



**“UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA”
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA INTELIGENTE PARA
INVERNADERO DE CULTIVOS DE HORTALIZAS
UTILIZANDO TECNOLOGÍA IOT Y ENERGÍA SOLAR”**

AUTORES:

**GABRIELA KATIUSKA SUÁREZ REYES
STEVEEN RAPHAEL VALVERDE TOBAR**

DOCENTE TUTOR:

ING. ROGER MICHELL IDROVO URGILÉS, MSc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2023

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios, por darme la vida, salud y sabiduría, por brindarme la fuerza necesaria para seguir adelante y culminar esta etapa importante en mi vida.

Agradezco a mis padres, quienes han sido mi fuente de inspiración, por siempre creer en mí, por brindarme su apoyo en cualquier situación, sobre todo por el apoyo económico puesto que sin ello no hubiera sido posible culminar este trabajo de titulación.

Al Ing. Ronald Suárez, mi hermano, por brindarme sus conocimientos del ámbito profesional, por tenerme paciencia y apoyarme en todo lo que necesité en el transcurso de mi carrera.

De corazón a Erick Alejandro, por estar presente a lo largo de mi carrera brindándome su tiempo, apoyo y consejos, para nunca rendirme y siempre motivarme para lograr mis sueños.

A nuestro tutor de tesis Ing. Roger Idrovo, por brindarnos su tiempo y apoyo en cualquier momento, compartiéndonos sus conocimientos en torno al desarrollo de nuestra tesis que fueron esenciales para terminar el proyecto.

Gabriela Katiuska Suárez Reyes

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme un día más de vida y las fuerzas necesarias para poder terminar mis estudios en la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, y a cada uno de sus docentes por darme la oportunidad de adquirir todos los conocimientos de la carrera de Electrónica y Automatización.

A mi familia Tobar Quimi, Valverde Tapia y Valverde Paredes que siempre estuvieron conmigo en las buenas y en las malas, en especial mis padres María de las Mercedes Tobar Quimi y Víctor Gregorio Valverde Tapia.

A mis hermanos Gabriela Vásquez Tobar, Jackson Valverde Tobar, David Valverde Paredes y Lizeth Valverde Paredes, por siempre estar conmigo cuando los necesito.

Al ingeniero Ronald Suarez, por instruirme y apoyarme a lo largo de mi carrera universitaria.

Steven Raphael Valverde Tobar

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a mis padres, Ricardo y Mariana, por ser siempre mis pilares fundamentales en mi vida, quienes han sabido guiarme para cumplir mi meta, siempre con amor, paciencia y apoyo en momentos incondicionales, ya que sin ellos no hubiera podido lograr mi sueño de ser una profesional.

Gabriela Katuska Suárez Reyes

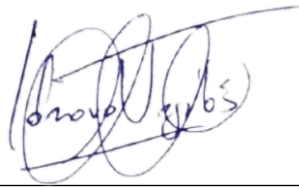
Dedico el presente trabajo de titulación a mi familia porque lo más importante aparte de Dios, siempre será la familia.

Steven Raphael Valverde Tobar

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación denominado: **“Implementación de un sistema inteligente para invernadero de cultivos de hortalizas utilizando tecnología IoT y energía solar”**, elaborado por los estudiantes Suárez Reyes Gabriela Katuska y Valverde Tobar Steveen Raphael, de la carrera de Electrónica y Automatización de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante que inicie los trámites legales correspondientes.

La Libertad, 27 de febrero del 2023.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Roger Idrovo Urgilés', is positioned above a horizontal line.

Ing. Roger Idrovo Urgilés, MSc.

TRIBUNAL DE GRADO

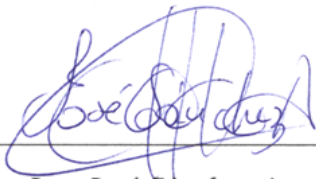


Ing. Ronald Rovira Jurado, Ph.D

DIRECTOR DE LA CARRERA DE
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

Ing. Roger Idrovo Urgilés, MSc

DOCENTE TUTOR



Ing. José Sánchez Aquino, Mgt

DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Luis Chuquimarca Jiménez, Mgt

DOCENTE GUÍA UIC



Ing. Corina Gonzabay, Mgt

SECRETARIA DE LA CARRERA DE
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

RESUMEN

En esta propuesta se realiza el diseño e implementación de un prototipo de invernadero automatizado para el cultivo de hortalizas, en específico, la hortaliza rábano, el suministro de energía para los respectivos componentes eléctricos y electrónicos está dado por un módulo fotovoltaico constituido por dos paneles solares monocristalinos de 120 Watts de potencia pico, a los cuales se le implementa un seguidor solar para de esta forma captar la mayor radiación solar que permita aprovechar al máximo la generación de energía solar y por ende cubrir la demanda energética de los componentes del invernadero. Haciendo uso de la plataforma IoT ThingSpeak, en donde se monitorea de manera remota a través del protocolo HTTP las variables de temperatura, humedad del suelo, humedad relativa, CO₂, nivel del depósito, iluminación, voltaje y corriente, cada una de las lecturas de estas variables están dadas por el uso de un sensor en específico los cuales son LM35, HD38, SHT3X, MG811, AJSR04M, BH1750, FZ0430 y ASC712, dichos sensores son conectados a puertos analógicos, digitales e I2C de una tarjeta ESP32. La comunicación mediante el protocolo MQTT entre la tarjeta ESP32 y el broker MQTT Mosquitto de manera inalámbrica hace posible que cada una de las variables antes mencionadas sean publicadas en dicho broker, teniendo los datos en este sitio y utilizando la plataforma Node-RED es posible extraer dichos datos para posteriormente almacenarlos en la base de datos de series temporales InfluxDB, esta última plataforma se usa como fuente de datos para de esta forma visualizar mediante dashboards de manera local a través de Grafana el comportamiento de las variables físicas que inciden en el crecimiento del cultivo de rábano; cada uno de los servicios Mosquitto, InfluxDB y Grafana son instalados en la tarjeta Raspberry Pi la cual, cumple la funcionalidad de servidor IoT dentro de la propuesta. Para obtener un control automático y manual sobre los actuadores eléctricos conectados en el PLC LOGO 8 se diseña un servidor web para controlar dichos actuadores mientras que, para el caso automático la plataforma Nodered se comunica mediante el protocolo S7 hacia el PLC para de esta forma enviar las señales que activen los actuadores al momento de presentarse condiciones anormales en las variables del invernadero.

Se tiene como resultado datos en tiempo real almacenados en ThingSpeak y Grafana correspondientes a las variables físicas del invernadero, esto permitió visualizar el estado de las variables durante las 24 horas del día, además, tener un control adecuado sobre la activación o desactivación de los actuadores eléctricos acorde a las condiciones climáticas dadas dentro del invernadero y un aprovechamiento máximo de los paneles solares al implementar un algoritmo de programación de seguimiento astronómico del sol alrededor de un 50% más en comparativa con un sistema que no posea seguidor solar.

Palabras Claves: monocristalino, IoT, ThingSpeak, HTTP, MQTT, InfluxDB, Grafana, actuadores eléctricos.

ABSTRACT

In this proposal, the design and implementation of an automated greenhouse prototype for the cultivation of vegetables is carried out, specifically, the radish vegetable, the energy supply for the respective electrical and electronic components is given by a photovoltaic module consisting of two monocrystalline solar panels of 120 Watts of peak power, to which a solar tracker is implemented in order to capture the greatest solar radiation that allows to take advantage of to the maximum the generation of solar energy and therefore cover the energy demand of the components of the greenhouse. Making use of the IoT platform ThingSpeak, where the variables of temperature, soil moisture, relative humidity, CO₂, tank level, lighting, voltage and current are monitored remotely through the HTTP protocol, each of the readings of these variables are given by the use of a specific sensor which are LM35, HD38, SHT3X, MG811, AJSR04M, BH1750, FZ0430 and ASC712, these sensors are connected to analog, digital and I2C ports of an ESP32 card. The communication through the MQTT protocol between the ESP32 card and the MQTT broker Mosquitto wirelessly makes it possible for each of the aforementioned variables to be published in said broker, having the data on this site and using the Node-RED platform it is possible to extract said data to later store them in the InfluxDB time series database, this last platform is used as a data source to visualize through dashboards locally through Grafana the behavior of the physical variables that affect the growth of radish cultivation; each of the Mosquitto, InfluxDB and Grafana services are installed on the Raspberry Pi card which fulfills the IoT server functionality within the proposal. For automatic and manual control over the electric actuators connected in the PLC LOGO 8 a web server is designed to control these actuators while, for the automatic case, the Nodered platform communicates through the S7 protocol to the PLC to send the signals that activate the actuators at the time of abnormal conditions in the greenhouse variables.

The result is real-time data stored in ThingSpeak and Grafana corresponding to the physical variables of the greenhouse, this allowed to visualize the status of the variables during the 24 hours of the day, in addition, to have adequate control over the activation or deactivation of the electric actuators according to the climatic conditions given inside the greenhouse and a maximum use of the solar panels when implementing a monitoring programming algorithm Astronomical of the Sun about 50% more compared to a system that does not have a solar tracker.

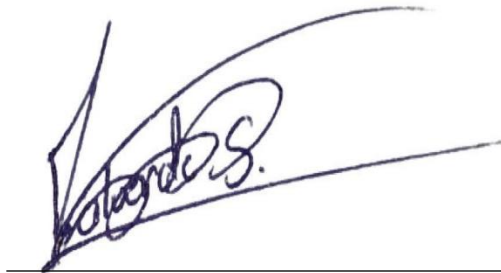
Keywords: monocrystalline, IoT, ThingSpeak, HTTP, MQTT, InfluxDB, Grafana, electric actuators.

DECLARACIÓN

El contenido del presente Trabajo de Titulación es de nuestra responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

GABRIELA K. SUÁREZ

Gabriela Suárez Reyes

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Valverde S.', is written over a horizontal line.

Steven Valverde Tobar

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO	2
AGRADECIMIENTO	3
DEDICATORIA	4
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	5
TRIBUNAL DE GRADO	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
DECLARACIÓN	9
TABLA DE CONTENIDOS	10
INDICE DE FIGURAS.....	13
INTRODUCCIÓN	21
CAPÍTULO I.....	22
1.1 Antecedentes	22
1.2 Descripción del proyecto.....	23
1.2.1 Etapa del Sistema IoT	24
1.2.2 Etapa de Energía Fotovoltaica	25
1.2.3 Etapa de bombeo	25
1.2.4 Prototipo del invernadero automatizado	25
1.3 Objetivos	26
1.3.1 Objetivo General	26
1.3.2 Objetivos Específicos.....	26
1.4 Justificación	26
1.5 Alcance	27
1.6 Metodología de la Investigación.....	28
1.6.1 Investigación Experimental	28
1.6.2 Investigación Inductiva	28
1.7 Métodos y técnicas de recolección de datos	29
1.7.1 Recopilación documental y bibliográfica.....	29
CAPÍTULO II.....	30
2.1 Marco Contextual	30
2.2 Marco Conceptual.....	31
2.2.1 Energía Solar Fotovoltaica	31
2.2.3 Hora Solar Pico	31
2.2.4 Radiación Solar	31
2.2.5 Factores que afectan a la Radiación Solar.....	32
2.2.6 Condiciones estándar de medida.....	33
2.2.7 Instalación solar fotovoltaica aislada	34
2.2.8 Módulos Fotovoltaicos	34

2.2.9 Hortaliza a considerar	35
2.2.10 Sistema de Riego.....	36
2.2.11 Distribución de agua	37
2.2.12 Sistema IoT	39
2.2.13 Plataformas IoT.....	39
2.2.14 Estructura del Invernadero	41
2.2.15 Normativa para la construcción del invernadero	41
CAPÍTULO III.....	43
DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	43
3.1 COMPONENTES FÍSICOS.....	43
3.1.1 PLC LOGO 8 Siemens	43
3.1.2 Raspberry Pi 4 Modelo B.....	44
3.1.3 Módulo de expansión LOGO DM8 12/24R	45
3.1.4 ESP32 WROOM 32.....	46
3.1.5 Router Nyx300.....	47
3.1.6 Sensor de temperatura sonda LM35.....	48
3.1.7 Sensor de humedad de suelo HD-38.....	49
3.1.8 Sensor de humedad y temperatura del ambiente SHT3x	50
3.1.9 Sensor de CO2 MG-811	50
3.1.10 Sensor de intensidad luminosa BH1750.....	51
3.1.11 Transductor de medición de distancia Modelo AJ-SR04M	52
3.2 COMPONENTES LÓGICOS	63
3.2.1 Autodesk Fusión 360	63
3.2.2 Eplan Electric P8.....	64
3.2.3 LOGO Soft Comfort V8.3.....	65
3.2.4 LOGO Web Editor v1.0.....	65
3.2.5 Raspberry Pi Imager v1.7.2.....	66
3.2.6 VNC (Virtual Network Computing) Viewer	67
3.2.7 Thonny	67
3.2.8 Node-RED.....	68
3.2.9 InfluxDB	68
3.2.10 Grafana	69
3.2.11 ThingSpeak.....	69
3.3 DISEÑO DE LA PROPUESTA	70
3.3.1 Diseño y construcción del prototipo invernadero	70
3.3.2 Dimensionamiento de los componentes del sistema fotovoltaico	72
3.3.3 Configuración del controlador de carga PWM 20A	80
3.3.4 Diseño e implementación del tablero eléctrico y de comunicación IoT	82
3.3.5 Diseño de planos eléctricos del prototipo invernadero inteligente.....	85

3.3.6	Diseño de la estructura del seguidor y paneles solares	86
3.3.7	Topología de comunicaciones	88
3.3.8	Instalación del firmware MicroPython tarjeta ESP32	91
3.3.9	Configuración de la tarjeta Raspberry Pi 4 como servidor IoT	94
3.3.10	Codificación de la adquisición de datos de cada uno de los sensores mediante el lenguaje Micropython en el hardware ESP32	98
3.3.11	Comunicación mediante el protocolo MQTT entre la tarjeta ESP32 y la tarjeta Raspberry Pi 4.....	101
3.3.12	Configuración del almacenamiento de la información en la base de datos InfluxDB 107	
3.3.13	Configuración de la plataforma Grafana.	109
3.3.14	Configuración de la plataforma ThingSpeak	111
3.3.15	Programación de los actuadores eléctricos mediante la herramienta LOGO Soft Comfort V8.3.....	113
3.3.16	Desarrollo de la interfaz web en la herramienta LOGO Web Editor	115
3.3.17	Diseño de un control para el sistema de seguimiento solar	118
3.4	COSTO DE LA PROPUESTA.....	122
CAPITULO IV		127
PRUEBAS Y RESULTADOS		127
4.1	PROTOTIPO INVERNADERO INTELIGENTE	127
4.2	SUMINSTRO DE ENERGÍA ELECTRICA MEDIANTE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA.....	129
4.3	CONTROL SEGUIDOR SOLAR.....	134
4.4	CONTROL DE LOS ACTUADORES ELECTRICOS DEL PROTOTIPO INVERNADERO	142
4.5	MONITOREO REMOTO A TRAVES DE LAS PLATAFORMA IOT.....	148
CONCLUSIONES		153
RECOMENDACIONES.....		155
BIBLIOGRAFÍA		156

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del sistema automatizado.....	28
Figura 2. Sistema Fotovoltaico Aislado.....	34
Figura 3. PLC LOGO 8 Siemens.....	43
Figura 4. Raspberry Pi 4 Modelo B.....	44
Figura 5. LOGO DM8 12/24R.....	45
Figura 6. ESP32 WROOM 32.....	46
Figura 7. Router Nyx300.....	47
Figura 8. Sensor de temperatura LM35 tipo sonda impermeable.....	48
Figura 9. Sensor de humedad de suelo HD-38.....	49
Figura 10. Sensor SHT3x.....	50
Figura 11. Sensor de CO2 MG-811.....	51
Figura 12. Sensor de intensidad luminosa BH1750.....	52
Figura 13. Transductor de medición de distancia AJ-SR04M.....	52
Figura 14. Sensor de Voltaje FZ0430.....	53
Figura 15. Sensor de corriente ACS712-20 A.....	54
Figura 16. Válvula Solenoide.....	55
Figura 17. Bomba de agua DP-521.....	55
Figura 18. Ventilador VN6A-012P.....	56
Figura 19. Tira de leds de color blanco.....	57
Figura 20. Panel solar monocristalino 120Wp.....	58
Figura 21. Regulador PWM 20A.....	59
Figura 22. Batería de 55Ah.....	60
Figura 23. Motor paso a paso NEMA 23 de 20 kg*cm.....	61
Figura 24. Controlador de motor paso a paso.....	61
Figura 25. Tablero eléctrico.....	62
Figura 26. Breaker de protección eléctrica.....	62
Figura 27. Borneras de conexión eléctrica.....	63
Figura 28. Voltímetro amperímetro.....	63
Figura 29. Autodesk Fusion 360.....	64
Figura 30. Eplan Electric P8.....	64
Figura 31. LOGO Soft Comfort v8.3.....	65
Figura 32. LOGO Web Editor.....	66
Figura 33. Raspberry Pi Imager.....	66

Figura 34. VNC Viewer.....	67
Figura 35. Thonny IDE Python.....	67
Figura 36. Interfaz de la herramienta Node-RED.....	68
Figura 37. Shell InfluxDB instalado en la tarjeta Raspberry Pi 4.....	68
Figura 38. Ventana principal de la herramienta Grafana.....	69
Figura 39. Vista principal sitio web ThingSpeak.	70
Figura 40. Diseño del prototipo invernadero realizado en Fusion 360.....	71
Figura 41. Implementación de la estructura del prototipo invernadero.	71
Figura 42. Esquema de conexión sistema fotovoltaico.....	79
Figura 43. Pantalla Principal del regulador de carga solar PROSTAR PC2024L.	80
Figura 44. Secuencia de configuración grafica de las funciones del controlador de carga solar.	82
Figura 45. Diseño del tablero eléctrico.....	83
Figura 46. Diseño del tablero de comunicaciones.	84
Figura 47. Implementación del tablero eléctrico y de comunicaciones en la estructura del prototipo invernadero.....	84
Figura 48. Diseño de la estructura en Fusion 360 del seguidor y paneles solares.....	87
Figura 49. Diseño mecánico que permite el movimiento de Este a Oeste de los paneles solares.	88
Figura 50. Topología de comunicaciones del prototipo invernadero inteligente con sistema fotovoltaico.	90
Figura 51. Instalación del IDE Thonny en un computador.....	91
Figura 52. Selección del interprete micropython para la tarjeta ESP32.	92
Figura 53. Selección de puerto y firmware micropython.	92
Figura 54. Instalación exitosa del firmware micropython en una tarjeta ESP32.....	93
Figura 55. Reconocimiento de la tarjeta ESP32 con el firmware micropython en el IDE Thonny.	93
Figura 56. Acceso a la tarjeta Raspberry mediante SSH y el software VNC Viewer.	94
Figura 57. Transferencia de datos de la carpeta IOTstack hacia la tarjeta Raspberry Pi 4.....	94
Figura 58. Finalización de la transferencia de datos hacia la tarjeta Raspberry Pi 4.....	95
Figura 59. Comandos para instalar la pila de tecnología IoT en la Raspberry Pi 4.....	95
Figura 60. Menú principal IOTstack.....	96
Figura 61. Selección de las herramientas IoT necesarias.	97
Figura 62. Instalación correcta de cada uno de los servicios IoT seleccionados.	97

Figura 63. Visualización de los servicios IoT ejecutándose en la tarjeta Raspberry Pi 4.	98
Figura 64. Curva característica sensor MG-811.	100
Figura 65. Regresión realizada en Excel aplicada a la curva característica del sensor MG-811.	100
Figura 66. Codificación en micropython para la adquisición de los valores provenientes de los sensores.	101
Figura 67. Diagrama de comunicación entre la ESP32 y la Raspberry Pi 4 mediante el protocolo MQTT.	102
Figura 68. Configuración de los parámetros de conexión del protocolo MQTT en lenguaje micropython.	103
Figura 69. Funciones para conectarse con el broker MQTT.	103
Figura 70. Codificación en micropython para publicar datos en el broker Mosquitto mediante el protocolo MQTT.	104
Figura 71. Configuración de usuario y contraseña para el broker MQTT.	104
Figura 72. Edición del archivo de configuración del broker Mosquitto instalado en la tarjeta Raspberry Pi 4.	105
Figura 73. Mosquitto ejecutándose correctamente.	105
Figura 74. Configuración del broker MQTT en la herramienta Node-RED.	106
Figura 75. Configuración de las credenciales de acceso del broker MQTT en la herramienta Node-RED.	106
Figura 76. Suscripción al tópico que contiene los datos de cada uno de los sensores correspondiente al invernadero.	107
Figura 77. Configuración del usuario y contraseña de la base de datos InfluxDB.	108
Figura 78. Base de dato creada en InfluxDB.	108
Figura 79. Inserción y visualización de columnas en cada una de las bases de datos.	109
Figura 80. Página inicial de la plataforma Grafana.	110
Figura 81. Pasos para agregar una base de datos de InfluxDB en la plataforma Grafana. ...	110
Figura 82. Configuración de un dashboard en Grafana.	111
Figura 83. Configuración de la plataforma IoT ThingSpeak.	112
Figura 84. Configuración del nodo ThingSpeak Send Simple.	113
Figura 85. Programación de los actuadores eléctricos del prototipo invernadero.	114
Figura 86. Activación del protocolo S7 en el software LOGO Soft Comfort.	114
Figura 87. Configuración del canal de comunicación para enlazar la herramienta Node-RED con el PLC LOGO 8.	115

Figura 88. Componente Text en la herramienta Logo Web Editor.	116
Figura 89. Componente Image.....	116
Figura 90. Selección del Switch Button en la herramienta Logo Web Editor.....	116
Figura 91. Diseño del servidor web realizado en la herramienta Logo Web Editor.....	118
Figura 92. Diagrama de bloques del seguidor solar.....	121
Figura 93. Diagrama de conexiones Motor Paso a Paso, Driver TB6650 y ESP32.	122
Figura 94. Actuadores eléctricos instalados en la estructura del prototipo invernadero.	127
Figura 95. Sensores instalados en la parte interna del prototipo invernadero.	128
Figura 96. Tablero de comunicaciones correspondiente a los elementos de la solución IoT.	128
Figura 97. Corriente en el módulo fotovoltaico, batería y carga.	129
Figura 98. Visualización en el display del PLC Logo 8, Q6 y Q7 activadas.	130
Figura 99. Corriente que se extrae del módulo fotovoltaico, corriente de carga de la batería y de consumo de la carga de 12VDC.....	130
Figura 100. Visualización en el display del LOGO 8, Q6, Q7 y Q8 activadas.	131
Figura 101. Valores de corrientes del sistema obtenido a plena carga.	132
Figura 102. Visualización de actuadores encendidos mediante el software Logo Soft Comfort.	132
Figura 103. Módulo fotovoltaico expuesto a condiciones ambientales favorables de irradiación solar.....	134
Figura 104. Lecturas de amperaje en condiciones favorable de irradiación solar.....	134
Figura 105. Trayectoria del sol resultante del algoritmo de posición astronómica implementado mediante las ecuaciones solares.	135
Figura 106. Valores de Elevación y Azimut tomados de la herramienta online sunearthtools.	135
Figura 107. Número de pulsos resultantes del algoritmo de posición astronómica del sol aplicados al motor a pasos, a las 17:00.	137
Figura 108. Seguidor solar en funcionamiento durante un día.	137
Figura 109. Regulador de carga PWM en funcionamiento.	140
Figura 110. Potencia extraída del módulo fotovoltaico al implementar un seguidor solar. .	141
Figura 111. Potencia generada del módulo fotovoltaico sin seguidor solar.	141
Figura 112. Paneles solares sin mecanismo de seguimiento solar.....	142
Figura 113. Interfaz Web control de modo manual actuadores eléctricos del invernadero..	143
Figura 114. Indicador de activación en el servidor web y en el software Logo Soft Comfort	

correspondiente al sistema de iluminación.	143
Figura 115. Visualización en el display del PLC Logo 8, la activación de la salida y marca digital Q8 y M14 respectivamente.	144
Figura 116. Sistema de iluminación encendido.	144
Figura 117. Visualización de un valor alto de % humedad relativa en la herramienta Node-RED.	145
Figura 118. Indicadores de sistema de ventilación activado, en el servidor web y en la herramienta Logo Soft Comfort.	145
Figura 119. Activación del sistema de ventilación del prototipo invernadero.	146
Figura 120. Adquisición mediante Node-RED los valores de humedad del cultivo.	146
Figura 121. Activación de las salidas Q2,4,5 correspondientes a la bomba 2 y electroválvula 2 y 3.	147
Figura 122. Sistema de riego activado en el prototipo invernadero.	147
Figura 123. Incremento de la humedad del suelo del cultivo de la maceta 2 y 3 al activar la bomba 2 del invernadero.	148
Figura 124. Lectura de valores de las variables del invernadero y sistema fotovoltaico.	149
Figura 125. Envío de datos correspondiente al invernadero y sistema fotovoltaico.	149
Figura 126. Monitoreo de variables en la nube a través de la plataforma ThingSpeak.	150
Figura 127. Dashboard de Humedad Relativa y Nivel de Co2 en la herramienta Grafana. .	151
Figura 128. Dashboard de monitoreo de la temperatura en el invernadero.	152

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. El cultivo biológico de hortalizas y frutos.	35
Tabla 2. Técnicas de riego.	38
Tabla 3. Plataformas IoT – Plan Free / Mensual.....	40
Tabla 4. Estructura de invernadero.	41
Tabla 5. Características técnicas PLC LOGO 8 Siemens.	44
Tabla 6. Características técnicas Raspberry Pi 4 Modelo B.	45
Tabla 7. Características técnicas LOGO DM8 12/24R.....	46
Tabla 8. Características técnicas ESP32 WROOM 32.	47
Tabla 9. Características técnicas Router Nyx300.	48
Tabla 10. Características técnicas sonda de temperatura LM35 impermeable.	48
Tabla 11. Características técnicas sensor de humedad de suelo HD-38.	49
Tabla 12. Características técnicas sensor SHT3x.	50
Tabla 13. Características técnicas sensor de CO2 MG-811.....	51
Tabla 14. Características técnicas sensor de intensidad luminosa BH1750.	52
Tabla 15. Sensor Ultrasónico AJ-SR04M.....	53
Tabla 16. Características técnicas sensor de voltaje FZ0430.....	53
Tabla 17. Sensor de corriente ACS712-20 A.....	54
Tabla 18. Características técnicas válvula solenoide.	55
Tabla 19. Características técnicas bomba de agua DP-521.	56
Tabla 20. Características técnicas ventilador VN6A-012P.....	56
Tabla 21. Características técnicas tira LED blanca.....	57
Tabla 22. Características técnicas panel solar monocristalino PMS120W.....	58
Tabla 23. Características técnicas regulador de carga solar PWM.	59
Tabla 24. Características técnicas batería Bosh 55Ah	60
Tabla 25. Especificaciones técnicas controlador TB6600 de motor paso a paso.	61
Tabla 26. Consumo de energía eléctrica diaria por parte de los actuadores del invernadero.	72
Tabla 27. Consumo de energía de los diferentes elementos que uncionan a 3.3VDC y 5VDC.	73
Tabla 28. Consumo de energía eléctrica diaria del PLC LOGO 8 y el respectivo módulo de expansión.	73
Tabla 29. Irradiación global Provincia de Santa Elena kWh/m ² *día.....	76
Tabla 30. Requerimientos del sistema fotovoltaico para el prototipo invernadero inteligente.	

.....	79
Tabla 31. Parámetros de configuración del controlador de carga solar.	82
Tabla 32. Dimensionamiento breakers de protección.	85
Tabla 33. Dimensionamiento calibre de conductor eléctrico.....	86
Tabla 34. Direcciones IP de los dispositivos y servicios IoT.	88
Tabla 35. Pines y canales analógicos utilizados de la tarjeta ESP32.	98
Tabla 36. Direcciones de las salidas y marcas digitales del PLC LOGO 8.	115
Tabla 37. Descripción de los componentes utilizados en la herramienta LOGO Web Editor.	117
Tabla 38. Costo Solución IoT y sistema fotovoltaico.	122
Tabla 39. Costo Sensores.	123
Tabla 40. Costo de los actuadores eléctricos.	123
Tabla 41. Costo de materiales eléctricos.....	124
Tabla 42. Costo de estructura y construcción del prototipo invernadero.....	125
Tabla 43. Costo Final de la Propuesta.....	126
Tabla 44. Corrientes del sistema fotovoltaico.....	133
Tabla 45. Ángulos resultantes provenientes del algoritmo de programación astronómica. .	136
Tabla 46. Generación de Energía fotovoltaica el día 24/02/2023, implementando un mecanismo de seguidor solar.	139

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Plano de conexión elementos 3.3 V	157
Anexo 2. Plano de conexión elementos 5.5 V	157
Anexo 3. Esquema eléctrico 12 V, 5 V, 3.3 V	157
Anexo 4. Esquema eléctrico salidas digitales PLC LOGO 8.....	157
Anexo 5. Sistema de Conexión Sistema Fotovoltaico.....	157
Anexo 6. Conexiones ESP32.....	157
Anexo 7. Codificación en Matlab para visualizar el comportamiento de las ecuaciones solares que determinan la posición astronómica del Sol	157
Anexo 8. Algoritmo de posición astronómica del Sol y seguidor solar implementado en la tarjeta ESP32.....	157
Anexo 9. Codificación en micropython para la adquisición y envío de datos mediante MQTT	157
Anexo 10. Placa de datos de los paneles solares utilizados en la propuesta	157
Anexo 11. Velocidad de fotosíntesis en las plantas.....	157
Anexo 12. Construcción de la propuesta.....	157
Anexo 13. Mediciones de voltaje y corriente en la instalación eléctrica	157
Anexo 14. Configuración del router para el acceso a Internet	157
Anexo 15. Monitoreo remoto a través de la plataforma Thingspeak y Grafana	157

INTRODUCCIÓN

Las nuevas tecnologías e innovaciones del mercado agrícola han implementado nuevas tecnologías enfocadas en el desarrollo de los cultivos en ambientes controlados mediante el uso de sensores, actuadores y sistemas de monitoreo en tiempo real, por lo cual, se implementa un sistema inteligente para el invernadero de cultivos de hortalizas empleando tecnología IoT y energía fotovoltaica, donde se puede ejecutar la activación de los actuadores, monitorear el cultivo por medio de sensores y protocolos de comunicación hacia plataformas IoT; por último, este proyecto cuenta con un suministro de energía eléctrica proveniente de paneles fotovoltaicos.

La presente propuesta consta de cuatro capítulos, en el primer capítulo se presentan estadísticas de invernaderos, cultivos y sistemas fotovoltaicos en el Ecuador, se especifica la justificación, los objetivos, resultados esperados, la metodología utilizada para llevar a cabo la propuesta, además en este capítulo se detalla la problemática existente en los cultivos a campo abierto al no tener un monitoreo y control de las variables físicas que inciden en el crecimiento del cultivo, de igual forma se muestra la dificultad que presenta el uso convencional de la energía eléctrica para invernaderos.

En el capítulo dos se muestra el marco contextual, conceptual y teórico puntualizando las diferentes publicaciones de papers, tesis, investigaciones y conceptos importantes considerados, los cuales aportan al desarrollo de la propuesta.

En el capítulo tres se detalla el desarrollo de la propuesta el cuál engloba cada uno de los diseños correspondientes a la estructura del invernadero y paneles fotovoltaicos, descripción y características relevantes de los componentes eléctricos electrónicos, de comunicación IoT, como también la configuración de comunicación con las herramientas IoT utilizadas, diseño del algoritmo de control de seguidor solar considerado, y el control de los actuadores eléctricos de manera remota y automática bajo las condiciones de los sensores electrónicos instalados en el prototipo invernadero.

En el capítulo cuatro se muestran las pruebas en el prototipo invernadero con un sistema IoT y energía fotovoltaica aislada, además de visualizar de manera remota mediante la plataforma ThingSpeak la tendencia de cada una de las lecturas que inciden en el invernadero, activación de los distintos actuadores eléctricos y la capacidad de producción de energía fotovoltaica con las diferentes mediciones de amperaje, voltios y potencia obtenidos del módulo fotovoltaico ante condiciones adversas y favorables de irradiancia solar.

