs soporte intervalo de guardado Rango de frecuencia central de canal operativo: 2412 ~ 2484 MHz
Periféricos	ADC 24 canales, 12 bits, DAC 2 canales, 8 bits, Sensor de temperatura, GPIO 36 canales, UART 2 canales, SPI 4 canales, I2C 2 canales, RTM 4 canales, LED PWM 8 canales
Voltaje	5 V
Temperatura	-40 °C a 80 °C
Corriente	Corriente de entrada alto y bajo nivel 5 nA Corriente de fuente alto nivel 40 mA Corriente de fuente bajo nivel 28 mA
Costo	\$ 13

Fuente: (ESPRESSIF, 2019), (ESP-PRODUCT-SELECTOR, 2021b)

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

2.4.1.4 Arduino Nano

Placa de desarrollo que tiene un tamaño compacto, compatible con protoboard, está basada en el microcontrolador ATmega328P, Posee 14 terminales de entrada/salida digital, posee 6 terminales que son destinados a utilizarse como PWM, además de poseer 6 entradas analógicas, con un cristal de 16Mhz, su pin de alimentación es Mini-USB, tiene terminales para conexión ICSP y un botón de reseteo (ARDUINO CL, 2020). Posee 32 terminales, dos terminales están destinados para función ADC y 8 puertos ADC (ELECTROGEEK, 2020), será utilizado para recibir señales de interrupciones generadas en el detector de cruce por cero, de esta manera el ESP 32 no tendrá ningún tipo de problema al momento de enviar instrucciones para la modificación de ancho de pulso.

En la figura 10-2 se puede observar el diseño del Arduino Nano.

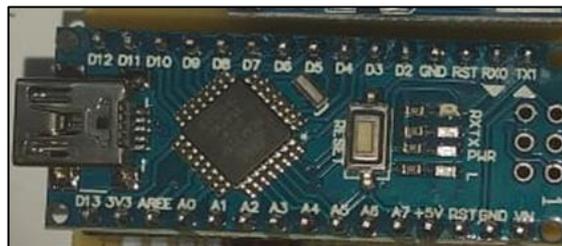


Figura 10-2: Arduino Nano

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

En la tabla 5-2 se puede visualizar las características más importantes de Arduino Nano.

Tabla 5-2: Características técnicas principales de Arduino Nano

Características	Valor
Microcontrolador Arduino Atmega328	1
Voltaje de operación	5 V
Memoria Flash	32 KB
SRAM	2KB
Velocidad de reloj	16MHz
Corriente continua por pin de E/S	40 mA
Voltaje de entrada	7-12 V
Terminales E/S digitales	22
Salidas PWM	6
Consumo de energía	19mA
Costo	\$ 7,50

Fuente: (ELECTROGEEK, 2020)

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

2.4.1.5 Optoacoplador Arduino Pelv 4n25

Un optoacoplador como lo indica la figura 11-2, es un dispositivo de emisión y recepción que funciona como un interruptor activado mediante la luz emitida por un diodo LED que satura un componente opto electrónico, normalmente en forma de fototransistor o foto-triac. De este modo se combinan en un solo dispositivo semiconductor, un foto-emisor y un foto-receptor cuya conexión entre ambos es óptica. Estos elementos se encuentran dentro de un encapsulado que por lo general es del tipo DIP. Se lo utiliza para aislar eléctricamente a dispositivos muy sensible (PELV, 2021). Este fototransistor se utiliza para aislar el MCU del circuito y poder separar en etapas la implementación del dispositivo, las características y especificaciones se describen en la tabla 6-2, que describe lo más impórtate del fototransistor.



Figura 11-2: Optoacoplador 4n25

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

Tabla 6-2: Características técnicas principales del optoacoplador Arduino Pelv 4n25

Características	Especificaciones
Corriente máxima del colector del fototransistor (IC)	150 mA
Voltaje máximo de colector-emisor de fototransistor (VCEO)	30v
Voltaje de saturación del emisor-colector del fototransistor	0,15 a 0,5
Voltaje máximo del emisor-colector del fototransistor (VECO):	70 V
Voltaje inverso máximo del LED (VR)	3 V
Corriente máxima If	60 mA
Temperatura mínima y máxima de funcionamiento	-55 °C a 100°C
Disipación de energía (Pd)	150 mW
Voltaje directo (Vf)	1,5 V
Voltaje Inverso (Vr)	5 V
Costo	\$ 1,00

Fuente: (IGGY, 2020)

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

2.4.1.6 Sensor de corriente ACS712-5 A

Cómo se aprecia en la figura 12-2, el sensor de corriente permite medir la cantidad de corriente que fluye a través de un circuito de corriente alterna (AC) o corriente directa (DC).

Este dispositivo como se observa en la figura 12-2, consta de un circuito preciso, bajo offset, sensor Hall lineal con una pista de cobre conductor ubicado cerca de la superficie de la matriz.

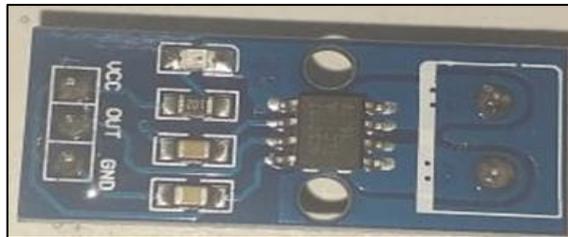


Figura 12-2: Sensor de corriente ACS712-5 A

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

La corriente aplicada que fluye a través de esta pista de conducción de cobre genera un campo magnético que es detectado por el IC integrado Hall y convertida en una tensión proporcional. La exactitud de los dispositivos se optimiza a través de la proximidad de la señal magnética al transductor Hall. Una tensión precisa, proporcional es proporcionada por el bajo offset, chopper-estabilizado IC BiCMOS Hall, que está programado para la exactitud después del encapsulado (GARCÍA, 2015).

El sensor entrega un valor de 2,5 voltios para una corriente de 0 A y a partir de allí incrementa proporcionalmente de acuerdo con la sensibilidad, teniendo una relación lineal entre la salida de voltaje del sensor y la corriente tal como se observa en la ecuación 1-2:

$$V = mI + 2,5 \quad \text{Ecuación 1-2}$$

Donde:

m: Sensibilidad

I: Corriente

De la ecuación 1.2 se despeja la I (corriente), como se observa en la ecuación 2-2:

$$I = \frac{V-2,5}{\text{sensibilidad}} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

En la ecuación 2-2 se encuentra el valor de 2,5 que es el voltaje del sensor cuando la corriente es 0V y la sensibilidad, que equivale a la pendiente de la recta Voltaje Vs Corriente, este sensor permite obtener valores que se reflejaran al momento de realizar las pruebas con el prototipo.

En la tabla 7-2, se especifica las características necesarias e importantes por la cual se eligió a este elemento para la implementación del proto tipo de A-LED.

Tabla 7-2: Características técnicas principales del sensor de corriente ACS712-5 A

Características	Especificaciones
Voltaje de alimentación (VCC)	8 V
Voltaje de salida (VF)	8 V
Disparo de corriente de salida (IOUT (Source))	3 mA
Sensibilidad	66 – 185 mV/A
Rango de optimización (Ip)	-30 A- +30 A
Tiempo de encendido	5 us
Salida analógica	150 KHz
Protección de corto circuito	Hasta 5 A
Temperatura de funcionamiento (TA)	-40 a 85 °C
Error de salida total	1,5% en TA=25° C
Ruido (VRUIDO (PP))	7 mV
Costo	\$4

Fuente: (ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2019)

Realizado por: Sagnay Byron, 2022

2.4.1.7 Mosfet IRFZ44N

Como se lo indica en la figura 13-2, es un MOSFET de potencia de canal N con resistencia en estado conductor extremadamente baja por área de silicio y rendimiento de conmutación rápida. Este beneficio, en combinación con la rápida velocidad de conmutación y el diseño robusto de estos MOSFET's de potencia, ofrecen al diseñador un dispositivo extremadamente eficiente y fiable para usar en una gran variedad de aplicaciones de administrador de potencia el cual es de gran utilidad para la realización del prototipo.

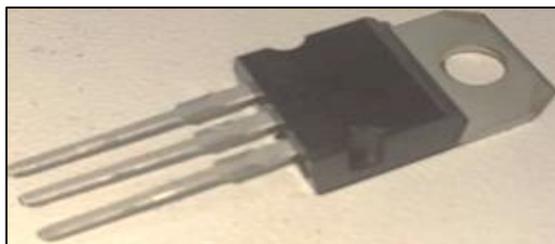


Figura 13-2: Mosfet IRFZ44N

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

En la tabla 8-2, se encuentra la descripción de mosfet, estos datos útiles y necesarios para su implementación.

Tabla 8-2: Características técnicas principales del Mosfet IRFZ44N

Características	Valor
Tensión Drenador-Fuente (Vds)	55V
Corriente de Drenaje-Continua (Id)	41A
Resistencia en el estado conductor Rds(on)	0,0175Ω
Tensión Vgs de prueba Rds (on)	10 V
Tensión Umbral Vgs	4V
Disipación de potencia Pd	83W
Temperatura de Funcionamiento Max.	175 °C
Costo	\$1,00

Fuente: (ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2019)

Realizado por: Sagñay Byron, 2022

2.4.1.8 Sensor LDR

Es un resistor que varía su valor de resistencia eléctrica dependiendo de la cantidad de luz que incide sobre él. El valor de resistencia eléctrica de un LDR es bajo cuando hay luz incidiendo en él (en algunos casos puede descender a tan bajo como 50 Ohmios) y muy alto cuando está a oscuras (puede ser de 1 M Ohmio o más), se debe tener en cuenta que la disipación máxima está en el orden de 50 mW-1W, y el voltaje máximo que se puede aplicar es de 600V (ROBOTS, 2020).

Tal como se muestra en la figura 14-2, el LDR permitirá tener un control de luminosidad autónomo, permitiendo que el reflector se pueda controlar de acuerdo con la luz expuesta.

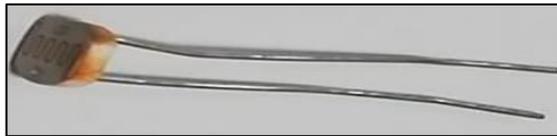


Figura 14-2: Sensor de luz LDR

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

2.4.1.9 Convertidor de voltaje DC-DC Step-Up 2,5 A XL6009

Como se lo observa en la Figura 15-2, es un regulador de tipo conmutado elevador (Step-Up o Boost) con una alta eficiencia de conversión, excelente regulación de línea y bajo voltaje de rizado. El módulo reduce al mínimo el uso de componentes externos para simplificar el diseño de fuentes de alimentación. Permite obtener un voltaje regulado a partir de una fuente con un voltaje inferior, por ejemplo: obtener 5V o 12V a partir de una batería de litio de 3,7V. Es capaz de manejar una carga de hasta 2.5A o 10W máx (NAYLAMP MECHATRONICS, 2017).



Figura 15-2: Convertidor de voltaje DC-DC XL6009

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

Este convertidor es seleccionado por las características que se indica en la tabla 9-2, este dispositivo es el más importan puesto que alimenta el MCU permitiendo mayor desempeño de protección en el momento de trabajo del ESP32 y evitar su daño.

Tabla 9-2: Características técnicas principales del convertidor de voltaje DC-DC XL6009

Características	Valor
Alimentación	4,5 a 5,5 Vdc
Rango de medida	0 a 5 A AC/DC
Voltaje de entrada (VI)	4,5 V a 40 V DC
Voltaje de salida (VF)	1,23 V a 37 V DC
Corriente de salida (IF)	3 A
Frecuencia de Trabajo (F)	150 KHz
Protección de Corto circuito	Hasta 5 A
Potencia de salida	25 W
Costo	\$ 4,74

Fuente: (NAYLAMP MECHATRONICS, 2017)

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

2.4.2 Transistores

También conocidos como BJT son semiconductores impulsados por corriente.

2.4.2.1 Transistor 2n3904

Transistor de unión bipolar (BJT), amplifica las señales de voltaje o de corriente, de tipo NPN, conta de tres terminales que son base, colector y emisor como se puede observar en la figura 16-2, en donde el emisor es el encargado de emitir o inyectar electrones, la base permite transferir electrones y el colector se encarga de coleccionar los electrones, funciona como un amplificador de ciclos completos de la señal (UNIT ELECTRONICS, 2014b).



Figura 16-2: Transistor 2n3904

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

La tabla 10-2 da a conocer las características más importantes y que son de mucha utilidad en el transistor.

Tabla 10-2: Características técnicas principales del transistor 2n3904

Características	Valores
VCBO máxima del colector - base	65V
Tensión VEBO máxima del emisor-base	6 V
Tensión máxima Colector-Emisor	40 V
Corriente Colector Ic	200 mAdc
Frecuencia máxima Colector-emisor	300 MHz
Temperatura de funcionamiento máxima	+150° C
Temperatura mínima de funcionamiento	-55°C
Costo	\$ 1,00

Fuente: (UNIT ELECTRONICS, 2014b)

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

2.4.2.2 Transistor 2n3906

Es un transistor PNP, de unión bipolar (BJT), utilizad generalmente para ampliaciones de señales de voltaje o corriente, cuanta con tres terminales los cuales son base, colector y emisor, tiene el mismo funcionamiento del transistor bipolar 2n3904 en sus terminales de conexión, el emisor emite o inyecta electrones como se lo puede denotar en la figura 17-2, la base transfiere electrones y colector encargado de colectar electrones (UNIT ELECTRONICS, 2016a).

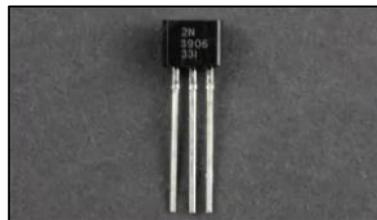


Figura 17-2: Transistor 2n3906

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

Este transistor esta funciona en tres regiones semiconductoras: corte, saturación y amplificación. Es un transistor de bajo costo, es de contextura robusta para ser utilizado en experimentos electrónicos, además puede funcionar como conmutador de baja potencia (UNIT ELECTRONICS, 2016a), cuyas características más relevantes se describe en la tabla 11-2, donde se describe al transistor.

Tabla 11-2: Características técnicas principales del transistor 2n3906

Características	Valores
VCBO máxima del colector - base	40 V
Tensión VEBO máxima del emisor-base	40 V
Tensión máxima Emisor-Base	5 V
Corriente Colector Ic	200 mAdc
Dp - Disipación de potencia	625 mW
fT hancho de banda	250 MHz
Voltaje colector- emisor	400 mV
Temperatura de funcionamiento máxima	+150° C
Temperatura mínima de funcionamiento	-55°C
Costo	\$ 1,00

Fuente: (UNIT ELECTRONICS, 2014b)

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

2.5 Fase de diseño

El diseño del circuito del prototipo A-LED, consta de dos fases: Diseños estructural y cálculo del reflector Led.

2.5.1 Diseño estructural

Para el diseño estructural de A-LED, se ejecutó simulaciones, los mismos que permiten observar de una manera virtual, cuál será el funcionamiento del prototipo y así poderlo implementar, esta simulación se lo realiza en el programa Proteus 8.8, en el cual como se observa en la figura 20-2, observándose de una forma ilustrativa las conexiones del sistema, este diseño cuenta con los elementos ya seleccionados anteriormente.

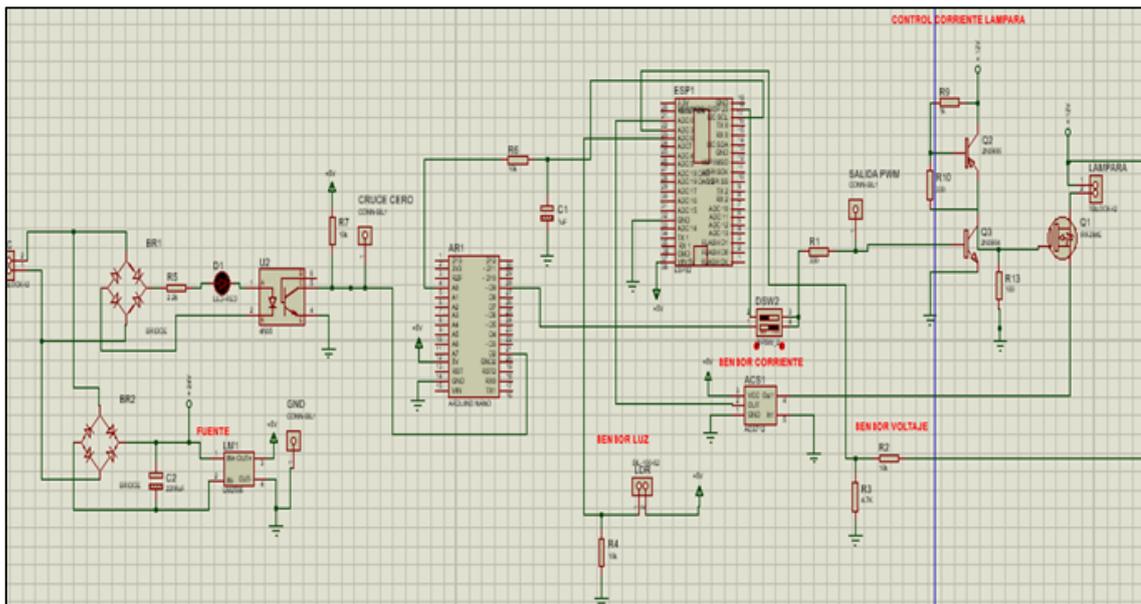


Figura 20-2: Diseño de conexión de A-LED

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

2.5.1.1 Diseño PCB

Una vez que la simulación logro las expectativas deseadas, se procede llevar a cabo el diseño de la PCB de la placa electrónica como muestra la figura 21-2, el mismo que está diseñado en Proteus 8.8 específicamente en PCB Layout, que es una extensión que sirve para el modelamiento de placas, permitiendo obtener de una manera más específica la ubicación de todos los elementos necesarios e indispensables para la implementación prototipo A-LED.

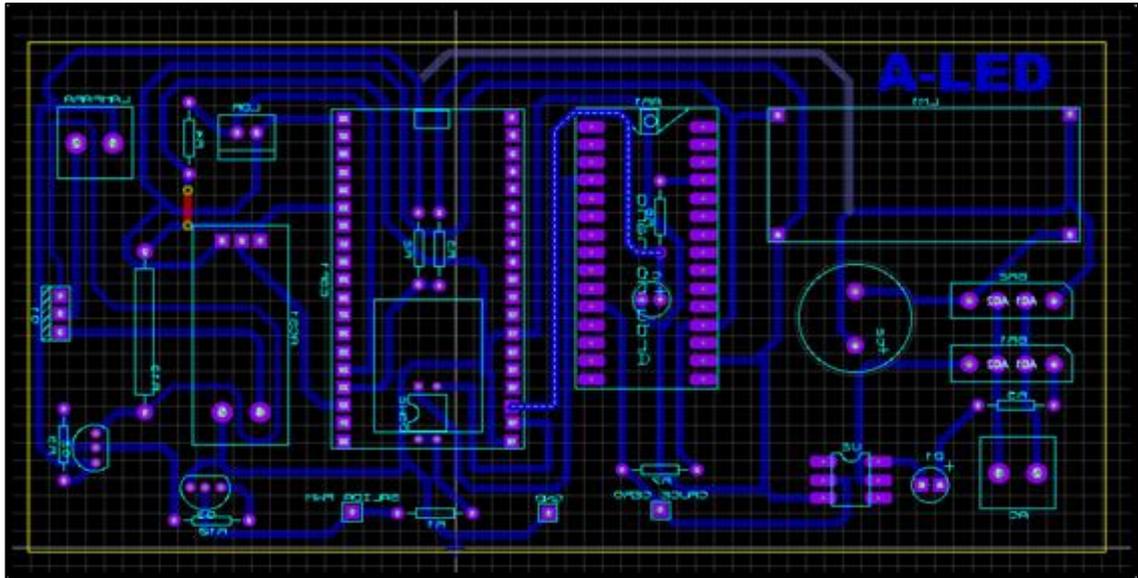


Figura 21-2: Diseño de PCB del prototipo A-LED

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

En la Figura 22-2, se visualiza un diseño 3D, el cual se realizó en otra extensión de proteus 8.8 denominada 3D Visualizar, el mismo que permite observar de una manera tridimensional la implementación de las placas terminadas con los elementos seleccionados, dando una idea ya real del prototipo A-LED.