CAPÍTULO I

1.1 Antecedentes

En Latinoamérica se encuentran aproximadamente 20.000 hectáreas de invernaderos y 2.200 de estas hectáreas se encuentran situadas en Ecuador [1]. Los invernaderos de hortalizas han tenido un impacto favorable en el sector agrícola ya que los agricultores lo visualizan de manera viable debido al efecto invernadero, además, los cultivos están libres de insectos, plagas y enfermedades; a diferencia de los cultivos que se encuentran al aire libre los cuales están expuestos a las variaciones del clima, por lo tanto, estos parámetros resultan difícil de controlar, provocando escasez en los productos e incrementando el riesgo en este sector.

Dentro del Ecuador se cultiva alrededor de un 53% y un 4.4% en la provincia de Santa Elena [2], estas se cosechan durante toda la época del año, proporcionando de esta forma productos de calidad y abasteciendo a todo el territorio ecuatoriano; siendo el agua un factor importante, puesto que así las plantas tienen un óptimo crecimiento. Hoy en día, los agricultores constan de un sistema de riego manual, en donde a este sistema no se le da un buen uso del agua; siendo este un problema al no poseer un sistema de riego eficaz, el cual mejore el uso de este recurso.

A nivel de la provincia de Santa Elena, el sector agrícola tiene mayor potencial, por tanto, casi todo el territorio se encuentra lleno de haciendas en plena producción o terrenos para la expansión. Según la Asociación de Productores Agrícolas de Santa Elena (Asoprose), existen 20 grandes haciendas que cultivan uvas, maíz, cacao, banano orgánico, palma de coco y el aguacate, entre los principales. Los productos de mayor producción en toda la provincia son el maíz con 3.390 hectáreas y el aguacate con 878 hectáreas. [3]

De acuerdo con el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, para satisfacer la demanda de hortaliza generada por pequeños y medianos productores en el Ecuador, se realizó la construcción de un invernadero bajo condiciones ambientales controlada junto con el MAGAP en el año 2012 ubicada en la Sangolquí. Los resultados de la producción de hortaliza bajo un ambiente controlado demostraron un producto de mayor calidad debido a su resistencia a plagas, enfermedades y su alto rendimiento [4].

El uso del agua se reduce en los cultivos bajo invernadero, mientras que el consumo del agua en campo abierto es mayor. Por ello, la producción bajo invernadero aumenta la eficacia del

empleo del agua por tres motivos [5]:

1. Se reduce la evapotranspiración (menor radiación, mayor humedad).
2. Incremento de los rendimientos debido a un mejor control de plagas y enfermedades.
3. Técnicas avanzadas de riego (riego por goteo y reúso del agua).

En Ecuador menos del 3% de hogares y empresas poseen paneles solares para la generación de electricidad. En las provincias del Guayas, Manabí, Pichincha, Cotopaxi, Loja, Imbabura, El Oro y Galápagos se encuentran ubicados 8 proyectos que involucran energía fotovoltaica, pero, pese a que aún este mercado todavía es pequeño se prevé que para el 2023 esto se cuadruplique debido a que entrarán en operación dos proyectos más. [6]

Actualmente, los cultivos a campo abierto están sometidos a varios factores ambientales, especialmente en tiempos de lluvias, en esta época los suelos se saturan de agua lo cual causa que el ambiente en el que se encuentren las plantaciones tengan una humedad no adecuada ocasionando enfermedades y propagación de plagas; cuando sucede esto, el personal está obligado a tener un control minucioso en las plantas para minimizar las pérdidas. Otra desventaja de los cultivos a campo abierto es que están expuestos a la radiación solar.

La energía convencional es una energía limitada la cual contamina el medio ambiente debido a que genera emisiones y residuos, provocando diariamente el calentamiento del planeta. Ecuador tiene un alto potencial en radiación solar ya que se encuentra en la mitad del mundo, pero la falta de conocimiento no permite que los habitantes implementen esta tecnología solar; no obstante, las energías renovables presentan ventajas debido a que es una energía limpia, inagotable y sobre todo no depende de suministros externos. Es por esto que, la energía fotovoltaica es de suma importancia aplicarla en invernaderos ya que por lo general en el campo no hay acceso a la red eléctrica tradicional, porque esta zona queda lejos de las redes que proveen el servicio de energía eléctrica.

1.2 Descripción del proyecto

El presente proyecto se compone de cuatro etapas, las cuales se detallan en los siguientes puntos:

1.2.1 Etapa del Sistema IoT

Esta etapa se encarga de conectar todos los equipos físicos como sensores, actuadores y otros equipos físicos para intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet. En el interior del invernadero el sistema IoT contiene varios procesos de monitoreo lo cuales son:

- **Control de climatización**

La temperatura que se encuentra en el interior del invernadero será monitoreada por medio de un sensor de temperatura ubicado en la parte posterior del invernadero; Además, dicho sensor publicará los datos a fin de que permita la activación de dos ventiladores para mantener la temperatura a los grados requerido para el óptimo crecimiento del cultivo de las hortalizas.

- **Control de humedad del cultivo**

El invernadero cuenta con tres macetas en su interior con su respectivo sensor de humedad que medirá la humedad relativa de la tierra de sembrado. En caso de no cumplir con la humedad relativa deseada se accionará el sistema de riego nebulizado, el cual proviene de la etapa de bombeo directamente a los aspersores mediante el uso de bombas de agua.

- **Control de humedad del ambiente**

El prototipo cuenta con un sensor de humedad que medirá la humedad relativa del ambiente en su interior. En caso de no cumplir con la humedad relativa deseada se accionará el sistema de ventilación hasta llegar a la humedad desea para el cultivo.

- **Control de iluminación**

Debido a la energía fotovoltaica y al banco de batería se puede proporcionar un sistema de iluminación artificial por las noches suministrando más horas de iluminación que contribuyen al crecimiento vegetativo y aumentando la producción mediante luminarias LED.

- **Control de CO_2**

Un sensor de CO_2 ubicado en el interior del invernadero de lado derecho permitirá medir la concentración de CO_2 que existe dentro del invernadero, en caso de que el CO_2 sea más bajo que la concentración actual de CO_2 en la atmósfera la cual es de 350 a 400 ppm. Por consiguiente, los ventiladores se activarán por un lapso permitiendo renovar el CO_2 dentro del invernadero.

1.2.2 Etapa de Energía Fotovoltaica

Esta etapa es la encargada de alimentar a todos los equipos eléctricos y electrónicos que componen el sistema de control del invernadero con energía renovable que se obtiene mediante paneles solares, una batería, regulador, tableros eléctricos, elementos de protección eléctrica, conductores y borneras de riel. Adicionalmente, los paneles solares cuentan con una estructura metálica con el propósito de facilitar el seguimiento de máxima potencia.

1.2.3 Etapa de bombeo

Esta etapa emplea un depósito que contienen agua, mismo que consta con sus respectivas bombas y electroválvulas que permiten la circulación desde el depósito hasta los aspersores del invernadero a través del uso de un controlador lógico programable cuando el sensor de humedad que controla la humedad del cultivo detecte una humedad relativamente baja. Adicional, el depósito contiene un sensor de nivel que permite notificar al operador el monitoreo de agua disponible para uso del invernadero.

1.2.4 Prototipo del invernadero automatizado

Esta etapa describe la fabricación del prototipo del invernadero, conformado por dos partes:

- **Estructura**

La estructura es la parte principal de un invernadero, por tanto, el prototipo está basado en el diseño del invernadero capilla a dos aguas debido a su baja complejidad de elaboración e instalación. La estructura está elaborada de dos tipos de madera con cierto grado de resistencia contra la humedad como lo son la madera laurel prieto que se implementó en la parte superior de la estructura y la madera “chanul” que se implementó en la parte inferior con el fin de soportar diferentes ambientes o situaciones externas.

- **Cubierta**

Para la cubierta se instaló acrílico transparente, permitiendo tener una mejor visibilidad del interior del invernadero y absorber el calor proveniente de la emisión de radiación solar generada en el horario matutino y vespertino.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementar un sistema inteligente utilizando tecnología IoT y energía solar para un prototipo de cultivos de hortalizas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar un prototipo de invernadero para el cultivo de hortaliza integrando sensores electrónicos, sistema de bombeo, riego, iluminación y ventilación que permitan controlar el crecimiento de dicho cultivo.
- Instalar un sistema fotovoltaico aislado que permita suministrar energía de manera autónoma a los actuadores eléctricos, sensores, controlador lógico programable y modulo inalámbrico ESP32.
- Implementar un mecanismo y control de seguidor solar en los módulos fotovoltaicos para obtener una mayor producción de energía en la instalación solar del prototipo invernadero.
- Implementar un sistema automatizado para el control de las bombas del sistema de riego, control de iluminación y ventilación, de la hortaliza sembrada en el prototipo invernadero.
- Diseñar el esquema eléctrico y de control para interconectar los diferentes componentes eléctricos del sistema.
- Diseñar un sistema IoT para la adquisición, gestión y monitoreo de manera remota de las variables que inciden en el control del invernadero automatizado y del sistema de energía fotovoltaica.

1.4 Justificación

Mediante la implementación de un prototipo de un invernadero inteligente, se lograría que las plantas que puedan ser sembradas en dicho espacio mantengan un ambiente óptimo para su cultivo y crecimiento a través del control y monitoreo de las variables físicas, tales como temperatura, iluminación, CO_2 , humedad del suelo, humedad relativa y nivel del depósito, que permiten que la planta se desarrolle adecuadamente en un entorno óptimo y que se obtenga un producto de calidad, ya que al automatizar los diferentes procesos del cultivo de una planta, se podría mitigar posibles enfermedades producidas por hongos al mantener el cultivo en condiciones de baja humedad relativa, temperatura y la falta de riego, causaría que la planta no

se desarrolle adecuadamente. Contar con un sistema IoT se lograría tener una medición y monitoreo en tiempo real de todas las variables físicas, estados de todos los elementos tales como electroválvulas, bombas, y de más que componen al proceso del control del invernadero, además con este sistema IoT es posible realizar un registro de datos que ayude a verificar los efectos de las diferentes variables físicas durante todo el proceso de cultivo y cosecha de la planta, teniendo así datos almacenados de producción y calidad del cultivo.

En vista de que el invernadero consistirá de un sistema de energía fotovoltaico, esto permitirá a todo el sistema de control del invernadero entregar una energía renovable que pueda ser utilizada para alimentar a todos los diferentes elementos eléctricos y electrónicos que componen el sistema de control del invernadero, pudiendo lograr que se reduzcan costos económicos por concepto de consumo de energía eléctrica por parte de los diferentes elementos de potencia que componen al sistema de control del invernadero. Adicionalmente el invernadero de cultivos de hortalizas puede ser utilizado para microempresas de agricultura o familias campesinas, con lo cual se estima aportar con una solución ecológica y tecnológica, para que dichos productores se relacionen con el área de automatización y control en diferentes procesos.

1.5 Alcance

En el presente proyecto se diseñará e implementará un prototipo de un sistema automatizado para el cultivo de hortalizas donde se indagará en los cuidados que son necesarios en este tipo de plantas, de tal manera que se pueda optar por los sensores y actuadores adecuados que intervengan en el proceso.

Los elementos que conforman el invernadero automatizado se muestran en la Figura 1 y se detallan a continuación:

- **Solución IoT:** se encargará de la adquisición, gestión y monitoreo las variables de todas las etapas tales como temperatura del invernadero, humedad del suelo, CO_2 del invernadero, nivel del depósito, humedad dentro del invernadero, iluminación y los valores adquiridos de la etapa de energía fotovoltaica para así tener un sistema eficiente.
- **Sistema de alimentación:** la energía fotovoltaica será la encargada de alimentar a todos los equipos que componen el sistema para consumir energía renovable. El control del punto máximo de potencia en los paneles fotovoltaicos debe mantener el ángulo de

recepción de la radiación solar para un óptimo rendimiento en las cargas de la instalación dado que la radiación del Sol no siempre es constante.

- **Sistema de riego:** El sistema de riego que se aplicará es por nebulizadores puesto que contribuirá en la temperatura del invernadero ya que cuando las gotas se dispersen harán que el ambiente se refresque.

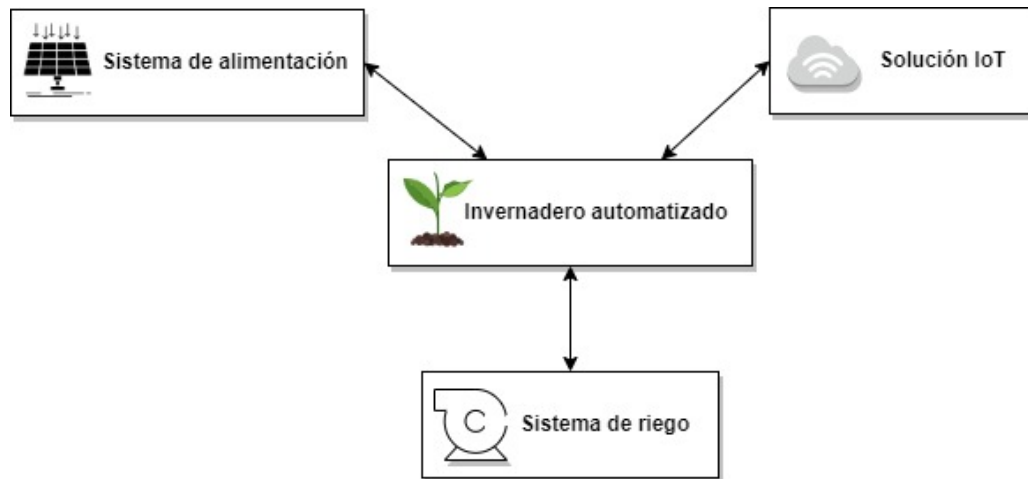


Figura 1. Etapas del sistema automatizado.

1.6 Metodología de la Investigación

1.6.1 Investigación Experimental

Se basa en la implementación de un prototipo de un invernadero automatizado el cual contará con diferentes etapas de control con la finalidad de constatar la relación establecida por la causa y el efecto al manipular las variables independientes del proceso de control provocando un cambio notorio en las variables dependientes las cuales serán observadas durante las etapas de crecimiento de las plantas con el propósito de identificar los cambios que ocurren.

1.6.2 Investigación Inductiva

Esta investigación se basa en observar y registrar lo que sucede dentro del prototipo del invernadero en busca de patrones o semejanzas que ayuden a construir una teoría sobre el crecimiento de los cultivos para así poder validar la información por medio de un riguroso análisis. Después de realizar la teoría, se experimenta y compara los resultados que validen dicha teoría.

1.7 Métodos y técnicas de recolección de datos

1.7.1 Recopilación documental y bibliográfica

Se trata de extraer información relevante de fuentes externas las cuales son las agencias gubernamentales, los manuales de operación, los protocolos, los medios de comunicación como sitios web, periódicos, revistas y entre otras fuentes que se encuentran de manera gratuita y al alcance de las personas, con el propósito de realizar los diseños propuestos para un óptimo crecimiento de las plantas mediante el uso de los datos adquiridos de dichas fuentes.

CAPÍTULO II

2.1 Marco Contextual

La automatización juega un papel muy importante para el avance tecnológico de las microempresas de agricultura y familias campesinas puesto que, enseña a los productores a emplear diferentes sistemas de control acorde al funcionamiento de su producción sin afectar nuestro entorno.

Por medio de la investigación de diferentes libros y artículos, se verificó los posibles escenarios que perjudiquen al cultivo siendo el cambio de clima uno de los factores principales que afectan en el crecimiento de las plantas, esto influye a que las plantas se vean perjudicadas por enfermedades y, por ende, se muestre una reducción en la productividad. Otro factor que incide es el riego, por lo que se recomienda regar las plantas en un horario matutino y nocturno, ya que, si se riega en otro horario el agua se evaporaría produciendo que la planta almacene poca agua. El sistema será alimentado con la ayuda de energía fotovoltaica, utilizando paneles solares y otros equipos imprescindibles para su funcionamiento; emplear este tipo de energía renovable aporta un beneficio a los invernaderos dado que no generan gases de efecto invernadero ni contribuyen a la contaminación ambiental.

La propuesta tiene como finalidad implementar un prototipo de invernadero automatizado para demostrar a los productores los conocimientos necesarios que permitan relacionar los principios básicos de la ecología con un entorno automatizado y a la vez aporten con la formación profesional a través del uso de un controlador lógico programable (LOGO), que estará conectado a diferentes sensores y actuadores los cuales se encuentran dentro y fuera del invernadero para proporcionar un ambiente óptimo en el crecimiento del cultivo de las hortalizas.

De igual forma, se realizará el monitoreo y gestión de los equipos mediante la implementación de un sistema IoT, el mismo que estará conectado al internet con el propósito de controlar de forma inalámbrica el prototipo en tiempo real. Además, con el uso de IoT nos permitirá recopilar y almacenar información relevante de varias fuentes para posteriormente dicha información subirla a la nube y poder controlarlo de forma remota mediante una plataforma IoT.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es aquella que transforma energía luminosa en energía eléctrica, por medio de la exposición al sol de varios materiales los cuales son convenientemente tratados para la posterior recogida de la electricidad generada [7].

2.2.2 Orientación e Inclinación óptima

La posición de un módulo fotovoltaico viene definida por dos ángulos: el ángulo de orientación y el ángulo de inclinación. De esta manera, para poder receptar la mayor cantidad de energía, es esencial orientar los módulos en dirección al Ecuador puesto que así se obtendría un buen aprovechamiento de los módulos tanto como por las mañanas como por las tardes.

El ángulo de inclinación óptima requiere de la latitud del lugar, el método que se usa para dimensionar el sistema y la evolución de la demanda de energía durante todo el año [8]. Con el objetivo de lograr el máximo rendimiento del sistema fotovoltaico, la inclinación de los paneles se calculará de la siguiente manera:

$$\beta = 3.7 + (0.69 \times \text{Latitud})$$

Donde:

$\beta \rightarrow$ es el ángulo de inclinación óptima,

Latitud $\rightarrow$ es la latitud del lugar de la instalación.

2.2.3 Hora Solar Pico

El término Hora Solar Pico (HSP) se refiere al número de horas con una irradiancia ficticia de 1000 W/m^2 . La irradiación a lo largo del día varía, pero en las horas centrales se tiene mayor irradiación [9]. Para conseguir el valor de las HSP se divide la irradiación global medida en $\text{W} \cdot \text{h/m}^2$ sobre 1000 W/m^2 , con la siguiente ecuación:

$$HSP = \frac{\text{Irradiancia global}}{1000 \text{ W/m}^2}$$

2.2.4 Radiación Solar

La luz solar llega a la superficie de tres maneras diferentes:

- **Radiación directa:** En este tipo de radiación la luz solar es recibida directamente del sol sin ser modificada, aunque filtrada por la atmósfera. Los haces de luz son perfectamente paralelos.
- **Radiación difusa:** Es aquella en donde la luz llega distorsionada por varias situaciones como la densidad atmosférica, los haces pierden el paralelismo por choques con las partículas y los gases atmosféricos.
- **Radiación de albedo:** El albedo es producto de cuando la luz del Sol llega reflejada desde objetos situados en tierra. Se puede considerar como parte de la difusa [10].

La suma de la radiación directa y la radiación difusa es la radiación global, si la medida de la radiación se realiza sobre una superficie horizontal [11], por lo tanto:

$$\text{Radiación solar global} = \text{Radiación directa} + \text{Radiación difusa}$$

2.2.5 Factores que afectan a la Radiación Solar

La radiación solar que llega a la superficie es afectada por diversos factores [8], entre ellos:

- **Latitud:** la posición al norte o al sur del Ecuador,
- **Nubosidad:** en los días nublado, la radiación solar difusa puede ser una décima parte de lo que le llegaría si fuese radiación solar directa,
- **Humedad:** la humedad en el aire absorbe la radiación solar,
- **Claridad atmosférica:** nubes, smog o polvo dificultan la llegada de la radiación solar.
- **Irradiancia:** La irradiancia solar se mide en W/m^2 y es una medida de radiación solar que cae sobre una superficie determinada. Cuando la energía solar llega a la atmósfera tiene una potencia aproximada de $1350 W/m^2$, pero durante el tiempo que atraviesa la atmósfera pierde potencia y llega a la superficie con una potencia de $1000 W/m^2$.
- **Irradiación:** la irradiación solar se mide en $Wh/m^2/día$ y es una medida de la cantidad de energía solar que llega a una superficie determinada por un tiempo determinado. Para poder dimensionar un sistema fotovoltaico autónomo es primordial saber el parámetro de irradiación solar o las horas pico del lugar en donde se hará la instalación.

2.2.6 Condiciones estándar de medida

Para realizar comparaciones entre diversos paneles fotovoltaicos se tienen las siguientes condiciones específicas las cuales se establecen como condiciones estándar de medida, que son las siguientes:

- Temperatura ambiente de $25^{\circ}C$
- Irradiancia de $1000 \frac{W}{m^2}$
- Masa de aire de 1.5

Es importante que cuando se vaya a dimensionar la instalación se tenga en consideración estos parámetros ya que de no ser así provocaría pérdidas energéticas, que se deben analizar por separado [12].

- **Temperatura de trabajo de la célula fotovoltaica**

Para el procedimiento del cálculo de la temperatura del módulo se utiliza la siguiente ecuación:

$$T_{módulo}(^{\circ}C) = T_{ambiente} + G \left(\frac{kW}{m^2} \right) \times \frac{TONC - 20^{\circ}C}{0.8 \left(\frac{kW}{m^2} \right)}$$

Donde:

$G \rightarrow$ es la irradiancia máxima del lugar,

$T_{ambiente} \rightarrow$ es la temperatura ambiente del lugar,

$T_{módulo} \rightarrow$ es la temperatura de trabajo de la célula.

$TONC \rightarrow$ es la temperatura que obtienen las células fotovoltaicas cuando la temperatura ambiente es igual a $20^{\circ}C$.

2.2.7 Instalación solar fotovoltaica aislada

Un sistema solar fotovoltaico aislado o también conocido como “*OFF GRID*” es un sistema abastecedor pues aprovecha la irradiación solar para producir la energía eléctrica necesaria en el suministro eléctrico [13]. La Figura 2 muestra el diagrama de bloques que indica de qué está compuesto el sistema fotovoltaico:

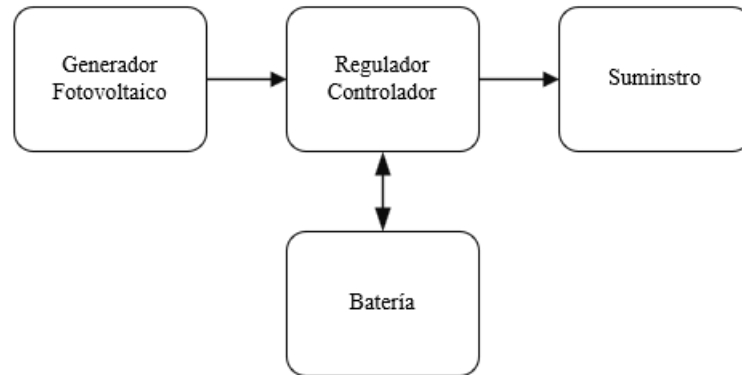


Figura 2. Sistema Fotovoltaico Aislado.

- **Generador Fotovoltaico:** provee la tensión/corriente encargada de mantener la carga de la batería.
- **Batería:** es la encargada de suministrar energía a la instalación, cuando la irradiación solar sea limitado o nulo.
- **Regulador:** es la encargada de controlar la carga de la batería. Estas son necesarias en las instalaciones aisladas.
- **Suministro:** hace relación a la instalación que debe alimentar el sistema fotovoltaico.

2.2.8 Módulos Fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos o paneles solares están formados por la interconexión de varias células solares en serie y/o paralelo, con la finalidad de proporcionar energía a la instalación por medio de irradiación solar [13].

Tipos de Módulos

Los tres tipos principales de módulos se fabrican mediante la cristalización de silicio:

- **Monocristalino:** se obtiene de silicio puro fundido dopado con boro y posee una estructura cristalina completamente ordenada de monocromía azulada oscura y metálica.

- **Policristalino:** se obtiene de silicio puro fundido dopado con boro, pero con menos fase de cristalización y posee una estructura ordenada por regiones separadas de tonalidad azul y grises metálicos.
- **Amorfo:** se procesó de fabricación consiste en depositar en forma de lámina delgada sobre vidrio o plástico, el cual le permite adaptarse a cualquier superficie presentando un alto grado de desorden y defectos en su composición química [13].

• Características Eléctricas

Para el cálculo de una instalación aislada se debe tomar en consideración las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos [13], tales como:

- **Intensidad de cortocircuitos I_{SC} :** es la máxima intensidad que se obtiene en un módulo fotovoltaico, el cual corresponde al medir la corriente entre los bornes del módulo cuando se provoca un cortocircuito.
- **Tensión en circuito abierto V_{OC} :** es el máximo voltaje en un módulo fotovoltaico, que se genera al no haber paso de corriente entre los bornes de este.
- **Tensión nominal:** el voltaje con el cual trabaja el módulo fotovoltaico.
- **Potencia Máxima P_M :** es el valor máximo de potencia que ofrece del módulo que se obtiene entre el producto de la corriente por la tensión del módulo fotovoltaico.
- **Tensión Máxima V_M :** corresponde al valor de tensión para la potencia máxima, el cual se aproxima al 80% de la tensión en circuito abierto.
- **Corriente Máxima I_M :** corresponde al valor de corriente para la potencia máxima.

2.2.9 Hortaliza a considerar

Para la examinación de la calidad de la hortaliza dentro del invernadero, se realizó un análisis comparativo (ver Tabla 1) de tres hortalizas [14].

Tabla 1. El cultivo biológico de hortalizas y frutos.

	Datos del rábano	Datos del perejil	Datos del tomate
Nombre científico	Raphanus sativus	Petroselinum sativum	Lycopersicon
Familia	Brasicáceas o crucíferas	Umbeliflorales	Solanáceas
Tipo de siembra	Siembra directa	Siembra directa	Almacigo

Tipo de suelo	Se adapta a cualquier tipo de suelo	Suelo neutro	Suelos profundos (1 m o más)
Humedad del suelo	Entre 60% a 65%	Entre 60% a 65%	Entre 60% a 80%
Temperatura mínima	10 °C	15 °C	15 °C
Temperatura óptima para el cultivo	15-25 °C	15-25 °C	15-25 °C
Parte comestible	Raíz	Fruto	Hoja y Tallo
Periodos	Desarrollo 30 días y Cosecha de 10 a 15 días	Desarrollo 90 días y Cosecha de 80 días	Almacigo 30 días, Desarrollo 60 a 90 días y Cosecha 45 a 90 días

Con relación a la Tabla 1 del análisis comparativo, se determinó que la hortaliza “rábano” es la indicada más favorable para el cultivo dentro del invernadero por su tipo de siembra directa, se adapta a cualquier tipo de suelo y se desarrolla durante 30 días.

2.2.10 Sistema de Riego

Para la visualización de la eficiencia del riego dentro del invernadero, se realizó un análisis comparativo de dos sistemas de riego.

Riego Superficial

El riego por superficie es un sistema de donde el agua fluye al suelo por efecto de la gravedad. El caudal disminuye a medida que el agua avanza por la parcela regada, debido a su infiltración en el suelo. Para el agua se distribuya lo más uniforme posible a lo largo de la parcela es preciso diseñar y manejar el riego de tal forma exista un equilibrio entre el proceso de avance e infiltración del agua [15].

Las pérdidas de agua se producen por escurrimiento superficial y por percolación profunda, por lo que el suelo debe limitarse a terrenos con pendiente suaves y con suelos relativamente profundos.

Tipos de riego superficial

- **Riego a manta:** el agua moja toda la superficie.
- **Riego por inundación o por estanque:** los tablares, generalmente de forma rectangular o cuadra, están bordeados por un dique o borde que impide la salida de

agua.

- **Riego por escurrimiento o por fajas:** los tablares tienen una ligera pendiente longitudinal que facilita el avance de agua y pueden ser abiertos o cerrados en la parte inferior.
- **Riego por surcos:** el agua fluye por surcos paralelos infiltrándose por el fondo y costado del mismo, sin que la superficie del suelo quede mojada en su totalidad.

Análisis del riego superficial

- No se requiere mucho control, solo un amplio conocimiento de las geometrías superficiales del suelo.
- La eficiencia de riego por aspersión es del 40% al 70%, debido a disminución del caudal a medida que avanza el agua.
- No requiere un costo elevado para su elaboración.
- El riego por surcos es aconsejable para cultivos sensibles al exceso de humedad como papa, girasoles, remolacha, etc.

Riego por Nebulizado

El agua se distribuirá de manera uniforme sobre la superficie que se desea regar en forma de lluvia por medio de aspersores alimentados por agua a presión [15]. La instalación de riego constará con:

- **Equipo de Bombeo:** su función es proporcionar agua a presión para activar los aspersores.
- **Red de tuberías:** las encargadas de llevar el agua hasta los plantes mediante una variedad de dispositivos conectados en la tubería como llave de paso y entre otros.
- **Dispositivos de aspersión:** los elementos encargados de repartir el agua en forma de lluvia, conocidos como aspersores.

2.2.11 Distribución de agua

La distribución en el suelo del agua aplicada por cada aspersor no es uniforme, sino varía a lo largo del radio de alcance del aspersor. Para lograr una mayor uniformidad de reparto en el sistema es preciso traslapar una parte de las áreas regadas por aspersores consecutivos.

Caudal

El caudal emitido por un aspersor está relacionado con el diámetro de sus boquillas y con la presión que existe entre ellas.

Análisis del riego nebulizado:

- Se necesita menos manos de obra y menos cualificadas.
- No se requiere la preparación previa del terreno, tanto en terrenos planos como ondulados.
- La eficiencia de riego por aspersión es de un 80%
- Elevado costo de diseño e instalación.
- El viento dificulta el reparto uniforme del agua.

Tabla 2. Técnicas de riego.

Sistemas de Riego		
Descripción	Riego Superficial	Riego Nebulizado
Eficiencia del riego	Eficiencia del 40 al 70%	Eficiencia del 80%
Consumo de Agua	Consumo excesivo de agua	No requiere de un consumo excesivo de agua
Preparación del Terreno	Si se requiere	No se requiere
Costo	No requiere un costo elevado para su elaboración	Tiene un costo elevado para su elaboración
Caudal	Disminuye a medida que el agua avanza	Depende del diámetro de la boquilla y la presión que existe entre ellas

De acuerdo con la Tabla 2, para el análisis del sistema de riego se determinó que el riego nebulizado es la mejor opción para la implementación del invernadero debido a que cuenta con un 80% de eficiencia y no se requiere preparar el terreno. Adicionalmente, el gasto de elaboración será mínimo debido a que se realizará en un prototipo.

2.2.12 Sistema IoT

El IoT o internet de las cosas consiste en el uso de objetos cotidianos que se conectan a internet de manera autónoma, sin interacción humana. Para que todos los sistemas IoT puedan implementarse, es fundamental disponer de chips que puedan proveer a dichos sistemas la capacidad de comunicarse de manera inalámbrica [16].

2.2.13 Plataformas IoT

Una plataforma IoT permite comunicar de forma eficaz los diferentes softwares necesarios para enlazar a un determinado dispositivo con el hardware del que este se compone mediante protocolos de comunicación. A continuación, se compara tres plataformas distintas para determinar la plataforma adecuada para el sistema IoT del invernadero inteligente.

Blynk

Blynk es una empresa de software que proporciona infraestructura para el internet de las cosas. En 2014, Blynk fue pionera en el enfoque sin código para la creación de aplicaciones IoT y ganó popularidad mundial por su editor de aplicaciones móviles. Hoy en día, empresas de todos los tamaños, desde nuevas empresas hasta grandes empresas, utilizan nuestra plataforma de software para crear y administrar productos conectados [17].

TagoIO

Esta plataforma permite utilizar herramientas para que un negocio pueda administrar dispositivos, almacenar datos, ejecutar análisis e integrar servicios. Además, combina todo en una aplicación “user-friendly” y un sistema de administración de usuarios [18]. Por otro lado, esta plataforma ofrece desarrollo de soluciones IoT en diferentes ámbitos como automatización industrial, riego inteligente, agricultura inteligente, refrigeración y telemática [19].

Grafana

Es una plataforma digital que permite consultar, visualizar, alertar y comprender sus métricas sin importar dónde estén almacenadas. Además, los usuarios pueden crear, explorar y compartir “dashboards” con sus equipos de trabajo y fomentar una cultura basada en los datos [20]. Una de las características más valiosas de los paneles de Grafana es la capacidad de relacionar eventos entre ellos.

ThingSpeak

ThingSpeak es una plataforma IoT que le permite insertar, visualizar al instante los datos publicados de otros dispositivos en la plataforma IoT y examinar el flujo de datos almacenados en la nube [21].

Tabla 3. Plataformas IoT – Plan Free / Mensual.

	Blynk	TagoIO	Grafana	Thingspeak
Precio Mensual	\$0	\$0	\$0	\$0
Número máximo de dispositivos	2	5	-	4
Número máximo de tableros	1	5	10	8
Almacenamiento de datos históricos del dispositivo	7 días	30 días	14 días	-
Base de datos local	Blynk.Cloud	TagoCore	Grafana Cloud	No
Aplicación Móvil	Si	Si	No	Si
Conexión de dispositivos a la red Wifi local directamente desde la aplicación.	Si	Si	-	Si
Integración y API - TCP/IP	Si	Si	Si	Si

En cuanto al análisis comparativo, se llegó a la conclusión que las plataformas Grafana y Thingspeak, son las mejores opciones para la adquisición y visualización de datos del prototipo de un invernadero debido a que Grafana permite visualizar hasta 10 tableros y Thingspeak permite hasta 8 tableros. Además, Grafana será utilizada de forma local mientras que Thingspeak será utilizada de forma remota siempre y cuando el usuario tenga internet.

2.2.14 Estructura del Invernadero

Los invernaderos son instalaciones que poseen alta durabilidad, se caracterizan por su diseño y materiales empleados en su fabricación. A continuación, se compara tres estructuras diferentes comúnmente usadas en la elaboración de invernaderos [22].

Tabla 4. Estructura de invernadero.

Descripción	Estructura Metálicas	Estructuras cerámicas o de hormigón armado	Estructura de madera
Materiales de Elaboración	Acero galvanizado	Ladrillo o hormigón	Madera
Costo	Tiene un costo elevado para su elaboración	Tiene un costo elevado para su elaboración	No requiere un costo elevado para su elaboración
Durabilidad	Si	Si	Depende del tipo de madera
Susceptible a ampliaciones	Si	No	Si

Respecto al material, se concluyó que el material idóneo para la implementación del prototipo invernadero es la madera debido a su bajo costo y durabilidad según el tipo de madera seleccionada.

Cubierta del Invernadero

Es un componente que permite satisfacer las necesidades del cultivo por medio de acumulación de calor, durabilidad y buena visibilidad. Normalmente los materiales más usados para la cubierta de los invernaderos son el vidrio, plástico según el tipo de estructura que se elaborará.

2.2.15 Normativa para la construcción del invernadero

La norma empleada para la implementación del prototipo de un invernadero es la norma europea UNE-EN 13031-1, que aporta con los principios de estabilidad, resistencia mecánica y durabilidad para la construcción de invernaderos de producción comercial, además, esta norma incorpora otras normativas como la norma UNE-ENV 1995-1-2, que detalla las reglas generales para los diseños de estructuras desarrolladas a base de madera [23].

2.3 MARCO TEÓRICO

En el siguiente apartado, se muestran una serie de artículos, tesis, trabajos de investigación, revisados por los autores, en los cuales se extrajo información relevante ya que proporcionan información acorde a sistemas de invernaderos automatizados con tecnología IoT.

“Sistema Automatizado de Climatización para Invernaderos de Zonas Cálidas”, el presente tema tiene como propósito diseñar un sistema automatizado de bajo costo, para controlar el clima en los invernaderos ubicados en áreas cálidas de la República Dominicana, en el cual controlan la temperatura, la humedad y la concentración de CO₂. Este sistema está compuesto por un grupo de sensores para evaluar cada parámetro para procesar y controlar los datos. [24]

En el año 2022, en Santiago de Chile, se realizó el trabajo “Diseño de interfaces modulares para facilitar proyectos de IoT”, que pretende crear un equipo electrónico buscando facilitar el acercamiento de las personas al mundo de la electrónica y al IoT; a través de la creación de interfaces electrónicas para que algunos sensores se puedan conectar de forma plug and play a un módulo central y sus mediciones aparezcan en una página web. [25]

“Photovoltaic Energy Conversion Smart Irrigation System-Dubai Case Study (Goodbye Overwatering & Waste Energy, Hello Water & Energy Saving)”, emplea un sistema de riego inteligente diseñado para aplicar energía fotovoltaica y una serie de combinación de elementos para el control, tales como Arduino UNO, Raspberry Pi con una cámara y varios componentes. El sistema se considera sostenible, eficiente y confiable, además de fácil acceso. [26]

“IoT Based, Inexpensive System for Large Scale, Wireless, Remote Temperature Monitoring of Photovoltaic Modules”, detalla el monitoreo remoto e inalámbrico de la temperatura/puntos de acceso del módulo fotovoltaico; este trabajo, emplea un diseño sin batería y es capaz de manejar temperaturas de funcionamiento de hasta 100°C, por lo tanto, es capaz de registrar datos de temperatura incluso de módulos desplegados en sistemas de techo en climas cálidos. [27]

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Para la implementación del prototipo de un invernadero automatizado con un sistema IoT, se emplean varios elementos eléctricos, electrónicos, elementos de energía solar, controladores lógicos programables, módulos inalámbricos y dispositivos de red para llevar a cabo la ejecución del prototipo en este caso en específico se enfoca en el cultivo de rábanos, a continuación, en la sección de componentes físicos y lógicos se detalla una breve descripción y las características técnicas más relevantes de cada uno de los dispositivos.

3.1 COMPONENTES FISICOS

3.1.1 PLC LOGO 8 Siemens

El controlador lógico programable LOGO 8 del fabricante Siemens, es un módulo lógico que contiene entradas, salidas, display para configuración e interfaz de red Ethernet, en la presente propuesta este controlador se emplea para activar cada uno de los actuadores tales como bombas, electroválvulas, sistema de iluminación y ventilación conectados en las salidas digitales del PLC LOGO 8, de acuerdo con los datos que se reciba desde el módulo inalámbrico ESP32. La Tabla 5 detalla las características técnicas relevantes del controlador lógico programable LOGO 8:



Figura 3. PLC LOGO 8 Siemens.

Tabla 5. Características técnicas PLC LOGO 8 Siemens.

Modelo	6ED1052-1MD08-0BA1
Tensión de alimentación	12/24 VDC
Entradas digitales	8, 4 de ellas se pueden utilizar como entradas analógicas (0 a 10 V)
Salidas digitales	4 relé
Tensión de alimentación salidas digitales	<240 VAC/VDC
Corriente máxima salidas digitales	16 A
Ethernet	Si
Temperatura ambiente en servicio	-20 °C a 55 °C
Dimensiones (ancho x altura x profundidad)	71,5 mm x 90 mm x 60 mm

3.1.2 Raspberry Pi 4 Modelo B

La tarjeta raspberry Pi 4 modelo B, es un ordenador de placa reducida comparable con un computador de escritorio de nivel básico, ofrece conectividad inalámbrica vía wifi e interfaz de red mediante un puerto ethernet, lo que hace posible que este dispositivo se pueda configurar como servidor IoT para instalar los servicios tales como base de datos (InfluxDB), broker MQTT, Node-RED y Grafana, con lo que se puede adquirir cada uno de los datos de los sensores instalados en el prototipo invernadero los cuales se encuentran conectados en el nodo ESP32 y poder monitorear remotamente las variables que influyen en el invernadero. Las características técnicas de la tarjeta Raspberry Pi 4 se detallan en la Tabla 6.



Figura 4. Raspberry Pi 4 Modelo B.

Tabla 6. Características técnicas Raspberry Pi 4 Modelo B.

Modelo	Raspberry Pi 4 B
Procesador	Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC a 1.5GHz
Memoria	LPDDR4 de 2 GB
Conectividad	LAN Ethernet Inalámbrica wifi IEEE 802.11ac de 2,4 GHz y 5,0 GHz, Bluetooth 5.0
Puertos	2 USB 3.0 2 USB 2.0.
Número de pines GPIO (General Purpose Input Output)	40 pines
Video	2 puertos micro HDMI
Alimentación eléctrica	conector USB tipo C (5V/3 A) GPIO Pin 04 y 06 (5V/3 A)

3.1.3 Módulo de expansión LOGO DM8 12/24R

Este módulo de expansión ofrece 4 entradas y 4 salidas digitales de tipo relé, este módulo se utiliza en esta propuesta para controlar el sistema de iluminación y ventilación, debido a que el módulo lógico principal del PLC LOGO 8 solo contiene 4 salidas digitales, las cuales se ocupan para controlar el sistema de riego y electroválvulas, al requerir un número adicional de salidas digitales controlables se emplea dicho elemento con el objetivo de cubrir el control automático de cada uno de los actuadores que componen el invernadero. La Tabla 7 detalla las características funcionales importantes del módulo DM8 12/24R:



Figura 5. LOGO DM8 12/24R.

Tabla 7. Características técnicas LOGO DM8 12/24R.

Modelo	6ED1055-1MB00-0BA2
Tensión de funcionamiento	12/24 VDC
Número de entradas digitales	4
Número de salidas digitales	4 de tipo relé
Grado de protección IP	IP20
Temperatura de funcionamiento	-20 °C a 55 °C
Dimensiones (ancho x altura x profundidad)	35.5 mm x 90 mm x 58 mm

3.1.4 ESP32 WROOM 32

El módulo inalámbrico ESP32 WROOM 32 en esta propuesta cumple con la función de adquirir los datos de los sensores, los mismos que recolectan cada una de las variables presentes en el invernadero tales como iluminación, nivel de CO₂, humedad relativa, humedad del suelo, nivel de agua, temperatura del ambiente, voltaje y corriente de los paneles solares. Un ESP32 al contar con tecnología wifi, hace posible enviar mediante protocolos de comunicación inalámbricos las mediciones obtenidas de los sensores hacia un servidor o broker, en este caso se enviarán hacia Node-RED el cual se instala en la tarjeta Raspberry Pi 4 y de esta forma tener una comunicación entre el hardware ESP32 y la Raspberry Pi 4. La Tabla 8 muestra las características de la tarjeta ESP32 WROOM 32:



Figura 6. ESP32 WROOM 32.

Tabla 8. Características técnicas ESP32 WROOM 32.

Tensión de alimentación eléctrica	3.3V
Pines analógicos	18 pines analógicos, configurables de 9,10,11 y 12 bits.
Frecuencia de funcionamiento	240MHz
Microprocesador	Tensílica Xtensa LX6
SRAM	520KB
Corriente máxima pines de entrada/salida	40mA
Pines de entrada/salidas digitales	38 (los cuales 34 pueden funcionar como GPIO normales)
Conectividad WIFI	Si, IEEE 802.11 b/g/n
Tipos de comunicación	2 puertos I2C, 3 puertos UART, 4 puertos SPI

3.1.5 Router Nyx300

Un Router Nyx300 es utilizado para brindar conectividad a internet a los dispositivos ESP32, tarjeta raspberry Pi 4, controlador lógico programable LOGO 8 u otro dispositivo que tenga las credenciales de acceso a la red del respectivo invernadero. Dicho acceso a internet es empleado para monitorear y acceder a los servicios IoT configurados en la tarjeta Pi 4, pudiendo de esta forma tener los datos del invernadero en la nube. A continuación, se muestra la Tabla 9 donde se detallan las características importantes del router a utilizar en esta propuesta.



Figura 7. Router Nyx300.

Tabla 9. Características técnicas Router Nyx300.

Alimentación eléctrica	5VDC/1 A
Velocidad de transmisión	Hasta 300 Mbps
Número de Puertos	2 puertos de 10/100Mbps
Funcionalidades	Router, repetidor, punto de acceso inalámbrico, capacidad de configurar redes segmentadas

3.1.6 Sensor de temperatura sonda LM35

El sensor LM35 tipo sonda es utilizado en el invernadero para adquirir la temperatura que influye en el proceso de la germinación, fotosíntesis, transpiración del cultivo de rábano sembrado en el invernadero. El rango de medición de este sensor abarca desde los -55°C hasta los 150 °C, con lo que es posible con este elemento medir la temperatura del cultivo de rábano, ya que las temperaturas del desarrollo de dicho cultivo se encuentran entre los 6 a 30°C, siendo de 20 a 25°C la temperatura optima de germinación de este. La Tabla 10 muestra las características del sensor de temperatura a utilizar en el prototipo del invernadero.



Figura 8. Sensor de temperatura LM35 tipo sonda impermeable.

Tabla 10. Características técnicas sonda de temperatura LM35 impermeable.

Voltaje de alimentación eléctrica	3.0VDC a 5VDC
Consumo de corriente	inferior a 60 μA
Pines	3 pines, Negro (Ground), Amarillo (Dato), Rojo (Vcc)
Factor de escala lineal	+ 10 mV / ° Celsius (Centígrados)
Precisión	0.5 °C a +25°C
Rango de temperatura de funcionamiento	-55 ° C a + 150 ° C

Interfaz de salida	Analógica
Dimensiones	6mm de diámetro x 50 mm de longitud (carcasa de acero inoxidable)

3.1.7 Sensor de humedad de suelo HD-38

El sensor de humedad de suelo HD38, posee unas puntas anticorrosivas lo cual es adecuado para sumergir dichos sensores en la tierra de sembrado, este sensor permitirá adquirir el nivel de humedad del cultivo, con lo cual se puede obtener un control de riego al momento que se detecte un nivel bajo de humedad. Las características técnicas del sensor de humedad de suelo HD-38 se detallan en la Tabla 11.



Figura 9. Sensor de humedad de suelo HD-38.

Tabla 11. Características técnicas sensor de humedad de suelo HD-38.

Voltaje de alimentación eléctrica	3.3VDC a 12VDC
Corriente de funcionamiento	< 30mA
Interfaz de salida	Digital (D0) y Analógico (A0)
Salida de corriente por la interfaz digital y analógica	< 30mA

3.1.8 Sensor de humedad y temperatura del ambiente SHT3x

El sensor SHT3x incorpora la medición de temperatura y humedad relativa mediante una comunicación digital de tipo I2C, este sensor es utilizado para únicamente adquirir y monitorear la humedad relativa dentro del invernadero, para de esta forma tener un adecuado control de crecimiento del rábano. Los niveles de humedad relativa adecuados para este cultivo abarcan entre el 60% y 80%, el sensor sht3x resulta adecuado para esta aplicación ya que posee un rango de medición del 0% al 100% de humedad relativa. Las características técnicas del sensor SHT3x se detallan en la Tabla 12.



Figura 10. Sensor SHT3x.

Tabla 12. Características técnicas sensor SHT3x.

Voltaje de Operación	2.4VDC a 5.5VDC
Interfaz de comunicación	I2C
Dirección I2C	0x44 (por defecto) si se conecta el pin ADDR a Ground 0x45 si se conecta el pin ADDR a Vcc
Rango de trabajo Temperatura	-40° a 125°C
Resolución Temperatura	0.015°C
Precisión Temperatura	0.2°C
Rango de trabajo Humedad	0 a 100% RH
Resolución HR	0.01 %RH
Precisión HR	2% RH

3.1.9 Sensor de CO2 MG-811

El módulo de sensor MG-811 incorpora un circuito de acondicionamiento que permite amplificar la señal de salida y un respectivo circuito de calefacción para el funcionamiento del sensor, está diseñado para medir el nivel de CO2 de un ambiente en el cual se puede dar uso

en diferentes aplicaciones tales como calidad de aire o monitoreo de aire en interiores. Este sensor es instalado en el invernadero para medir la concentración del dióxido de carbono el cual debe situarse dentro de un rango de 350 a 400 ppm para que de esta forma la hortaliza produzca una fotosíntesis optima. Las características técnicas del sensor MG-811 se muestran en la Tabla 13.



Figura 11. Sensor de CO2 MG-811.

Tabla 13. Características técnicas sensor de CO2 MG-811.

Voltaje	5 VDC o más
Tipo de Sensor	Electrolito Sólido
Gas objetivo	CO2
Rango de detección	350 ppm – 10000ppm
Consumo de calentador	120mW
Interfaz de salida	Digital tipo comparador, analógica de tipo amplificador
ΔEMF señal de salida	$\geq 25\text{mV}/10000 \text{ ppm CO}_2$
Voltaje de Salida Analógica (amplificador)	0 a 2 V

3.1.10 Sensor de intensidad luminosa BH1750

El BH1750 es un módulo de sensor que permite medir la cantidad de luz ambiental a través de una interfaz digital de tipo I2C, posee un rango alto de medición y resolución el cual abarca desde 1-65535 lx, en comparación con el sensor de luz ambiental analógico TEMA600 que únicamente adquiere la iluminación ambiental en un rango de 1-1000 lx. Este sensor es instalado en el prototipo invernadero inteligente para de esta forma monitorear la cantidad de iluminación que percibe el cultivo de la hortaliza rábano, y de esta forma tener un control sobre esta variable física en caso de que los niveles de iluminación que recibe el cultivo sean desfavorables. Se detalla en la Tabla 14 las características más relevantes del sensor BH1750.

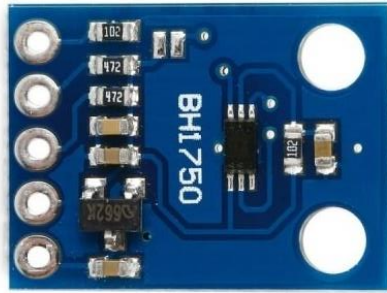


Figura 12. Sensor de intensidad luminosa BH1750.

Tabla 14. Características técnicas sensor de intensidad luminosa BH1750.

Voltaje de funcionamiento	3.3VDC-5.5VDC
Corriente de funcionamiento	120uA consumo típico, 190uA consumo máximo
Temperatura de funcionamiento	-40°C a 85°C
Dimensiones PCB	19.25mm x 14.4mm
Rango y resolución de medición	(1-65535 lx)
Interfaz de salida	I2C
Dirección I2C	0x23 cuando el pin ADDR se conecta a GND 0x25 cuando el pin ADDR se conecta a Vcc
Resolución del sensor	16 bits

3.1.11 Transductor de medición de distancia Modelo AJ-SR04M

El transductor de medición ultrasónico está diseñado mediante el uso de una sonda impermeable lo que hace posible utilizar este elemento en aplicaciones donde el ambiente sea húmedo, posee una resolución de medición de hasta 2mm, siendo óptimo para medir el nivel de agua del reservorio del invernadero, el cual permite suministrar agua para el riego de la hortaliza. Además, con la medición del nivel del agua del reservorio es posible monitorear si el reservorio se encuentra lleno, vacío o con la cantidad suficiente de agua para abastecer la demanda del riego de la hortaliza. Se muestra en la Tabla 15 las características técnicas del transductor utilizado en esta propuesta.



Figura 13. Transductor de medición de distancia AJ-SR04M.

Tabla 15. Sensor Ultrasónico AJ-SR04M.

Voltaje de Operación	3 VDC – 5.5VDC
Corriente de Operación	40 mA, Duración de pulso <50us
Frecuencia de Trabajo	40kHz
Alcance mínimo	20 cm
Alcance máximo	8 m
Señal de disparo de entrada (Trigger)	Rx Trigger/ Serial Receiver/ Habilitación Switch
Señal eco de salida (Eco)	Salida TTL
Resolución	2mm
Temperatura de trabajo	-20°C a 75°C

3.1.12 Sensor de voltaje FZ0430

El sensor de voltaje FZ0430 es un elemento que permite realizar mediciones de voltajes a través de su salida analógica, funciona con tensión de alimentación de 3.3VDC a 5VDC. En esta propuesta se realizará la medición del voltaje proveniente de los paneles solares mediante este sensor, para de esta manera en conjunto con la medición de corriente estimar la potencia que generan los paneles solares. Las características técnicas del sensor de voltaje FZ0430 se muestran en la Tabla 16.

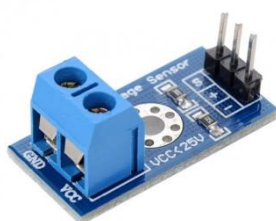


Figura 14. Sensor de Voltaje FZ0430.

Tabla 16. Características técnicas sensor de voltaje FZ0430.

Rango de voltaje de entrada	De 0VDC a 25VDC
Voltaje de detección máximo	$(3.3\text{VDC} \times 5) = 16.5\text{VDC}$ $(5\text{VDC} \times 5) = 25\text{VDC}$
Resolución analógica	0.00489 VDC
Voltaje mínimo de detección	24.45mV

3.1.13 Sensor de corriente ACS712-20 A

El sensor ACS712, es un elemento el cual permite medir la corriente eléctrica alterna o continua que atraviesa un conductor haciendo uso del efecto Hall, es decir se detecta dicha corriente cuando el campo magnético se encuentra perpendicularmente al conductor eléctrico. Este sensor se utiliza en esta propuesta para medir la corriente eléctrica que se extrae de los paneles solares para de esta forma en conjunto con la medición del voltaje efectuar un control de seguimiento de máxima potencia en el sistema fotovoltaico que energiza el invernadero inteligente. Se detalla a continuación los datos técnicos del sensor de corriente en la Tabla 17.



Figura 15. Sensor de corriente ACS712-20 A.

Tabla 17. Sensor de corriente ACS712-20 A.

Tensión de alimentación	5VDC
Corriente de salida	3mA
Capacidad de corriente	20 ^a
Voltaje de salida	0VDC – 5VDC
Salida cuando no se existe corriente (I=0A)	2.5V
Sensibilidad	20 A (con una salida 180mV/A)

3.1.14 Válvula Solenoide

Una válvula de solenoide es un elemento que emplea la fuerza electromagnética para su funcionamiento, es decir cuando circula corriente eléctrica sobre la bobina eléctrica, esta realiza el accionamiento de la válvula, permitiendo o impidiendo el flujo del líquido o gas que atraviesa por la válvula. En esta propuesta la válvula utilizada es de contacto normalmente cerrado, al energizar el solenoide con un pulso constante de 12VDC y una corriente de 300mA esta conmutará al estado abierto, lo que permitirá controlar el paso del flujo de agua hacia las macetas que contienen el cultivo de rábano. En la Tabla 18 se muestra las características técnicas de válvula solenoide.



Figura 16. Válvula Solenoide.

Tabla 18. Características técnicas válvula solenoide.

Tensión de alimentación	12VDC
Consumo de corriente	300mA
Estado inicial de la válvula	Normalmente cerrado
Presión	0.02 – 0.8MPa
Tipo de conexión de la tubería	1/2"
Rango de temperatura de funcionamiento	1°C a 75°C

3.1.15 Bomba de agua DP-521

La bomba de agua DP-521 es un elemento que permite transportar el líquido existente en un sitio hacia otro con un flujo de 3.5 litros/min, está compuesta por un motor de corriente continua el cual consume 2 A, en esta propuesta se utiliza esta bomba para suministrar el agua desde el reservorio hacia el cultivo de rábano sembrado en el prototipo de invernadero, esto se efectúa cuando la variable de humedad de suelo o del ambiente se encuentren por debajo de los niveles tolerables los cuales son 40% y 70% respectivamente. La Tabla 19 muestra las características técnicas de la bomba de agua utilizada.



Figura 17. Bomba de agua DP-521

Tabla 19. Características técnicas bomba de agua DP-521.

Tensión de alimentación	12VDC
Corriente	2 A
Capacidad	3.5 litros/min
Presión	0.48MPa

3.1.16 Ventilador VN6A-012P

El ventilador VN6A-012P es un elemento que permite renovar el aire en un espacio cerrado, es decir sustituye el flujo de aire de un sitio cerrado por aire fresco, es utilizado en el invernadero para mantener una temperatura optima y constante del cultivo de rábano, este elemento entra en funcionamiento cuando las mediciones del sensor de temperatura y nivel de CO2 se encuentren por encima de los 25°C y 400ppm respectivamente. Se detalla en la Tabla 20 las características técnicas del ventilador VN6A-012P.



Figura 18. Ventilador VN6A-012P.

Tabla 20. Características técnicas ventilador VN6A-012P.

Tensión de alimentación	12VDC
Consumo de potencia eléctrica	5.4W
RPM del motor eléctrico	3000 rpm
Consumo nominal	108Wh/día
Tamaño	6"

3.1.17 Tiras de Led color Blanco

Una tira LED es un elemento electrónico que se compone de diodos semiconductores de luz, esta tecnología LED es usada en el invernadero para un mejor desarrollo y crecimiento vegetativo de la hortaliza, adicionalmente servirá para brindar iluminación al cultivo durante el horario nocturno o cuando el sensor de iluminación ambiental detecte condiciones desfavorables de esta variable física. Se detalla a continuación los datos técnicos de la tira de leds de color blanco en la Tabla 21.



Figura 19. Tira de leds de color blanco.

Tabla 21. Características técnicas tira LED blanca.

Modelo	MODLED-125/BCO
Alimentación eléctrica	12VDC / 13W máximo
Consumo eléctrico	2.6W por cada metro
Color	Blanco 6000 K a 7000 K
Protección	IP65

3.1.18 Panel Solar

El panel solar es el elemento que transforma la energía solar en electricidad, se utiliza en este prototipo con la finalidad de alimentar las diferentes cargas eléctricas del sistema tales como bombas, válvulas de solenoide, sistema de iluminación, sensores, controlador lógico programable LOGO 8, los cálculos de selección de número de módulos solares necesarios y el dimensionamiento respectivo de los elementos del sistema fotovoltaico se detallan en la sección 3.3.2. Las características eléctricas y mecánicas de trabajo del panel solar se muestran en la Tabla 22, en condiciones STC (Standard Test Conditions) a una irradiancia de 1000 W/m^2 y NOTC (Nominal Operating Cell Temperature) a una irradiancia de 800 W/m^2 .



Figura 20. Panel solar monocristalino 120Wp.

Tabla 22. Características técnicas panel solar monocristalino PMS120W.

Características eléctricas		
Característica	STC	NOTC
Máxima Potencia (Pmax)	120W	88W
Tensión de potencia máxima (Vmpp)	18.00V	16.80V
Corriente de potencia máxima (Impp)	6.67A	5.24A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	22.50V	21.20V
Corriente de cortocircuito (Isc)	7.21A	5.66A
Eficiencia del módulo STC	18.46%	
Tolerancia de potencia	5%	
Rango de temperatura de operación	-40°C a 85°C	
Características mecánicas		
Tipo de célula	Monocristalino156.75 ×× 156.75 [mm]	
Numero de células	36 (4x9)	
Dimensiones [mm]	670x970x30	
Tipo de conector	MC4	
Cables de salida	2.5 mm ² , longitud 900 mm	

3.1.19 Controlador de carga

Un controlador de carga es un dispositivo electrónico que se utiliza para proteger el banco de baterías de sobrecargas y descargas excesivas, es el encargado de controlar el nivel de carga de las baterías, para así evitar que estas se descarguen a través de los paneles solares cuando no existe generación de energía solar, este dispositivo en una instalación fotovoltaica se conecta entre el generador solar y el banco de baterías [28]. En esta propuesta es utilizado un regulador de carga de tipo PWM debido a costos y es adecuado para sistemas fotovoltaicos de menor escala, la capacidad nominal de este elemento es de 12VDC a 20A, por lo que los paneles solares funcionaran al mismo voltaje de las baterías las cuales son de 12VDC. Se muestra en la Tabla 23 las características técnicas del regulador de carga PWM utilizado en el sistema fotovoltaico.



Figura 21. Regulador PWM 20A.

Tabla 23. Características técnicas regulador de carga solar PWM.

Capacidad de corriente	20 A
Voltaje nominal	12VDC/24VDC
Corriente de descarga	10mA
Potencia de entrada máxima	Para 12VDC 260W Para 24VDC 520W
Carga flotante	13.7VDC/27.4VDC (predeterminado)
Parada de descarga	10.7VDC/21.4VDC (predeterminado)
Voltaje de recuperación de carga	12.6VDC/25.2VDC (predeterminado)

3.1.20 Baterías

Mediante las baterías se almacenará el excedente de energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos, para de esta manera suministrar esta energía a las diferentes cargas de corriente continua del prototipo invernadero, cuando existan condiciones de irradiación solar nula o en un periodo nocturno. La batería que se usa en esta propuesta tiene una capacidad de amperaje de 55Ah, la cual se muestra en la Figura 22. La Tabla 24 muestra las características técnicas de la batería utilizada.



Figura 22. Batería de 55Ah

Tabla 24. Características técnicas batería Bosh 55Ah

Capacidad C20 (Ah)	55Ah
Capacidad reserva min.	100 min.
Polaridad	- +

3.1.21 Motor paso a paso

Para el control de seguimiento solar se hace uso de este componente eléctrico el cual es un motor paso a paso de corriente continua, este elemento es utilizado ya que, su movimiento se efectúa de acuerdo a, un número de pasos. Se selecciona un motor paso a paso NEMA 23, bipolar 4 hilos y 1.8 grados por paso, la característica principal que se toma en consideración para este elemento es el torque, ya que este deberá ser capaz de movilizar el peso de los paneles solares que es de aproximadamente 12.1 kilogramos, conociendo este peso se selecciona un motor paso a paso de aproximadamente 20 kg*cm para de esta forma al realizar el control de seguimiento solar y de esta forma este motor sea capaz de mover el mecanismo de rotación necesario para orientar el módulo fotovoltaico hacia la orientación del sol durante el día.

En la Figura 23 se muestra el motor NEMA 23 a utilizar:



Figura 23. Motor paso a paso NEMA 23 de 20 kg*cm.

3.1.22 Controlador de motor a paso

Un driver de motor a paso es utilizado para controlar y suministrar la corriente necesaria que permite el funcionamiento del motor a paso, en este caso se hace uso del controlador TB6600 el cual permite manejar motores de hasta 5 amperios de corriente continua.

A continuación, en la Tabla 25 se especifica las características eléctricas de este componente.



Figura 24. Controlador de motor paso a paso.

Tabla 25. Especificaciones técnicas controlador TB6600 de motor paso a paso.

Corriente de entrada	0 - 15 A
Corriente de salida	0.5 – 4.0 A
Potencia (MÁX.)	160 W
Microstep	1.2/A, 2/B, 4, 8, 16, 32
Temperatura	-10 – 45°C
Peso	0.2 kg
Dimensión	96*53*33 mm

3.1.23 Tablero eléctrico

Un tablero eléctrico es un elemento que permite ubicar cada uno de los dispositivos de una instalación eléctrica. En el prototipo invernadero inteligente se utilizan dos tableros eléctricos, en el cual un primer tablero de dimensiones 400x350x120 milímetros es usado para ubicar los diferentes dispositivos eléctricos tales como, breaker, borneras, controlador de carga solar, mientras que en el segundo tablero de dimensiones 300x250x120 milímetros se ubican los componentes del sistema IoT los cuales son tarjeta ESP32, Raspberry Pi 4, LOGO 8, Router.



Figura 25. Tablero eléctrico.

3.1.24 Breaker eléctrico

Un breaker es un elemento eléctrico que permite conectar o desconectar un circuito de manera automática si este excede de un valor predeterminado de sobrecorriente, posee una palanca el cual permite abrir o cerrar el circuito eléctrico al cual se encuentre conectado. En esta propuesta se utilizan breakers termomagnéticos automáticos de una capacidad de 2A, 6A, 10A, 16A y 20A, para la protección de los elementos del sistema de energía fotovoltaica, controlador lógico LOGO 8 y sensores, en caso de presentarse alguna falla térmica o cortocircuito estos accionarían desconectando automáticamente el respectivo circuito.



Figura 26. Breaker de protección eléctrica.