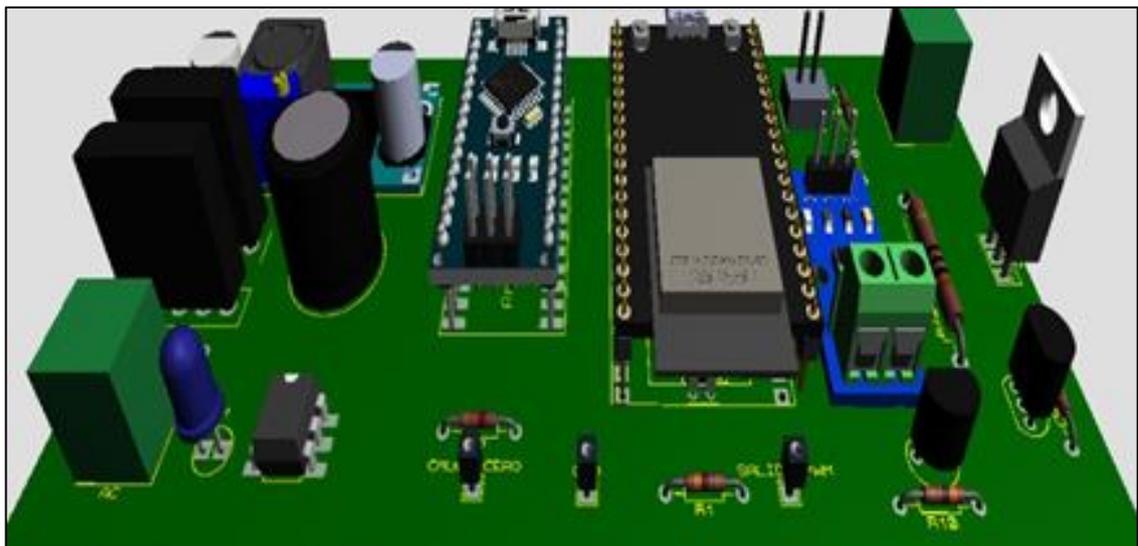


Figura 22-2: Diseño 3D del prototipo A-LED

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

2.5.2 Cálculo del reflector LED

Para poder definir la intensidad de luminosidad del reflector LED, es importante primero definir los valores específicos de los LED a utilizar, esto se lo obtiene en las descripciones técnicas del elemento, para mediante cálculos obtener la potencia válida a requerirse.

Para el cálculo de la resistencia del reflector LED, se procedió a realizar el cálculo mediante la Ley de Ohm la cual se describe en la ecuación 3-2, la misma que relaciona al voltaje, corriente y la resistencia.

$$V = I * R \qquad \text{Ecuación 3-2}$$

Donde:

V: Voltaje

I: Corriente

R: Resistencia

Para el cálculo del voltaje en la resistencia de los LED en serie, que se utiliza para el reflector se obtiene de la ecuación 4-2, la misma que se deriva del concepto de circuito en serie donde el número de voltajes existentes se suma y se mantiene el valor de la corriente, cuya formula se despeja el valor del voltaje de la resistencia (VR), como indica la ecuación 5-2.

$$VF = VR + VD1 + VD2 + VD3 + VD4 \qquad \text{Ecuación 4-2}$$

$$VR = VD1 + VD2 + VD3 + VD4 - VF \qquad \text{Ecuación 5-2}$$

Donde:

VF: Voltaje de la fuente = 12V

VR: Voltaje de la resistencia

VD: Voltaje necesario para la activación del diodo LED= 3V

De la ecuación 5-2, se remplaza con los valores dados por los fabricantes los cuales son:

$$VR = 3 + 3 + 3 + 3 - 12 \qquad \text{Ecuación 6-2}$$

$$VR = 1V \qquad \text{Ecuación 7-2}$$

A su vez para que exista mayor protección en caso de sobre voltajes o sobre corriente se debe obtener un factor de protección, cuyo valor es una cantidad constante lo cual para obtener una corriente total se lo relaciona con la corriente que circula por los diodos tal y como se lo indica en la ecuación 9-2 la cual describe el valor exacto de corriente que se va a emitir en el reflector.

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = I_4 \quad \text{Ecuación 8-2}$$

$$I_T = I_1 * FP \quad \text{Ecuación 9-2}$$

$$I_T = 0.350 \text{ A} * 1.1 \text{ A} \quad \text{Ecuación 10-2}$$

$$I_T = 0,385 \text{ A} \quad \text{Ecuación 11-2}$$

Donde:

I_T : Corriente Total

I_1 : Corriente que circula por los diodos

FP : Factor de Protección que es establecido

Al calcular la corriente total (I_T) de la ecuación 11-2, se procede a remplazar en la ecuación 3-2, el cual dará una respuesta del valor de una resistencia que se va a utilizar en el reflector como se muestra en la ecuación 14-2.

$$R = \frac{V_R}{I_T} \quad \text{Ecuación 12-2}$$

$$R = \frac{1V}{0,385A} \quad \text{Ecuación 13-2}$$

$$R = 2,59 \Omega \quad \text{Ecuación 14-2}$$

Según el cálculo de la resistencia de que se necesita para el reflector lo aproximaremos a una resistencia de valor comercial y se adquirida es de 3.8Ω .

En la figura 23-2, se observan los reflectores ya implementados con los requerimientos calculados, mismos que servirán para el funcionamiento del proyecto.

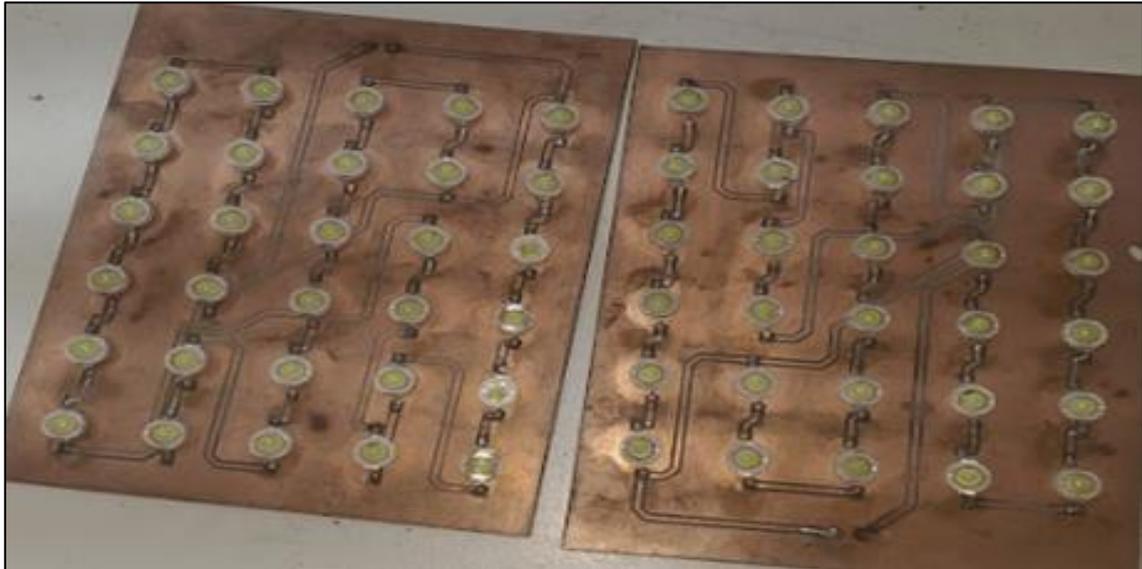


Figura 23-2: Reflector calculado de 30 W

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

2.6 Etapa de funcionamiento

2.6.1 Análisis de la carga

Como se muestra en la tabla 12-2, el reflector led tiene un consumo de voltaje de 24 V en DC, con un consumo de corriente de 1,25 A, para obtener un consumo de potencia 30W. La activación del reflector depende del acondicionamiento de la señal, la misma que permite elevar la corriente al disparo que proviene del Arduino nano hacia el MOSFET's, elevándola con una ganancia de 300 mA que es la mínima corriente de activación del reflector.

Tabla 12-2: Descripción del reflector LED

Características	Led de potencia	Reflector Led
Consumo de voltaje	4,5 V en DC	24 V en DC
Consumo de corriente	0,222 A	1,25 A
Consumo de Potencia	1W	30W

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

El reflector Led en este proyecto se transforma en carga resistiva energía lumínica, no en movimiento. La corriente se encuentra en fase con la, tensión teniendo un mismo ciclo. El ángulo entre tensión y corriente es cero como se lo observa en la figura 24-2.

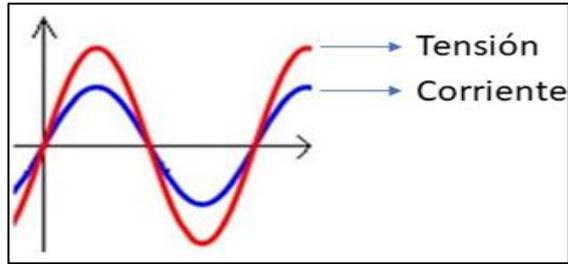


Figura 24-2: Onda de carga resistiva

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

2.6.2 Etapa de control

Esta etapa es la más importante, puesto que aquí se podrá realizar el control de intensidades de los reflectores, además permite que el circuito se sincronice a la red de 60 Hz de frecuencia.

Para el cálculo del periodo se aplica la ecuación 15-2, donde a la unidad se la divide para la frecuencia de la red, dando como resultado 16 ms o 1600µs, como se observa en la ecuación 18-2. Cuando la señal se rectifica, su valor negativo se transforma en positivo transformándola en una señal constante y reduciendo a la mitad el valor del periodo, cuyo valor es obtenido de la ecuación 19-2 donde al periodo total lo multiplicamos por un medio y cuyo resultado se define en la ecuación 20-2.

$$T = \frac{1}{F} \quad \text{Ecuación 15-2}$$

Donde:

T: Periodo

F: Frecuencia

$$T = \frac{1}{60 \text{ Hz}} \quad \text{Ecuación 16-2}$$

$$T = 0,01666 \text{ s} \quad \text{Ecuación 17-2}$$

$$T = 1600 \mu\text{s} \quad \text{Ecuación 18-2}$$

$$T\left(\frac{1}{2}\right) = 1600\mu\text{s} \frac{1}{2} \quad \text{Ecuación 19-2}$$

$$\frac{T}{2} = 8000\mu s$$

Ecuación 20-2

El resultado de la ecuación 20-2, es el periodo máximo donde el Arduino nano se puede programar puede realizar la modificación del ancho de pulso de la señal. Recalcando que se descuenta el tiempo de las interrupciones del cruce por cero donde el periodo del trabajo es 7333 μ s.

Cuando el Arduino nano detecta una señal de cruce por cero o denominado también interrupción, empieza a calcular el ancho de pulso de la señal tanto en el tiempo alto, como en el tiempo bajo.

El ancho de pulso o PWM se calcula mediante un tiempo en alto denominado Time High (TH) y un tiempo bajo denominado Time Low (TL), estos tiempos son totalmente dependientes y se los calcula mediante la programación en Arduino.

El ESP32 emite señales voltaje analógicas que van de 0 V a 3 V, donde mediante un capacitor y una resistencia son transformadas en señales de corriente continua, para ser transmitidas al Arduino nano, este a subes al momento de detectar una interrupción empieza a calcular los tiempos altos y bajos del ancho de pulso como se indica en la figura 25-2, que representa la codificación de las ecuaciones para el cálculo de los tiempos para el ancho de pulso.

```
void loop()
{
  a=analogRead(A0);
  Th=a*7333;
  Th=Th/1023;
  Tl=7333-Th;
```

Figura 25-2: Programación para el cálculo de ancho de pulso

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

Estos voltajes analógicos de activación enviados hacia el Arduino nano, se los realiza mediante codificación en el ESP32, como el puerto ADC es de 8 bit el rango de trabajo es de 0 a 255 bits.

En la figura 26-2, se muestra el ciclo de trabajo se utiliza para el control por ancho de pulso, que representa la codificación de las ecuaciones para el cálculo de los tiempos.

```

if(data=='0'){ dutyCycle= 0; }
if(data=='1'){ dutyCycle=5; }
if(data=='2'){ dutyCycle=50; }
if(data=='3'){ dutyCycle=75; }
if(data=='4'){ dutyCycle=100; }
if(data=='5'){ dutyCycle=125; }
if(data=='6'){ dutyCycle=150; }
if(data=='7'){ dutyCycle=175; }
if(data=='8'){ dutyCycle=200; }
if(data=='9'){ dutyCycle= 255; }
brilloO;

```

Figura 26-2: Ciclos de trabajo para señales PWM

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

La finalidad de la modulación por ancho de pulso (PWM), es controlar la luminosidad del reflector esto se lo realiza en función de la corriente y los disparos de activación que recibirá el mosfet será cada 25 bit donde será un ciclo de trabajo y se los convertirá a valores enteros para su control.

Las señales que se busca para la modulación por ancho de pulso, las señales de rectificación de onda completa y el cruce por cero, la grafico 27-2 muestra las señales requeridas para el desarrollo del proyecto.

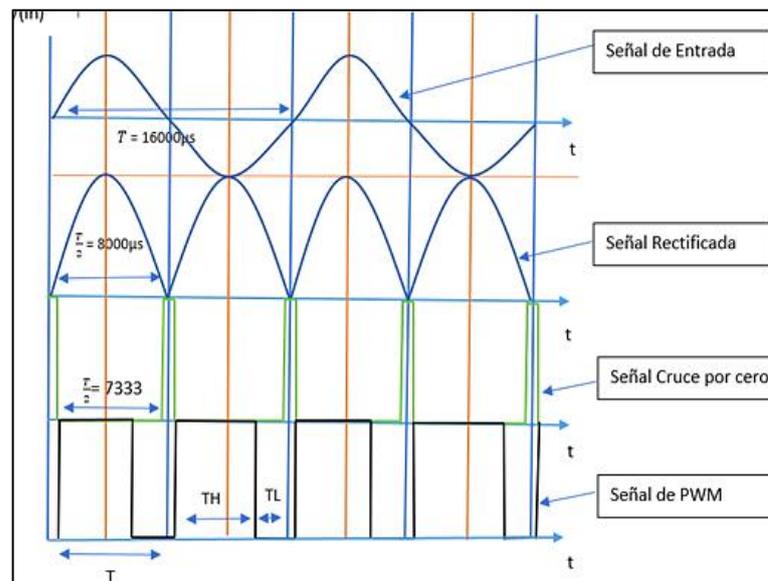


Figura 27-2: Señales de ciclo de trabajo en función de la corriente

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

2.6.3 Etapa de acondicionamiento de la señal

Esta etapa es primordial para la activación de los reflectores, como se explicó anteriormente este permite elevar la corriente treinta veces, esta parte del circuito está compuesto por el transistor

BJT 2n3904 y el transistor BJT 2n3906 los mismos que permiten construir un driver que eleva la señal de la corriente generando una potencia suficiente de activación de disparo hacia el mosfet.

Como se observa en la figura 28-2, el diseño del circuito esta dimensionado para poder sincronizarse con la red.

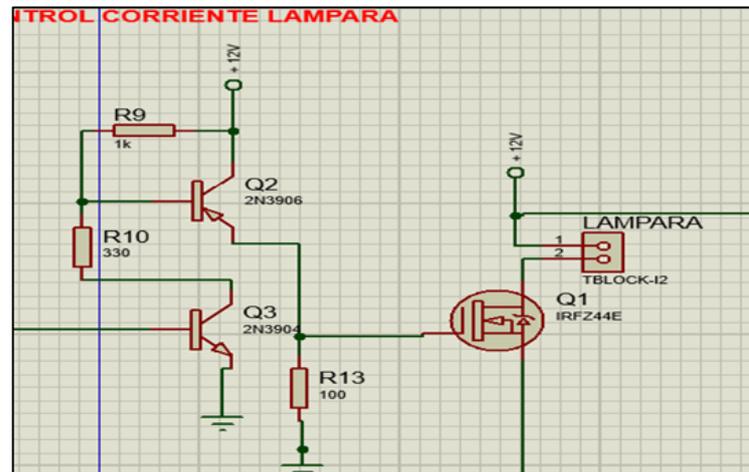


Figura 28-2: Etapa de acondicionamiento de la señal

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

2.7 Diseño de placa del prototipo A-LED

En la figura 29-2, se observa el diseño de conexión de cada elemento ya implementado en una de una de las dos placas a realizarse, los cuales permite observar los canales de cómo serán conectados cada elemento.

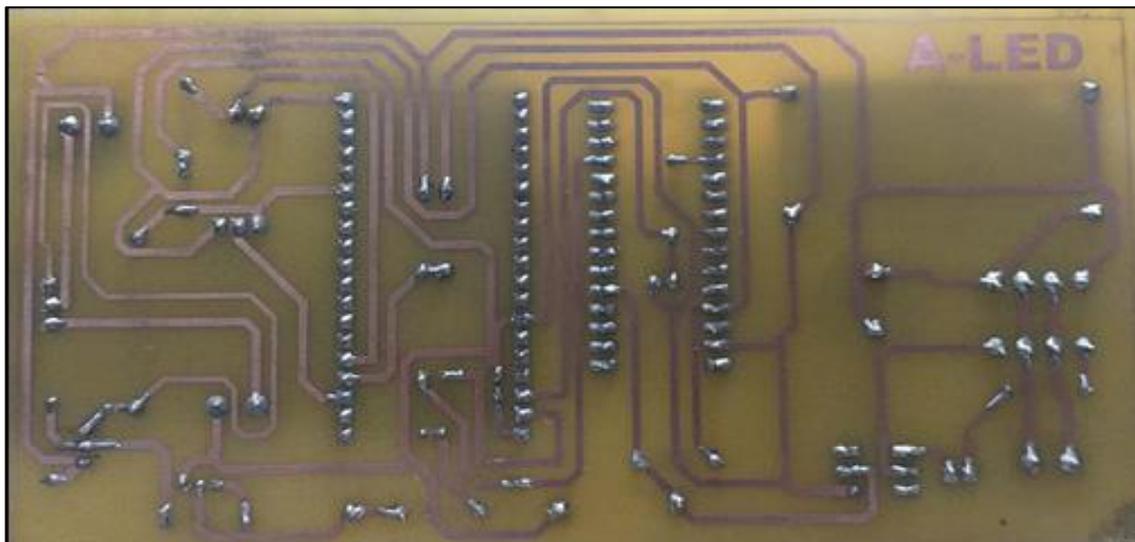


Figura 29-2: Implementación en placa del prototipo A-LED

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

2.7.1 Implementación de elementos en el prototipo

Una vez ya diseñada de la placa y sabiendo la ubicación de cada elementó, se procede a soldar, tal como se muestra en la figura 30-2, el diseño terminado, es el mismo como ya se lo simulo en 3D anteriormente.