3.1.25 Borneras de conexión

Las borneras son elementos que permiten conectar cables eléctricos, generalmente se asocian a circuitos de medición, fuerza y control. En esta propuesta se utilizan borneras de 10A y 20A instaladas en el tablero eléctrico para conectar los sensores, tarjeta Esp32, PLC LOGO 8, paneles solares, baterías y demás elementos eléctricos que componen el prototipo invernadero inteligente.



Figura 27. Borneras de conexión eléctrica.

3.1.26 Voltímetro amperímetro

Este elemento posee la capacidad de medir voltaje, corriente hasta 10A y un display para visualizar las magnitudes eléctricas antes mencionadas, el voltímetro amperímetro es instalado en el tablero eléctrico para medir y visualizar las medidas de voltaje y corriente continua a la salida del regulador de carga PWM.



Figura 28. Voltímetro amperímetro.

3.2 COMPONENTES LÓGICOS

3.2.1 Autodesk Fusión 360

Fusion 360 es una aplicación que sirve para diseñar y crear piezas en 3D de manera intuitiva, incorpora algunas de las funciones de diseño industriales tales como CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing), CAE (Computer Aided Engineering), esta herramienta es utilizada para realizar el diseño de la respectiva estructura del prototipo invernadero inteligente, el cual contendrá los cultivos de la hortaliza rábano, adicionalmente se podrá diseñar el tablero eléctrico y de comunicaciones.

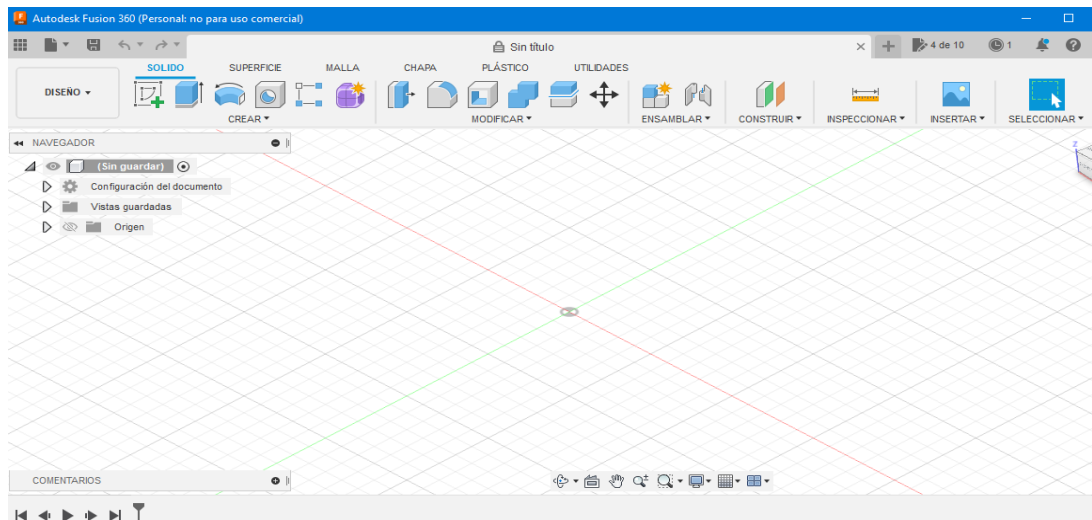


Figura 29. Autodesk Fusion 360.

3.2.2 Eplan Electric P8

Eplan Electric P8 es una herramienta de ingeniería el cual permite planificar y diseñar proyectos de ingeniería eléctrica, en este caso este software se emplea para realizar los diagramas y circuitos eléctricos y de control correspondientes a las conexiones de sensores, alimentación eléctrica, salidas del controlador lógico programable LOGO 8 y sistema fotovoltaico.

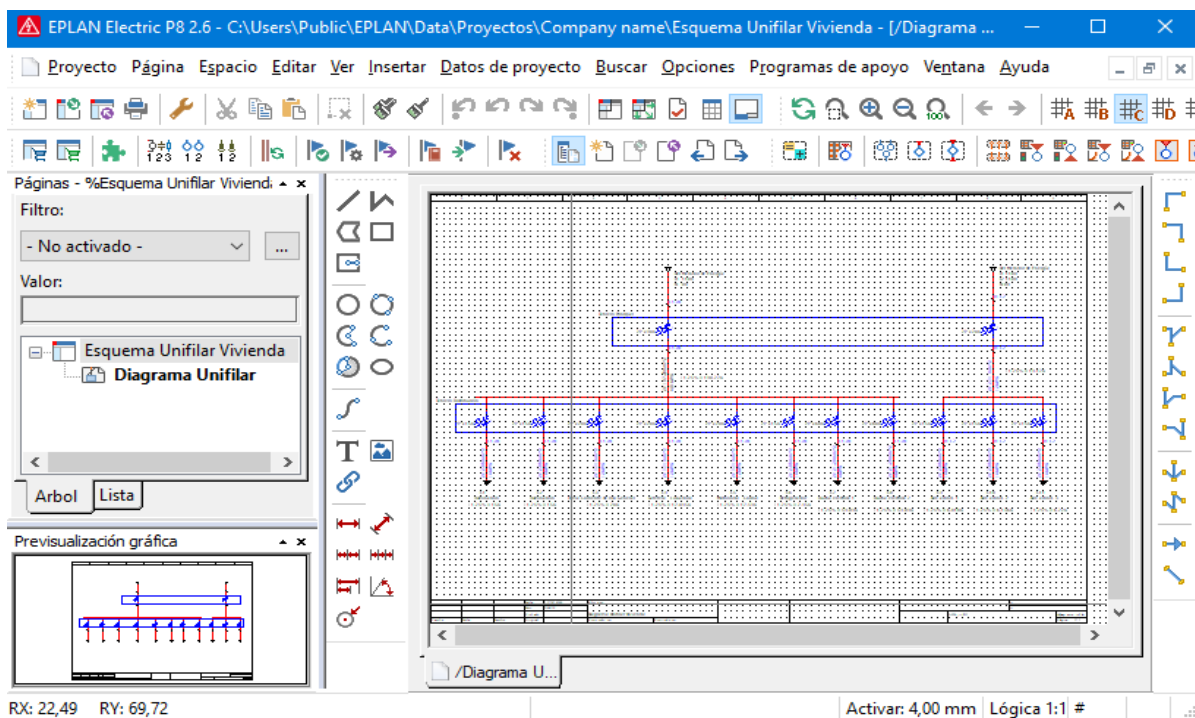


Figura 30. Eplan Electric P8.

3.2.3 LOGO Soft Comfort V8.3

LOGO Soft Comfort es el software que permite crear programas mediante los diferentes lenguajes de programación tales como, diagrama de funciones (FUP), esquema de contactos (KOP), diagrama UDF, para luego cargárselos hacia el PLC LOGO 8 y que este ejecute cada una de las tareas de automatización programadas.

En el prototipo invernadero inteligente esta herramienta se emplea con la finalidad de programar el accionamiento automático de cada una de las salidas digitales Qx del PLC LOGO 8 y del módulo de expansión DM8 12/24R de acuerdo con las condiciones dadas por los sensores instalados en el prototipo.

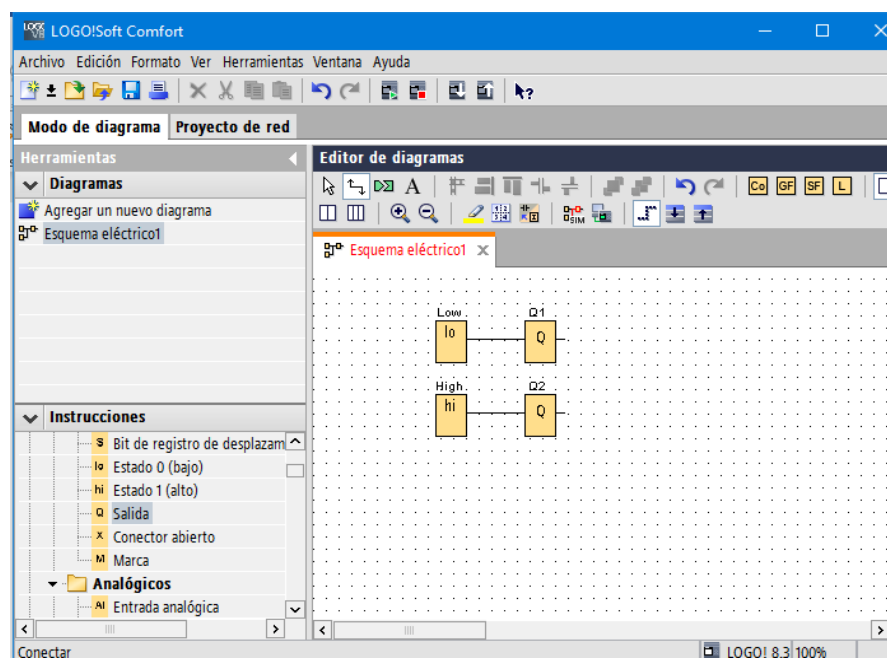


Figura 31. LOGO Soft Comfort v8.3.

3.2.4 LOGO Web Editor v1.0

LOGO Web Editor es una herramienta gratuita que permite crear páginas web de manera personalizada para controlar y monitorear las diferentes tareas de automatización programadas en el PLC LOGO 8 de manera remota mediante un Smartphone, PC o desde una tableta, todo esto mediante conexión a una red local inalámbrica e Internet.

La página web que se crea en este editor se utiliza para visualizar y controlar de manera remota el estado de los actuadores instalados en el prototipo invernadero, los cuales se encuentran conectados en las salidas digitales del módulo lógico LOGO 8 y del respectivo módulo de expansión.

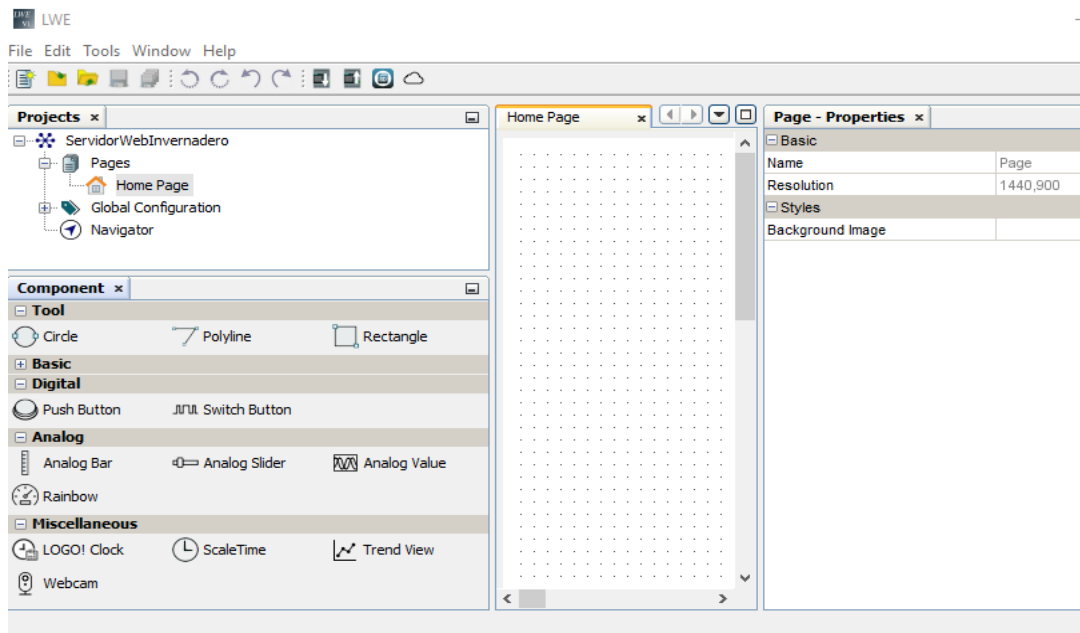


Figura 32. LOGO Web Editor.

3.2.5 Raspberry Pi Imager v1.7.2

Raspberry Pi Imager es el software oficial de Raspberry Pi para instalar el sistema operativo en una tarjeta microSD, en este caso se instalará el sistema operativo recomendado el cual es el Raspberry Pi OS (32-bit), adicionalmente esta herramienta permite configurar el usuario y contraseña para acceder de manera remota mediante el protocolo SSH (Secure-Shell) a la tarjeta Raspberry Pi en caso de no contar con un monitor.



Figura 33. Raspberry Pi Imager.

3.2.8 Node-RED

Node-RED es usado en esta propuesta para establecer comunicación entre el hardware ESP32 y una Raspberry Pi 4 mediante el protocolo MQTT, de igual forma para que cada uno de los datos enviados de manera inalámbrica hacia la Raspberry Pi sean almacenados en la base de datos InfluxDB, esto es posible realizar mediante esta herramienta ya que posee un editor de flujos en el cual se puede programar de manera visual cada uno de los nodos requeridos para comunicar el respectivo hardware.

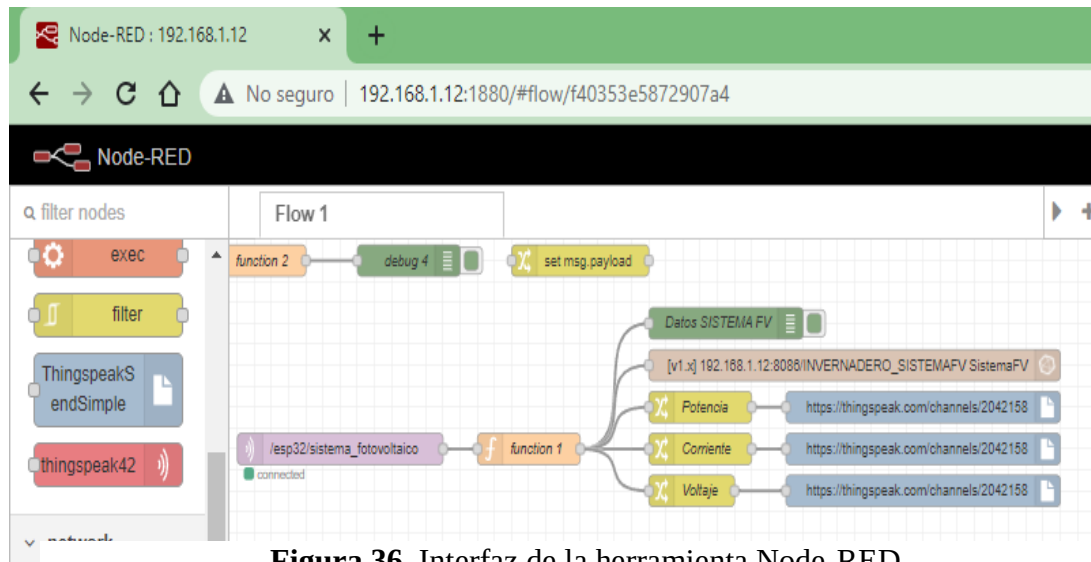


Figura 36. Interfaz de la herramienta Node-RED

3.2.9 InfluxDB

InfluxDB es una base de datos optimizada para almacenar un gran volumen de datos enfocado en el campo de la ciencia de datos (campo científico) y datos enviados por sensores, la característica principal de esta herramienta es que la data se guarda con marca de tiempo, es decir la hora, minutos y segundos en el cual el dato es almacenado, adicionalmente el lenguaje para realizar consultas de datos es similar a SQL. En esta propuesta esta base de datos es empleada para el almacenamiento de todos los datos provenientes de los sensores que monitorean cada una de las variables físicas dentro del invernadero inteligente.

The screenshot shows a terminal window with the following content:

```
File Edit Tabs Help
1676676961313535098 1331 5 3021 26.37 20.42 66.59
1676676972203565711 0 5 150.97
1676676972203565711 0 5 1335
1676676972203565711 0 5 3.2
> USE INVERNADERO_SISTEMAFV
Using database INVERNADERO_SISTEMAFV
> select "from \"SensoresInvernadero\" LIMIT 10
name: SensoresInvernadero
time CO2_ppm Nivel_Lm Porcentaje_Humedad_Mct1 Porcentaje_Humedad_Mct1_1 Porcentaje_Humedad_Mct2 Porcentaje_Humedad_Mct3 Porcentaje_Humedad_Rel
tiva Temperatura_C Iluminacion_Lx t_c
-----
1676675449738005166 0 0 0 0 0 0
1676675639551063366 1468 5 22.39 23.35 22.88 65.41
1676676124821097329 0 5 153.2 67.11 66.35 65.85
1676676124821097329 0 5 67.57
1676676135535097736 1322 5 3.2 20.44 20.37 66.02
1676676147099451513 183 5 23.03 26.59 22.83 66.02
1676676147099451513 183 5 153.2 30.45 47.28 66.04
1676676159369198321 337 5 41.78 66.25 63.79 65.85
1676676159369198321 337 5 124.52
1676676159369198321 337 5 21.42
1676676159369198321 337 5 153.2
1676676168531280221 0 5 66.52
```

Figura 37. Shell InfluxDB instalado en la tarjeta Raspberry Pi 4.

3.2.10 Grafana

Grafana es una herramienta de código abierto el cual permite visualizar y monitorear datos en tiempo real mediante dashboards a partir de consultas realizadas en una base de datos, estas pueden ser MySQL, PostgreSQL, InfluxDB, Prometheus, entre otras bases de datos, además esta herramienta posee un sistema de alerta el cual permite ejecutar acciones frente a las alertas presentadas.

Se utiliza este programa instalado en el servidor IoT Raspberry Pi 4, para visualizar y monitorear mediante dashboards el comportamiento de cada una de las variables enviadas de manera inalámbrica al servidor IoT tales como temperatura, humedad, iluminación, nivel de CO2, las cuales inciden en el crecimiento del cultivo de rábano sembrado en el invernadero.

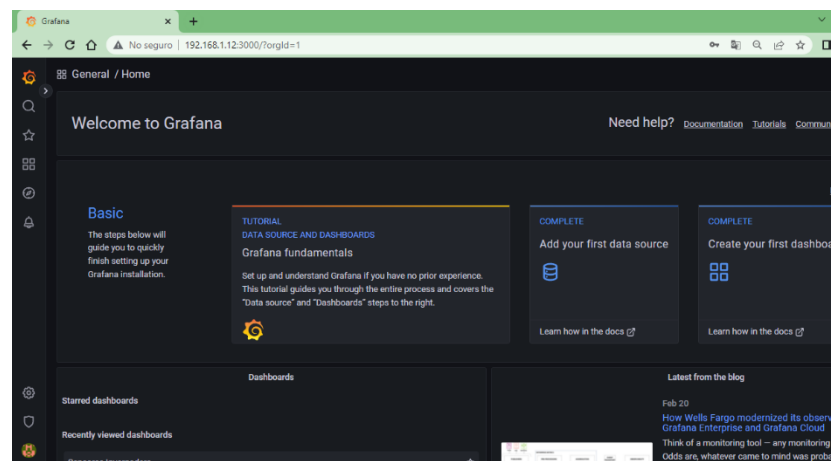


Figura 38. Ventana principal de la herramienta Grafana.

3.2.11 ThingSpeak

ThingSpeak es una API (Interfaz de programación de aplicaciones) y aplicación de código abierto orientado al internet de las cosas, permite recopilar y almacenar datos de objetos, sensores conectados a través del protocolo HTTP mediante conexión a red local o Internet, esta herramienta puede emplearse con plataformas tales como Arduino, Raspberry Pi, aplicaciones móviles o web y análisis de datos con MATLAB [29].

Esta plataforma es empleada para visualizar y analizar los datos en directo de la nube proveniente de los sensores instalados en el invernadero en conjunto con la información de los sensores de voltaje y corriente instalados en el sistema de energía fotovoltaica.



Figura 39. Vista principal sitio web ThingSpeak.

3.3 DISEÑO DE LA PROPUESTA

3.3.1 Diseño y construcción del prototipo invernadero

En este apartado se muestra el diseño elaborado en Fusion 360, tomando en cuenta los criterios considerados para la elaboración del prototipo invernadero, a continuación, se muestran dichos criterios para la estructura del invernadero la cual debe ser liviana y resistente:

Selección del material

El material que se consideró para la elaboración de la estructura fue de dos tipos, para el primer material se seleccionó la madera de tipo Chanul, ya que esta cuenta con una vida útil de 5 a 10 años además es resistente contra hongos e insectos, esta madera se instalará en la parte inferior de la estructura ya que así puede ser capaz de soportar la humedad cuando se ejecute el riego a la hortaliza. La parte lateral y superior del prototipo invernadero estará elaborada de material Laurel Prieto cuenta con una vida útil similar al material Chanul, la única diferencia es que este tipo de madera posee una baja resistencia contra hongos e insectos ya que esta parte de la estructura no estará sometida a directamente a la humedad a diferencia de la parte inferior de dicha estructura.

Tipo de invernadero

El invernadero a dos aguas fue el tipo seleccionado debido a su baja complejidad de elaboración e instalación, además debido a su geometría este facilita la instalación de las respectivas tuberías que proporcionan el riego al cultivo.

Material de la cubierta

En este caso para este parámetro se tomó en consideración el uso de material acrílico transparente de 2mm de grosor, debido a que este tipo material posee durabilidad, buena visibilidad y rendimiento térmico, el cual es ideal para el recubrimiento de la estructura del prototipo. En la Figura 40 se muestra el diseño del invernadero a dos aguas realizado en la herramienta Fusion 360, además se visualiza las respectivas dimensiones que posee el diseño.

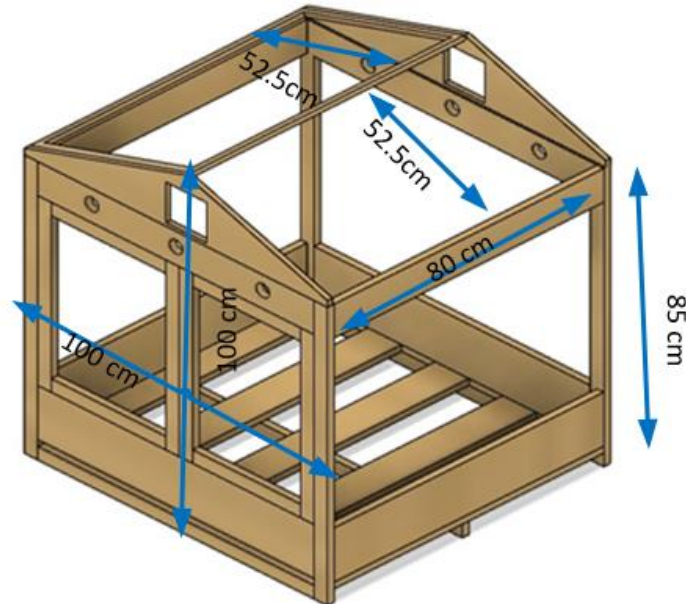


Figura 40. Diseño del prototipo invernadero realizado en Fusion 360.

La siguiente gráfica muestra cada una de las partes elaboradas del prototipo invernadero.

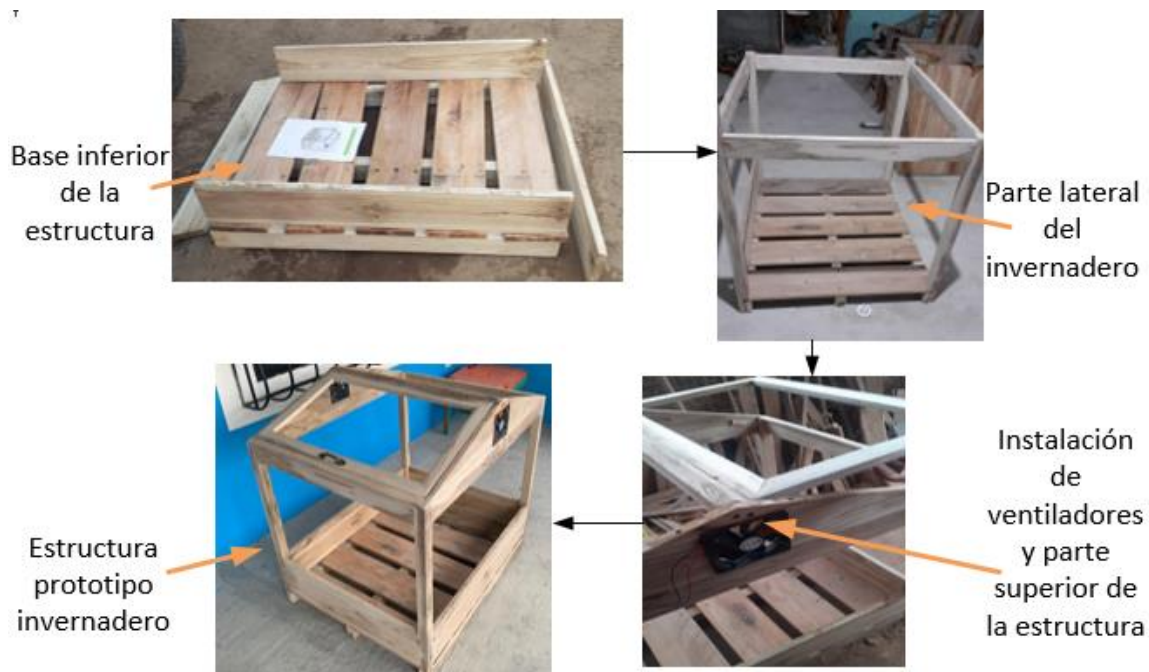


Figura 41. Implementación de la estructura del prototipo invernadero.

3.3.2 Dimensionamiento de los componentes del sistema fotovoltaico

En este apartado se dimensiona la capacidad de cada uno de los componentes que conforman el sistema fotovoltaico tales como:

- Paneles solares.
- Regulador de carga.
- Banco de baterías.

El primer criterio para dimensionar el número de paneles solares a utilizar es realizar el cuadro de carga y el consumo estimado de energía, esto se lleva a cabo revisando las características de voltaje y corriente en conjunto con el tiempo de funcionamiento que tendrá cada elemento electrónico del prototipo.

En las Tablas 26, 27, y 28, se muestra el consumo de energía de los actuadores, controlador lógico programable (LOGO v8) y el módulo inalámbrico ESP32, considerando el uso de dos reductores de voltaje LM2596S para suministrar el nivel de tensión de 5V y 3.3V requeridos para la alimentación de los respectivos sensores.

Tabla 26. Consumo de energía eléctrica diaria por parte de los actuadores del invernadero.

Consumo de energía actuadores eléctricos					
Elemento	Corriente [A]	Voltaje [V DC]	Potencia [W]	h/día	Consumo diario [Wh/día]
Bomba eléctrica 1	2	12	24	1	24
Bomba eléctrica 2	2	12	24	1	24
Electroválvula 1	0.3	12	3.6	1	3.6
Electroválvula 2	0.3	12	3.6	1	3.6
Electroválvula 3	0.3	12	3.6	1	3.6
Iluminación	1.083	12	13	12	156
Ventilador 1	0.45	12	5.4	5	27
Ventilador 2	0.45	12	5.4	5	27
Consumo energía actuadores eléctricos (CE1) [Wh/día]					268.8

Tabla 27. Consumo de energía de los diferentes elementos que uncionan a 3.3VDC y 5VDC.

Consumo de energía elementos electrónicos a 3.3VDC y 5.5VDC					
Elemento	Corriente [A]	Voltaje [V DC]	Potencia [W]	h/día	Consumo diario [Wh/día]
Sensor de humedad 1 HD-38	0.03	3.3	0.099	24	2.376
Sensor de humedad 2 HD-38	0.03	3.3	0.099	24	2.376
Sensor de humedad 3 HD-38	0.03	3.3	0.099	24	2.376
Sensor de humedad relativa SHT3x	0.0015	3.3	0.00495	24	0.1188
Sensor de iluminación BH170	0.00019	3.3	0.000627	24	0.015
Transductor ultrasónico de nivel AJ-SR04M	0.08	3.3	0.264	24	6.336
Sensor de voltaje FZ0430	0.0007	3.3	0.00231	24	0.05544
Regulador Step Down LM2596S 12VDC a 3.3VDC (CE2)	0.17239	12	2.07	24	49.68
Sensor Nivel de CO2	0.2	5	1	24	24
Sensor de temperatura Sonda LM35	0.01	5	0.05	24	1.2
Sensor de corriente ACS712	0.013	5	0.065	24	1.56
Voltímetro amperímetro 100V 10A	0.02	5	0.1	24	2.4
Tarjeta ESP32	0.23	5	1.15	24	27.6
Regulador Step Down LM2596S 12VDC a 5VDC (CE3)	0.473	12	5.676	24	136.224

Tabla 28. Consumo de energía eléctrica diaria del PLC LOGO 8 y el respectivo módulo de expansión.

Consumo de energía PLC LOGO 8 y módulo de expansión					
Elemento	Corriente [A]	Voltaje [V DC]	Potencia [W]	h/día	Consumo diario [Wh/día]
Módulo lógico PLC LOGO 8	0.14	12	1.68	24	40.32
Módulo DM8 12/24R	0.09	12	1.08	24	25.92
Consumo de energía PLC LOGO 8 y módulo de expansión (CE4) [Wh/día]					66.24

Una vez detallado cada uno de los análisis de consumo de energía de cada uno de los elementos del prototipo invernadero inteligente, se efectúa el cálculo del consumo de energía total teórico es decir sin incluir pérdidas en el sistema fotovoltaico, adicionalmente se considera un factor del 15% para futuras ampliaciones de sensores o actuadores que se deseen agregar al prototipo.

$$CE_{teórico} = CE1 + CE2 + CE3 + CE4$$

$$CE_{teórico} = 268.8 \text{ Wh/día} + 49.68 \text{ Wh/día} + 136.224 \text{ Wh/día} + 66.24 \text{ Wh/día}$$

$$CE_{teórico} = 1.15 \times (520.944 \text{ Wh/día})$$

$$CE_{teórico} = 599.0856 \text{ Wh/día}$$

Como resultado se obtiene una demanda energética teórica de 576.72 Wh/día

Luego de obtener la demanda energética teórica, se realiza el cálculo de la demanda real que tendrá el sistema, para esto se emplea un factor de rendimiento global de la instalación, este considera diferentes factores tales como, pérdidas en los conductores k_v , factor de autodescarga diaria de las baterías k_a , pérdidas en las baterías y regulador k_b , profundidad de descarga de las baterías P_d , número de días de autonomía N , para este caso el factor de pérdidas del inversor k_c será igual a 0, ya que en esta instalación no se hace uso de elementos que consuman energía de corriente alterna. La fórmula para obtener el cálculo del factor de rendimiento global R se muestra en la siguiente ecuación:

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) \left(1 - \frac{k_a \times N}{P_d} \right)$$

A continuación, se muestran los valores considerados para calcular el factor de rendimiento global.

- a) N : 2 días de autonomía
- b) k_c : 0
- c) k_b : 0.1, k_v : 0.1. Los factores de perdidas por caída de tensión en los conductores, efecto Joule, regulador y baterías, se considera un valor de 10%.
- d) k_a : este factor suele encontrarse entre un valor de 0.5% y 1% de la capacidad nominal por día de la respectiva batería a una temperatura de 25°C, en este caso el fabricante de las baterías que se utilizan en esta propuesta no detalla dicho factor, por lo que se considera un valor promedio de 0.75%.

Para el cálculo de la profundidad de descarga de las baterías se toma en consideración la corriente que suministra las baterías por un tiempo de 18 horas.

Consumo de corriente sensores y tarjeta ESP32: $0.6454A \times 18h = 11.617Ah$

Consumo PLC LOGO 8: $0.23A \times 18h = 4.14Ah$

Consumo Iluminación: $1.083A \times 12h = 12.996Ah$

Consumo Ventiladores: $0.9A \times 5h = 4.5Ah$

Consumo bombas y electroválvulas: $4.9A \times 1h = 4.9Ah$

$$Pd = \frac{(11.617Ah + 4.14Ah + 12.996Ah + 4.5Ah + 4.9Ah)}{55Ah}$$

$$Pd = 0.6936$$

El factor de rendimiento global seria:

$$R = (1 - 0.1 - 0 - 0.1) \left(1 - \frac{0.0075 \times 2}{0.6936} \right)$$

$$R = 0.7827$$

Con lo cual el consumo real diario del prototipo invernadero inteligente esta dado por:

$$E = \frac{CE_{teórico}}{R}$$

$$E = \frac{576.72 Wh/ía}{0.7827}$$

$$E = 736.83 Wh/día$$

Luego de calcular el consumo real de los elementos que componen el prototipo invernadero inteligente, se procede a consultar la irradiación solar de cada mes, en este caso en la provincia de Santa Elena, tomando como referencia el mapa solar del Ecuador correspondiente al año 2019 de la Escuela Politécnica Nacional – SCINERGY [30], con la finalidad de garantizar la generación de energía eléctrica que abastezca el consumo de los elementos eléctricos y electrónicos instalados en el invernadero.