Figura 30-2: Incorporación de elementos en la placa del prototipo A-LED

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

Cabe recalcar que este diseño de placa se lo realiza para dos reflectores, puesto que van a cumplir con el mismo propósito, en el momento de la adquisición de datos.

2.8 Selección de software para el dispositivo

Mediante el análisis ejecutado en el capítulo primero de este documento, se hace un cuadro comparativo entre ventajas y desventajas, de los diferentes entornos de programación en la tabla 5-1, donde se compara entre los lenguajes de programación como son: MicroPhyton, Arduino ID y ESP-IDF.

De tal análisis, el entorno de programación que más ventajas ofrece es Arduino ID, puesto que es de gran ayuda debido a los proyectos que se realizan en la actualidad, se han creado bibliotecas que sirven para la codificación en el MCU ESP-32, obteniendo una ayuda con proyectos similares que sirven de guía.

En relación con la codificación, tiene la capacidad de poder implementarse en otros dispositivos del mismo tipo realizando una comunicación en serie, donde se lo diferencia por las variables utilizadas, permitiendo unca conexión mediante un puerto TCP/IP que es otorgado por el router al momento de codificarlo.

2.8.1 Desarrollo de programación en Arduino IDE

La programación de los diferentes datos que el dispositivo debe recolectar se lo hace en Arduino IDE, es indispensable instalar todas las librerías que permite la compilación del programa, ya que existe diferencia en la utilización de librerías de microcontroladores Arduino y los MCU ESP32. Las librerías utilizadas para el desarrollo en la codificación que permiten establecer una conexión inalámbrica es WiFi.h, el mismo que contiene las instrucciones de manejo de datos como MAC, IP, RSSI, además de la utilización de SERVER_PORT el mismo que crea un servidor que recibe las conexiones entrantes por un puerto específico. En la figura 31-2 se muestra las librerías a utilizar.

```
ESP32MOD1 $  
  
// *****Wlecome Pardeep LabVIEW *****  
#include <WiFi.h>  
#define SERVER_PORT 8080  
const char* ssid = "nombre red Wi-Fi";  
const char* password = "Clave red Wi-Fi";
```

Figura 31-2: Librerías utilizadas en Arduino IDE

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

Para un mejor manejo y una eficacia al momento de recolección de datos, en el código se asignan terminales específicos en MCU ESP32. Se crea variables para lectura de sensores, recolección de datos, esta asignación de terminales y de creación de variables se la realizo en los dos dispositivos como se observa en la figura 32-2.

```
float v;  
float Sensibilidad=0.0404; //sensibilidad en Voltios/Amperio para sensor de 30A  
int voltaje,luxes;  
int I,a=0;  
// the number of the LED pin  
const int ledPin = 23; // Salida PWM  
const int senPin = 36; // Sensor de Corriente  
const int Pinvol = 39;  
const int Pinlux = 34;  
int potValue = 0;  
String dato="";  
// setting PWM properties  
const int freq = 5000;  
const int ledChannel = 0;  
const int resolution = 8;  
float voltajeSensor;  
int corriente=0;
```

Figura 32-2: Esquema de la programación usada en Arduino IDE

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

Para poder realizar los cálculos de corriente, latencia y potencia se desarrolla mediante ecuaciones matemáticas. En caso del cálculo de los corriente se lleva a cabo tomando muestras con las pinzas amperimétricas y cuyos datos se los agrupa en Excel, dando como resultado dos rectas las cual se agruparon en una sola para obtener una ecuación matemática, la misma que favorece para la

adquisición de datos por medio de un LDR, este sensor aprovecha la sensibilidad que tiene hacia la luz para actuar como un luxómetro, como se muestra en la figura 33-2, la codificación para la obtención de datos mediante los sensores de corriente y LDR instalados en el dispositivo.

```

corriente=0;
for(int i=0;i<n_muestras;i++)
{
    voltajeSensor = analogRead(senPin);////lectura del sensor
    corriente=corriente+voltajeSensor; //Ecuación para obtener la corriente
}
corriente=(corriente/n_muestras)-2913;
if(corriente<=0){corriente=0;}
return(corriente);

void datoserial()

int I2=get_corriente(100);
I=((dutyCycle*100)/255)*2.24;
//float luxes1= (0.4924*(pow(dutyCycle,2))) + (22.674*dutyCycle) - 28.167;

procesodato();
int voltaje2 = analogRead(Pinvol);
voltaje =(voltaje2* (30.0 / 4096.0))*100;
float luxx=0;

```

Figura 33-2: Codificación para recolección de datos en Arduino IDE

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

2.8.2 Desarrollo de programación en LabVIEW

Este entorno desarrollador de lenguaje programable en bloques permite realizar el sistema SCADA, mediante una comunicación TCP/IP con los dispositivos, utilizando los puertos IP que otorga el router al momento de realizar la codificación en Arduino ID, como se muestra en la figura 34-2. Y la figura 35-2, donde se observa la comunicación que se realiza a los dos dispositivos mediante el ESP32.

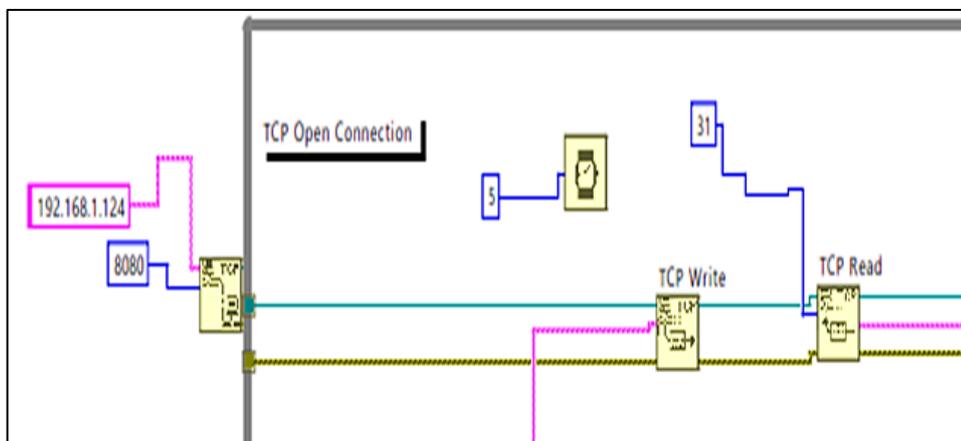


Figura 34-2: Comunicación TCP/IP para MCU en el sistema SCADA

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

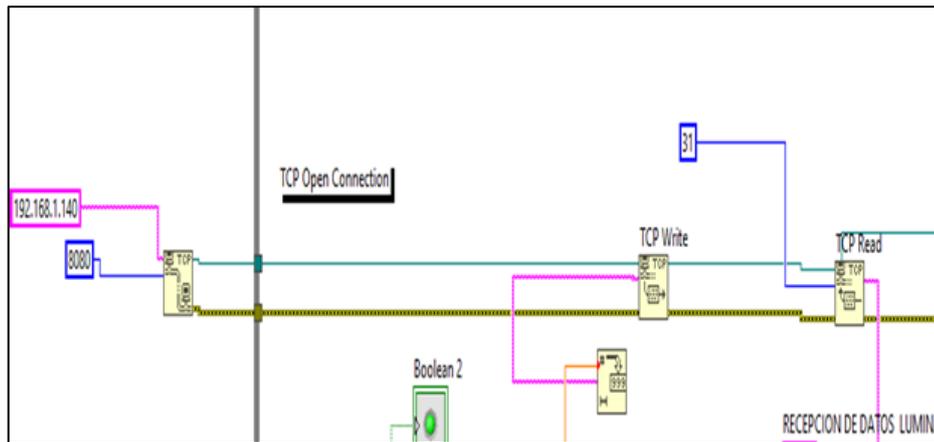


Figura 35-2: Comunicación TCP/IP para MCU2 en el sistema SCADA

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

Una vez ya establecida la comunicación Inalámbrica (Wi-Fi), se procede a crear variables globales, las misma que sirve posteriormente para crear una comunicación inalámbrica entre nuestro sistema SCADA y el dispositivo móvil (celular), estas variables también sirven para almacenar la información de los datos recibidos de los sensores, tal y como se lo visualiza en la figura 36-2, que muestra la carpeta donde se crearon las variables.



Figura 36-2: Creación de variables globales en LabVIEW

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

Ya creadas las variables globales, se hace la codificación en bloques que permite visualizar en la pantalla del sistema SCADA los resultados requeridos, entre unos de estos elementos programados esta la opción de selección de luminaria que se desea monitorear, esto se lo realiza mediante un Case Structure, como se lo muestra en la figura 37-2.

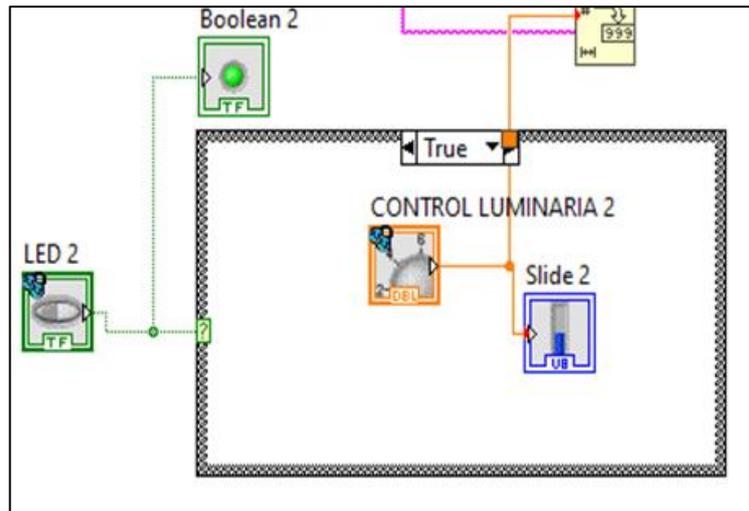


Figura 37-2: Codificación de opción de control de luminaria en LabVIEW

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

La recolección y visualización de datos tanto para la Latencia, Luxes y potencia de los dos MCU, se lo realiza mediante la codificación de un String Subset, que permite que una cadena de datos de entrada devuelve una sub-cadena de bits que comienza a desplazarse convirtiéndose en una cadena de números, en cambio Decimal String To Number devuelve convierte una cadena de entero decimal y lo convierte en un número. Como se lo muestra en la figura 38-2, donde se establece esta codificación, esto se lo realiza para los dos dispositivos.

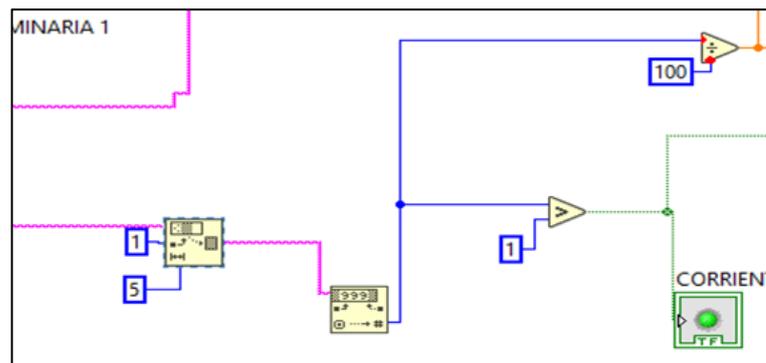


Figura 38-2: Codificación para presentación de datos en LabVIEW

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

Para la presentación de datos en la pantalla se realiza mediante un Case Structure, que permite establecer una condición, cada que este recolectando datos para presentar en pantalla, DBL presentan números de tipo booleano. En la figura 39-2, se puede observar la codificación en bloques, cabe recalcar que esta codificación se lo realiza para los dos dispositivos y mediante procesos matemáticos se presentara la latencia, nivel de Luxes y la energía consumida en la pantalla del sistema.

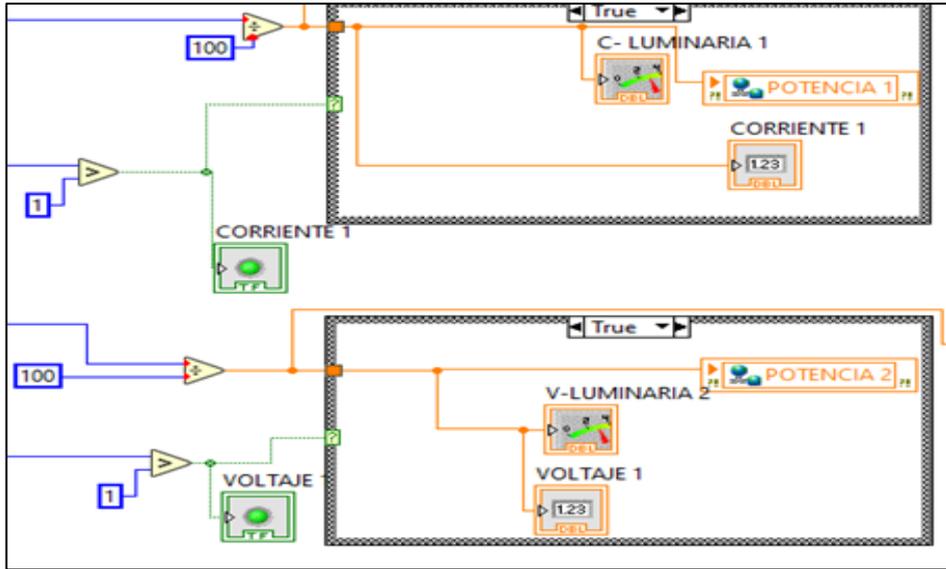


Figura 39-2: Codificación para presentación de datos en pantalla LabVIEW

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

Como el proyecto está diseñado para almacenar datos en la nube, se utiliza Set Dynamic Data Attributes, que establece atributos a los datos dinámicos, estableciendo un tiempo de inicio de las señales, utilizado para transmisión de datos, también se utiliza el bloque Merge Signal, para la combinación de datos diferentes señales adquiridas o simuladas en un solo conector. Por último, Writing to Measurement File, que permite guardar los datos recolectados y almacenarlos en un documento Excel, que estará guardada en una carpeta que se encuentra en la Nube (Google Drive), en la figura 40-2 se muestra la forma de recolección de estos bloques para el almacenamiento de datos.

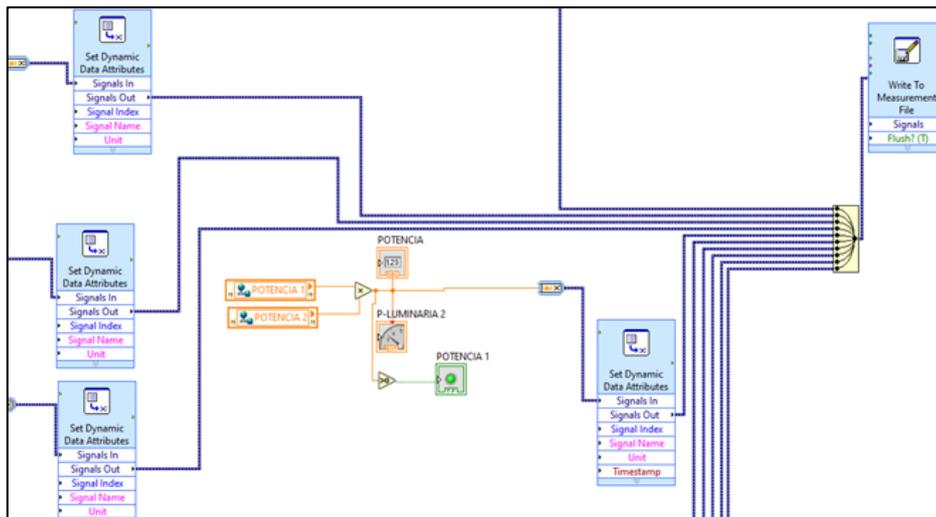


Figura 40-2: Codificación para archivar en la nube LabVIEW

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

El diseño de la pantalla del Sistema SCADA se lo hace mediante la normativa ISO 101, que menciona que el diseño del sistema HMI incluye la selección de la plataforma de control y el

sistema operativo relacionado y la elección de los kits de herramientas HMI que se utilizó en el sistema. Se considera adicionalmente, los conceptos de diseño de red, roles de usuario y seguridad, y otras interfaces de terceros, ya que afectan el diseño y la funcionalidad de la HMI (INTECH AUTOMATIZACIÓN, 2019). Como se muestra en la figura 41-2, donde se aplica todas las reglas de diseño de un Sistema SCADA y normas ISA 101.

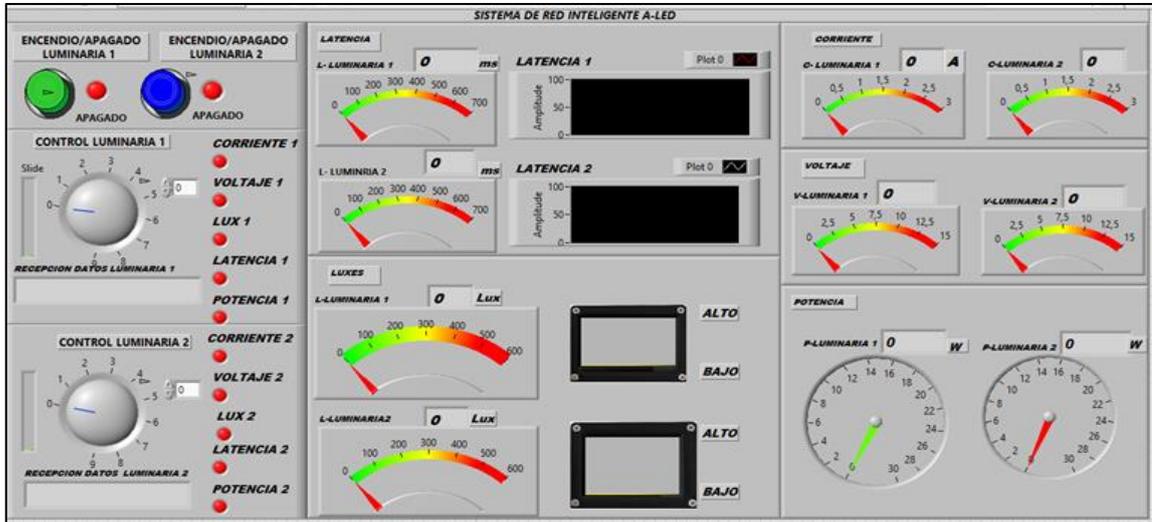


Figura 41-2: Diseño de pantalla de sistema SCADA en LabVIEW

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

2.9 Aplicación móvil para el control de luminarias

Al momento de ejecutar el sistema de control en LabView, la librería con las variables globales creadas y mencionadas anteriormente permite que el router designe un puerto IP, el mismo que sirve para la comunicación con el dispositivo móvil, como se muestra en la figura 42-2.

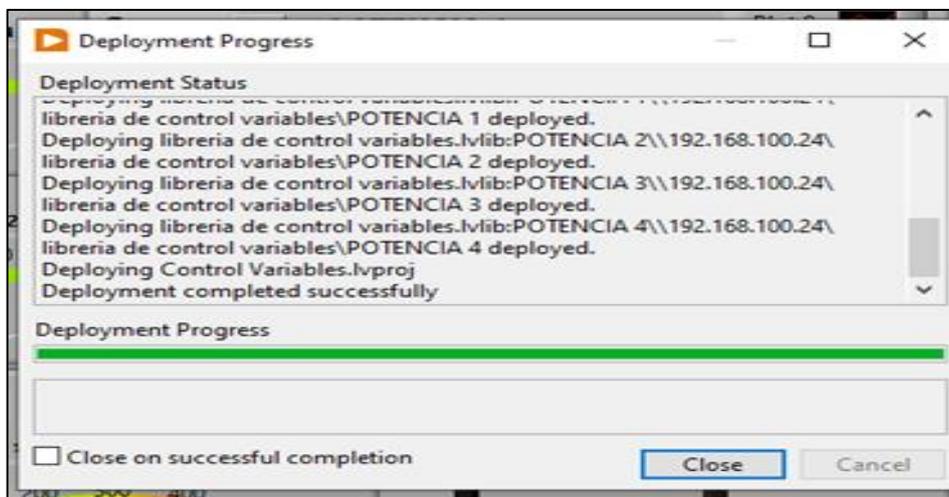


Figura 42-2: Puerto IP designado por el sistema SCADA en LabVIEW

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

La aplicación Datash Board permite realizar el diseño de cada uno de los controladores e indicadores como se muestra en la figura 43-2, a cada botón y controlador se lo comunica con el código IP asignado, donde abrirá la librería creada en LabVIEW para comunicarse con las variables globales creadas permitiendo el control de las luminarias mediante el dispositivo móvil (celular) como se muestra en la figura 44-2.

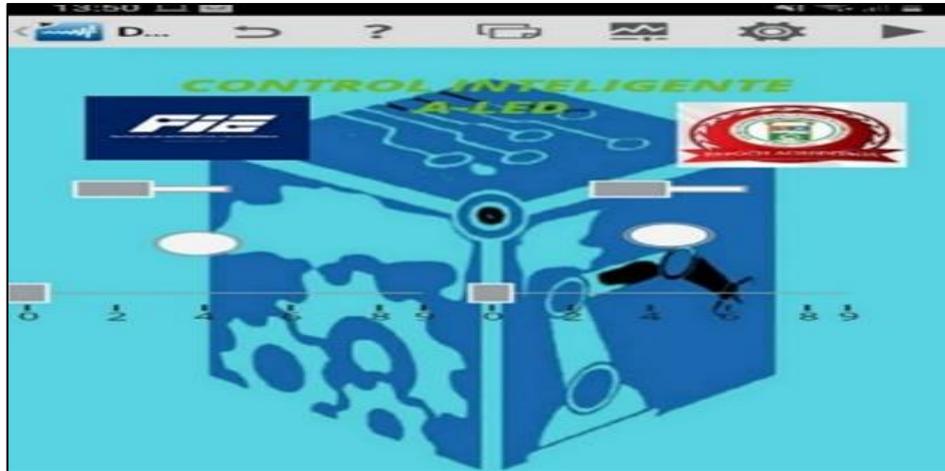


Figura 43-2: Diseño de pantalla en el dispositivo móvil en Datash Board

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

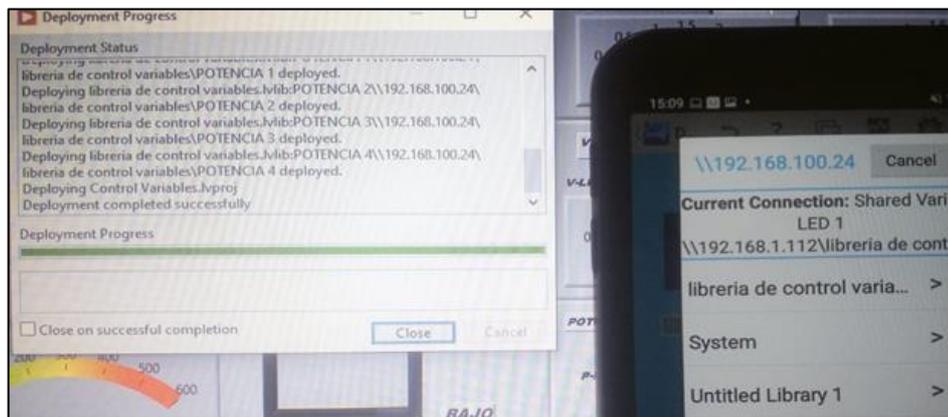


Figura 44-2: Comunicación mediante puerto IP entre el móvil y el sistema SCADA

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

CAPÍTULO III

3. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

En este capítulo se realizaron tanto pruebas de laboratorio como de campo. También se describe los costos de cada uno de los componentes del dispositivo implementado.

3.1 Análisis de la red inteligente A-LED

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos por Sistema de Red Inteligente A-LED, con programaciones implementadas y los dispositivos armados, se procedió a realizar el funcionamiento del sistema como se lo indica en la figura 1-3, donde se puede apreciar el funcionamiento del sistema SCADA.

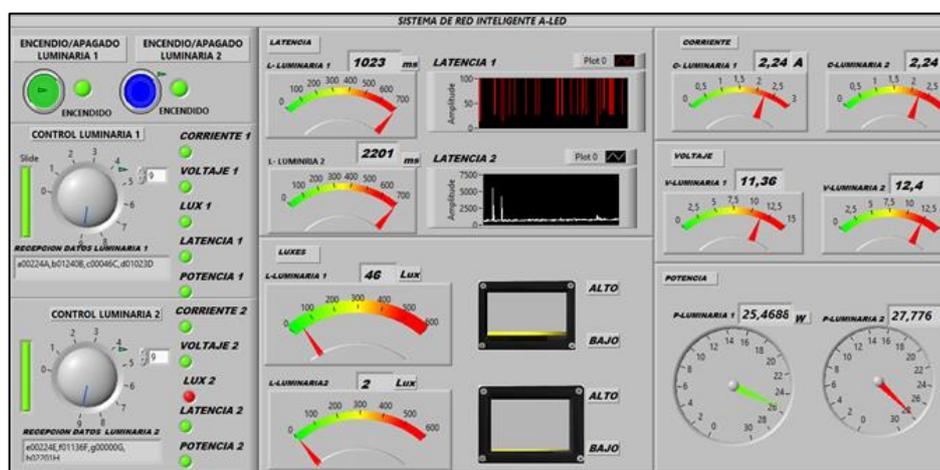


Figura 1-3: Sistema de red inteligente A-LED en funcionamiento

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

En la gráfica 2-3, se observa los dispositivos encendidos y empezando a transmitir información hacia nuestro sistema SCADA para poder visualizar la información.

Este sistema permitió observar que cuando un sensor se encuentra en funcionamiento se enciende un led verde, en caso contrario se enciende un led rojo, mostrando el estado de comunicación de la latencia mediante una gráfica de señales, permitiendo visualizar datos de corriente, datos de voltaje, datos de potencia y la cantidad de lux emitido por cada reflector.

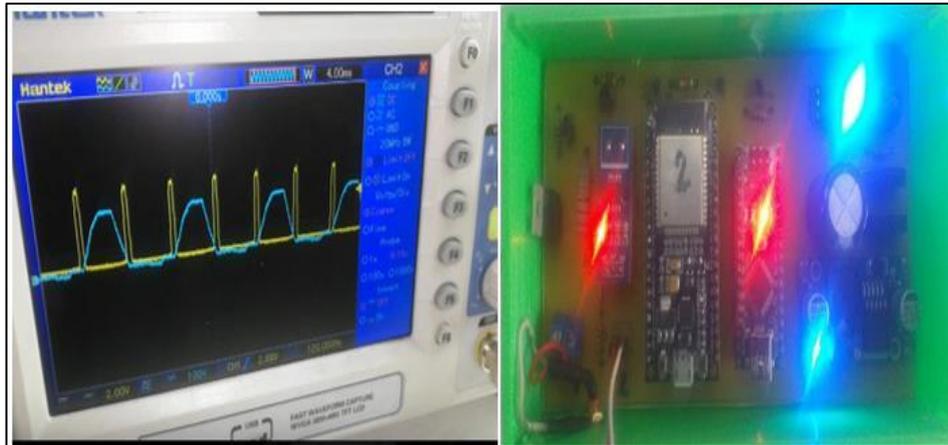


Figura 2-3: Vista del sistema de red inteligente A-LED en funcionamiento

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

Para el control desde el dispositivo móvil en la figura 3-3, se observa el funcionamiento del control de la luminosidad de los reflectores led desde el móvil (celular).



Figura 3-3: Funcionamiento del sistema A-LED controlado desde el móvil

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

3.2 Pruebas de campo

3.2.1 Pruebas para obtener datos de latencia

Uno de los factores más importantes para el desarrollo de este proyecto investigativo es la Latencia, puesto que permitió conocer el tiempo que tarda en transmitirse un paquete de datos dentro de una red siendo el factor clave en la conexión a internet, como se observa en la figura 4-3, donde la pantalla muestra en tiempo real el nivel de latencia que se encuentra proporcionando el router.

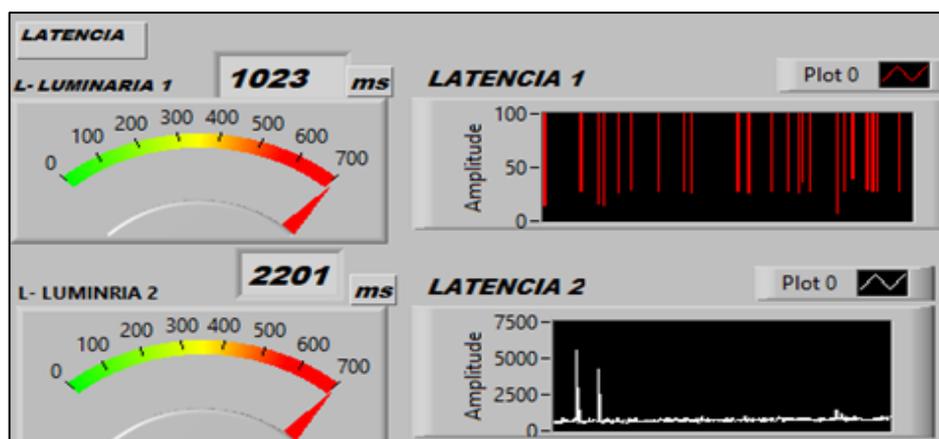


Figura 4-3: Medición de latencia en el sistema de red inteligente A-LED

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

Esta medición está dada en milisegundos (ms), siendo el tiempo que tarda en comunicarse una conexión local con un equipo remoto en la red IP. Como el tráfico de información de redes mediante conexiones IP es de mucha demanda, se procedió a realizar en tres distintas horas del día, en la mañana tarde y específicamente en la noche. Vale recalcar que la latencia está directamente relacionada con la forma de conexión a internet (Fibra óptica o conexión por medio de cable de cobre), por la demanda de conexión mediante los puertos IP y además por la distancia del equipo conectado al router.

Tabla 1-3: Pruebas de latencia

Referencia	Equipos conectados	Distancia 1m	Distancia 2m	Distancia 3m
Mañana				
7:00 a.m.	4	107,5	518,25	452,75
7:30 a.m.	4	105,4	694	822,4
9:00 a.m.	4	150,6	543	760,6
9:30 a.m.	4	146	555,8	800,5
10:00 a.m.	5	160	600,3	819
11:00 a.m.	7	200	620,5	2341
11:30 a.m.	7	205	603,6	2341
Tarde				
12:00 p.m.	7	270,1	700	7431
1:00 p.m.	7	275,1	800,1	8402
4:00 p.m.	7	280	645,2	7352
5:00 p.m.	7	285	701,6	7352
6:00 p.m.	7	290	800,1	7252
Noche				
7:00 p.m.	4	177,4	604,2	794
8:00 p.m.	4	177,4	604,2	794
9:00 p.m.	4	160,4	600	880
10:00 p.m.	4	120,2	300,3	750
11:00 p.m.	4	103,6	202,5	700

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

Como se puede visualizar en la tabla 1-3, tomando en cuenta valores promedios de las pruebas realizadas en los dos dispositivos, con las cantidades de equipos y con la misma distancia entre el router y los dispositivos se pudo obtener las siguientes gráficas de consumos donde hay que tomar

en cuenta que mientras el nivel de latencia sea más alto la comunicación será más deficiente y si la latencia es baja la calidad aumentara.

En la gráfica 1-3 de pruebas que se tomaron en el horario de la mañana, empezando a las 7 A.M, con 4 máquinas conectadas al IP del router y una distancia de 1 metro entre el router y los dispositivos, se observó que la latencia es 107,5 milisegundos, siendo lo contrario a las 12 P.M, con 7 equipos conectado al IP del router, un incremento de distancia de 3 metros entre el router y los dispositivos, se observa que la latencia aumenta en 2341 milisegundos.

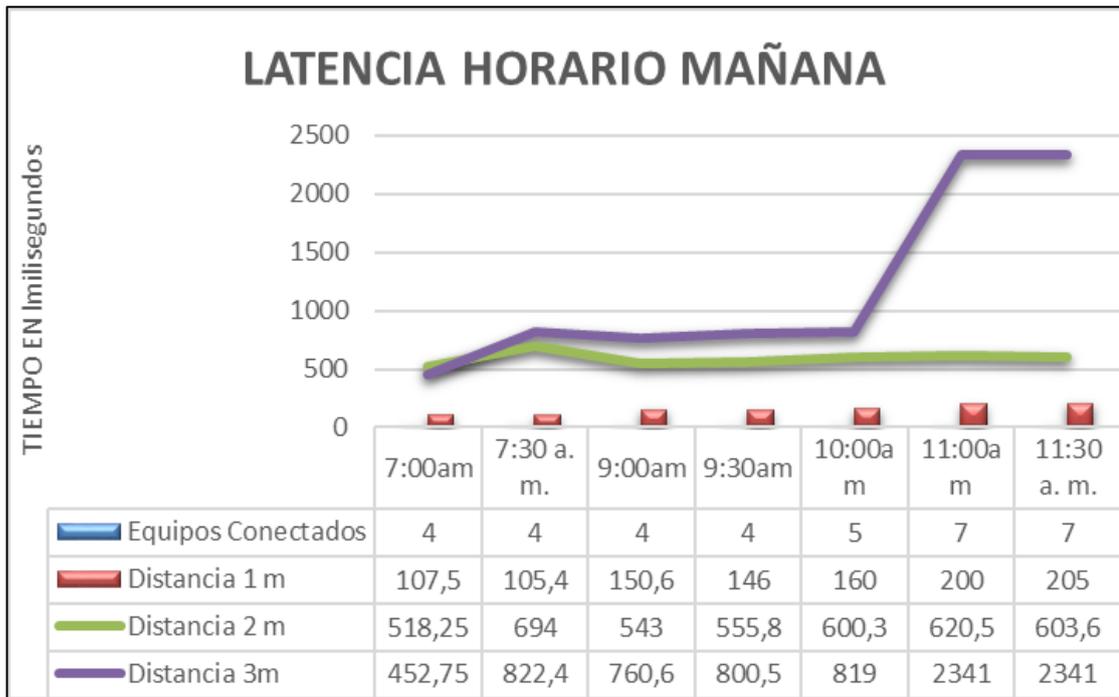


Gráfico 1-3: Pruebas de latencia en la mañana

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

En la gráfica 2-3 de pruebas que se tomaron en el horario de la tarde, empezando a las 12 P.M, con 7 máquinas conectadas al IP del router y una distancia de 1 metro entre el router y los dispositivos, se observa que la latencia es 700 milisegundos, siendo lo contrario a las 6 P.M, con 7 equipos conectado al IP del router, un incremento de distancia de 3 metros entre el router y los dispositivos, se observa que la latencia aumenta en 7252 milisegundos, por lo cual se tuvo problemas de conexión en esos momentos puesto que el router tenía una conexión inestable y difícil conexión.

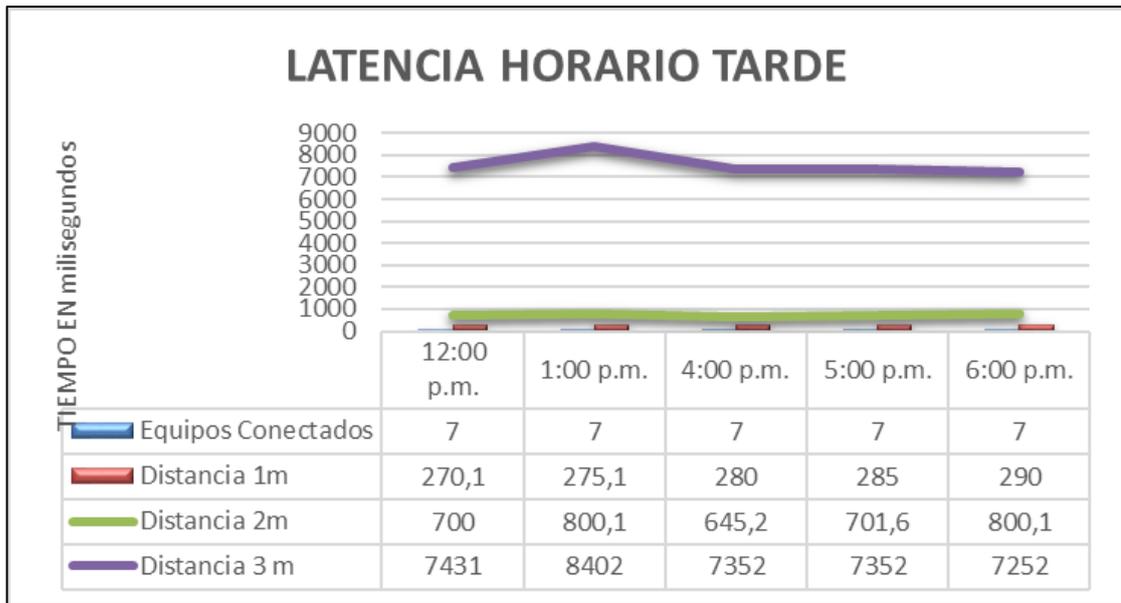


Gráfico 2-3: Pruebas de latencia en la tarde

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

En la gráfica 3-3 de pruebas que se tomaron en el horario de la noche, empezando a las 7 P.M, con 4 máquinas conectadas al IP del router y una distancia de 1 metro entre el router y los dispositivos, se observa que la latencia es 177 milisegundos, siendo lo contrario a las 10 P.M, con 4 equipos conectado al IP del router, un incremento de distancia de 3 metros entre el router y los dispositivos, se observa que la latencia aumenta en 700 milisegundos.