La siguiente Tabla muestra la irradiación solar global en la provincia de Santa Elena, en donde en los meses de junio a octubre se presenta una radiación solar relativamente baja en comparación con los meses restantes, para los respectivos cálculos se escoge el mes en el cual se recibe menor irradiación, a esto se denomina mes crítico.

Tabla 29. Irradiación global Provincia de Santa Elena kWh/m^2 *día.

Mes	Irradiación Solar Global kWh/m^2 *día	HSP (Hora Solar Pico)
Enero	5.4	5.4
Febrero	5.4	5.4
Marzo	6	6
Abril	5.4	5.4
Mayo	5.4	5.4
Junio	4.8	4.8
Julio	4.3	4.3
Agosto	4.2	4.2
Septiembre	4.5	4.5
Octubre	4.6	4.6
Noviembre	5.4	5.4
Diciembre	5.4	5.4

Tomando en consideración el valor de 4.2HSP correspondiente al mes de agosto, se procede a calcular el número de paneles solares que se deben usar para cubrir la demanda del sistema, resaltando que en esta propuesta se considera el uso de paneles solares de 12V a una potencia pico de 120Wp (Ver Anexo 11) y un valor de eficiencia de 0.9 (perdidas por suciedad o por reflexión).

$$N_{FV} = \frac{E}{Wp \times HSP \times \eta}$$

$$N_{FV} = \frac{736.83Wh/día}{120W \times 4.2 \times 0.9}$$

$$N_{FV} = 1.62 \cong 2$$

Con lo cual se seleccionan dos paneles solares de 120 W de potencia pico para cubrir la demanda energética de los elementos eléctricos y electrónicos que componen la propuesta.

El siguiente cálculo que se realiza corresponde a la capacidad del banco de baterías para cubrir la demanda del sistema durante dos días de autonomía, en caso de que las condiciones climáticas desfavorables impidan la generación de energía solar, esto se efectúa mediante la siguiente ecuación:

$$C_{sistema} = \frac{E \times N}{V_{cc} \times P_d}$$

$$C_{sistema} = \frac{\frac{736.83Wh}{día} \times 2 \text{ días}}{12V \times 0.6936}$$

$$C_{sistema} = 177.05Ah$$

Considerando el uso de baterías con una capacidad de 55Ah se obtiene el número de baterías requeridas:

$$N_{baterías} = \frac{C_{sistema}}{C_{batería}}$$

$$N_{baterías} = \frac{177.05Ah}{55Ah} = 3.22$$

Con lo que resulta necesario la instalación de 4 baterías de 55Ah ya que tres baterías la capacidad del sistema sería de 165Ah, lo cual no será suficiente para cubrir la demanda de energía de los dos días de autonomía del prototipo. El número de paneles solares que se deben conectar en serie se calcula dividiendo la tensión del banco de baterías entre la tensión en el punto de máxima potencia (V_{mp}).

$$N_{\text{Paneles Serie}} = \frac{V_{\text{batería}}}{V_{mp}}$$

$$N_{\text{Paneles serie}} = \frac{12V}{19.5V}$$

$$N_{\text{Paneles Serie}} = 0.615$$

Redondeando se obtiene un valor de 1 con lo cual se debe conectar un panel solar en serie, mientras que el número de paneles en paralelo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$N_{\text{paralelo}} = \frac{N_{PV}}{N_{\text{Paneles serie}}}$$

$$N_{\text{paralelo}} = \frac{2}{1} = 2$$

Se obtiene como resultado, la conexión de dos módulos fotovoltaico en paralelo.

Para el dimensionamiento de la capacidad del regulador de carga se toma en consideración la máxima corriente del panel solar (I_{mp}), tomando en consideración los dos módulos fotovoltaicos conectados en paralelo y un factor de seguridad del 15% se obtiene:

$$C_{\text{Regulador PWM}} = 2 \times I_{mp}$$

$$C_{\text{Regulador PWM}} = 2 \times 6.15A = 12.3A$$

$$C_{\text{Regulador PWM}} = 12.3A \times 1.15$$

$$C_{\text{Regulador PWM}} = 14.15A$$

Con lo cual se selecciona un regulador de carga con una corriente máxima de carga igual a 20A. Por otro lado, la Figura 42 muestra el esquema de conexión del sistema fotovoltaico, en conjunto con la Tabla 30, en donde se muestra a manera de resumen los componentes del sistema de fotovoltaico.

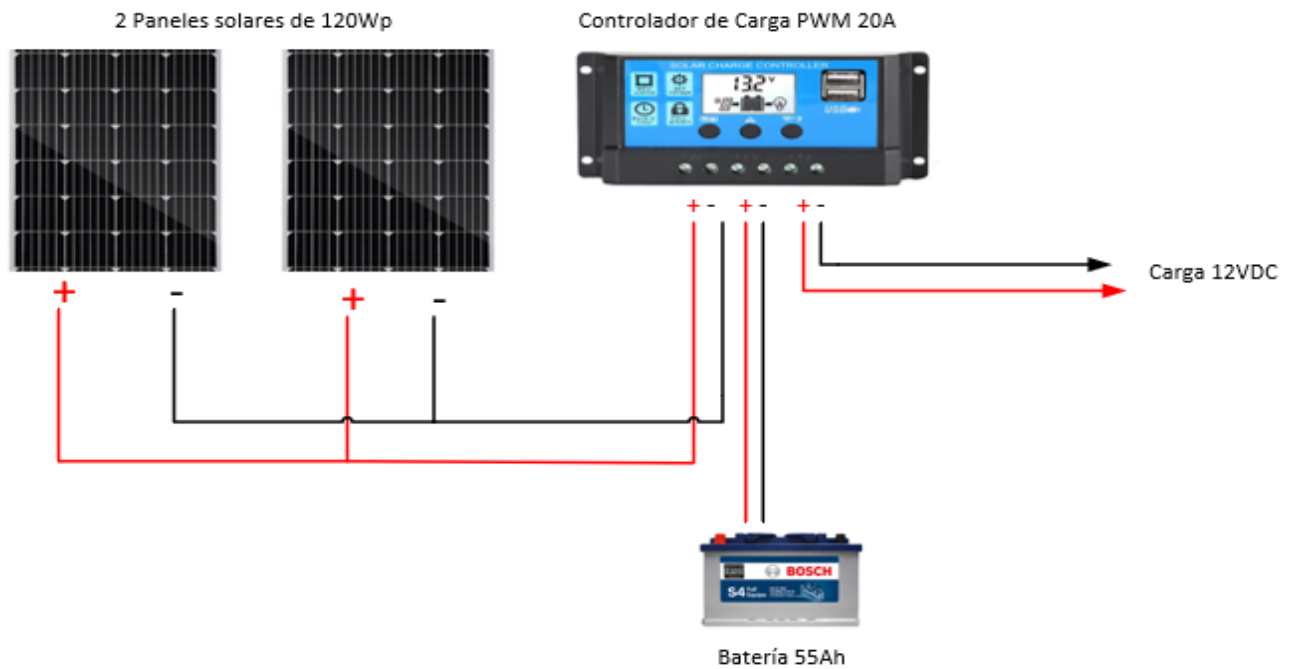


Figura 42. Esquema de conexión sistema fotovoltaico.

Tabla 30. Requerimientos del sistema fotovoltaico para el prototipo invernadero inteligente.

Demanda de energía	736.83 Wh/día
Potencia pico panel solar	120 Wp
Tensión	12 VDC
Corriente panel solar	6.15 A
Número de paneles solares	2
Número de paneles solares en serie	1
Número de paneles solares en paralelo	1
Capacidad del regulador de carga PWM	20A
Capacidad de la batería a utilizar	55Ah
Número de baterías	4

3.3.3 Configuración del controlador de carga PWM 20A

El controlador de carga es el elemento que regula y controla el voltaje y corriente que va desde los paneles solares hacia las baterías con la finalidad de evitar sobrecargas que afecten o disminuyan la vida útil de las baterías. En esta propuesta se utiliza el controlador de carga solar del fabricante PROSTAR el cual acepta dos niveles de tensión de 12VDC/24VDC con una máxima corriente de 20A, este controlador solar sigue un orden de conexión mostrado a continuación:

1. Conectar la batería al regulador de carga solar siguiendo la respectiva polaridad positivo (+) y negativo (-).
2. Conectar el módulo fotovoltaico al regulador solar con la polaridad + y – indicada en el regulador de carga (indicador panel solar).
3. Conectar la respectiva carga al regulador en los pines + y – del indicador que muestra un foco.

El orden de desconexión es de manera inversa es decir en primer lugar se desconecta la carga, luego las baterías y finalmente el módulo fotovoltaico, si no se sigue el orden de las respectivas secuencias de conexión o desconexión el controlador solar se puede averiar.

Al conectar la batería al controlador de carga solar este encenderá y se visualizarán varios iconos y números que componen la pantalla principal de este controlador, la siguiente Figura muestra los respectivos iconos al conectar el módulo fotovoltaico, batería, y la respectiva carga.



Figura 43. Pantalla Principal del regulador de carga solar PROSTAR PC2024L.

Este controlador posee funcionalidades en las que se puede seleccionar el tipo de batería que posee la instalación, el ajuste de voltaje de la carga, desconexión por bajo voltaje entre otras

funciones que desempeña este controlador en el sistema de energía fotovoltaica, dichas funcionalidades pueden ser configuradas ajustar a través de las teclas de funciones que posee este dispositivo. En la Tabla 31, se muestran los parámetros configurados en el controlador de carga solar, los cuales se detallan a continuación:

- a) **Tipo de batería:** Este parámetro permite seleccionar el tipo de batería conectado en el regulador de carga, se tiene disponible las siguientes opciones b01, b02, b03, b04, b05 y b06 las cuales pueden ser de tipo plomo-ácido, Li-on, LiFePO4, AGM, GEL, Flooded respectivamente, en este caso se ajusta al valor b01 ya que la batería instalada es de plomo-ácido.
- b) **Control de temporizador salida de carga:** Mediante este ajuste se puede configurar si la salida de carga se requiere que se mantenga encendida todo el tiempo (24h), que sea encendida después de la puesta de sol y apagada después de 1-23h, o únicamente durante el atardecer hasta el amanecer (0h). Teniendo en cuenta la descripción de cada valor de este parámetro se selecciona el tiempo de 24h, ya que los sensores del invernadero y el PLC LOGO 8 tienen que estar energizados todo el tiempo.
- c) **Ajuste del voltaje de carga:** Este ajuste permite configurar el máximo voltaje de carga de la batería para de esta manera no sobrecargarla, en este caso este valor es ajustado a 12.7V ya que la batería instalada posee 6 celdas que producen aproximadamente 2.12V con lo cual su máximo voltaje es de 12.72V.
- d) **Ajuste de reconexión de bajo voltaje:** Cuando se desconecta la salida de carga por bajo voltaje, el controlador esperara hasta que el voltaje de la batería aumente a un valor, este parámetro permite reconectar la salida de carga cuando llegue al valor ajustado, en este caso se ajusta a un valor de 12V, ya que es la tensión nominal de los actuadores del prototipo invernadero.
- e) **Ajuste de desconexión por bajo voltaje:** Cuando el voltaje de la batería se encuentra por debajo de un valor es posible desconectar automáticamente la salida de carga para de esta manera no descargar totalmente la batería, este parámetro es ajustado en un valor de 11.5V ya que el fabricante de la batería utilizada indica que por debajo de 11.5V la batería se encuentra profundamente descargada.

Tabla 31. Parámetros de configuración del controlador de carga solar.

Parámetro	Valor
1. Tipo de batería	B01
2. Control de temporizador de salida de carga	18h
3. Ajuste del voltaje de carga	12.7V
4. Ajuste de reconexión de bajo voltaje	12.0V
5. Ajuste de desconexión por bajo voltaje	11.5V

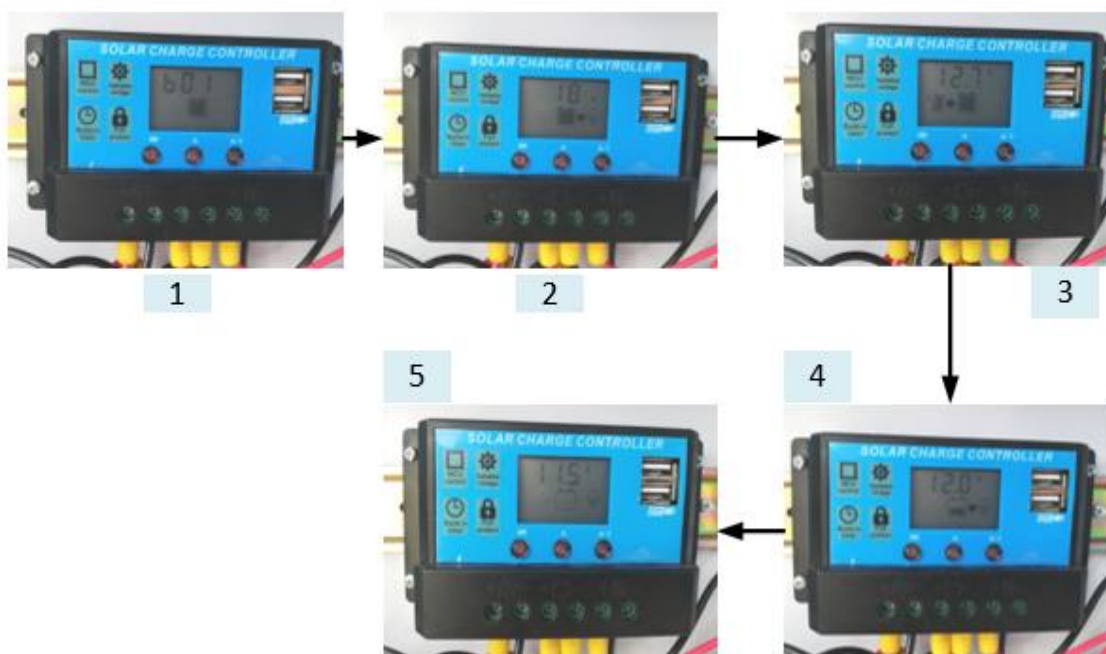


Figura 44. Secuencia de configuración grafica de las funciones del controlador de carga solar.

3.3.4 Diseño e implementación del tablero eléctrico y de comunicación IoT

En este apartado se diseña cada uno de los tableros que contendrá la propuesta, estos diseños se llevan a cabo en la herramienta Fusion 360 para de esta forma determinar las dimensiones correctas del tablero que permita ubicar cada uno de los componentes eléctricos, borneras de conexión, controladores lógicos y tarjetas programables de manera accesible. Tomando en consideración la normativa CPE INEN 5 la cual hace referencia sobre la protección contra incendios en su sección 7 instalaciones eléctricas, indica que cada circuito de salida del tablero debe de ser controlada de manera independiente por un interruptor automático, se indica de igual forma que cada circuito de salida debe estar claramente identificado a través de etiquetas

y que las borneras o tornillos que permitan el paso de la electricidad dentro del tablero deberán ser de bronce o cobre. Para cumplimiento de esta normativa en la presente propuesta, se coloca a cada circuito de salida un breaker automático de protección termomagnética, dichos circuitos son mencionados a continuación, resaltando que la capacidad de amperaje de la respectiva protección eléctrica de cada circuito es detallada en el apartado 3.3.5 de esta propuesta:

- Paneles Solares.
- Batería.
- Sistema de 12VDC.
- Sensores (3.3VDC y 5VDC).
- PLC y salidas digitales.
- Equipos de corriente AC.

En la Figura 45 se visualiza el diseño del tablero eléctrico el cual contiene en la parte superior el regulador de carga solar, en la parte medular la ubicación de cada uno de los breakers de protección y en la parte final del tablero se ubican cada una de las borneras de conexión de 12V, 5V, 3.3V y 0V, cada uno de los elementos eléctricos ubicados en este tablero funcionan con corriente directa o DC. Una vez que se bosqueja el diseño y ubicación optima de los elementos en el respectivo tablero se procede a seleccionar el tablero acorde a los requerimientos, en el cual las dimensiones seleccionadas para este tablero eléctrico son de 400x350x120mm de ancho, alto y profundidad respectivamente.

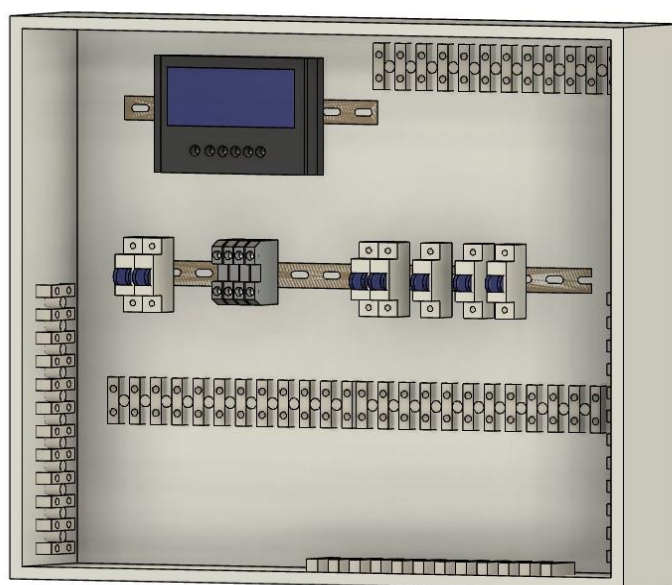


Figura 45. Diseño del tablero eléctrico.

Para el sistema IoT se diseña un respectivo tablero, en el cual se determina la ubicación adecuada para el PLC LOGO 8, tarjeta Raspberry Pi 4, tarjeta ESP32 y Router de comunicaciones Nyx300, adicionalmente en este tablero se ubica un tomacorriente junto con un breaker de protección para de esta manera suministrar corriente alterna al Router de comunicación y a la fuente de alimentación que suministra energía a la tarjeta Raspberry Pi 4, en la Figura se muestra el respectivo diseño de este tablero, en el cual al implementar la propuesta se debe contar con un tablero de 300x250x120mm para ubicar adecuadamente los componentes que permiten, la adquisición de datos y el desarrollo del sistema IoT en esta propuesta.

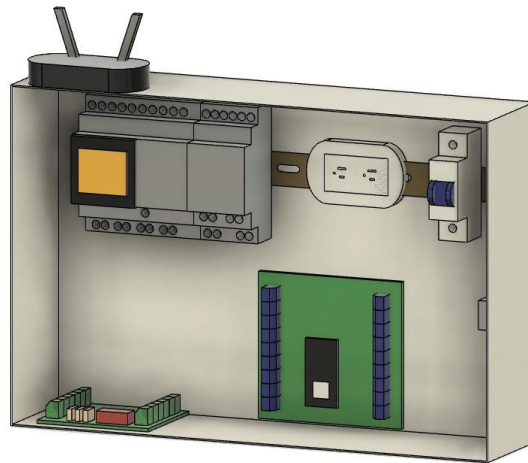


Figura 46. Diseño del tablero de comunicaciones.

Una vez realizados los respectivos diseños se procede a seleccionar dos tableros de dimensiones 400x350x120 mm, y 300x250x120mm con protección IP65 con la finalidad de salvaguardar los componentes contra el polvo y humedad, esto para el tablero eléctrico y de comunicaciones respectivamente, en la Figura 47 se muestra la implementación de los tableros en la parte lateral de la estructura del prototipo invernadero.

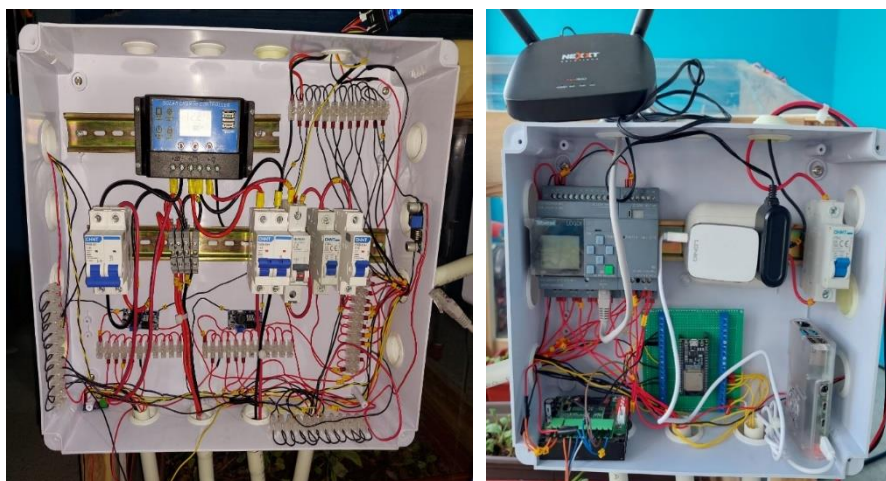


Figura 47. Implementación del tablero eléctrico y de comunicaciones en la estructura del prototipo invernadero.

3.3.5 Diseño de planos eléctricos del prototipo invernadero inteligente

Los planos eléctricos de conexión del sistema fotovoltaico, salidas digitales de los actuadores eléctricos y sensores correspondientes al prototipo invernadero inteligente son realizados en la herramienta EPLAN Electrical P8, el desarrollo de estos planos de conexión se pueden visualizar en los Anexos 1 hasta el 6, en donde se muestran las respectivas conexiones eléctricas haciendo uso de breakers de protección, borneras de conexión y conductores eléctricos siguiendo la simbología eléctrica de la normativa IEC, adicionalmente para un mejor desarrollo de los respectivos esquemas eléctricos se detalla el calibre y etiqueta colocada a cada conductor.

El dimensionamiento de los breakers eléctricos de protección y del conductor eléctrico se llevó a cabo tomando en consideración la corriente nominal que fluye por el respectivo circuito, dicha corriente se multiplico por un factor del 125% siguiendo la normativa NEC (National Electric Code), esta norma recomienda usar este factor de seguridad contra sobrecargas en los circuitos eléctricos.

La Tabla 32 muestra cada uno de los amperajes seleccionados para los respectivos breakers de protección, en donde se resalta que la capacidad seleccionada se escogió en base al valor comercial más cercano a la corriente de protección calculada.

Tabla 32. Dimensionamiento breakers de protección.

Circuito Principales	Corriente nominal [A]	Corriente protección 125% [A]	Breaker seleccionado	Tipo de protección
Paneles solares (Q1)	12.3	15.375	2Px20A	Termomagnética
Baterías (Q2)	7.4588	9.325	2Px16A	Termomagnética
Carga 12V (Q3)	7.4588	9.325	1Px16A	Termomagnética
Salidas digitales 12V (Q4)	6.883	8.6037	1Px10A	Termomagnética
Sensores (Q5)	0.6455	0.8068	1Px2A	Termomagnética

El respectivo dimensionamiento del conductor eléctrico se efectuó tomando en consideración la corriente máxima que circula por cada circuito, en este caso las salidas digitales correspondientes a los actuadores eléctricos del prototipo invernadero se utilizó un conductor calibre 22AWG ya que el consumo de estos elementos se sitúa en 2 A y 0.64 A para los actuadores y sensores respectivamente, los paneles solares son conectados con un conductor

calibre 12AWG ya que se realizó un arreglo de dos paneles solares de corriente nominal 6.15A conectados en paralelo con lo que la máxima corriente que circulara por el circuito es de 15.3A tomando en consideración el factor de sobrecarga. Para el caso de las baterías y la salida de 12V del regulador de carga se utiliza un conductor calibre 14AWG ya que los amperios hora que se extrae de las respectivas baterías es de 7.5 A para ambos casos.

Tabla 33. Dimensionamiento calibre de conductor eléctrico.

Circuito	Calibre conductor [AWG]	Corriente admisible del conductor [A]
Paneles solares	12	20
Baterías	14	15
Carga 12V	14	15
Salidas digitales 12V	22	5
Sensores	22	5

3.3.6 Diseño de la estructura del seguidor y paneles solares

Los paneles solares de 120Wp seleccionados anteriormente requieren una estructura o soporte en el cual puedan posicionarse para de esta forma captar la mayor cantidad de energía cuando los rayos solares incidan sobre la superficie de los paneles solares, se resalta que el ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico no debe de ser inferior a 15° para de esta forma permitir que la suciedad acumulada en la superficie de los paneles sea retirada por el agua cuando se presenten lluvias.

Para determinar la inclinación óptima que permita aprovechar la máxima generación de energía anual, se utiliza la siguiente ecuación [31], en donde la variable ϕ corresponde a la latitud del lugar de la instalación dada en grados sexagesimales.

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 |\phi|$$

A continuación, se detalla el cálculo para la posición optima del módulo fotovoltaico ubicado en la provincia de Santa Elena, Ecuador.

La latitud de la provincia de Santa Elena será denotada por: $\phi = 2^{\circ} 13' 28.812''$. Expresando este valor de latitud en grados decimales, tenemos:

$$\phi = 2 + \frac{13}{60} + \frac{28.812}{3600} = 2.22^{\circ}$$

Calculado el ángulo óptimo de inclinación que permita aumentar la captación de energía seria:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 |2.22^{\circ}| = 5.23^{\circ}$$

Este ángulo de inclinación resultante es inferior al ángulo mínimo requerido que es de 15° , por lo cual para aprovechar al máximo la generación de energía fotovoltaica por parte de los paneles solares, se implementa una estructura de seguimiento solar de un grado de libertad, para de esta manera captar los rayos solares desde las 6h00 hasta las 18h00 posicionando de esta manera los paneles solares de Este a Oeste, tiempo en el cual se describe la salida y puesta del sol respectivamente.

El diseño de la estructura a implementar previamente se realiza en la herramienta Fusion 360 la cual contiene dos partes, la primera consiste en el diseño de la base y estructura metálica sobre la cual se ubican los paneles solares, mientras que el segundo diseño consiste en el sistema mecánico el cual consiste en una cadena de ciclos de rodillo adaptado a un motor eléctrico paso a paso de torque $20\text{kg}\cdot\text{cm}$, este torque del motor es adecuado para mover el eje de la base de los paneles ya que en conjunto los módulos solares a utilizar tienen un peso de 12.1 kg, este sistema mecánico será adaptado al eje rotativo de la estructura, permitiendo de esta forma ubicar los paneles solares de acuerdo a la posición astronómica del sol durante 12h del día (ver Figura 48).

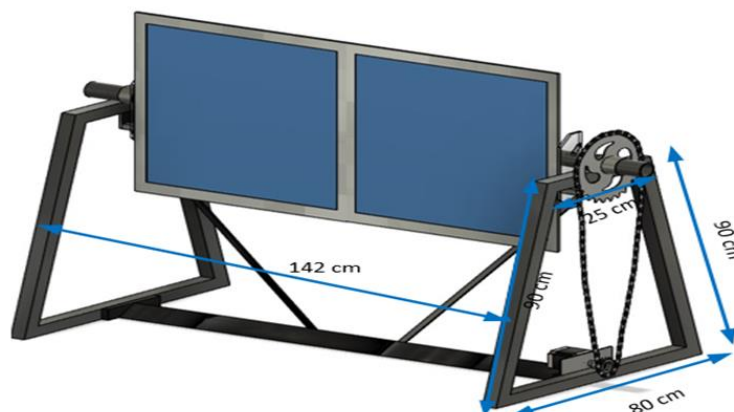


Figura 48. Diseño de la estructura en Fusion 360 del seguidor y paneles solares.

Al obtener el diseño, se procede a realizar la implementación de la estructura, esta fue elaborada de ángulos y platinas de acero, y tubo galvanizado ya que este tipo de material es rígido lo cual protege a la estructura contra vientos desfavorables que puedan desestabilizar la respectiva estructura.



Figura 49. Diseño mecánico que permite el movimiento de Este a Oeste de los paneles solares.

3.3.7 Topología de comunicaciones

Para establecer comunicación entre los diferentes dispositivos vía ethernet o inalámbricamente estos deben tener una dirección IP única dentro del segmento de un segmento de red, en este caso se utiliza el segmento de red 192.168.1.0, en la Tabla 34 se muestran las direcciones IP que se utilizan en esta propuesta dentro del segmento de red mencionado, con el respectivo puerto TCP el cual permite establecer comunicación con el respectivo servicio IoT.

Tabla 34. Direcciones IP de los dispositivos y servicios IoT.

Dispositivo	Dirección IP/Subnet	
Router	192.168.1.20/24	
Tarjeta ESP32	192.168.1.7/24	
Tarjeta Raspberry Pi 4	192.168.1.12/24	
PLC LOGO 8!	192.168.1.21/24	
Computador	192.168.1.3/24	
Servicio IoT	Dirección IP	Puerto TCP
Mosquitto	192.168.1.12	1883
InfluxDB	192.168.1.12	8086

Grafana	192.168.1.12	3000
Node-RED	192.168.1.12	1880
ThingSpeak	https://thingspeak.com	

La topología de comunicaciones en estrella es la que se emplea en esta propuesta, en esta topología se utiliza conectividad inalámbrica para la tarjeta ESP32 y la Raspberry Pi 4, mientras que el PLC LOGO 8 se conecta a través del puerto ethernet hacia el respectivo Router el cual brinda acceso a internet a cada uno de los dispositivos que se encuentran conectados. En esta red de comunicaciones se utiliza el protocolo MQTT entre la tarjeta ESP32 y la Raspberry Pi 4 para de esta manera publicar mediante un tópico los datos de los respectivos sensores en el broker Mosquitto instalado en la Raspberry Pi 4, una vez publicados dichos datos se procede a suscribirse a los tópicos que contienen los datos para posteriormente ser enviados a la base de datos InfluxDB y de esta manera almacenar cada uno de los valores medidos por los respectivos sensores en cada intervalo de tiempo de adquisición. InfluxDB es utilizado posteriormente como fuente de datos para crear paneles de visualización o dashboards mediante Grafana, en la cual se puede monitorear en tiempo real a través de un dispositivo móvil, computador o Tablet conectado inalámbricamente a la red del router, cada uno de los valores medidos tanto en el invernadero como la energía extraída del sistema fotovoltaico.

La herramienta Node-RED es el medio utilizado para enlazar los servicios IoT tales como Mosquitto, InfluxDB y ThingSpeak para de esta manera gestionar el monitoreo y la activación de cada uno de los actuadores eléctricos conectados en el PLC LOGO 8, el cual se comunica a través del protocolo S7 con la herramienta Node-RED.

Mediante la plataforma ThingSpeak es posible que cada una de las mediciones adquiridas por los respectivos sensores se puedan almacenar mediante el uso del protocolo HTTP a través de Internet, en la Figura 50 se muestra la topología de comunicaciones utilizada.

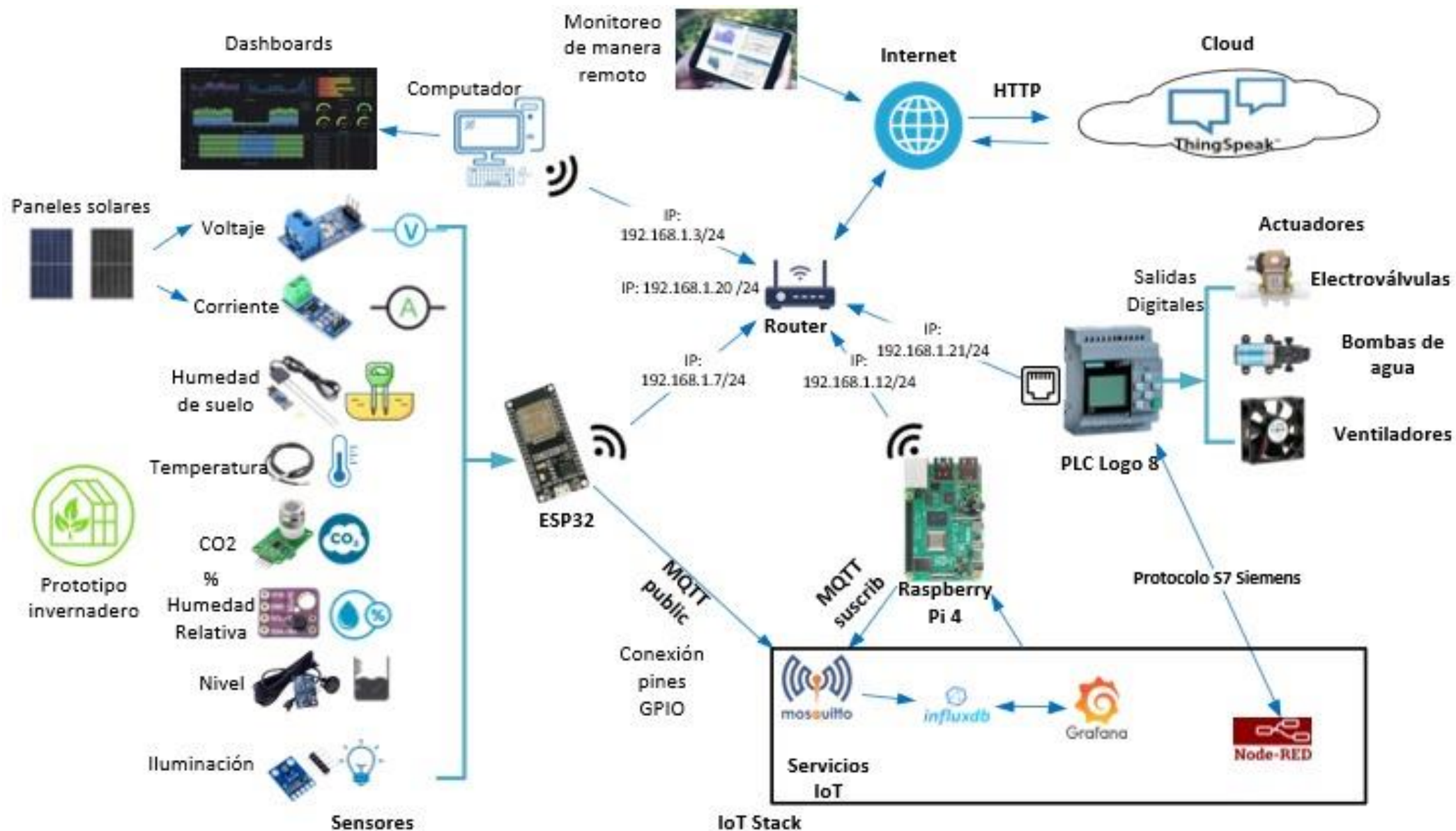


Figura 50. Topología de comunicaciones del prototipo invernadero inteligente con sistema fotovoltaico.

3.3.8 Instalación del firmware MicroPython tarjeta ESP32

En esta sección se describe la instalación y configuración del firmware micropython para el funcionamiento de la tarjeta ESP32 la cual realiza la adquisición de cada uno de los datos proveniente de los sensores ubicados en el prototipo invernadero inteligente.

La instalación de este firmware se llevó a cabo previamente instalando el lenguaje de programación Python y el entorno de desarrollo Thonny para realizar las respectivas codificaciones de este lenguaje en un respectivo computador de sistema operativo Windows 10 para este caso, la siguiente Figura muestra la correcta instalación de la herramienta Thonny.

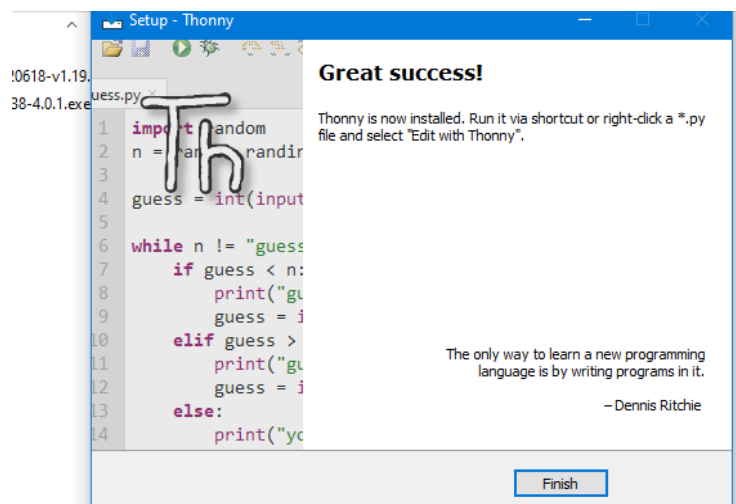


Figura 51. Instalación del IDE Thonny en un computador.

Por defecto el entorno de desarrollo Thonny se encuentra instalado para interpretar la sintaxis de programación del lenguaje Python, esto es posible editar ya que el lenguaje requerido para la tarjeta ESP32 es micropython, dicho lenguaje fue seleccionado ya que está orientado a objetos, al desarrollo de aplicaciones web y sistemas del internet de las cosas, el lenguaje antes mencionado no es el único que soporta esta tarjeta ESP32, es posible implementar código en lenguaje C++ en el respectivo chip de esta tarjeta utilizando el IDE Arduino.

Para configurar en el entorno Thonny con el intérprete de la sintaxis del lenguaje micropython se sigue la siguiente secuencia de pasos:

- Dirigirse a la opción “Tools” ubicada barra de herramientas del IDE Thonny
- Luego se seleccionar la opción “Options”
- Se desplegará una ventana con las diferentes opciones de este entorno, para este caso se selecciona la opción “Interpreter”
- Como último paso dentro del menú de la opción “Interpreter”, se selecciona el

intérprete requerido para la tarjeta ESP32 la cual es micropython tal como se muestra en la Figura 52.

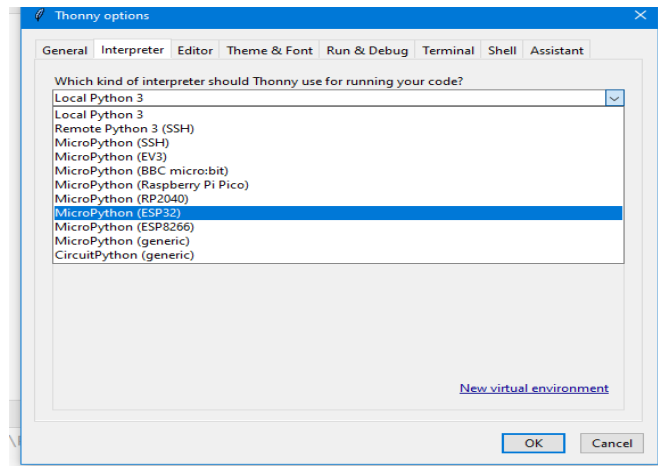


Figura 52. Selección del interprete micropython para la tarjeta ESP32.

El siguiente paso luego de seleccionar el respectivo interprete de programación para el lenguaje micropython, es cargar el firmware de dicho lenguaje para que la CPU Tensilica LX6 que posee la ESP32 pueda interpretar este lenguaje, para esto inicialmente se procedió a conectar a conectar la tarjeta ESP32 mediante un cable USB en el computador, esto asigna un puerto COM a la respectiva tarjeta en la cual se realizara la instalación del firmware.

Luego es necesario descargar el archivo binario que contiene el respectivo firmware para realizar codificaciones en el lenguaje micropython, esta descarga se la efectúa mediante la página web oficial micropython.org seleccionando la tarjeta ESP32 y la última versión disponible la cual es v1.19.1, en la Figura 53 se muestra el reconocimiento del puerto COM3 en el cual se encuentra conectado el ESP32 en el computador y el respectivo archivo binario que contiene el firmware del lenguaje micropython a instalar.

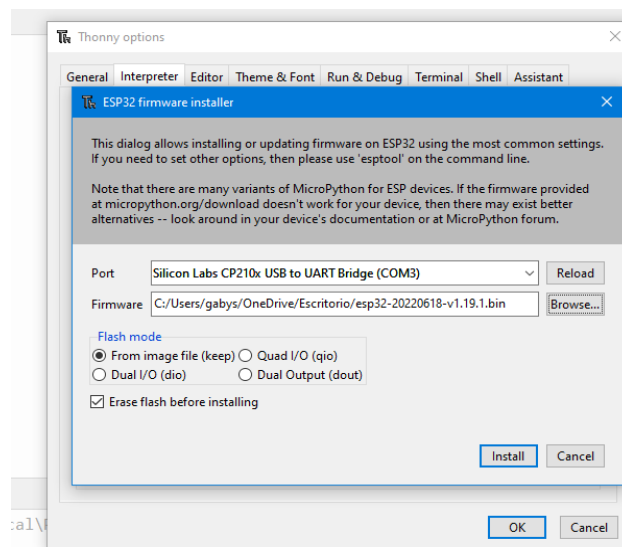


Figura 53. Selección de puerto y firmware micropython.

Al ejecutar la opción “Install” se efectúa la instalación del archivo binario en la tarjeta ESP32 (Ver Figura 54), esto empezará previamente a borrar la memoria de este elemento para luego escribir el firmware, este proceso se visualiza mediante porcentajes desde el 1% cuando inicia el proceso de instalación del firmware al 100% cuando finaliza la respectiva instalación.

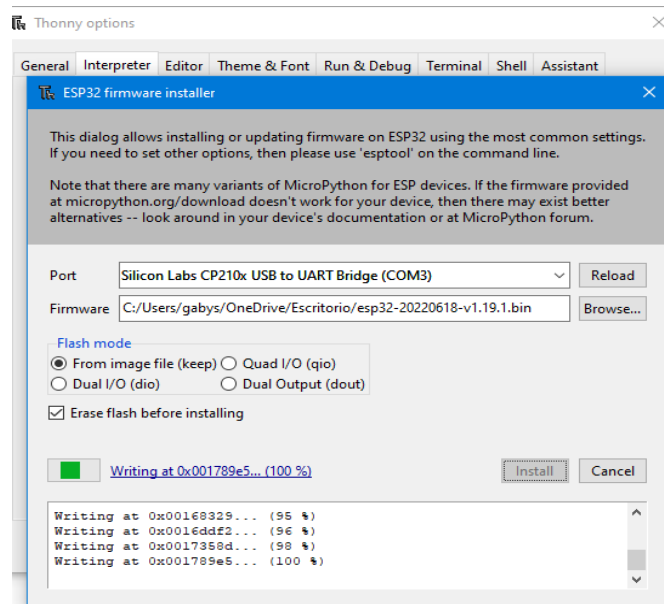


Figura 54. Instalación exitosa del firmware micropython en una tarjeta ESP32.

Al finalizar la instalación del firmware se procede a desconectar la tarjeta ESP32 del computador para luego conectarla nuevamente, este paso se realiza con la finalidad de visualizar que el entorno de desarrollo Thonny reconoce exitosamente la tarjeta ESP32 con el respectivo interprete del lenguaje micropython (Ver Figura 55).

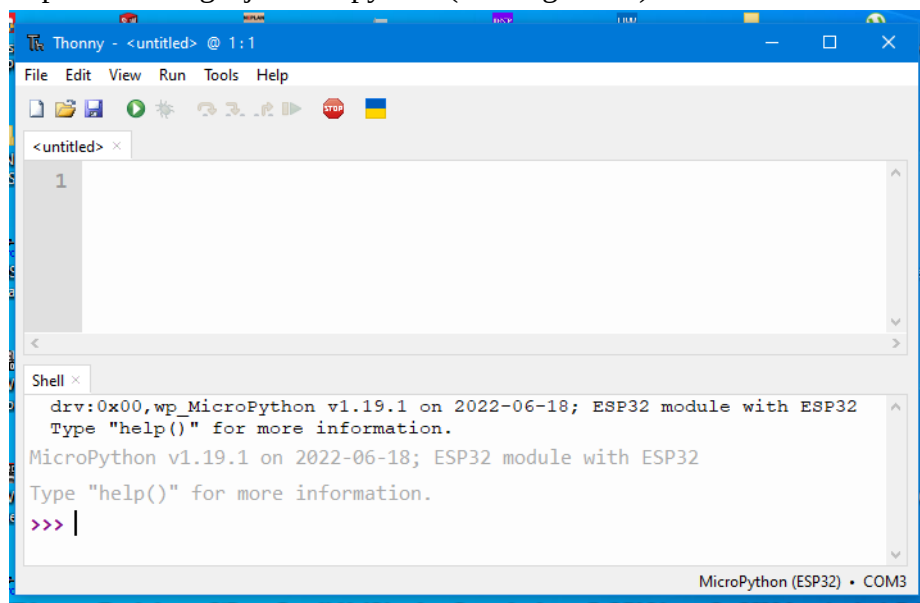


Figura 55. Reconocimiento de la tarjeta ESP32 con el firmware micropython en el IDE Thonny.

3.3.9 Configuración de la tarjeta Raspberry Pi 4 como servidor IoT

La tarjeta Raspberry Pi 4 en esta propuesta se la utiliza como una pila de tecnología IoT o también denominado StackIoT, la instalación de este proyecto conlleva a que en la Raspberry Pi 4 se pueda configurar y ejecutar múltiples softwares IoT con la finalidad de controlar y monitorear los sensores y actuadores del invernadero a través de Internet.

La primera acción que se realiza es establecer comunicación mediante el protocolo SSH con la herramienta VNC Viewer para de esta manera acceder a la interfaz gráfica de la tarjeta Raspberry Pi (Ver Figura 56).

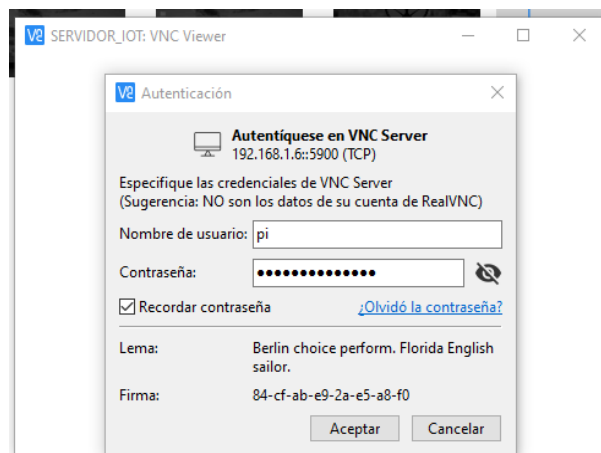


Figura 56. Acceso a la tarjeta Raspberry mediante SSH y el software VNC Viewer.

Una vez que se accedió a la Raspberry Pi, se procedió a ejecutar una nueva ventana de terminal, en esta ventana se ingresó el comando `curl -fsSL https://raw.githubusercontent.com/SensorsIot/IOTstack/master/install.sh | bash`, para de esta manera transferir los datos de la carpeta IOTstack del sitio GitHub hacia la Raspberry Pi 4 haciendo uso del protocolo HTTP (Ver Figura 57), al finalizar la transferencia de datos se mostrara una mensaje en la terminal de comandos indicando que se debe reiniciar la Raspberry Pi para que los cambios surjan efecto (Ver Figura 58), con lo cual la tarjeta se reiniciara al emitir el comando `sudo shutdown -r now`.

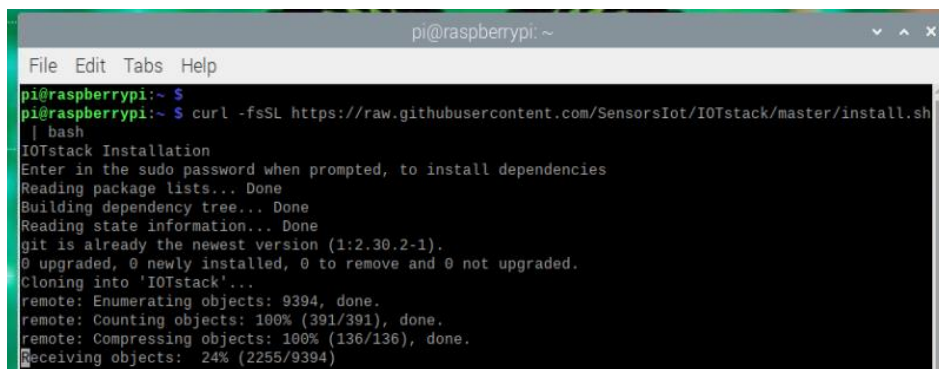
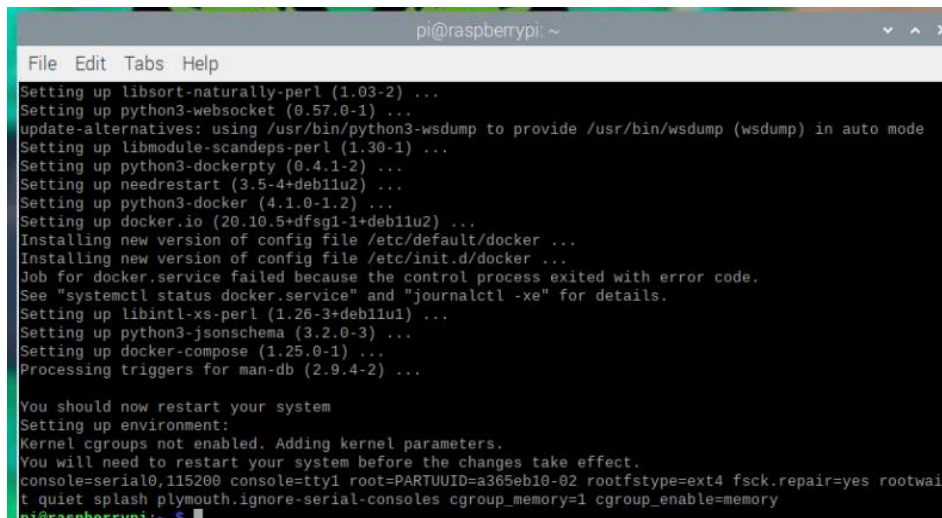


Figura 57. Transferencia de datos de la carpeta IOTstack hacia la tarjeta Raspberry Pi 4.

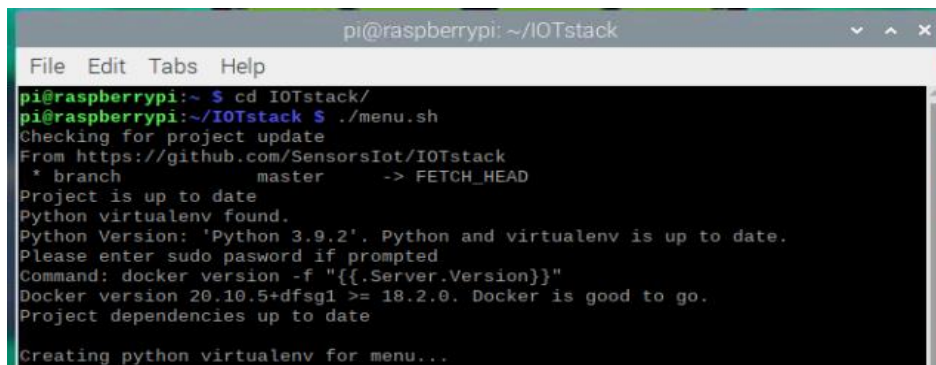


```
pi@raspberrypi: ~
File Edit Tabs Help
Setting up libsort-naturally-perl (1.03-2) ...
Setting up python3-websocket (0.57.0-1) ...
update-alternatives: using /usr/bin/python3-wsdump to provide /usr/bin/wsdump (wsdump) in auto mode
Setting up libmodule-scandeps-perl (1.30-1) ...
Setting up python3-dockerpty (0.4.1-2) ...
Setting up needrestart (3.5-4+deb11u2) ...
Setting up python3-docker (4.1.0-1.2) ...
Setting up docker.io (20.10.5+dfsg1-1+deb11u2) ...
Installing new version of config file /etc/default/docker ...
Installing new version of config file /etc/init.d/docker ...
Job for docker.service failed because the control process exited with error code.
See "systemctl status docker.service" and "journalctl -xe" for details.
Setting up libintl-xs-perl (1.26-3+deb11u1) ...
Setting up python3-jjsonschema (3.2.0-3) ...
Setting up docker-compose (1.25.0-1) ...
Processing triggers for man-db (2.9.4-2) ...

You should now restart your system
Setting up environment:
Kernel cgroups not enabled. Adding kernel parameters.
You will need to restart your system before the changes take effect.
console=serial0,115200 console=tty1 root=PARTUUID=a365eb10-02 rootfstype=ext4 fsck.repair=yes rootwait
t quiet splash plymouth.ignore-serial-consoles cgroup_memory=1 cgroup_enable=memory
pi@raspberrypi:~$
```

Figura 58. Finalización de la transferencia de datos hacia la tarjeta Raspberry Pi 4.

Luego de reiniciar la Raspberry Pi 4 se accede a la carpeta IoT stack para de esta forma instalar la pila de tecnología IoT, el comando para acceder a la respectiva carpeta y el comando que permite ejecutar esta instalación se muestran en la Figura 59.



```
pi@raspberrypi: ~/IoTstack
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi:~$ cd IoTstack/
pi@raspberrypi:~/IoTstack$ ./menu.sh
Checking for project update
From https://github.com/SensorsIot/IoTstack
 * branch          master      -> FETCH_HEAD
Project is up to date
Python virtualenv found.
Python Version: 'Python 3.9.2'. Python and virtualenv is up to date.
Please enter sudo password if prompted
Command: docker version -f "{{.Server.Version}}}"
Docker version 20.10.5+dfsg1 >= 18.2.0. Docker is good to go.
Project dependencies up to date
Creating python virtualenv for menu...
```

Figura 59. Comandos para instalar la pila de tecnología IoT en la Raspberry Pi 4.

Al momento de instalar la pila de tecnología IoT, se desplegará un menú principal con seis opciones disponibles, dentro de esto la opción Build Stack y Docker Commands son las que resaltan al momento de configurar la tarjeta Raspberry Pi 4 como un Stack IoT (Ver Figura 60), la primera opción hace referencia a la construcción de la pila IoT es decir cada uno de los servicios requeridos los cuales pueden ser dashboards, base de datos, broker, mientras que la segunda opción permite instalar cada uno de los servicios seleccionados previamente.

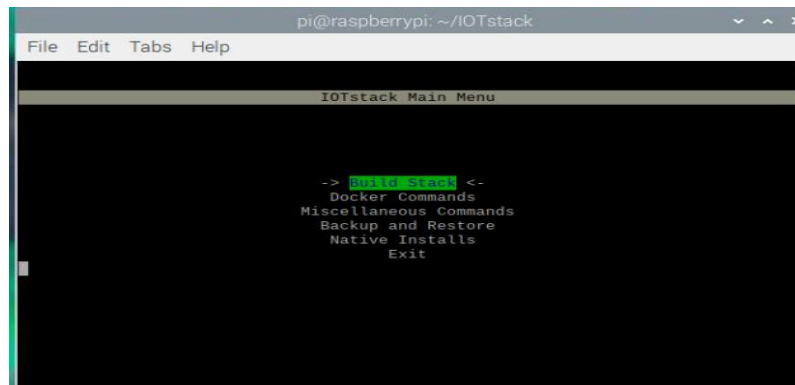


Figura 60. Menú principal IOTstack.

Cuando se ingresa a la primera opción del menú principal IOTstack, se visualiza las diferentes herramientas IoT disponibles, para esto se selecciona cinco herramientas (Ver Figura 61) que se utilizaran en esta propuesta, las cuales se detallan a continuación:

- a) **Node-RED:** Herramienta que se utiliza para establecer comunicación entre la tarjeta ESP32 y la tarjeta Raspberry Pi 4, además esta herramienta se utiliza para enviar los respectivos datos a ThingSpeak, como también para gestionar la activación y desactivación de los respectivos actuadores conectados a las salidas digitales del PLC LOGO 8.
- b) **Mosquitto:** Broker MQTT que se emplea para recibir los datos provenientes de la tarjeta ESP32 los cuales son enviados de manera inalámbrica a través del protocolo MQTT el cual emplea el tipo de comunicación publicador-suscriptor.
- c) **InfluxDB:** Base de datos de lectura y escritura de alta velocidad para almacenar en tiempo real cada uno de los valores provenientes de los sensores que se emplean en el invernadero.
- d) **Grafana:** Herramienta utilizada para el monitoreo y visualización mediante dashboards de cada uno de los datos provenientes de los sensores que miden las variables físicas del cultivo sembrado en el invernadero.
- e) **Portainer:** Herramienta para administrar de forma local o remota cada una de las herramientas IoT.

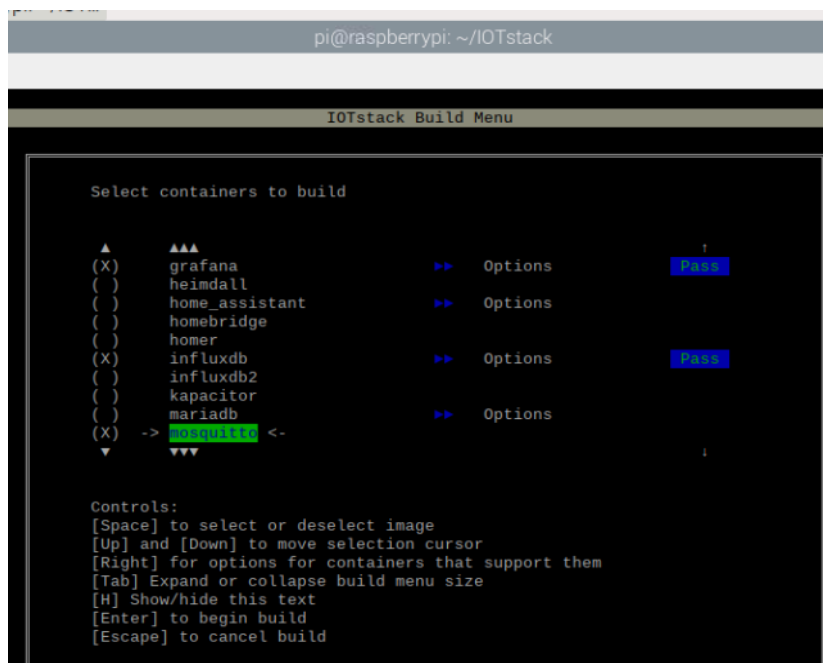


Figura 61. Selección de las herramientas IoT necesarias.

Cuando se selecciona cada uno de los servicios IoT requeridos, se procede a instalarlos, esto se realiza en la segunda opción del menú principal la cual es Docker Commands seguido de la opción Start stack, seguidamente se descargará e instalará en la Raspberry pi 4 cada uno de los paquetes de servicios IoT tales como Grafana, Node-RED, InfluxDB, Mosquitto, Portainer seleccionados previamente. Si la instalación se efectuó de manera exitosa en la tarjeta Raspberry Pi 4, se mostrará en la terminal de comandos el nombre de cada servicio instalado con el mensaje “done” tal como se muestra en la Figura 62.

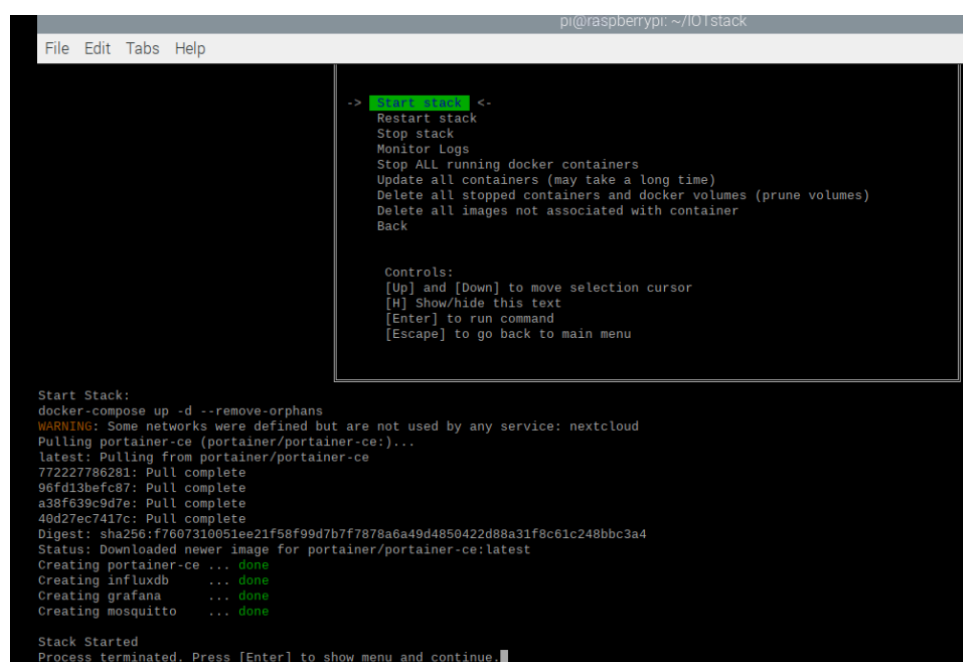


Figura 62. Instalación correcta de cada uno de los servicios IoT seleccionados.

Una vez que se finaliza la instalación del proyecto Stack IoT en la Raspberry Pi, se accede a la carpeta donde se realizó la instalación de la pila IoT para digitar el comando docker-compose ps el cual permitirá visualizar el estado y el puerto de comunicación tcp por donde se enviarán y recibirán datos de cada uno de los servicios (ver Figura 63), con esto se verifica que las plataformas IoT instaladas se encuentren funcionando en la Raspberry Pi.

```

pi@raspberrypi:~ $ cd IoTstack/
pi@raspberrypi:~/IoTstack $ docker-compose ps
WARNING: Some networks were defined but are not used by any service: nextcloud

```

Name	Command	State	Ports
grafana	/run.sh	Up (healthy)	0.0.0.0:3000->3000/tcp
influxdb	/entrypoint.sh influxd	Up (healthy)	0.0.0.0:8086->8086/tcp
mosquitto	/docker-entrypoint.sh	Up (healthy)	0.0.0.0:1883->1883/tcp
nodored	/usr ...	Up (healthy)	0.0.0.0:1880->1880/tcp
portainer-ce	./entrypoint.sh	Up	0.0.0.0:8000->8000/tcp,
	/portainer		0.0.0.0:9000->9000/tcp,
			9443/tcp

```

pi@raspberrypi:~/IoTstack $

```

Figura 63. Visualización de los servicios IoT ejecutándose en la tarjeta Raspberry Pi 4.

3.3.10 Codificación de la adquisición de datos de cada uno de los sensores mediante el lenguaje Micropython en el hardware ESP32

En este apartado se describe la codificación en el lenguaje micropython para la adquisición de las diferentes lecturas de los sensores del invernadero y del sistema fotovoltaico, cada uno de estos sensores posee un puerto por el cuál envía la información ya sea de manera digital o analógica, para esto se utiliza los diferentes canales analógicos y pines digitales que posee la tarjeta ESP32 los cuales se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35. Pines y canales analógicos utilizados de la tarjeta ESP32.

Variable	Sensor / Interfaz	Canal / Pin utilizado ESP32
%Humedad Maceta 1	HD-38 / Analógico	ADC1_0 / GPIO36
%Humedad Maceta 2	HD-38 / Analógico	ADC1_3 / GPIO39
%Humedad Maceta 3	HD-38 / Analógico	ADC1_6 / GPIO34
%Humedad Relativa y Temperatura	SHT31 / Digital I2C	I2C_SCL / GPIO22 I2C_SDA /GPIO21
Nivel de CO2	MG-811 / Analógico	ADC1_5 / GPIO33
Nivel de Depósito	AJ-SR04M / Digital	TRIGGER / GPIO18 ECHO / GPIO05

Iluminación	BH1750 / I2C	I2C_SCL / GPIO22 I2C_SDA /GPIO21
Voltaje	FZ0430 / Analógico	ADC1_4/ GPIO32
Corriente	ACS712 / Analógico	ADC1_7 /GPIO35

Para el caso de los sensores de humedad del suelo HD-38 la interfaz de salida analógica es de voltaje por lo que estos se conectan a los pines GPIO 36, 39 y 34 correspondientes a los sensores de humedad 1,2 y 3 respectivamente, la adquisición del porcentaje de humedad se la lleva a cabo mediante la aproximación lineal del voltaje leído por el pin analógico del sensor, con el cual se hace la relación que un valor de 0V(0) equivale a un 100% de humedad y un valor de 3.3V(4095) equivale a un 0% de humedad es decir el suelo se encuentra seco.