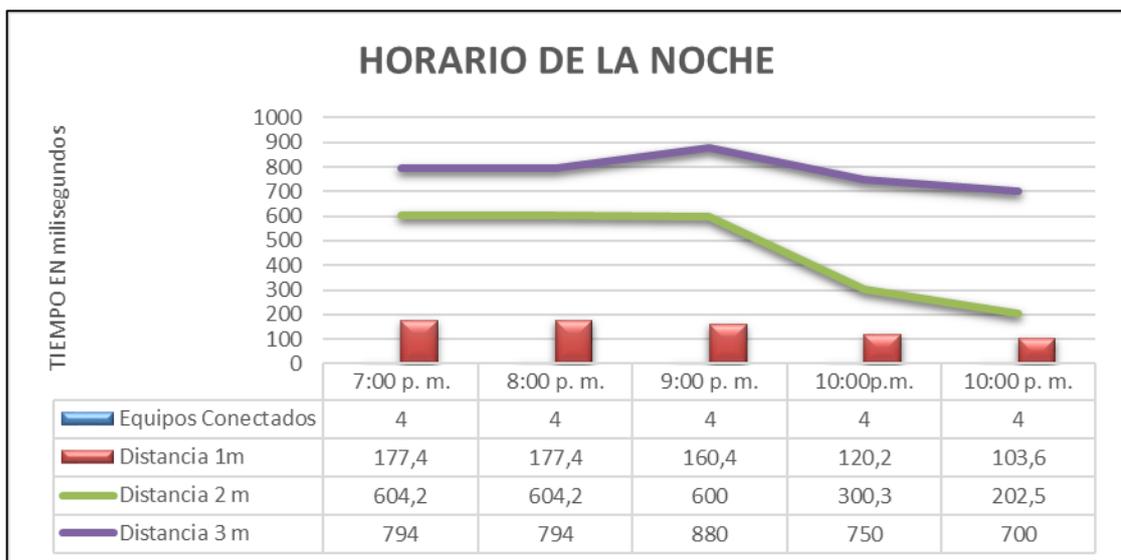


Gráfico 3-3: Pruebas de latencia en la noche

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

Estos datos se tomaron de los almacenados en Google drive, se realizó un promedio entre los datos de latencia de luminaria 1 y luminaria 2, tomadas a las mismas horas, con la misma cantidad

de equipos conectados y a las mismas distancias entre el router y el dispositivo, mismos datos están guardados en formato Excel.

3.2.2 Pruebas de luminosidad (Luxes)

Para el proceso de tomas de pruebas de Lux, como se lo visualiza en la figura 5-3, donde muestra en el sistema SCADA al momento de su funcionamiento, se realizó con el Luxómetro diseñado mediante un cálculo matemático que se lo especifico anteriormente y mediante un sensor LDR, lo acompaño un luxómetro digital.

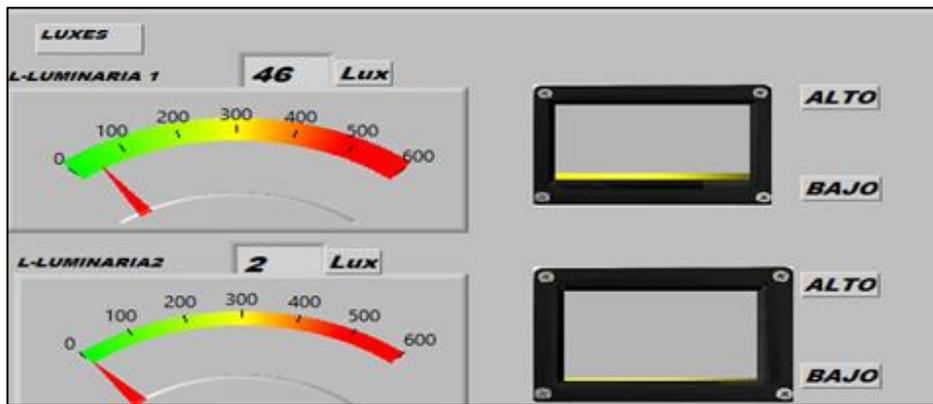


Figura 5-3: Sistema de red inteligente A-LED medición de luminosidad

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

Como se visualiza en la tabla 2-3, las pruebas fueron realizadas en función de la distancia y de la cantidad de luminosidad de los reflectores, estas pruebas se lo realizan para establecer una comparación de efectividad entre los dos luxómetros.

Tabla 2-3: Pruebas de luminosidad (Lux)

Nivel Luminosidad	Luxómetro Digital (LUX)					Luxómetro Calculado con LDR (LUX)				
	Distancia 30cm	Distancia 50cm	Distancia 70cm	Distancia 90cm	Distancia 1.5 m	Distancia 30cm	Distancia 50cm	Distancia 70cm	Distancia 90cm	Distancia 1.5 m
0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	959	310,5	201,5	111	45	952,5	300	198,5	111	39,5
40%	1339	458	305	165	63	1289,5	425	295	157,5	59
50%	1300	522	388,5	189,5	72	1289,5	513,5	377,5	170	68,5
80%	1980	684	547,5	262,5	99	1970	663,5	522	257	93
100%	2000	701	598	262,5	99	1983	700	637,5	254	93

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

Una vez obtenido los datos se relacionó los obtenidos por el luxómetro digital con los del luxómetro calculado del que se mencionó anteriormente, dando como resultados las comparaciones que se observa en las siguientes graficas:

En la gráfica 4-3 se observa que el nivel de lux aumenta a medida que la intensidad lumínica aumenta, estos datos se tomaron a 30cm del reflector al luxómetro de cada dispositivo A-LED, como se observa que en 0 % no existe nivel de lux puesto que la lámpara se encuentra apagada, pero aumenta paulatinamente mientras sube la intensidad lumínica, tanto en el Luxómetro digital donde en una intensidad al 100% se muestra que existen 2000 lux y en el luxómetro de LDR existe 1983 Lux, donde existe una mínima diferencia entre los luxómetros. Donde 1=0%; 2=20%; 3=40%; 4=50%; 5=80%; 6=100%.

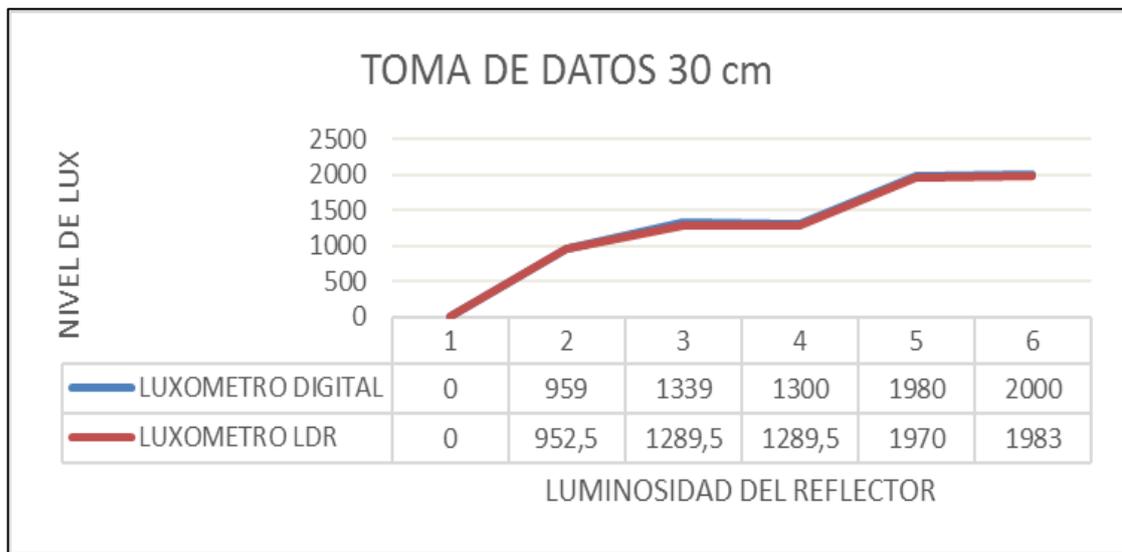


Gráfico 4-3: Pruebas de luminosidad a 30 cm

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

En la gráfica 5-3 se observa que el nivel de lux aumenta a medida que la intensidad lumínica aumenta, estos datos se tomaron, a 50cm del reflector al luxómetro de cada dispositivo A-LED, como se observa que en 0 % no existe nivel de lux puesto que la lámpara se encuentra apagada, pero aumenta paulatinamente mientras sube la intensidad lumínica, tanto en el Luxómetro digital donde en una intensidad al 100% se muestra que existen 701 lux y en el luxómetro de LDR existe 700 Lux, donde existe una mínima diferencia entre los luxómetros pero su intensidad disminuye porque se encuentran los luxómetro más alejados. Donde 1=0%; 2=20%; 3=40%; 4=50%; 5=80%; 6=100%

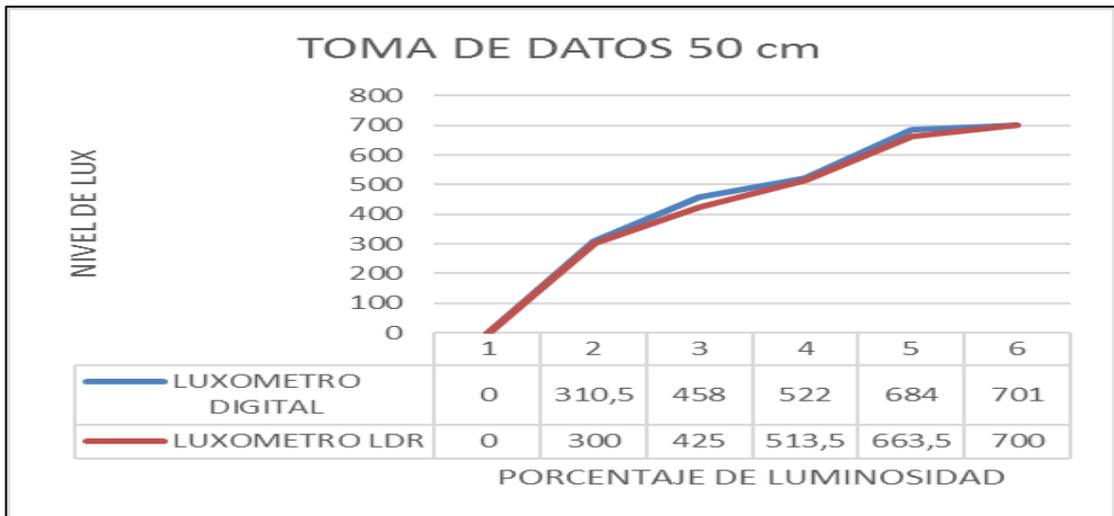


Gráfico 5-3: Pruebas de luminosidad a 50 cm

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

En la gráfica 6-3 se observa como en las anteriores pruebas el lux aumenta a medida que la intensidad lumínica aumenta, estos datos se tomaron a 90 cm del reflector al luxómetro de cada dispositivo A-LED, como se observa que en 0 % no existe nivel de lux puesto que la lámpara se encuentra apagada, pero aumenta paulatinamente mientras sube la intensidad lumínica, tanto en el Luxómetro digital donde en una intensidad al 100% se muestra que existen 262,5 lux y en el luxómetro de LDR existe 254 Lux, donde existe una mínima diferencia entre los luxómetros pero su intensidad disminuye aún más porque se encuentran los luxómetro mucho más alejados. Donde 1=0%; 2=20%; 3=40%; 4=50%; 5=80%; 6=100%.

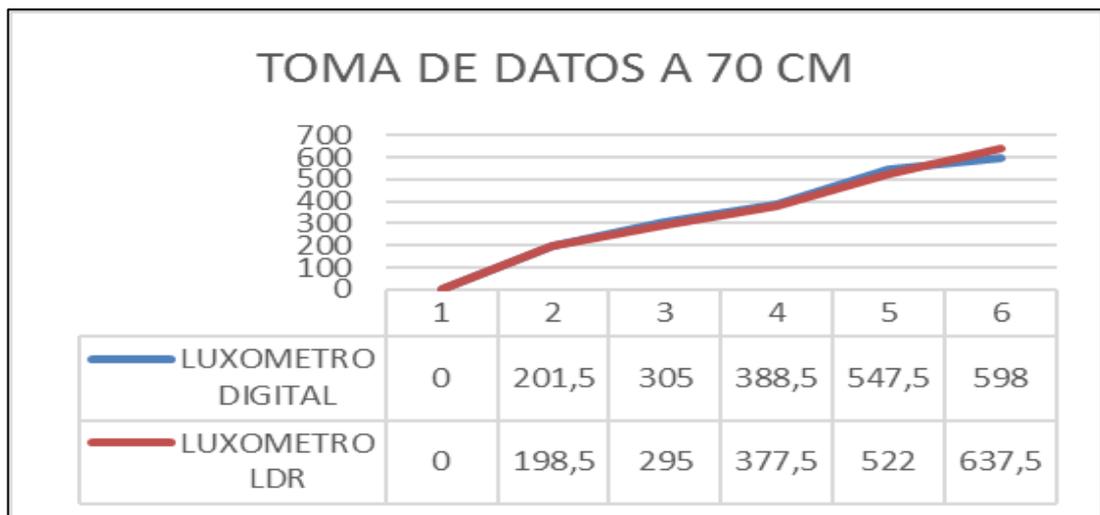


Gráfico 6-3: Pruebas de luminosidad a 70 cm

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

En la gráfica 7-3 se observa como en las anteriores pruebas el lux aumenta a medida que la intensidad lumínica aumenta, estos datos se tomaron a 90 cm del reflector al luxómetro de cada dispositivo A-LED, como se observa que en 0 % no existe nivel de lux puesto que la lámpara se

encuentra apagada, pero aumenta paulatinamente mientras sube la intensidad lumínica, tanto en el Luxómetro digital donde en una intensidad al 100% se muestra que existen 262,5 lux y en el luxómetro de LDR existe 254 Lux, donde existe una mínima diferencia entre los luxómetros pero su intensidad disminuye aún más porque se encuentran los luxómetro mucho más alejados. Donde 1=0%; 2=20%; 3=40%; 4=50%; 5=80%; 6=100%.

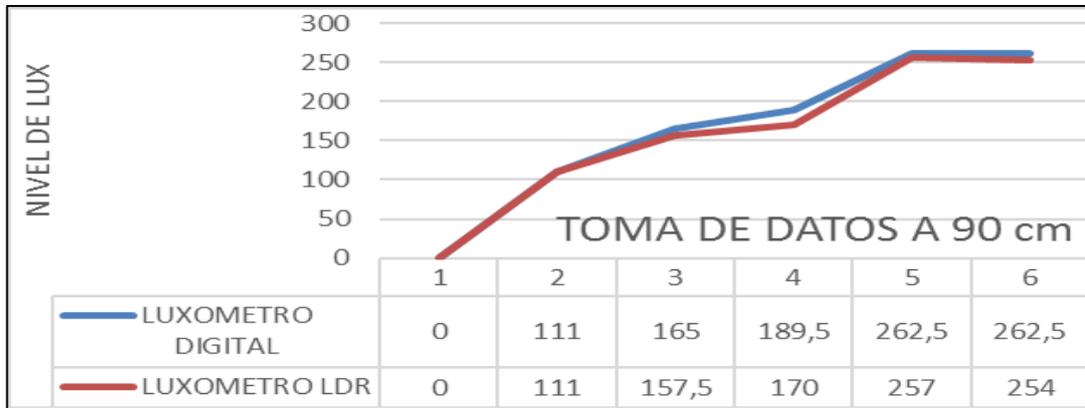


Gráfico 7-3: Pruebas de luminosidad a 90 cm

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

En la gráfica 8-3 se observa como en las anteriores pruebas el lux aumenta a medida que la intensidad lumínica aumenta, estos datos se tomaron a 90 cm del reflector al luxómetro de cada dispositivo A-LED, como se observa que en 0 % no existe nivel de lux puesto que la lámpara se encuentra apagada, pero aumenta paulatinamente mientras sube la intensidad lumínica, tanto en el Luxómetro digital donde en una intensidad al 100% se muestra que existen 99 lux y en el luxómetro de LDR existe 93 Lux, donde existe una mínima diferencia entre los luxómetros pero su intensidad disminuye aún más porque se encuentran los luxómetro mucho más alejados. Donde 1=0%; 2=20%; 3=40%; 4=50%; 5=80%; 6=100%.

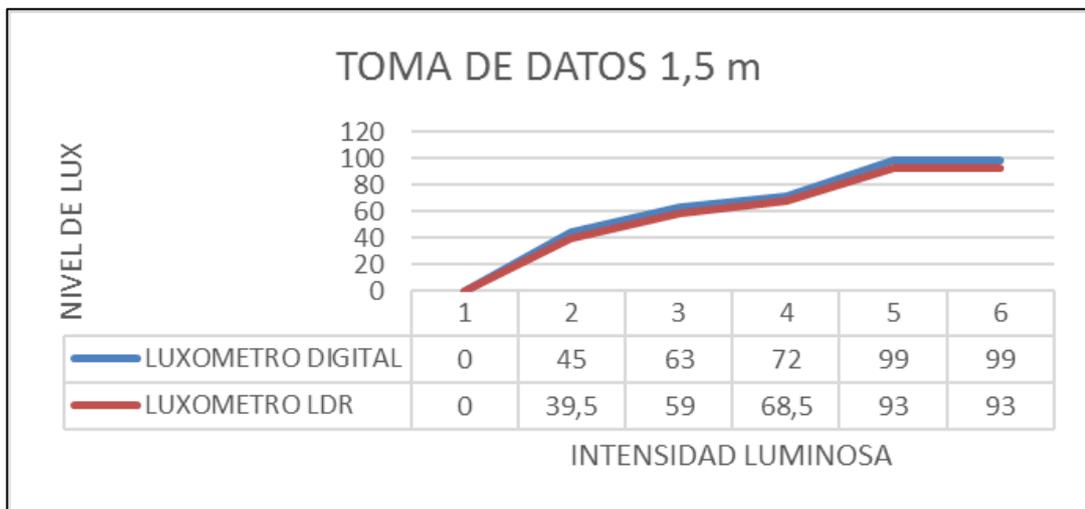


Gráfico 8-3: Pruebas de luminosidad 1,5 m

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

3.2.3 Pruebas de consumo de energía

Esta prueba permitió apreciar la cantidad de potencia que refleja nuestro sistema, entregados por los sensores que recolectan los datos y la comparación con datos recogidos por una pinza amperimétrica y el voltaje de alimentación entregado por la fuente. En la figura 5-3 se aprecia la recolección de datos en función del consumo producido relacionando el voltaje y la corriente emitido en el sistema SCADA y la presentación al usuario.

Cabe recalcar que estas pruebas también fueron desarrolladas a través del control de PWM en función de la corriente, la mismo que se refleja en la figura 6-3, donde se controla la intensidad del reflector para apreciar su potencia y los demás datos ya antes mencionados.