A continuación, se muestra la ecuación obtenida para la adquisición del valor de humedad de suelo, en donde se muestra un valor de 4095 el cual equivale a la máxima resolución de 12 bits del convertidor ADC que posee la tarjeta ESP32.

$$humedad = \left(\frac{-100\%}{4095} \right) * ACD_{Canal_{Analógico}} + 100\%$$

En el caso del sensor de voltaje y corriente de igual manera se utiliza canales analógicos de la tarjeta ESP32 y posteriormente se realiza la respectiva conversión a la unidad requerida en este caso voltios y amperios, se resalta que para la conversión respectiva del sensor de corriente se emplea un factor de sensibilidad dado por el fabricante el cual es de 0.100V/A adicionalmente se considera una constante de 2.5V la cual es el valor que adquiere el sensor cuando existe una corriente de 0A en la línea donde se encuentra instalado el sensor de corriente.

$$Lectura_{sensorcorrienteV} = Lectura_{ADC} * \frac{5V}{4095}$$

$$Corriente = \frac{Lectura_{sensorcorrienteV} - 2.45}{Sensibilidad}$$

La adquisición de la lectura de voltaje se la realiza de manera inmediata mediante la siguiente ecuación:

$$Voltaje = Lectura_{ADC} * \frac{3.3V}{4095}$$

Los sensores SHT31 y BH1750 los cuales realizan la medición de temperatura, humedad relativa e iluminación, poseen una interfaz digital I2C, con lo que es posible acceder a las lecturas de los valores de dichas variables solicitando los valores de las direcciones I2C 0x5C (BH1750) y 0x45(SHT31) si el pin ADDR que poseen estos dos sensores se encuentran conectados a VCC, caso contrario si los pines ADDR se encuentran conectados a GND, se debe acceder a las direcciones I2C 0x23 y 0x44 para el sensor de iluminación y humedad respectivamente.

La curva característica del sensor de CO2 MG-811 se muestra en la Figura 64, en esta gráfica se muestra una escala logarítmica, con lo cual se debe determinar la ecuación que determina el valor de la concentración de CO2, este proceso se lo efectúa mediante Excel en la cual se estima una regresión con un tipo de tendencia potencial (ver Figura 65)

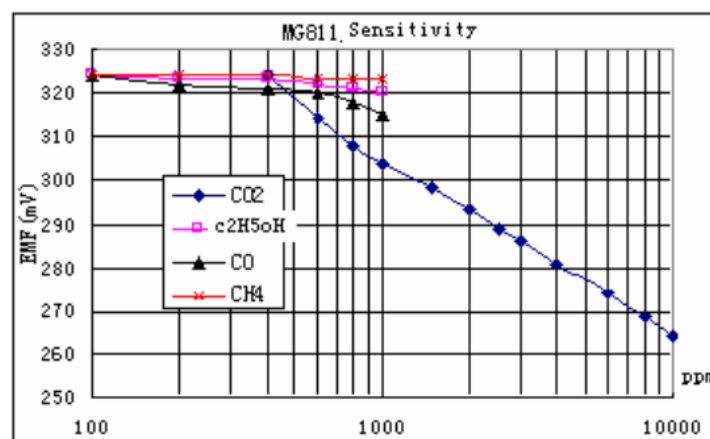


Figura 64. Curva característica sensor MG-811.

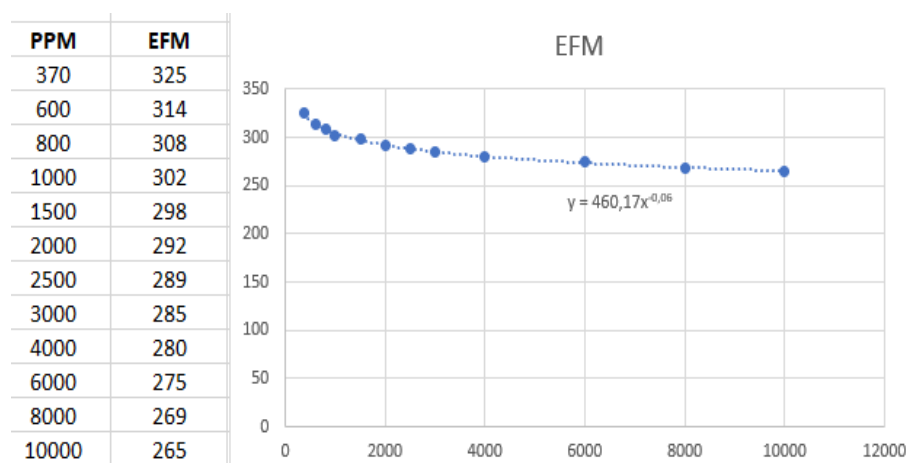


Figura 65. Regresión realizada en Excel aplicada a la curva característica del sensor MG-811. La ecuación resultante se muestra a continuación:

$$Nivel\ O2 = 460,17 \left(\frac{Rs}{R0} \right)^{-0,06}$$

Considerando los parámetros de $R_s=131125.82$ y $R_0=2913.90$ para de esta forma calcular la concentración de CO2 dentro del prototipo invernadero.

La Figura 66 muestra la codificación de cada uno de los sensores en el lenguaje micropython, para de esta forma adquirir los respectivos valores de las variables físicas que inciden el crecimiento del cultivo sembrado en el invernadero.

```
104 lux=light.readlight()
105 #print('Iluminación:', lux)
106 sensorsuelo1_valor = adc_sensor_suelo1.read()
107 humedadmaceta1=(( -100/4095)*sensorsuelo1_valor)+100
108 #print('HumedadSuelo 1:', humedadmaceta1)
109 sensorsuelo2_valor = adc_sensor_suelo2.read()
110 humedadmaceta2=(( -100/4095)*sensorsuelo2_valor)+100
111 #print('HumedadSuelo 2:', humedadmaceta2)
112 sensorsuelo3_valor = adc_sensor_suelo3.read()
113 humedadmaceta3=(( -100/4095)*sensorsuelo3_valor)+100
114 #print('HumedadSuelo 3:', humedadmaceta3)
115 co2_adc=adc_sensor_co2.read()
116 co2_voltaje=co2_adc*(5/4095)
117 Rs=20000*((5-co2_voltaje)/co2_voltaje)
118 co2_valor=(460.17*math.pow((Rs/2913.90), -2.83))
119 #print('NIVEL CO2 ',co2_valor())

119 #print('NIVEL CO2 ',co2_valor())
120 voltaje_lectura=adc_sensor_voltaje.read()
121 voltaje=(voltaje_lectura*(5/4095))
122 #print('v', voltaje)
123 corriente=adc_sensor_corriente.read()
124 corriente_v=(corriente*(3.3/4095))
125 corriente=(corriente_v-2.45/0.100)
126 potencia=voltaje*corriente
```

Figura 66. Codificación en micropython para la adquisición de los valores provenientes de los sensores.

3.3.11 Comunicación mediante el protocolo MQTT entre la tarjeta ESP32 y la tarjeta Raspberry Pi 4

En este apartado se describe la configuración y el uso del protocolo de telemetría de mensajes MQTT el cual sigue la arquitectura de comunicación máquina a máquina (M2M), este protocolo permite que los dispositivos publiquen y se suscriban a tópicos los cuales facilitan el transporte de los datos a través de la red con un consumo mínimo de ancho de banda, lo cual hace que este protocolo sea ideal para la comunicación de sensores y aplicaciones del internet de las cosas.

La Figura 67, muestra la comunicación M2M entre la tarjeta ESP32 y la Raspberry Pi 4, en la cual la ESP32 adquiere las lecturas de datos de cada sensor del invernadero y del sistema

fotovoltaico para posteriormente publicar en broker Mosquitto los respectivos tópicos /esp32/datos_invernadero y /esp32/sistema_fotovoltaico todo esto mediante el protocolo MQTT. Una vez que los datos se envían al broker MQTT este los redirecciona a los clientes que necesitan suscribirse a los tópicos, en este caso la tarjeta Raspberry Pi 4 se suscribe a los respectivos tópicos que contienen los datos de los sensores del invernadero y sistema fotovoltaico mediante la herramienta Node-RED.

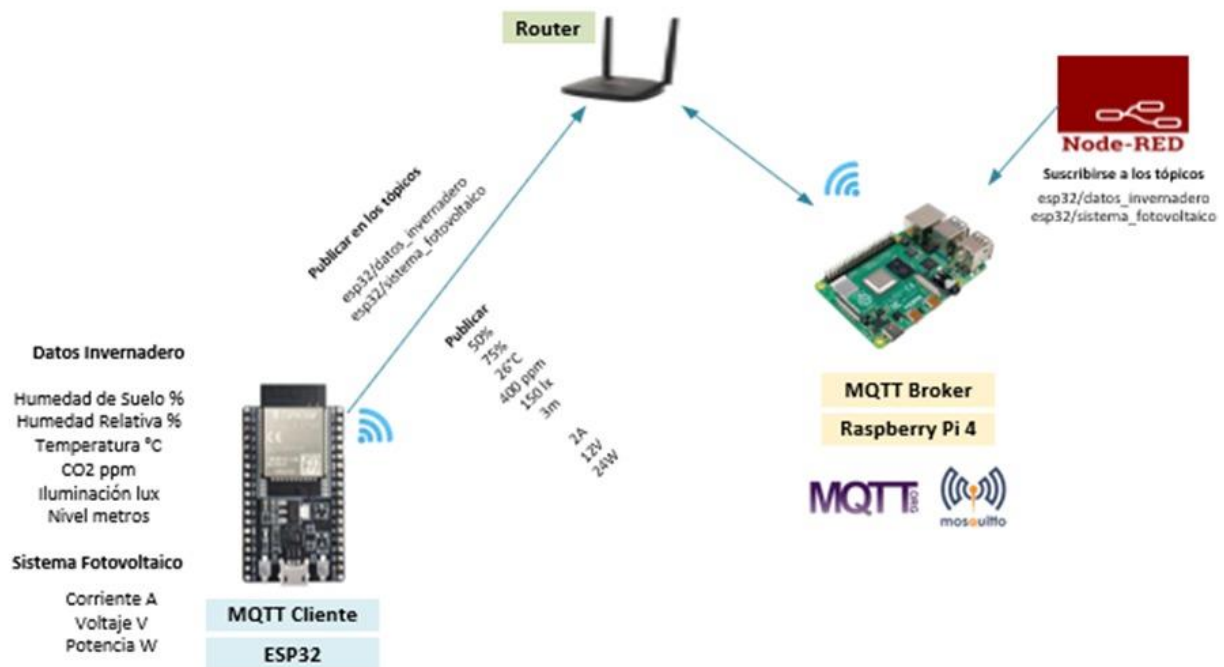


Figura 67. Diagrama de comunicación entre la ESP32 y la Raspberry Pi 4 mediante el protocolo MQTT.

A continuación, se detalla el proceso de configuración en lenguaje micropython para la publicación de los datos en los respectivos tópicos, la configuración del broker Mosquitto y la suscripción a los tópicos mediante la herramienta Node-RED.

En primer lugar, se configura la dirección IP del broker MQTT, en este caso es la dirección IP de la tarjeta Raspberry Pi 4, ya que allí se encuentra instalada la herramienta Mosquitto, luego se configura la tarjeta ESP32 como un cliente MQTT mediante el comando `machine.unique_id()` con el que se obtendrá la dirección única de esta tarjeta, posteriormente se crea cada uno de los tópicos en los cuales la tarjeta ESP32 publicara los respectivos datos de los sensores del invernadero y sistema fotovoltaico, como última variable de configuración

se determina el intervalo de tiempo en el cual se envían los datos a los respectivos tópicos creados, la Figura 68 muestra la configuración en lenguaje micropython.

```
#Configurar la dirección IP del MQTT Broker, y el respectivo topico
#donde se publicarán los respectivos datos de los sensores del
#invernadero
mqtt_server = '192.168.1.9'
client_id = ubinascii.hexlify(machine.unique_id())
topic_pub1 = b"/esp32/datos_invernadero"
topic_pub2 = b"/esp32/sistema_fotovoltaico"
#Configurar los tiempos de publicación de datos
mensaje_anterior = 0
intervalo_mensaje = 600
```

Figura 68. Configuración de los parámetros de conexión del protocolo MQTT en lenguaje micropython.

Luego de configurar la dirección IP del broker MQTT Mosquitto, el ID del cliente, los tópicos y el intervalo de envío de datos, se procede a crear la función que permita establecer comunicación entre el cliente y el broker MQTT, adicionalmente se crea una función que ayuda a reiniciar la comunicación en caso de que exista errores que impidan la publicación de datos en los respectivos tópicos. La Figura 69 muestra las funciones codificadas en micropython descritas anteriormente, en la cual el comando MQTTClient para establecer una comunicación exitosa entre la tarjeta ESP32 y la herramienta Mosquitto posee como argumentos de entrada, la dirección IP del broker, el id de la tarjeta ESP32, el puerto TCP 1883 sobre el cual se establece la comunicación entre el cliente y el broker para el intercambio de datos, además del usuario y contraseña del respectivo broker Mosquitto.

```
#Funciones para conectar la tarjeta ESP32 con el broker MQTT
def connect_mqtt():
    global client_id, mqtt_server
    client = MQTTClient(client_id, mqtt_server, port=1883, user=b"iot", password=b"rbiot")
    client.connect()
    print('Conectado al broker MQTT' % (mqtt_server))
    return client

def reiniciar_y_reconectar():
    print('Fallo conexión con el broker MQTT. Reconectando...')
    time.sleep(10)
    machine.reset()
```

Figura 69. Funciones para conectarse con el broker MQTT.

Una vez que se establece comunicación con el respectivo broker MQTT, se publica cada una de las lecturas de datos del invernadero y del sistema fotovoltaico en los respectivos tópicos, esto mediante la instrucción client.publish en la cual se ingresa como argumento el tópico

donde se enviará la información y los datos respectivos, en este caso los datos se concatenan mediante el formato de texto JSON para de esta manera publicar de manera estructurada los datos de cada sensor (Ver Figura 70).

```
obj1={"iluminacion":lux,"h1":humedadmaceta1,"h2": humedadmaceta2, "h3":humedadmaceta3,"t": temperatura, "R
obj2={"Voltaje":V,"Corriente":I,"Potencia": W}
data_invernadero=ujson.dumps(obj1)
data_sistemaFV=ujson.dumps(obj2)
client.publish(topic_pub1, data_invernadero) #Publicar datos en el tópico esp32/datos_invernadero
client.publish(topic_pub1, data_sistemaFV) #Publicar datos en el tópico esp32/datos_sistema_fotovoltaico
last_message = time.time()
```

Figura 70. Codificación en micropython para publicar datos en el broker Mosquitto mediante el protocolo MQTT.

La configuración del broker Mosquitto se la efectúa, ingresando mediante SSH a la tarjeta Raspberry Pi 4, en la cual se ejecuta una terminal de comandos y se procede a ejecutar la instrucción “sudo mosquitto_passwd -c /etc/mosquitto/passwd USUARIO” (ver Figura 71), esto permitirá crear las credenciales de acceso correspondientes al usuario y contraseña los cuales serán necesarios para que la tarjeta ESP32 establezca comunicación el broker Mosquitto mediante el protocolo de comunicación MQTT.

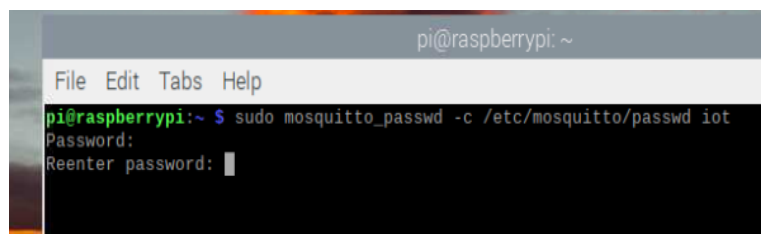


Figura 71. Configuración de usuario y contraseña para el broker MQTT.

El siguiente paso por realizar dentro de la terminal de comandos de la Raspberry Pi 4, es modificar el archivo de configuración del broker Mosquitto para que únicamente permita la conexión con los clientes que ingresen el usuario y contraseña creados anteriormente, esto se realiza ejecutando el comando “sudo nano /etc/mosquitto/mosquitto.config”, en el cual se añade las instrucciones enmarcadas en la Figura 72, estas líneas de configuración permiten la conexión de los usuarios que poseen las credenciales de acceso, el puerto TCP de escucha 1883 del protocolo MQTT y la ruta del archivo la cual contiene el usuario y contraseña del broker Mosquitto.

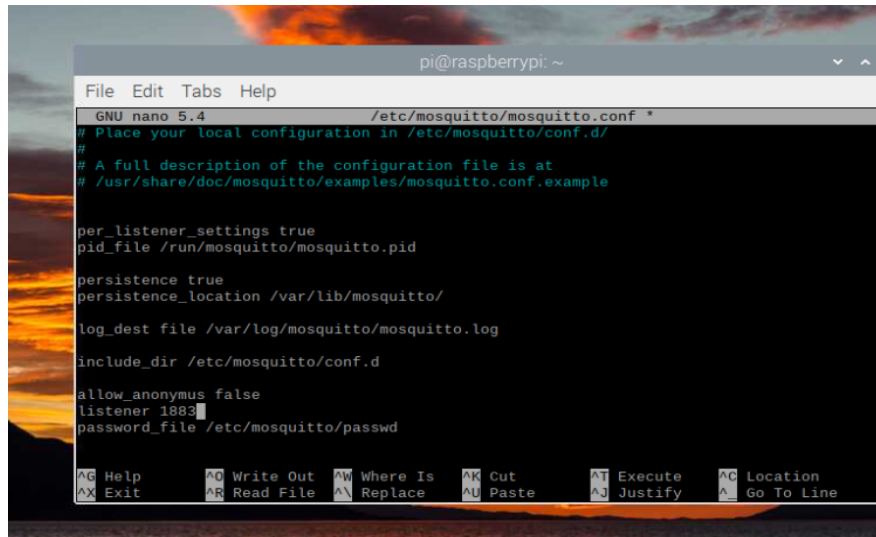


Figura 72. Edición del archivo de configuración del broker Mosquitto instalado en la tarjeta Raspberry Pi 4.

Luego de realizar la edición del archivo de configuración se reinicia el broker Mosquitto ejecutando el comando “sudo systemctl restart mosquitto”, de esta manera se asegura que los cambios realizados en el archivo de configuración se guarden correctamente. Para verificar que el broker Mosquitto se encuentra ejecutándose satisfactoriamente en la tarjeta Raspberry Pi 4, se procede a digitar en la terminal de comandos “sudo systemctl status mosquitto”, este comando emitirá un mensaje indicando que el servicio se encuentra activo (Ver Figura 73).

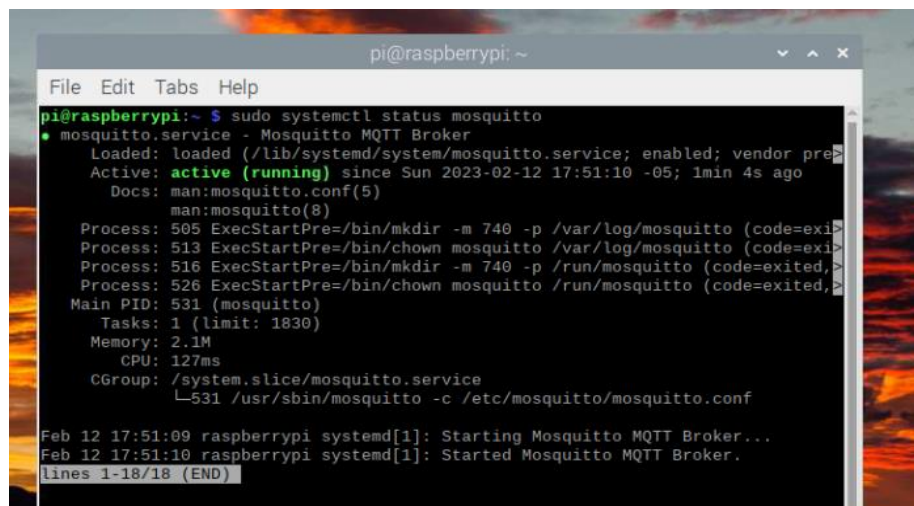
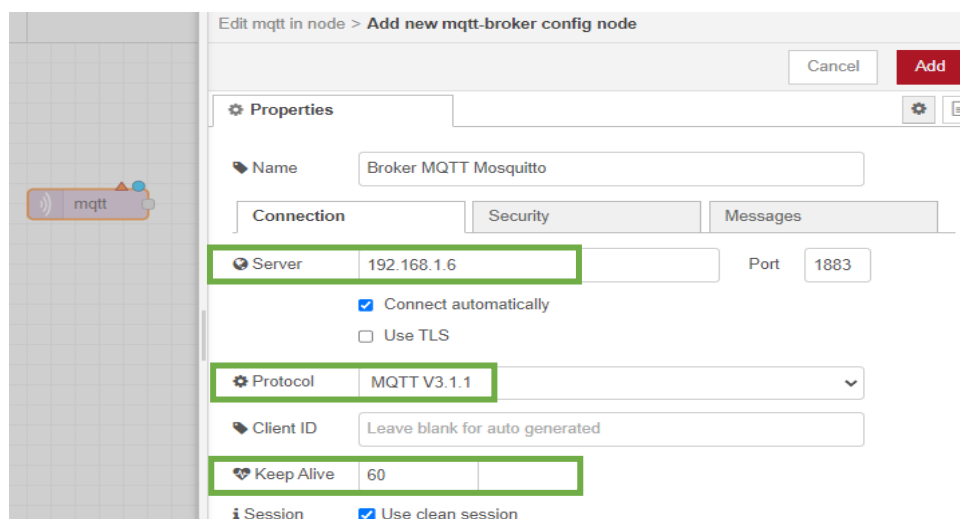


Figura 73. Mosquitto ejecutándose correctamente.

Una vez que el broker Mosquitto se ejecuta en la tarjeta Raspberry Pi 4, se procede a realizar la suscripción de los tópicos publicados mediante el protocolo de comunicación MQTT por parte de la tarjeta ESP32, este proceso de configuración se efectúa mediante la herramienta Node-RED instalada en la Raspberry Pi 4, para esto se ingresa mediante un navegador web el socket `http://IP_RASPBERRY_PI:1880` el cual permite establecer comunicación con la

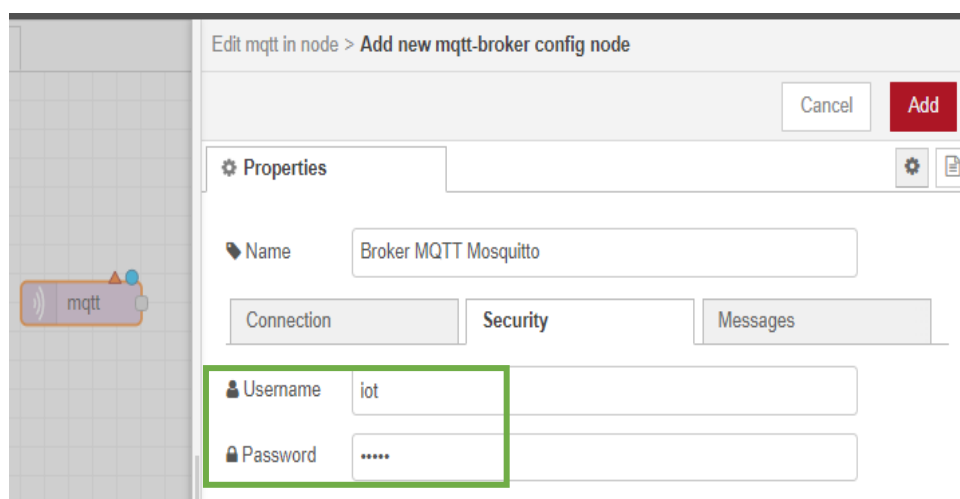
herramienta Node-RED, en esta herramienta en primer lugar se selecciona el bloque “MQTT in”, el cual permitirá establecer comunicación con el broker MQTT y a su vez suscribirse a los tópicos antes mencionados.

La configuración del bloque “MQTT in” para establecer comunicación con el broker Mosquitto, se muestra en la Figura 74, en la cual se ingresa la dirección IP del broker, el protocolo MQTT en su versión 3.1 1, además se configura el parámetro keep alive el cual se establece en un valor de 60 segundos, es decir si la conexión entre el cliente y el broker MQTT permanece inactiva durante 60 segundos esta se cerrará, consecutivamente en la pestaña Security se ingresa el usuario el cual es iot y la contraseña configurados anteriormente (ver Figura 75).



The screenshot shows the 'Edit mqtt in node > Add new mqtt-broker config node' dialog in Node-RED. The 'Connection' tab is selected. The 'Name' field is 'Broker MQTT Mosquitto'. The 'Server' field is '192.168.1.6' and the 'Port' is '1883'. The 'Protocol' is set to 'MQTT V3.1.1'. The 'Keep Alive' is set to '60'. The 'Connect automatically' checkbox is checked. The 'Use TLS' checkbox is unchecked. The 'Client ID' field is 'Leave blank for auto generated'. The 'Session' checkbox is checked. The 'Use clean session' checkbox is checked. The 'Add' button is highlighted in red.

Figura 74. Configuración del broker MQTT en la herramienta Node-RED.



The screenshot shows the 'Edit mqtt in node > Add new mqtt-broker config node' dialog in Node-RED. The 'Security' tab is selected. The 'Username' field is 'iot' and the 'Password' field is '.....'. The 'Add' button is highlighted in red.

Figura 75. Configuración de las credenciales de acceso del broker MQTT en la herramienta Node-RED.

Al crear el canal de comunicación que posibilita establecer comunicación con el broker Mosquitto, se empieza a configurar el tópico respectivo que contiene los datos a los que se requiere suscribir, de igual forma se selecciona el tipo de dato el cual se establece en formato JSON object, ya que previamente en el lenguaje micropython se estableció la publicación de la cadena de datos en formato JSON, la configuración de la respectiva suscripción a los tópicos publicados en el broker Mosquitto posee un parámetros de calidad de servicio denominado QoS, este parámetro se establece en 1 el cual indica que el dato sea entregado al menos una vez, de esta forma se garantiza la recepción del dato ya que el dato se almacena al momento que la herramienta Node-RED confirma la recepción correcta de la información (ver Figura 76).

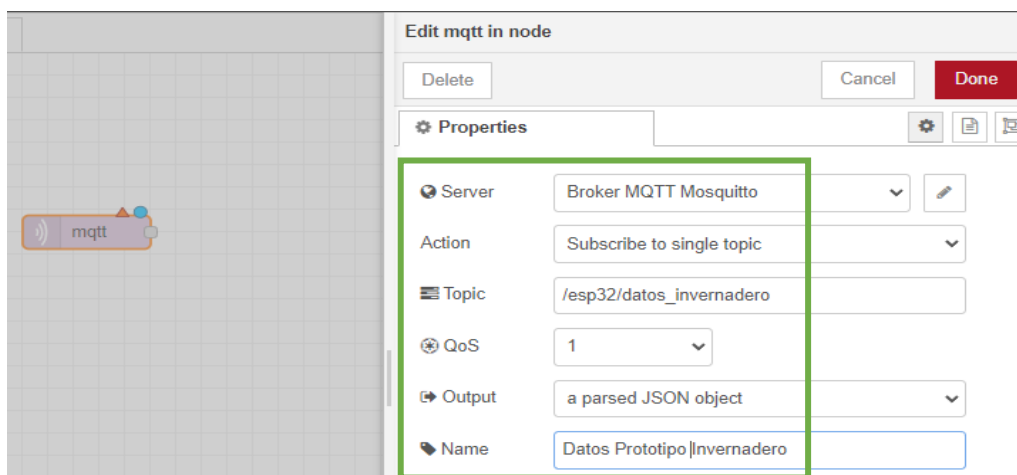


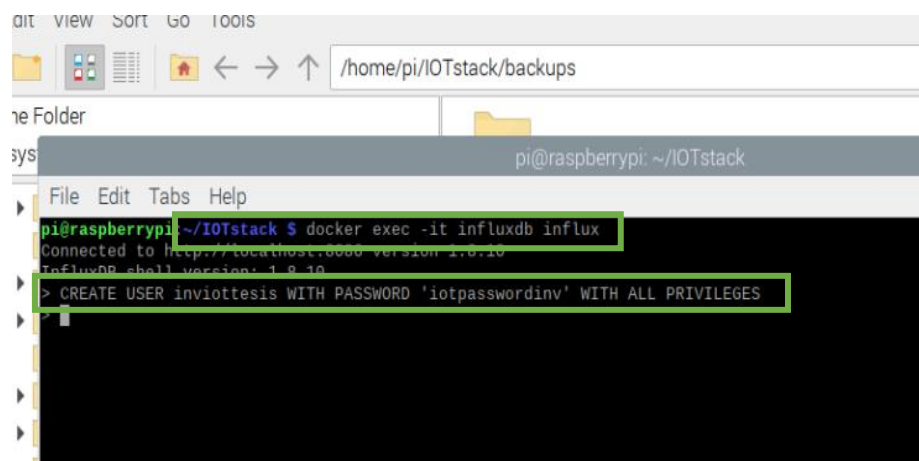
Figura 76. Suscripción al tópico que contiene los datos de cada uno de los sensores correspondiente al invernadero.

3.3.12 Configuración del almacenamiento de la información en la base de datos InfluxDB

InfluxDB es la base de datos que se utiliza en el desarrollo de esta propuesta para almacenar las lecturas de las variables que adquieren cada uno de los sensores del prototipo invernadero y el sistema de energía fotovoltaica, estos datos se almacenan en esta herramienta con una estampa de tiempo que indica la hora en que la lectura llega a la base de datos, un respectivo tag o etiqueta que indica la variable medida y un field en el cual se almacena la lectura numérica del respectivo sensor. Para configurar el servicio InfluxDB que se encuentra instalado en la pila IoT de la Raspberry Pi 4 se siguen los siguientes pasos:

1. Ingresar a una ventana de terminal de comandos en la Raspberry Pi 4, en la que se accede a la carpeta donde se encuentra ejecutándose la pila IoT, en este caso la carpeta IOTstack.

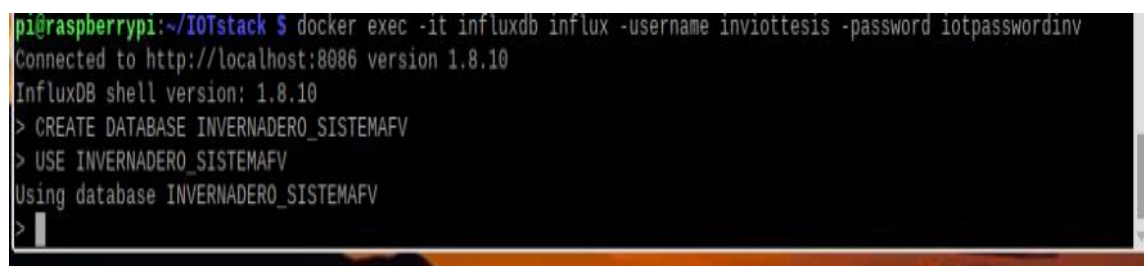
2. Luego de ingresar a la carpeta antes mencionada se procede a verificar que el servicio de base de datos se encuentre activo, para esto se ejecuta el comando `docker exec -t influxdb influx`, en donde se mostrara un mensaje indicando que el servicio se encuentra conectado al respectivo socket de comunicación de este servicio.
3. Consecutivamente se despliega el shell de esta herramienta en la que se crea un usuario y contraseña para establecer conexión con este servicio de base de datos (ver Figura 77).



```
pi@raspberrypi: ~/IoTstack
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi:~/IoTstack $ docker exec -it influxdb influx
Connected to http://localhost:8086 version 1.8.10
InfluxDB shell version: 1.8.10
> CREATE USER inviottesis WITH PASSWORD 'iotpasswordinv' WITH ALL PRIVILEGES
```

Figura 77. Configuración del usuario y contraseña de la base de datos InfluxDB.