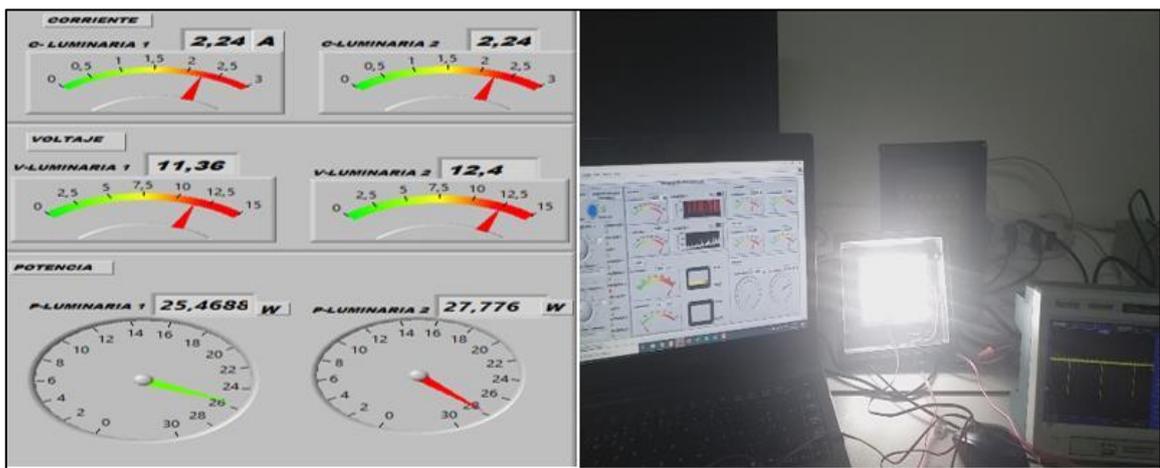


Figura 6-3: Sistema de red inteligente A-LED medición de potencia mediante PWM

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

Los datos entregados por el sensor de corriente son comparados con unas pinzas amperimétricas, las mismas que arrojaran datos digitales relacionándolas directamente con el voltaje que de alimentación del reflector. Estos valores son visualizados en la tabla 3-3. Donde se compara para ver su eficiencia.

Tabla 3-3: Pruebas de potencia

Valor	PWM	% PWM	Voltaje	Corriente	Potencia	Voltaje	Corriente	Potencia
0	0	0	12,5	0	0	12,5	0	0
1	5	1,96	12,5	0,04	0,55	12,5	0,02	0,25
2	50	19,61	12,5	0,44	5,49	12,5	0,39	4,88
3	75	29,41	12,5	0,66	8,24	12,5	0,60	7,50
4	100	39,22	12,5	0,88	10,98	12,5	0,82	10,25
5	127	49,80	12,5	1,12	13,95	12,5	1,05	13,13
6	154	60,39	12,5	1,35	16,91	12,5	1,29	16,13
7	181	70,98	12,5	1,59	19,87	12,5	1,62	20,25
8	208	81,57	12,5	1,83	22,84	12,5	1,90	23,75
9	255	100,00	12,7	2,24	28,45	12,5	2,40	30,00

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

Como se muestra en la gráfica 9-3, se observa que a medida que el PWM a empieza a vearar la corriente empieza a cambiar su valor, tal y como se observa que cuando el PWM está en 0% el sensor de corriente no visualiza ningún valor, del mismo modo las pinzas amperimétricas arroja los mismo, al variar el PWM al 100% , el sensor de corriente emite un valor de 2,4 A, así mismo las pinzas amperimétricas arroja un valor de 2,40, al observar la gráfica se percibe que existe una gran relación entre los datos emitidos. Donde 0=0%; 1=1,92%; 2=19,61%; 3=29,41; 4=39,22; 5=49,80%; 6=60,39; 7=70,98%; 8=81,57%; 9=100%.

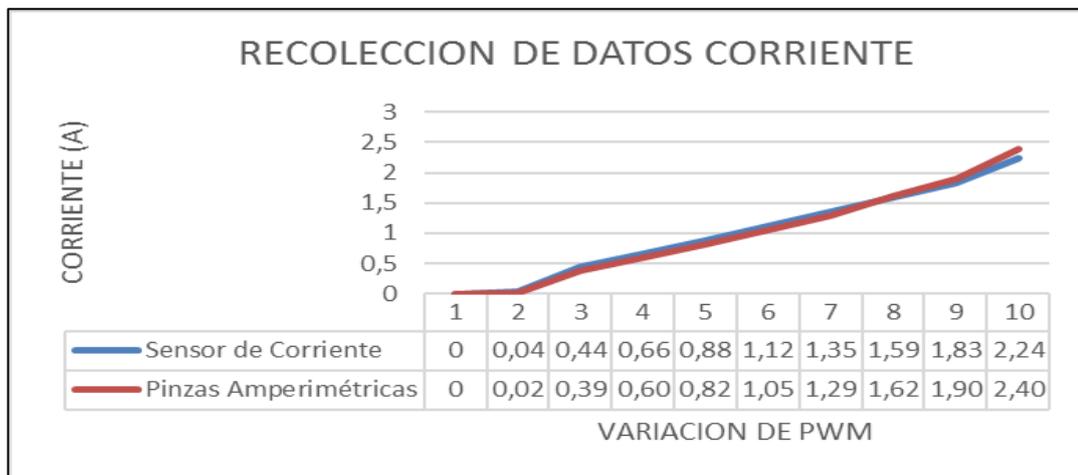


Gráfico 9-3: Pruebas de corriente por sensor y pinzas amperimétricas

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

Como se muestra en la gráfica 10-3, al variar la corriente, la potencia también varía, cuando la corriente se encuentra en 0% la potencia no emite ningún valor, del mismo modo al subir a su punto máximo al 100% la corriente, la potencia muestra su máximo consumo 28 Watt, al observar las comparaciones entre los resultados emitidos por el dispositivo y los valores medidos se denota que existe una gran relación entre los datos emitidos. Donde 0=0%; 1=1,92%; 2=19,61%; 3=29,41; 4=39,22; 5=49,80%; 6=60,39; 7=70,98%; 8=81,57%; 9=100%.

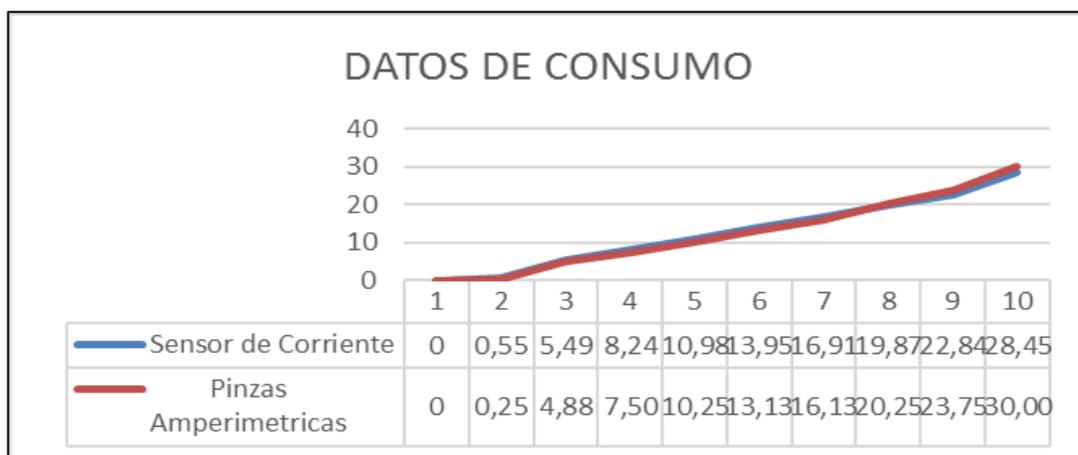


Gráfico 10-3: Pruebas de consumo del dispositivo A-LED y valores medidos

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

3.3 Análisis de funcionalidad del dispositivo

La implementación de este prototipo se lo realizó en uno de los locales de una pequeña empresa pequeña “Dexter Electronics” de la ciudad de Riobamba, las pruebas se realizaron con equipos que la empresa pudo facilitar.

El proceso se realizó de manera investigativa y mediante la observación experimental, investigando y analizando los diferentes tipos de procesos que realiza el en el dispositivo como son: conexiones inalámbricas entre consola y dispositivo móvil, lectura del sensor de corriente y del LDR que actúa como un Luxómetro, recolección y presentación de datos en un sistema SCADA y almacenar los datos en Google Drive, como documento Excel. Los resultados se presentan en la tabla 4-3.

Tabla 4-3: Pruebas de funcionamiento

Nº Prueba	Conexión TCP/IP	Lectura de sensor de Corriente	Lectura de sensor LDR	Representación de datos en el sistema SCADA	Control de luminosidad desde el sistema SCADA y el dispositivo móvil	Envío de datos a la nube (Google Drive)
1	X	X	X	X	X	X
2	X	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	X
4	X	X	X	X	X	X
5	X	X	X	X	X	X
6	X		X	X	X	X
7	X	X	X	X	X	X
8	X	X	X	X	X	X
9	X	X	X	X	X	X
10	X	X	X	X	X	X
11	X	X	X	X	X	X
12	X	X	X	X	X	X
13	X	X	X	X	X	
14	X	X	X	X	X	
15	X	X	X	X	X	X
16	X	X	X	X	X	X
17	X	X			X	X
18	X	X	X	X	X	X
19	X	X	X	X	X	X
20	X	X	X	X	X	X
21	X	X	X		X	X
22	X	X	X	X	X	X
23	X		X	X	X	X
24	X	X	X	X	X	X
25	X	X	X	X	X	X
Total	25	23	24	23	25	23

Realizado por: Sagnay Byron, 2022.

La tabla 5-3, muestra los datos finales del funcionamiento y errores del dispositivo, la funcionalidad es un promedio de los aciertos que se obtuvo en la tabla de funcionamiento y los errores se determinó de los desaciertos de la misma tabla.

Tabla 5-3: Resultados finales de funcionamiento y errores

Funcionamiento	Error conexión IP	Error de lectura del sensor de corriente	Error de lectura LDR	Error de presentación de datos	Error de control de luminosidad sistema SCADA y móvil	Error de envío de datos a la nube (Google drive)
23,66666667	0	1	1	2	0	2

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

En la gráfica 11-3 se visualiza que una vez realizadas las pruebas de funcionamiento al dispositivo ya en su totalidad tanto a los sensores, comunicación inalámbrica lecturas de datos, control de potencia ya sea por el sistema SCADA o por el móvil y la transferencia de datos a la nube (Google drive), los resultados finales de porcentaje de funcionamiento del sistema fue del 80%, mientras que los errores de lectura del sensor de Corriente es del 3%, el porcentaje de error de lectura del sensor LDR es de 3%, error de presentación de datos es de 7%, error de envío de datos a la nube es de 7%, mientras tanto que no existe errores de conexión IP y error de control de luminosidad del sistema SCADA y dispositivo móvil es de 0%.

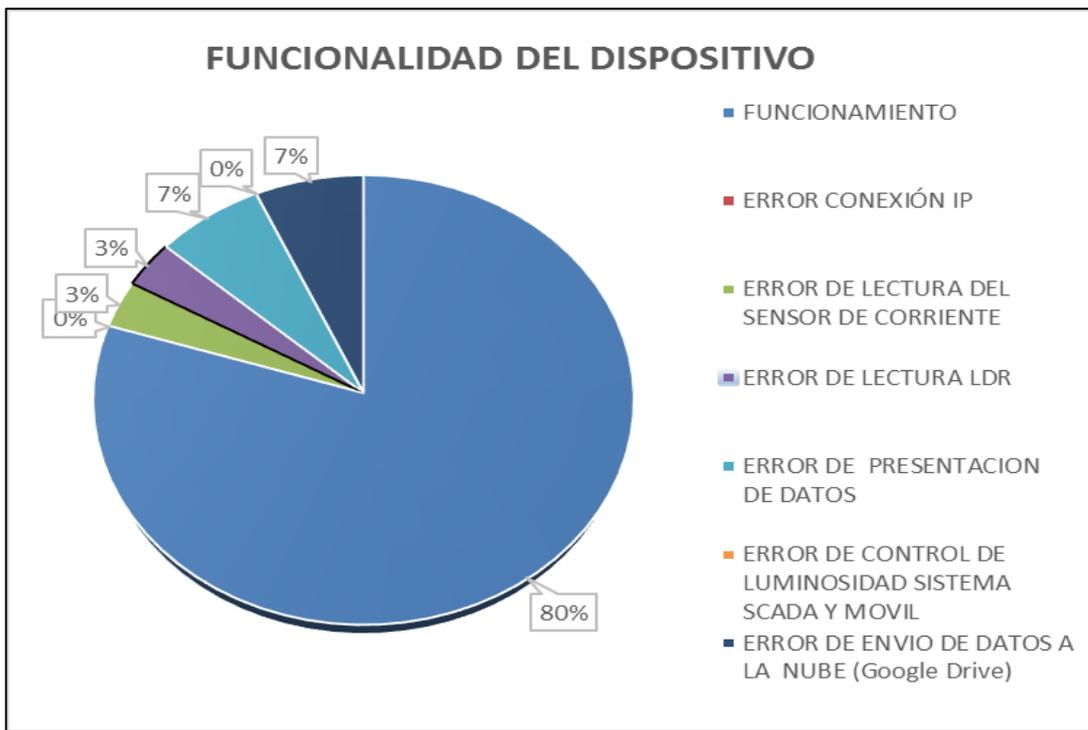


Gráfico 11-3: Funcionalidad del dispositivo

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

CAPÍTULO IV

4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este capítulo se realizó el análisis económico realizado, cuyo objetivo es estipular el precio final del dispositivo A-LED.

4.1 Análisis de costos

En la tabla 1-4 se presenta los costos que tuvieron los diferentes elementos que forman parte del prototipo. No tomando en cuenta los costos de dispositivos que se dañaron en el transcurso de la elaboración del proyecto de titulación.

Tabla 1-4: Costos del dispositivo

Materiales	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
MCU ESP32 S	2	13	26
Optoacoplador Arduino Pelv 4n25	2	1	2
Sensor de Corriente ACS712-30 A	2	4	8
Mosfet IRFZ44N	2	1	2
Sensor LDR	2	1	2
Convertidor de voltaje DC-DC Step-Up 2.5 A XL6009	2	4,75	9,50
LED de Potencia	2	30	60
Transformado de 110 AC a 24 AC	2	10	20
Puente de diodo	2	1,60	3,20
Arduino NANO	2	7,60	15,20
Componentes electrónicos varios	-	-	30
Impresión 3D	2	15	30
Diseño de sistema Sacada	1	200	200
Programación en los diferentes lenguajes	2	50	100
Diseño ampliación móvil	1	50	50
Total			567,90

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

4.2 Comparación de costos con productos similares

La tabla 2-4 representa las características de un diseño similar de dispositivo electrónico, el mismo que sería instalado en el edificio de la Escuela de Mantenimiento, cuyo se proyectó se denomina PROCOINEC Electricidad, el mismo que realiza un sistema domótico de la seguridad, confort y eficiencia energética mediante el uso de microcontroladores en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, este sistema inteligente de iluminación cubriría un área de 791,17 m² de construcción y cuyos costos se los puede observar en la tabla 2-4.

Tabla 2-4: Descripción de costos del sistema domótico **PROCOINEC Electricidad**

COSTO DE IMPLEMENTACIÓN SISTEMA DOMOTICO PROCOINE Electricidad			
Cantidad	Descripción	Valor Unitario	Valor total
1	PIC 16F876A	\$5,49	\$5,49
1	LCD 16x2 VE	\$15,10	\$15,10
	Elementos electrónicos		\$43,33
3	Sensores de movimiento	\$14,73	\$44,19
	Elementos y Materiales Eléctricos		\$285,96
	Herramientas y materiales varios		\$321,67
TOTAL			\$727,29

Realizado por: Sagñay Byron, 2022.

La implementación de este dispositivo tiene un costo de \$727,29, su modo de arquitectura es alámbrica, por lo que su costo aumenta más en su implementación, además no cuenta con un sistema de control y supervisión de sus luminarias, no cuenta con un sistema de control inalámbrica en un dispositivo celular.

Al comparar los precios del Dispositivo A-LED y el Dispositivo Domótico Procoinec Electricidad, se observa que existe una variación de costo de \$159,39 por lo tanto se el Dispositivo A-LED reduce costos por la eliminación de cableado tradicional y todos los materiales que conlleva con este tipo de diseños.

CONCLUSIONES

- En la investigación realizada previo al diseño e implementación del dispositivo, se analizó 3 micro controladores existentes en el mercado como son: Arduino, Raspberry y MCU ESP32, el cual fue elegido por las características que reúne, como una comunicación inalámbrica que posee, sus dos núcleos de procesamiento, la rapidez de comunicación, además la compatibilidad con entornos de desarrollos de lenguajes, como el que fue utilizado para el proyecto de fin de carrera como es Arduino IDE el cual mediante la utilización de sus librerías en la programación permitió establecer una comunicación bidireccional entre el router y los dos dispositivos necesario para su desarrollo.
- Mediante la investigación experimental se procedió a elegir los elementos necesarios que fueron útiles para la creación del dispositivo, permitiendo obtener una óptima comunicación entre los dispositivos y sensores, estableciendo lectura de datos óptimos que permita monitorizar y medir el comportamiento eléctrico del reflector en una pantalla de Sistema SCADA.
- Mediante la selección del entorno de desarrollo de lenguaje ARDUINO ID, se procedió a utilizar sus librerías y mediante la creación de variables que permiten el almacenamiento de datos, se pudo determinar la latencia de comunicación, la cantidad de lúmenes que emite el reflector y mediante el cálculo de la corriente asociada con el voltaje se recopiló datos de la potencia o energía consumida, dichos datos son reflejados en el Sistema SCADA diseñado.
- Mediante la pruebas realizadas al dispositivo se concluye que es un dispositivo que tiene una eficiencia del 80%, esto quiere decir que el dispositivo es fiable y que tiene un buen funcionamiento, permitiendo una comunicación inalámbrica óptima entre todos los dispositivos de la red, el control de intensidad de luminarias tanto del sistema SCADA como es eficiente y del dispositivo móvil (celular), existe una excelente transmisión y recolección de datos que se almacena en la nube (Google drive), estas pruebas también se demostraron errores los mismos que bajan la eficiencia del dispositivo.

RECOMENDACIONES

- Para una buena eficiencia del dispositivo se recomienda tener una red de internet con una velocidad de comunicación mayor a 25 Mb, puesto que la lentitud de comunicación inalámbrica no permite que exista una buena recolección y transmisión de datos, al contrario, hace más lento el desarrollo del sistema haciendo que no se cumpla los requerimientos presentados al momento del diseño.
- Al momento de alimentar al reflector LED por medio de su driver a su fuente de alimentación, se recomienda realizar una etapa de protección del microcontrolador y así evitar sobre cargas de voltaje o corriente que puedan dañarlo.
- Es necesario colocar un convertidor AC/DC para la creación del dispositivo para mantener una protección del circuito y estabilidad de alimentación, evitando que exista sobre cargas inesperadas que puedan dañar a el dispositivo.
- Se debería implementar una red independiente para todo sistema de iluminación, des esta manera se mejorar la latencia en la comunicación.

BIBLIOGRAFÍA

330 OHMS. Comparativa Arduino IDE vs Micro Python para el ESP32. *330ohms*. [En línea] 2020. [Citado el: 06 de Abril de 2021.] <https://blog.330ohms.com/2020/07/17/comparativa-arduino-v-s-micropython-para-el-esp32/>.

AHMAD, Majeed. La anatomía de los microcontroladores de seguridad para aplicaciones de IoT. *Digikey*. [En línea] 13 de Enero de 2020. [Citado el: 03 de Marzo de 2021.] <https://www.digikey.es/es/articles/the-anatomy-of-security-microcontrollers-for-iot-applications>.

ALLEGRO MICROSYSTEMS. ACS712: IC de sensor de corriente lineal basado en efecto Hall totalmente integrado con aislamiento de voltaje de 2,1 kVRMS y un conductor de corriente de baja resistencia. *Allegromicro*. [En línea] 2019. [Citado el: 06 de Junio de 2021.] <https://www.allegromicro.com/en/products/sense/current-sensor-ics/zero-to-fifty-amp-integrated-conductor-sensor-ics/acs712>.

ARDUINO CL. Arduino Nano. *Arduino cl*. [En línea] 2020. [Citado el: 02 de Junio de 2021.] <https://arduino.cl/arduino-nano/>.

ASAMBLEA NACIONAL. Ley Organica de Educación Superior. *Educación superior*. [En línea] 2010. [Citado el: 06 de Marzo de 2021.] https://www.educacionsuperior.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/LEY_ORGANICA_DE_EDUCACION_SUPERIOR_LOES.pdf.

AULA 21. Qué es un sistema SCADA, para qué sirve y cómo funciona. *Cursosaula21*. [En línea] 2021. [Citado el: 02 de Mayo de 2021.] <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-scada/>.

B-LED. Tecnología LED presente en las redes inteligentes de la iluminación urbana. *B-LED*. [En línea] 24 de Agosto de 2017. [Citado el: 14 de Marzo de 2021.] <https://www.barcelonaled.com/blog/noticias-barcelona-led/tecnologia-led-iluminacion-urbana/>.

CARROD ELECTRÓNICA. Transformador 24 V 1 A Tap central - Entrada 110 V. *Carrod*. [En línea] 2014. [Citado el: 11 de Mayo de 2021.] <https://www.carrod.mx/products/transformador-24-v-1-a-con-tap-central-entrada-110-v>.

CENACE. En Ecuador, el consumo de energía eléctrica se incrementó en un 4,5% en 2019. *Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables*. [En línea] 09 de Enero de 2020.

[Citado el: 01 de Marzo de 2021.] <https://www.recursoyenergia.gob.ec/en-ecuador-el-consumo-de-energia-electrica-se-incremento-en-un-45-en-2019/>.

CHIARI, Mario. Cómo calcular el consumo de una bombilla LED. *Scribd*. [En línea] 2021. [Citado el: 12 de Marzo de 2021.] <https://es.scribd.com/document/449776009/Como-calcular-el-consumo-de-una-bombilla-led>.

CODEGEEK. ESP32 vs Arduino. *Youtube*. [En línea] 2020. [Citado el: 04 de Abril de 2021.] <https://www.youtube.com/watch?v=7hnq113eH0M>.

DADEMUCH CONNECTION. Definición de Electrónica de Potencia. *Dademuchconnection*. [En línea] 22 de Marzo de 2019. [Citado el: 07 de Abril de 2021.] <https://dademuch.com/2019/03/22/electronica-de-potencia-introduccion/>.

DEBIASE. Reflector LED. *Grupo Debiase*. [En línea] 2021a. [Citado el: 09 de Marzo de 2021.] <https://www.grupodebiase.com/busqueda?controller=search&s=reflector+led>.

DEBIASE. Reflectores LED: Beneficios y características. *Grupo Debiase*. [En línea] 18 de Julio de 2020b. [Citado el: 10 de Marzo de 2021.] <https://www.grupodebiase.com/blog/reflectores-led-beneficios-y-caracteristicas-b12.html>.

DESCUBRE ARDUINO. ¿Qué es un Microcontrolador? *Descubre Arduino*. [En línea] 2021. [Citado el: 21 de Marzo de 2021.] <https://descubrearduino.com/microcontrolador/>.

DISETE. ¿Qué es la latencia y cómo puede afectar tus comunicaciones? *Disete Comunicaciones*. [En línea] 17 de Diciembre de 2019. [Citado el: 18 de Marzo de 2021.] <https://disete.com/que-es-la-latencia-y-como-puede-afectar-tus-comunicaciones/>.

DOCS-ESPRESSIF. ESP32 C3 DevKitC 02. *Docs-Espressif*. [En línea] 2021a. [Citado el: 28 de Marzo de 2021.] <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32c3/hw-reference/esp32c3/user-guide-devkitc-02.html>.

DOCS-ESPRESSIF. Debugging Examples. *Docs-Espressif*. [En línea] 2016b. [Citado el: 27 de Marzo de 2021.] https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/zh_CN/release-v3.1/api-guides/jtag-debugging/debugging-examples.html.

ELECTROGEEK. Arduino Nano pinout y características. *Electrogeek*. [En línea] 2020. [Citado el: 03 de Junio de 2021.] <https://www.electrogeekshop.com/arduino-nano-pinout-y-caracteristicas/>.

ELECTRÓNICA ESTUDIO. ¿Qué es un microcontrolador? *Electrónica Estudio*. [En línea] 2019. [Citado el: 22 de Marzo de 2021.] <https://www.estudioelectronica.com/que-es-un-microcontrolador/>.

ESP-PRODUCT-SELECTOR. Entornos de desarrollo. *Products Espressif*. [En línea] 2021a. [Citado el: 30 de Marzo de 2021.] <https://products.espressif.com/#/product-comparison>.

ESP-PRODUCT-SELECTOR. ESP Product Selector. *Products espressif*. [En línea] 2021b. [Citado el: 01 de Junio de 2021.] <https://products.espressif.com/#/product-comparison>.

ESPRESSIF. ESP32 Series Datasheet. *Espressif*. [En línea] 2019. [Citado el: 30 de Marzo de 2021.] https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf.

FORMID APP. Tablero de datos para LabVIEW por National Instruments. *Formid App*. [En línea] 2015. [Citado el: 11 de Mayo de 2021.] <https://es.formidapps.com/ios/app.data-dashboard-for-labview-jCBmjDBz.aspx>.

FORUMS NATIONAL INSTRUMENTS. Data Dashboard para LabVIEW. *Forums NI*. [En línea] 2017. [Citado el: 10 de Mayo de 2021.] <https://forums.ni.com/t5/Smartphones-Tablets-and-Mobile/Data-Dashboard-for-LabVIEW-iOS-Android-Windows-8-8-1-10-and/ta-p/3515565?profile.language=es>.

GARCÍA, Vicente. Sensor de corriente ACS712. *Diario electronico hoy*. [En línea] 2015. [Citado el: 14 de Julio de 2021.] <https://www.diarioelectronico hoy.com/blog/sensor-de-corriente-acs712>.

HERRANZ, Álvaro. Desarrollo de aplicaciones para IoT con el módulo ESP32. *Ebuah*. [En línea] 2019. [Citado el: 06 de Abril de 2021.] <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/35420>.

IGGY. Optoacoplador 4N25: Hoja de datos, circuito, distribución de terminales. *Apogee web*. [En línea] 2020. [Citado el: 04 de Junio de 2021.] <https://www.apogee web.net/circuitry/4n25-optocoupler-datasheet-circuit-pinout.html#4n25-pinout>.

IKASTAROAK. Características de las fuentes de luz. *Ikastaroak*. [En línea] 2020. [Citado el: 11 de Marzo de 2021.] https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI03/es_IEA_IEI03_Contenidos/website_11_caractersticas_de_las_fuentes_de_luz.html#.

ILUMINET. Luz y reflectancia. *Iluminet*. [En línea] 05 de Junio de 2018. [Citado el: 11 de Marzo de 2021.] <https://www.iluminet.com/luz-iluminacion-reflectancia/>.

INTECH AUTOMATIZACIÓN. Características del Estandar ANSI/ISA 101.01-2015: Interfaces Humano-Máquina para sistemas de automatización de procesos. *Isamex*. [En línea] 2019. [Citado el: 11 de Junio de 2021.] <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2019/02/12/caracteristicas-del-estandar-ansi-isa-101-01-2015-interfaces-humano-maquina-para-sistemas-de-automatizacion-de-procesos/>.

INTELLIGY. ¿Qué utilizar, un micro controlador o un PLC? *Intelligy*. [En línea] 2018. [Citado el: 03 de Mayo de 2021.] <https://intelligy.com/blog/2018/03/26/que-utilizar-un-micro-controlador-o-un-PLC/>.

INTEREMPRESAS. LabVIEW, El software de ingeniería de sistemas que requieren pruebas, medidas y control - Electrónica. *Interempresas*. [En línea] 2020. [Citado el: 05 de Mayo de 2021.] <https://www.interempresas.net/Electronica/Articulos/262150-LabVIEW-el-software-de-ingenieria-de-sistemas-que-requieren-pruebas-medidas-y-control.html>.

JIMÉNEZ, Juan. Mini taller de LabVIEW básico. *Wordpress*. [En línea] 2018. [Citado el: 09 de Mayo de 2021.] <https://ditlag.wordpress.com/2018/10/10/mini-taller-de-labview-basico/>.

KNOWLEDGE. Archived: Comience Con Data Dashboard Para LabVIEW - National Instruments. *Knowledge*. [En línea] 2021. [Citado el: 07 de Mayo de 2021.] <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA03q000000x1rYCAQ&l=es-EC>.

LAITON, Wilmar. Detector de cruce por cero con optoacoplador. *Wilaeba Electrónica*. [En línea] 21 de Abril de 2018. [Citado el: 20 de Abril de 2021.] <https://wilaebaelectronica.blogspot.com/2018/04/detector-de-cruce-por-cero-con-optoacoplador-optoelectronica.html>.

LBA INDUSTRIAL. ¿Qué son las lámparas LED? ¿Cómo funcionan? ¿Cuales son las ventajas y desventajas? *LBA Industrial*. [En línea] 10 de Junio de 2018. [Citado el: 07 de Marzo de 2021.] <http://www.lbaindustrial.com.mx/lamparas-led/>.

LLINARES, David. Desarrollo de aplicación IoT para la monitorización de consumos eléctricos en una vivienda. *Ruinet*. [En línea] 2020. [Citado el: 07 de Abril de 2021.] <https://riunet.upv.es/handle/10251/151196>.

LÓPEZ, Juan. Cobertura wifi: estos son los obstaculos que reducen el alcance de tu red inalámbrica y asi puedesevitarlos. *Xataka*. [En línea] 11 de Marzo de 2020. [Citado el: 17 de Marzo de 2021.] <https://www.xataka.com/especiales/cobertura-wifi-estos-obstaculos-que-reducen-en-alcance-tu-red-inalambrica-asi-puedes-evitarlos>.

LORENZO, Mari. La importancia de la ingeniería de potencia y la electrónica de potencia: una breve historia. *EE Power*. [En línea] 23 de Mayo de 2020. [Citado el: 10 de Abril de 2021.] <https://eepower.com/market-insights/the-importance-of-power-engineering-and-power-electronics-a-brief-history/#>.

MAÑANA CANTELI, Mario. Convertidores electrónicos de potencia. *Academia*. [En línea] 2013. [Citado el: 12 de Abril de 2021.] <https://www.academia.edu/26441274>.

MARMOLEJO, Rubén E. Microcontrolador – qué es y para que sirve. *Hetpro*. [En línea] 2017. [Citado el: 21 de Marzo de 2021.] <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>.

MECATRÓNICA LATAM. Diodo LED. *Mecatrónica LATAM*. [En línea] 2021. [Citado el: 30 de Abril de 2021.] <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/electronica/componentes-electronicos/diodo/diodo-led/>.

MOCKEY, Israel; & MANZANO, Eduardo. Tendencias en la consideración de la depreciación luminosa de las lámparas empleadas en alumbrado viario. *Scielo*. [En línea] 2013. [Citado el: 12 de Marzo de 2021.] http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012013000100003.

MUNDO LED. Características generales de los Reflectores LED para iluminación decorativa. *Mundo LED*. [En línea] 2021. [Citado el: 09 de Marzo de 2021.] <https://www.mundoled.com.do/caracteristicas-generales-del-reflector-led-para-iluminacion-decorativa/>.

NAYLAMP MECHATRONICS. Convertido de voltaje DC-DC. *Naylamp Mechatronics*. [En línea] 2017. [Citado el: 09 de Junio de 2021.] <https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/49-convertidor-voltaje-dc-dc-step-down-5a-x14005.html>.

NC STATE UNIVERSITY. Electrónica de potencia y sistemas de potencia. *Ece*. [En línea] 2020. [Citado el: 09 de Abril de 2021.] <https://ece.ncsu.edu/research/pes/>.

NEWS AMERICA DIGITAL. Plataformas IoT: Qué son y Por qué implementarlas. *News América*. [En línea] 27 de Enero de 2020. [Citado el: 19 de Marzo de 2021.] <https://news.americadigital.com/iot-plataformas-implementacion-exitosa/>.

PDA CONTROL. ESP-IDF for Modules ESP32 Complete Installation - PDAControl. *Pda control*. [En línea] 2017. [Citado el: 01 de Abril de 2021.] <http://pdacontrolen.com/esp-idf-modules-esp32-complete-installation/>.

PELV. 4n25 Optoacoplador Arduino Pelv. *Pelvalledupar*. [En línea] 2021. [Citado el: 05 de Junio de 2021.] https://pelvalledupar.mercadoshops.com.co/MCO-598867337-4n25-optoacoplador-arduino-pelv-_JM.

PICCIRILLO, Chuck. Fundamentos de los sistemas de control de iluminación conectados. *Electrical Business*. [En línea] 26 de Febrero de 2018. [Citado el: 13 de Marzo de 2021.] <https://www.ebmag.com/fundamentals-of-connected-lighting-control-systems-20179/>.

PINZÓN GONZÁLEZ, Andrés David; & DE ANDRADE FERNÁNDEZ, Alejandro. Implementación del sistema de domótica en el hogar. *Universidad Católica de Pereira*. [En línea] 2013. [Citado el: 04 de Marzo de 2021.] <https://repositorio.ucp.edu.co/bitstream/10785/19891/CDM IST73.pdf>.

PREMIUM LIGHT PRO. Conceptos básicos de diseño de iluminación interior. *Study lib*. [En línea] Julio de 2017. [Citado el: 07 de Marzo de 2021.] <https://studylib.es/doc/8858522/8-conceptos-basicos-diseno-de-iluminacion-interior>.

PROMETEC. Instalando El ESP32 | Tienda y Tutoriales Arduino. *Prometec*. [En línea] 2019. [Citado el: 02 de Abril de 2021.] <https://www.prometec.net/instalando-esp32/>.

ROBOTS. Sensores - LDR - Robots Argentina. *Robots Argentina*. [En línea] 2020. [Citado el: 06 de Junio de 2021.] http://robots-argentina.com.ar/Sensores_LDR.htm.

RODRÍGUEZ PENIN, Aquilino. *Sistemas SCADA*. Barcelona: Alfaomega, 2013. 9789587781274.

SALAZAR, Jordi. Redes Inalámbricas. *Upcommons*. [En línea] 2018. [Citado el: 15 de Marzo de 2021.] https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf.

SANTRA, Subhendu; et al. Generación de Esquemas PWM para Convertidores Electrónicos de Potencia. *Researchgate*. [En línea] 2018. [Citado el: 21 de Abril de 2021.] https://www.researchgate.net/publication/334701129_Generation_of_PWM_Schemes_for_Power_Electronic_Converters.

SENPLADES. Revolución productiva a través del conocimiento y el talento humano. *Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo*. [En línea] 2012. [Citado el: 05 de Marzo de 2021.] https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/01/matriz_productiva_WEBtodo.pdf.

SHOPTRONICA. ¿Que es pwm y como funciona? *Shoptronica*. [En línea] 2021. [Citado el: 05 de Mayo de 2021.] <https://www.shoptronica.com/curiosidades-tutoriales-y-gadgets/4517-que-es-pwm-y-como-funciona-0689593953254.html>.

SICA. Luminarias LED contribuyen hasta en un 60% de reducción en consumo eléctrico. *Sistema de la integración Centroamericana*. [En línea] 15 de Octubre de 2018. [Citado el: 02 de Marzo de 2021.] https://www.sica.int/noticias/luminarias-led-contribuyen-hasta-en-un-60-de-reduccion-en-consumo-electrico_1_115735.html.

SIGNIFICADOS. Significado de empírico. *Significados*. [En línea] 2020. [Citado el: 13 de Mayo de 2021.] <https://www.significados.com/empirico/>.

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO. Comunicaciones digitales: Modulación discreta de pulsos. *Itq*. [En línea] 2021. [Citado el: 01 de Mayo de 2021.] http://www.itq.edu.mx/carreras/IngElectronica/archivos_contenido/Apuntes%20de%20materias/CDF1202_Comm_Digitales/5_PAM-PPM-PWM.pdf.

TORRES, Hugo. Rectificador de onda completa- Puente de diodos. *Hetpro*. [En línea] 2018. [Citado el: 18 de Abril de 2021.] <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/rectificador-de-onda-completa/>.

TOSTATRONIC. Puente de diodos de 1A. *Tostatronic*. [En línea] 2017. [Citado el: 15 de Mayo de 2021.] <https://tostatronic.com/store/potencia/198-puente-de-diodos-1a.html>.

TWENERGY. ¿Qué son las luces LED? *Twenergy*. [En línea] 14 de Octubre de 2019. [Citado el: 08 de Marzo de 2021.] <https://twenergy.com/luz/que-son-las-luces-led-1677/>.

UNIT ELECTRONICS. 2N3906 Transistor BJT. *Uelectronics*. [En línea] 2016a. [Citado el: 09 de Junio de 2021.] <https://uelectronics.com/producto/2n3906-transistor-bjt-pnp-40v-to-92/>.

UNIT ELECTRONICS. 2N3904 Transistor BJT NPN 40V TO-92. *Unit Electronics*. [En línea] 2014b. [Citado el: 13 de Mayo de 2021.] <https://uelectronics.com/producto/2n3904-transistor-bjt-npn-40v-to-92/>.

VESTERTRAINING. Sistema SCADA. *Vestertraining*. [En línea] 2019. [Citado el: 01 de Mayo de 2021.] <https://vestertraining.com/blog/sistemas-scada/>.

WORDPRESS. IDE Arduino y configuración . *Aprendiendo Arduino*. [En línea] 2017. [Citado el: 03 de Abril de 2021.] <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/06/18/ide-arduino-y-configuracion/>.

ANEXOS

ANEXO A: CÓDIGO FUENTE

// Este código fue utilizado en los dos dispositivos, aquí se demuestra el código fuente de solo uno, los que les diferencia a los códigos son las variables utilizadas//

```
#include <WiFi.h>
#define SERVER_PORT 8080
const char* ssid = "Dexter";
const char* password = "Virus.exe";

WiFiServer server(SERVER_PORT);
int i,dutyCycle;
float v;
float Sensibilidad=0.0404; //sensibilidad en Voltios/Amperio para sensor de 30A
int voltaje,luxes;
int I,a=0;
// the number of the LED pin
const int ledPin = 23; // Salida PWM
const int senPin = 36; // Sensor de Corriente
const int Pinvol = 39;
const int Pinlux = 34;
int potValue = 0;
String dato="";
int cont=0;
// setting PWM properties
const int freq = 10000;
const int ledChannel = 0;
const int resolution = 8;
float voltajeSensor;
int corriente=0;
```

```

unsigned long time1;
unsigned long time2;
unsigned long laten;
String DATAC="",IDC="a";
String DATAV="",IDV="b";
String DATAL="",IDL="c";
String DATAR="",IDR="d";
String DATOS="";
void setup()
{
  pinMode(23,OUTPUT);
  pinMode(36,INPUT);
  Serial.begin(115200);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  { Serial.print("__");
    delay(200);
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi Successfully Connected");
  Serial.print("NodeMCU IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  server.begin();
  Serial.println("NodeMCU as a Server Role Started");
  for(i=0;i<5;i++)
  { digitalWrite(23,HIGH);
    delay(40);
    digitalWrite(23,LOW);
    delay(40);
  }

  // configure LED PWM functionalitites
  ledcSetup(ledChannel, freq, resolution);

  // attach the channel to the GPIO to be controlled
  ledcAttachPin(ledPin, ledChannel);
}

```

```

void loop()
{
  WiFiClient client = server.available();
  if (client)
  {

    while(1)
    {
      while(client.available())
      {
        if(a==0)
          { time1 = millis(); a=1;
          }else{
            time2 = millis(); a=0;
          }
        if(time2>time1){laten=time2-time1;}

        uint8_t data =client.read();
        Serial.print("DATO LABVIEW NODE 1: ");
        Serial.write(data);
        Serial.println(" ");
        DATOS=DATAC;
        DATOS+=",";
        DATOS+=DATAV;
        DATOS+=",";
        DATOS+=DATAL;
        DATOS+=",";
        DATOS+=DATAR;
        client.print(DATOS);
        /*
        client.println(DATAC);
        delay(25);
        client.println(DATAV);
        delay(25);
        client.print(DATAL);
        delay(25);

```

```

        client.print(DATAR);
    */
    Serial.print("Corriente: ");
    Serial.print(DATAC);
    Serial.print(" Voltaje: ");
    Serial.print(DATAV);
    Serial.print(" Luxes: ");
    Serial.print(DATAL);
    Serial.print(" Laten: ");
    Serial.print(DATAR);
    Serial.print(" TAM: ");
    Serial.println(DATOS.length());

    if(data=='0'){ dutyCycle= 0; }
    if(data=='1'){ dutyCycle=5; }
    if(data=='2'){ dutyCycle=50; }
    if(data=='3'){ dutyCycle=75; }
    if(data=='4'){ dutyCycle=100; }
    if(data=='5'){ dutyCycle=125; }
    if(data=='6'){ dutyCycle=150; }
    if(data=='7'){ dutyCycle=175; }
    if(data=='8'){ dutyCycle=200; }
    if(data=='9'){ dutyCycle= 255; }
    brillo();
}
if(server.hasClient())
{
    return;
}
}
}

void brillo()
{

```

```

// dutyCycle =dutyCycle +1;
//if(dutyCycle>=255){ dutyCycle=0; }
    ledcWrite(ledChannel, dutyCycle);
    // changing the LED brightness with PWM
// ledcWrite(ledChannel, dutyCycle);
    datoserial();
    delay(5);

    // decrease the LED brightness
}
float get_corriente(int n_muestras)
{
    corriente=0;
    for(int i=0;i<n_muestras;i++)
    {
        voltajeSensor = analogRead(senPin);////lectura del sensor
        corriente=corriente+voltajeSensor; //Ecuación para obtener la corriente
    }
    corriente=(corriente/n_muestras)-2913;
    if(corriente<=0){ corriente=0;}
    return(corriente);
}

void datoserial()
{

    int I2=get_corriente(100);
    I=((dutyCycle*100)/255)*2.24;
    //float luxes1= (0.4924*(pow(dutyCycle,2))) + (22.674*dutyCycle) - 28.167;

    procesodato();
    int voltaje2 = analogRead(Pinvol);
    voltaje =(voltaje2* (30.0 / 4096.0))*100;
    float luxx=0;
    for(int j=1;j<=100;j++)
    {
        luxx = luxx+analogRead(Pinlux);
    }
}

```

```

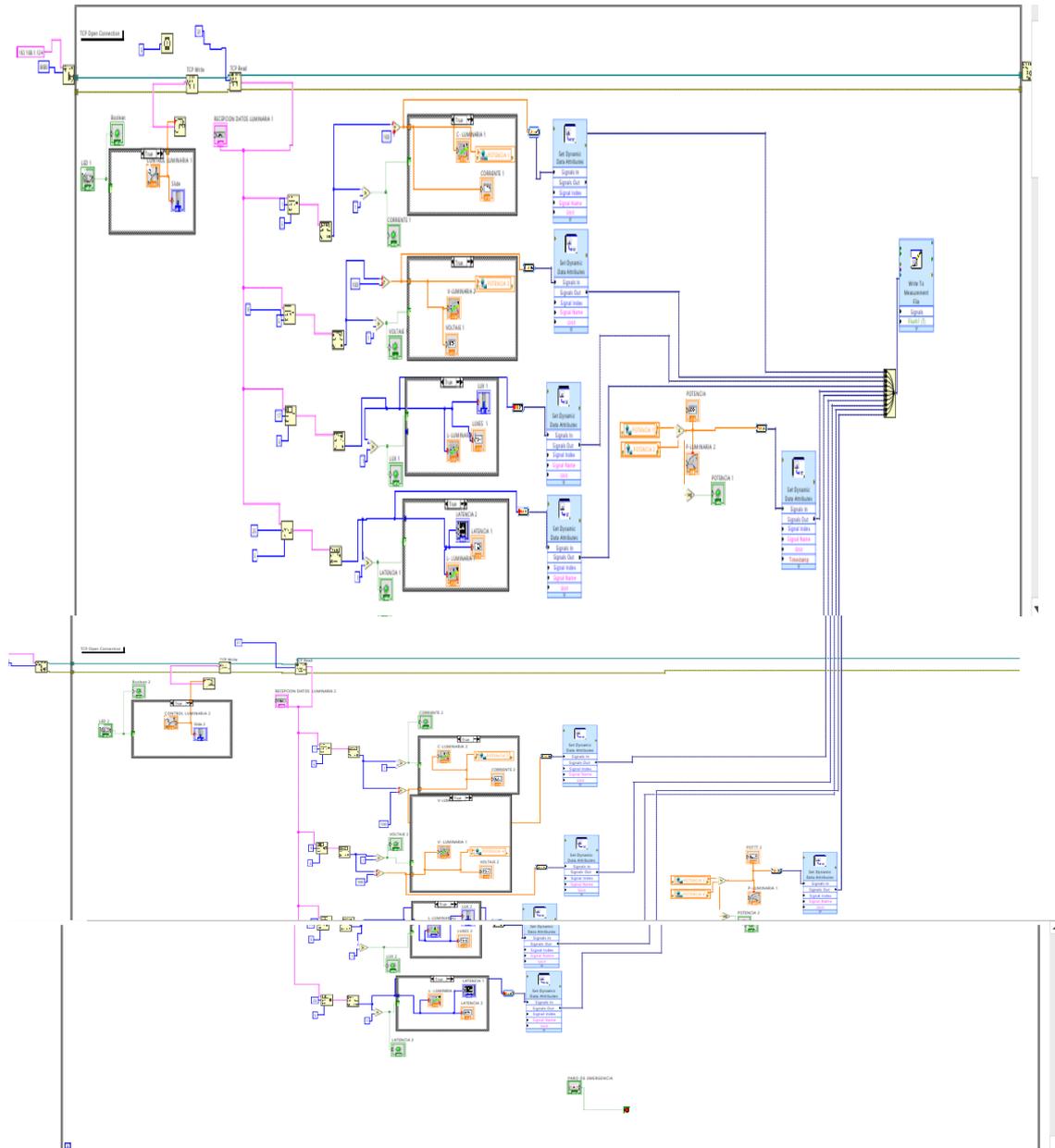
}
luxes=luxx/100;
}
void procesodato()
{
    DATAC=I;
    if(DATAC.length()==1) {DATAC=IDC; DATAC+="0000"; DATAC+=I; DATAC+="A";}
    if(DATAC.length()==2) {DATAC=IDC; DATAC+="000"; DATAC+=I; DATAC+="A";}
    if(DATAC.length()==3) {DATAC=IDC; DATAC+="00"; DATAC+=I; DATAC+="A";}
    if(DATAC.length()==4) {DATAC=IDC; DATAC+="0"; DATAC+=I; DATAC+="A";}

    DATAV=voltaje;
    if(DATAV.length()==1) {DATAV=IDV; DATAV+="0000"; DATAV+=voltaje;
DATAV+="B";}
    if(DATAV.length()==2) {DATAV=IDV; DATAV+="000"; DATAV+=voltaje;
DATAV+="B";}
    if(DATAV.length()==3) {DATAV=IDV; DATAV+="00"; DATAV+=voltaje;
DATAV+="B";}
    if(DATAV.length()==4) {DATAV=IDV; DATAV+="0"; DATAV+=voltaje;
DATAV+="B";}

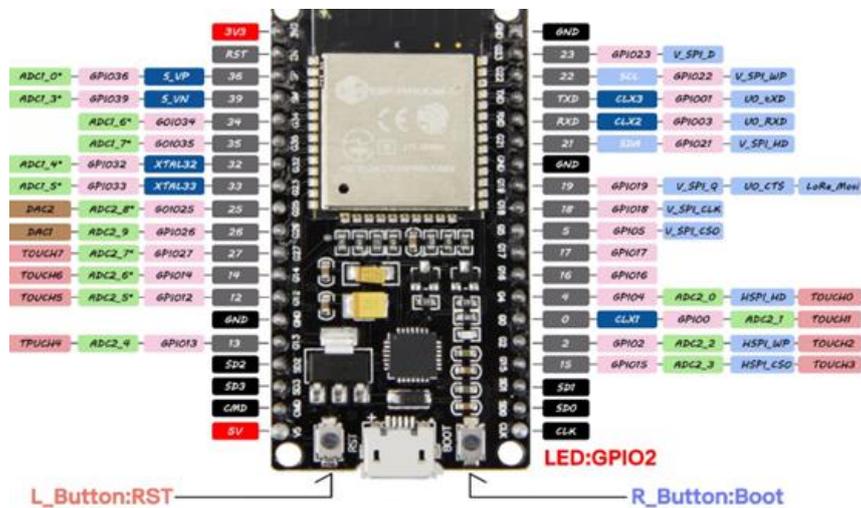
    DATAL=luxes;
    if(DATAL.length()==1) {DATAL=IDL; DATAL+="0000"; DATAL+=luxes;DATAL+="C";}
    if(DATAL.length()==2) {DATAL=IDL; DATAL+="000"; DATAL+=luxes;DATAL+="C";}
    if(DATAL.length()==3) {DATAL=IDL; DATAL+="00"; DATAL+=luxes;DATAL+="C";}
    if(DATAL.length()==4) {DATAL=IDL; DATAL+="0"; DATAL+=luxes;DATAL+="C";}
    DATAR=laten;
    if(DATAR.length()==2) {DATAR=IDR; DATAR+="000"; DATAR+=laten; DATAR+="D";}
    if(DATAR.length()==3) {DATAR=IDR; DATAR+="00"; DATAR+=laten; DATAR+="D";}
    if(DATAR.length()==4) {DATAR=IDR; DATAR+="0"; DATAR+=laten; DATAR+="D";}
}

```

ANEXO B: CÓDIGO FUENTE DEL SISTEMA SCADA



ANEXO C: DATOS TÉCNICOS DEL MCU ESP32 DEVKIT C



Especificaciones:

- Procesador Tensilica Xtensa 32bits LX6 hasta 240MHz.
- Wi-Fi: 802.11b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 Ghz hasta 150 Mbit/s).
- Bluetooth: v4.2 BR/EDR y bluetooth Low Energy (BLE).
- Rom: 448 KiB.
- SRAM: 520 KiB.
- RTC slow SRAM: 8 KiB.
- RTC fast SRAM: 8 KiB.
- eFuse: 1 Kbit.
- Flash embebida: 0 MiB (ESP32-D0WDQ6, ESP32-D0WD, and ESP32-S0WD chips); 2 MiB (ESP32-D2WD chip); 4 MiB (ESP32-PICO-D4 SIP module).
- Periféricos compatibles: ADC, DAC, I2C, UART, Interfaz CAN 2.0, SPI, I2S, RMII y PWM entre otros.
- Seguridad tipo IEEE 802.11, WFA, WPA/WPA2 y WAPI.
- Encriptación de memoria Flash.
- Criptografía soportada por acelerador de hardware: AES, SHA-2, RSA, ECC, RNG.
- Voltaje de trabajo 3.3VDC.
- Energía y datos via conector microUSB 5VDC.

ANEXO D: DATOS TÉCNICOS DEL SENSOR DE CORRIENTE ACS712



Sensor Corriente ACS712 (30A)

\$4.00 PVP: \$4.48

Permite medir corriente utilizando el efecto Hall.

🟢 Hay existencias

- Voltaje de Operación: 5V
- Corriente máx: 30A
- Sensibilidad: 100 mV/A
- Señal analógica de bajo ruido
- Ancho de banda configurable mediante el pin FILTER
- Tiempo de respuesta de la salida: 5us
- Ancho de banda máximo: 80kHz
- Error: $\pm 1.5\%$ (@25 °C) ajustado en fábrica
- Resistencia del conductor: 1.2mOhm
- Mide tanto corrientes AC como DC
- Offset de salida sumamente estable
- Histéresis magnética próxima a cero
- Salida ratiometrica contra la tensión de alimentación)

ANEXO E: DATOS TÉCNICOS CONVERTIDOR DC/DC XL6009



Convertidor Voltaje Boost DC-DC Adjustable Step Up XL6009

\$3.13 PVP: \$3.50

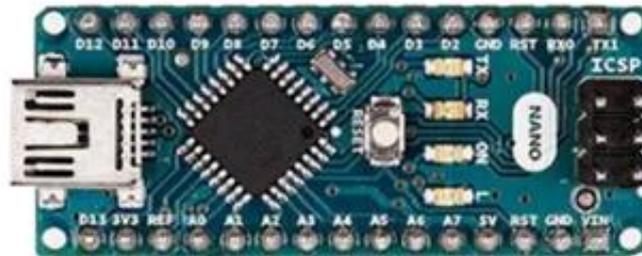
Eleva el voltaje con este módulo step-up ajustable de hasta

Características:

- Convertidor DC-DC Boost: XL6009.
- Voltaje de entrada: 5V a 32V DC.
- Voltaje de salida: 7V a 35V DC.
- V. Salida ajustable (Regulable por trimmer).
- Corriente de salida: máx. 2.5A (usar disipador para corrientes mayores a 2A).
- Potencia de salida: 10W.
- Eficiencia de conversión: 94% máx.
- Regulación de carga: $S(I) \leq 0.5\%$.
- Regulación de voltaje: $S(u) \leq 0.5\%$.
- Frecuencia de Trabajo: 400KHz.
- Protección de sobre-temperatura: SI (apaga la salida).
- Protección de corto circuito: NO.
- Protección limitadora de corriente: SI (4A).
- Protección frente a inversión de polaridad: NO.
- Dimensiones: 43mm*20mm*14mm.

ANEXO F: DATOS TÉCNICOS ARDUINO NANO

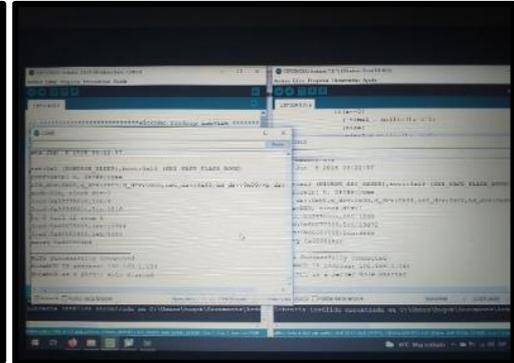
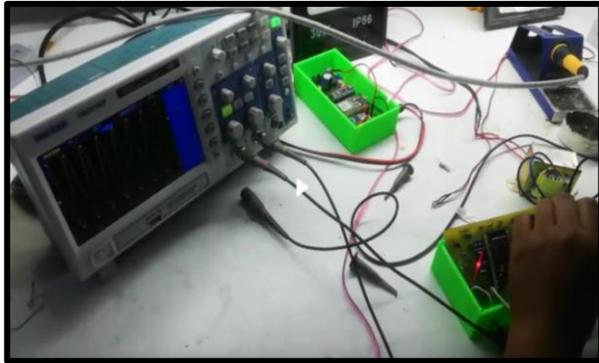
Arduino Nano



Características de Arduino Nano

- Microcontrolador Arduino ATmega328
- Arquitectura, AVR
- Voltaje de operación, 5 V
- Memoria flash, 32 KB de los cuales 2 KB utilizados por bootloader
- SRAM 2 KB
- Velocidad del reloj 16 MHz
- Pines de E/S analógicas, 8
- EEPROM, 1 KB
- Corriente continua por pin entrada salida, 40 mA (Pines de E/S)
- Voltaje de entrada, 7-12 V
- Pines de E/S digitales, 22
- Salida PWM, 6
- Consumo de energía, 19 mA
- Tamaño de la placa de circuito impreso, 18 x 45 mm
- Peso, 7 g

ANEXO G: EVIDENCIA DE PRUEBAS REALIZADAS



ANEXO H: DATOS ALMACENADOS EN LA NUBE

The image shows a Google Drive interface on the left and a Google Sheets spreadsheet on the right. The Drive interface displays a list of files under the path 'Computado... > Mi portátil > D...'. The files listed are:

- DATOS_9.xlsx
- DATOS_8.xlsx
- DATOS_7.xlsx
- DATOS_6.xlsx
- DATOS_5.xlsx
- DATOS_4.xlsx
- DATOS_3.xlsx
- DATOS GUARDADOS A-LED.xlsx (highlighted)
- DATOS GUARDADOS A-LED.tdms_index

The Google Sheets spreadsheet is titled 'DATOS GUARDAD...' and contains the following data:

Time	CORRIENTE 1 [A]	VOLTAJE 1 [V]	LUXES 1 [LUX]	LATENCIA 1 [ms]	POTENCIA
16:56:15	0	12.83	9	17	8.2112
16:57:48	0	12.85	7	395	8.2112
16:59:24	0	12.86	4	8225	8.224
16:59:56	0.64	12.86	6	348	8.2304
00:00:00	0.64	12.65	14	6979	8.2304
17:01:22	0.64	12.66	9	5191	8.0384
00:00:00	0.64	12.44	4	5191	8.1024
00:00:00	0.64	12.54	5	5282	7.9616
00:00:00	0.64	12.41	3	5282	8.0256
00:00:00	0.64	12.6	12	5183	7.9424
00:00:00	0.64	12.32	18	5183	8.064
00:00:00	0.64	12.67	6	5287	7.8848
00:00:00	0.64	12.69	10	5287	8.1088
00:00:00	0.64	12.56	12	5189	8.1216
00:00:00	0.64	12.69	22	5189	8.0384
00:00:00	0.64	12.62	2	5192	8.1216
17:06:21	0.64	12.44	12	5191	8.0768
17:07:29	0.64	12.56	6	4787	7.9616
00:00:00	0.64	12.57	7	4787	8.0384