4. El siguiente paso que se realiza es acceder a la base de datos ingresando el usuario y la contraseña creada en el paso anterior, posteriormente mediante el comando `CREATE DATABASE` se añade el nombre de la respectiva base de datos que almacenaran las lecturas de los valores correspondientes a la temperatura, humedad relativa, humedad de suelo, nivel de CO2, nivel del reservorio, voltaje, corriente y potencia eléctrica.



```
pi@raspberrypi:~/IoTstack $ docker exec -it influxdb influx -username inviottesis -password iotpasswordinv
Connected to http://localhost:8086 version 1.8.10
InfluxDB shell version: 1.8.10
> CREATE DATABASE INVERNADERO_SISTEMAFV
> USE INVERNADERO_SISTEMAFV
Using database INVERNADERO_SISTEMAFV
>
```

Figura 78. Base de dato creada en InfluxDB.

5. Como último paso se procede a crear cada una de las columnas en donde se almacenarán las lecturas de cada uno de los sensores antes mencionadas, esto se lo realiza mediante el comando `INSERT`, con el cual se inserta cada una de las columnas requeridas con

valores igual a 0, ya que en esta herramienta no es posible crear columnas con mediciones vacías. (Ver Figura 79).

```
> INSERT SistemaFV,Voltaje_V=0 Corriente_A=0,Potencia_W=0
> INSERT SensoresInvernadero,Porcentaje_Humedad_Mct1=0 Porcentaje_Humedad_Mct2=0, Porcentaje_Humedad_Mct3=0,t_C=0,CO2_ppm=0,Nivel_m=0, Porcentaje_Humedad_Relativa=0,iluminacion_lx=0
> SELECT * FROM "SistemaFV"

name: SistemaFV
time                Corriente_A Potencia_W Voltaje_V
-----
1676675437005217107 0              0              0
> SELECT * FROM "SensoresInvernadero"

name: SensoresInvernadero
time                CO2_ppm Nivel_m Porcentaje_Humedad_Mct1 Porcentaje_Humedad_Mct2 Porcentaje_Humedad_Mct3 Porcentaje_Humedad_Relativa iluminacion_lx t_C
-----
1676675449738005166 0              0              0              0              0              0              0              0
```

Figura 79. Inserción y visualización de columnas en cada una de las bases de datos.

3.3.13 Configuración de la plataforma Grafana.

En este apartado se detalla la configuración de Grafana. Esta plataforma permite recolectar y analizar los datos recolectados del invernadero y del sistema de energía fotovoltaica, esta herramienta se puede conectar con varias fuentes de datos, en este caso es InfluxDB en la cual se almacenan cada una de las lecturas de datos adquiridas mediante pines analógicos de la tarjeta ESP32, mediante Grafana es posible además realizar consultas de datos y establecer alertas cuando las lecturas de los sensores se encuentren en un umbral superior o inferior al adecuado para el desarrollo de la hortaliza rábano.

Para iniciar la configuración de la plataforma Grafana se procede a ingresar en un navegador el socket de comunicación que permite acceder a esta plataforma, ingresando el socket `http://IP_RASPBERRYPI4:3000` en el respectivo navegador se desplegará una interfaz en la que inicialmente se crea una respectiva contraseña, Grafana por defecto posee la palabra admin como usuario y contraseña respectivamente. La Figura 80 muestra la interfaz inicial de la herramienta de visualización de datos, en la que se muestra la configuración básica que se debe efectuar para crear dashboards, y agregar la fuente de datos de donde se extraerá los datos a mostrar en los respectivos dashboards.

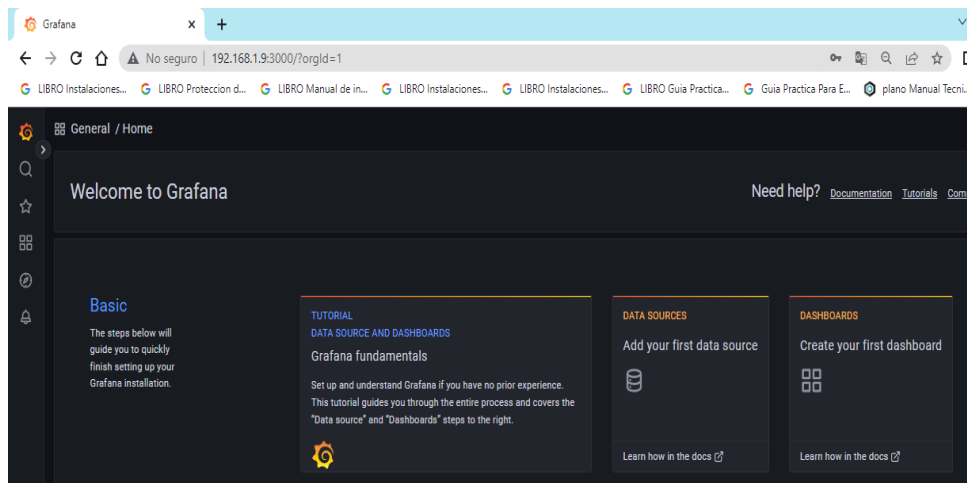


Figura 80. Página inicial de la plataforma Grafana.

Al presionar la opción “DATA SOURCES” se podrá seleccionar la fuente de donde se extraerá los datos, en esta propuesta se selecciona InfluxDB, consecutivamente se selecciona el lenguaje de consulta en el cual se configura el lenguaje InfluxQL, este lenguaje permitirá interactuar y consultar valores de la base de datos creada en InfluxDB, posteriormente en el apartado HTTP se ingresa el socket de comunicación mencionado anteriormente e ingresando el puerto TCP 8086, como uno último paso se ingresa las credenciales de acceso y el nombre de la base de datos de donde se requiere realizar las respectivas consultas, adicionalmente se configura el método HTTP de tipo GET para de esta manera realizar las peticiones de datos a InfluxDB y poder visualizarlos mediante dashboards en tiempo real.

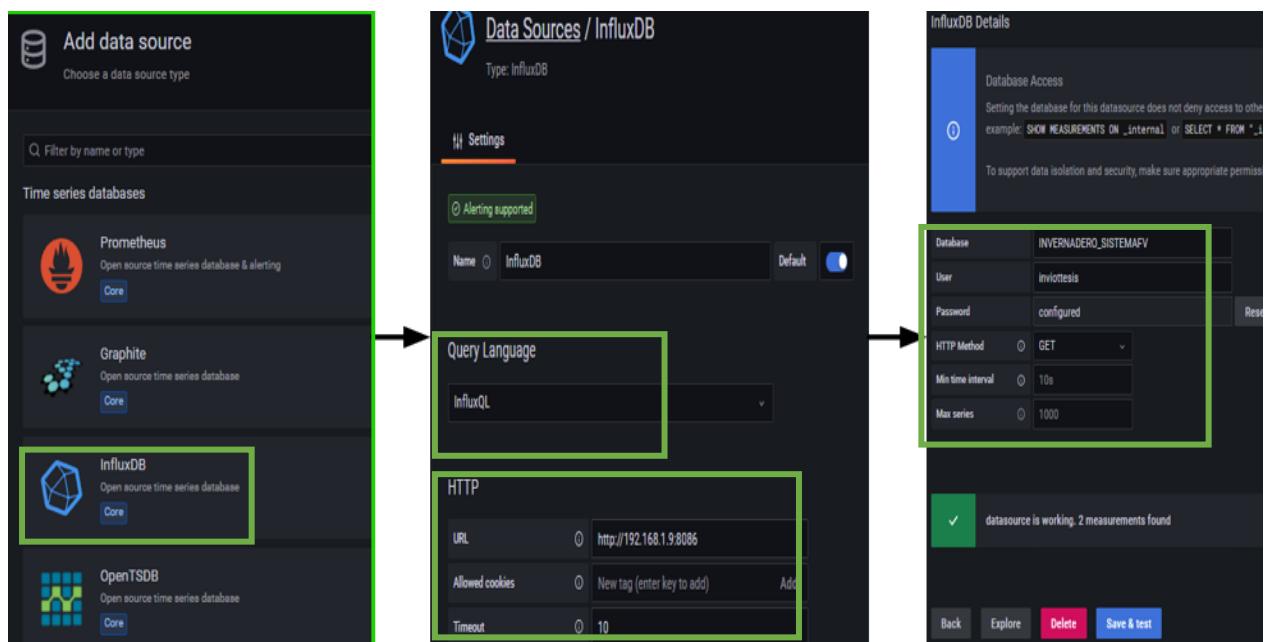


Figura 81. Pasos para agregar una base de datos de InfluxDB en la plataforma Grafana.

Al agregar la fuente de datos en la plataforma Grafana, es posible inmediatamente realizar

consultas en la base de datos para de esta forma visualizarlos mediante dashboards, la siguiente Figura 82 muestra la configuración de un dashboard correspondiente al monitoreo de la humedad del suelo en el cultivo de rábano sembrado en el invernadero, en donde se puede visualizar que el panel de datos contiene el tiempo vs la humedad del suelo, además mediante las instrucciones FROM y SELECT se accede a la data almacenada en los campos de mediciones y valores de la base de datos para de esta manera visualizar los datos en el respectivo dashboard.

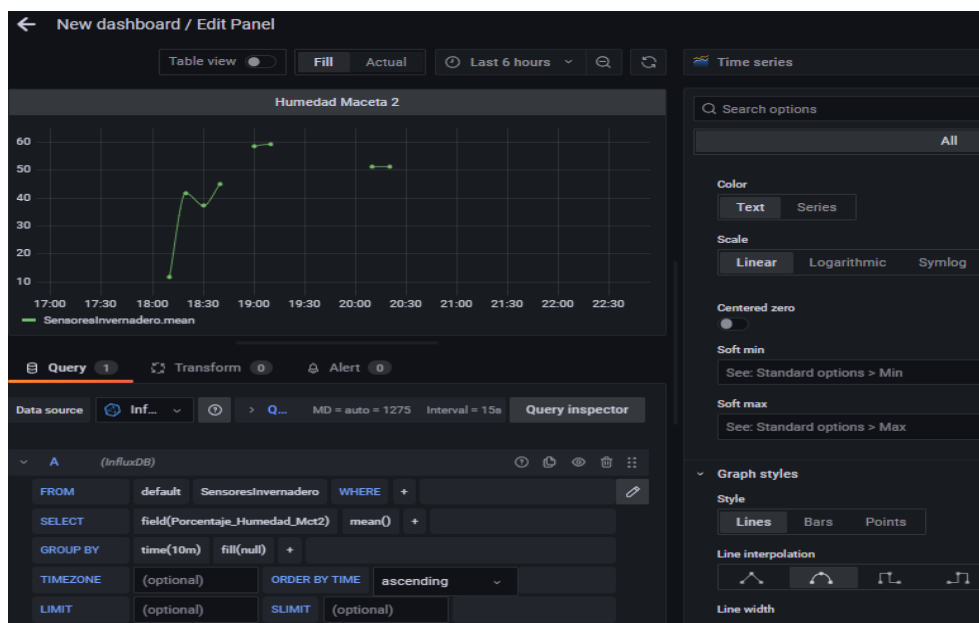


Figura 82. Configuración de un dashboard en Grafana.

3.3.14 Configuración de la plataforma ThingSpeak

ThingSpeak es la plataforma IoT que se utiliza en esta propuesta para recibir, almacenar y monitorear en tiempo real las lecturas de los sensores del invernadero y del sistema fotovoltaico en la nube haciendo uso del protocolo HTTP, cada una de estas lecturas son provenientes de la tarjeta ESP32 conectada a Internet, de esta forma se puede acceder a los datos de manera remota desde cualquier sitio con el que se cuente con acceso a internet.

La configuración de la plataforma ThingSpeak se detalla a continuación en los siguientes pasos:

1. Ingresar al sitio web oficial de ThingSpeak e iniciar sesión mediante una cuenta de MathWorks.
2. Una vez ingresado se configura un canal, en este paso se asigna un nombre al canal en el cual se guardarán cada uno de los datos, se resalta que cada canal que se crea permite almacenar hasta 8 datos, los cuales serán:

Canal 1: Sensores Invernadero

- % de humedad de la maceta 1 (Field 1)
- % de humedad de la maceta 2 (Field 2)
- % de humedad de la maceta 3 (Field 3)
- % humedad relativa (Field 4)
- Temperatura (Field 5)
- Nivel de CO2 (Field 6)
- Iluminación (Field 7)
- Nivel del Depósito (Field 8)

Canal 2: Sistema Fotovoltaico

- Voltaje (Field 1)
- Corriente (Field 2)
- Potencia (Field 3)

- Al crear los respectivos canales para el almacenamiento de los datos de los sensores del invernadero y del sistema fotovoltaico, la plataforma IoT asigna automáticamente un ID para cada canal creado y las respectivas API Keys las cuales servirán para lectura y escritura de datos en los canales creados. En la Figura 83 se muestra de manera grafica los pasos antes mencionados los cuales permiten configurar esta plataforma IoT.

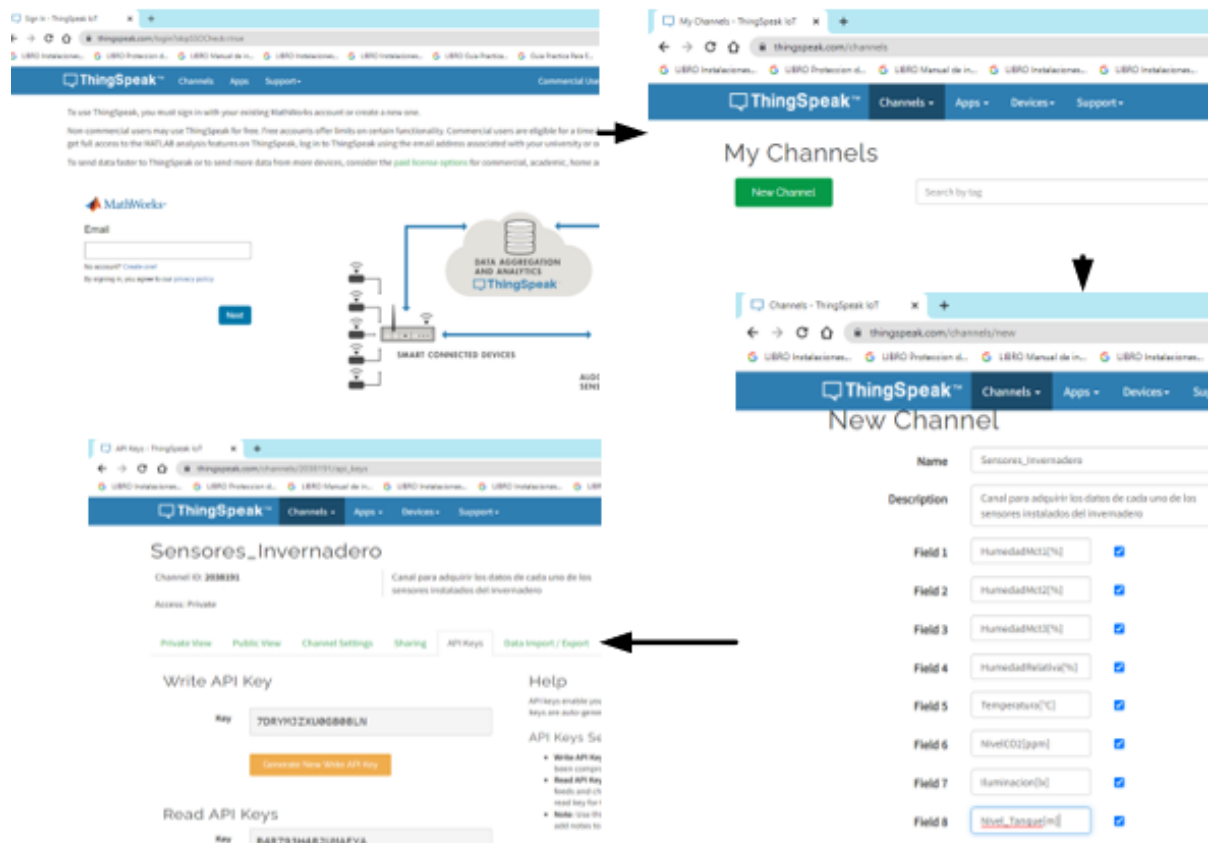


Figura 83. Configuración de la plataforma IoT ThingSpeak.

Para escribir cada uno de los datos correspondiente a los distintos sensores adquiridos desde la ESP32 hacia los respectivos canales de ThingSpeak, es utilizada la herramienta Node-RED como medio para realizar la escritura de los respectivos datos, esto es posible efectuar mediante el bloque “Thingspeak Send Simple” de Node-RED en el cual se configura el ID del canal en el cual se requiere almacenar los datos, la llave de escritura de datos en el canal y el campo de almacenamiento de datos (Ver Figura 84), en este caso para el canal de los sensores del invernadero contiene 8 campos de almacenamiento, mientras que el canal que almacena las lecturas del sistema fotovoltaico contiene únicamente 3 campos de almacenamiento.

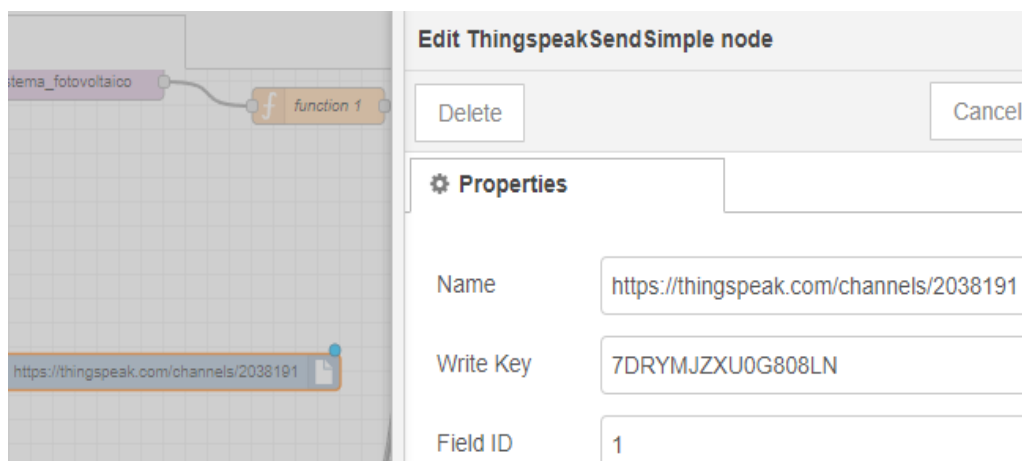


Figura 84. Configuración del nodo ThingSpeak Send Simple.

3.3.15 Programación de los actuadores eléctricos mediante la herramienta LOGO Soft Comfort V8.3

En este apartado se muestra la programación realizada para el control de los actuadores eléctricos del invernadero, esto se realizó mediante el software de configuración LOGO Soft Comfort, la programación de cada salida digital se la llevo a cabo mediante diagrama de funciones (FUP) tal como se muestra en la Figura 85, en donde se tiene que cada salida digital (Q1 hasta Q8) tiene dos modos de activación, el primero corresponde a la activación de la marca digital correspondiente a la detección de condiciones anormales por parte de las lecturas de los sensores y el segundo modo corresponde a la activación de la marca digital al pulsar el botón de encendido o apagado desde el servidor web del PLC LOGO 8, al tener dos modos de funcionamiento los actuadores eléctricos, se implementa la lógica de programación mediante la compuerta lógica OR para de esta forma según la condición del modo manual o automático se cumpla, pueda la respectiva salida digital activarse.

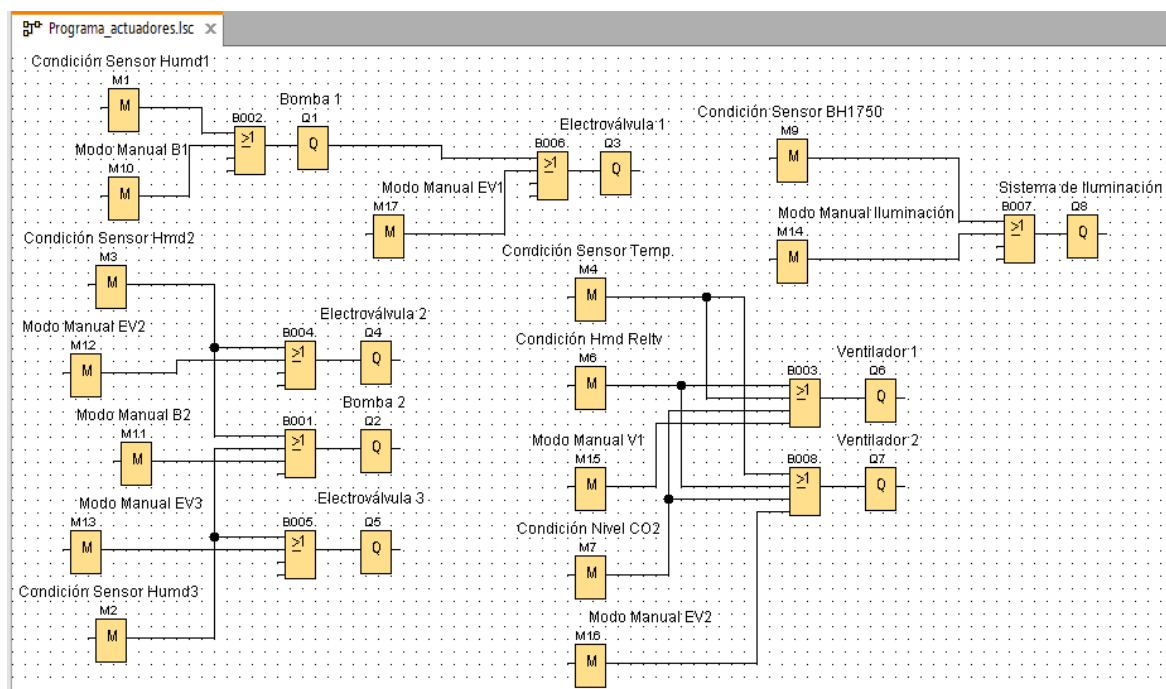


Figura 85. Programación de los actuadores eléctricos del prototipo invernadero.

En la Figura 86 se muestra la activación del protocolo S7 a través de la herramienta LOGO Soft Comfort, este protocolo es activado para de esta manera comunicar el PLC LOGO 8 con la herramienta Node-RED, y de esta forma poder activar los actuadores dependiendo de las lecturas de los respectivos sensores.

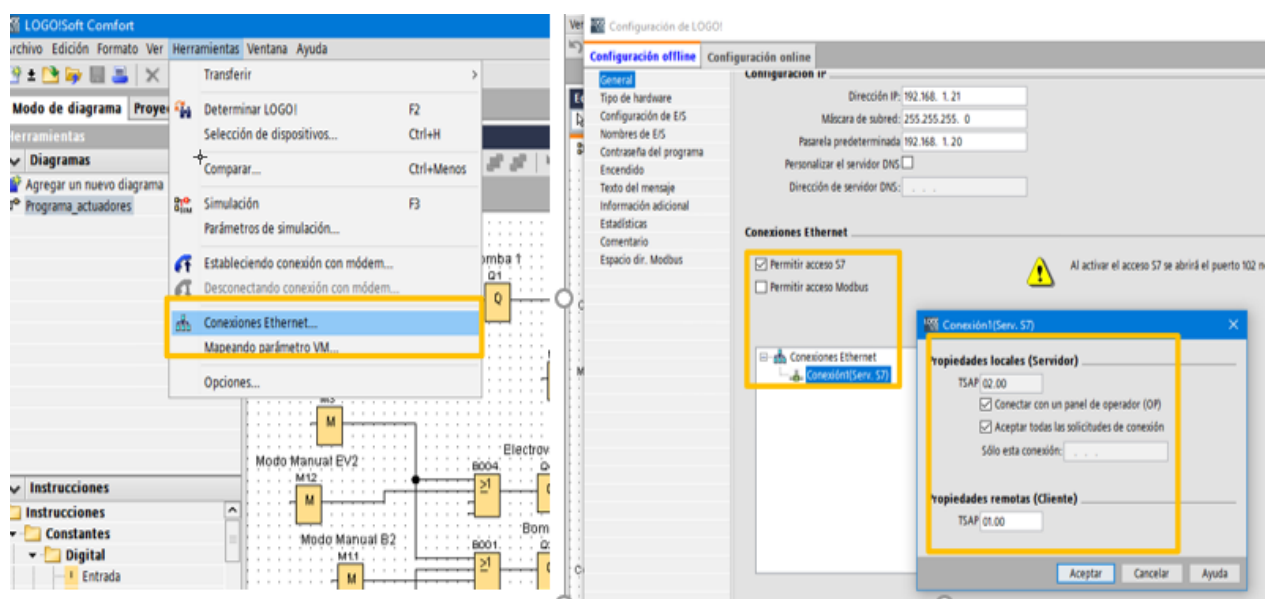


Figura 86. Activación del protocolo S7 en el software LOGO Soft Comfort.

Luego de realizar la activación del protocolo S7 en la herramienta de configuración del PLC

LOGO 8, se procede a crear en la herramienta Node-RED el enlace de comunicación ethernet para enlazar estos dos elementos, la respectiva configuración de este canal de comunicación se muestra en la Figura 87 en la cual se ingresa la dirección IP del PLC LOGO 8, además se ingresa el modo de comunicación en este caso TSAP el cuál se configura en los campos Local con un valor de 01.00 y Remote con un valor de 02.00 similar al de Figura 86. En la pestaña “Variables”, se ingresan las direcciones correspondientes a las marcas digitales que intervienen en el control de los actuadores del invernadero, las direcciones de dichas marcas digitales se muestran en la Tabla 36.

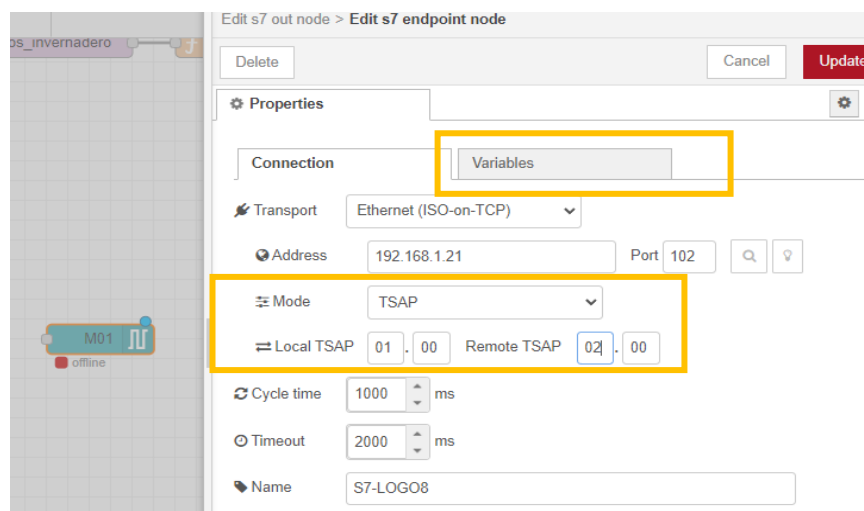


Figura 87. Configuración del canal de comunicación para enlazar la herramienta Node-RED con el PLC LOGO 8.

Tabla 36. Direcciones de las salidas y marcas digitales del PLC LOGO 8.

Dirección	Nombre	Dirección	Nombre
DB1,X1064.0	Q01	DB1,X1104.0	M01
DB1,X1064.0	Q02	DB1,X1104.7	M08
DB1,X1064.0	Q03	DB1,X1105.0	M09
DB1,X1064.0	Q04	DB1,X1105.7	M16
DB1,X1064.0	Q05	DB1,X1105.0	M17
DB1,X1064.0	Q06		
DB1,X1064.0	Q07		
DB1,X1064.0	Q08		

3.3.16 Desarrollo de la interfaz web en la herramienta LOGO Web Editor

El software LOGO Web Editor es la herramienta en la que se diseña el servidor web del PLC

LOGO 8, dentro de este servidor se podrá activar de manera manual cada uno de los respectivos actuadores, además se podrá visualizar cuando el o los actuadores eléctricos se encuentren activos, para este diseño se hizo uso de varios elementos los cuales se detallan a continuación:

Text

Es un componente ubicado en la sección de elementos Basic, cuya función en la interfaz es el ingreso de textos para detallar el título del tema de titulación y los actuadores utilizados en la propuesta.

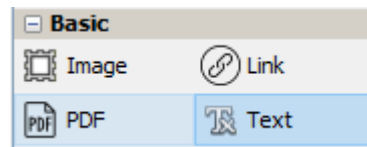


Figura 88. Componente Text en la herramienta Logo Web Editor.

El texto puede ser ingresado de dos formas diferentes, directamente desde el cuadro de texto o mediante sus propiedades en la opción de Text Value. Además, las propiedades tienen la opción de modificar el tipo de letra y tamaño según su uso.

Imagen

Imagen es un componente ubicado en la sección de elementos Basic, cuya función en la interfaz es la visualización del invernadero inteligente, los paneles solares y los respectivos logos de la Universidad Estatal Península de Santa Elena y la carrera de Electrónica y Automatización.

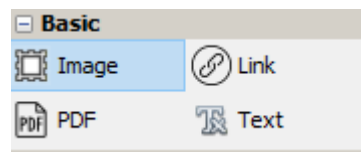


Figura 89. Componente Image.

El ingreso de la imagen se realiza en las propiedades del cuadro de imagen mediante la opción Image. La opción Image permitirá ingresar imágenes propias o las imágenes almacenadas en la aplicación LOGO Web Editor.

Switch Button

Es un botón interruptor ubicado en la sección de elementos Digital, cuyo propósito en la interfaz es la activación y desactivación de los Actuadores utilizados en el invernadero inteligente mediante asignación de Marcas y Salidas a cada Switch Button.

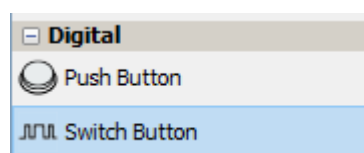


Figura 90. Selección del Switch Button en la herramienta Logo Web Editor.

La asignación de las Marcas o Salidas se realiza en las propiedades del Switch Button, opción Block Type en el que se selecciona el tipo de bloque a utilizar y en Block Number se asigna la respectiva dirección, a continuación, se muestra la descripción y estado de los componentes utilizados.

Tabla 37. Descripción de los componentes utilizados en la herramienta LOGO Web Editor.

Componente	Asignación	Actuador	Estado	
			ON	OFF
Switch Button	M1	Bomba 1	Activa Bomba 1	Desactiva Bomba 1
Switch Button	M2	Bomba 2	Activa Bomba 2	Desactiva Bomba 2
Switch Button	M3	Electroválvula 1	Activa Electroválvula 1	Desactiva Electroválvula 1
Switch Button	M4	Electroválvula 2	Activa Electroválvula 2	Desactiva Electroválvula 2
Switch Button	M5	Electroválvula 3	Activa Electroválvula 3	Desactiva Electroválvula 3
Switch Button	M6	Ventilador 1	Activa Ventilador 1	Desactiva Ventilador 1
Switch Button	M7	Ventilador 2	Activa Ventilador 2	Desactiva Ventilador 2
Switch Button	M9	Luz Led	Activa Luz Led	Desactiva Luz Led
Switch Button	Q1	Imagen Bomba 1	Activa Imagen Bomba 1	Activa Imagen LightSteelBlue
Switch Button	Q2	Imagen Bomba 2	Activa Imagen Bomba 2	Activa Imagen LightSteelBlue
Switch Button	Q3	Imagen Electroválvula 1	Activa Electroválvula 1	Activa Imagen LightSteelBlue
Switch Button	Q4	Imagen Electroválvula 2	Activa Imagen Electroválvula 2	Activa Imagen LightSteelBlue
Switch Button	Q5	Imagen Electroválvula 3	Activa Imagen Electroválvula 3	Activa Imagen LightSteelBlue
Switch Button	Q6	Imagen Ventilador 1	Activa Imagen Ventilador 1	Activa Imagen LightSteelBlue
Switch Button	Q7	Imagen Ventilador 2	Activa Imagen Ventilador 2	Activa Imagen LightSteelBlue
Switch Button	Q8	Imagen Luz Led	Activa Imagen Luz Led	Activa Imagen LightSteelBlue

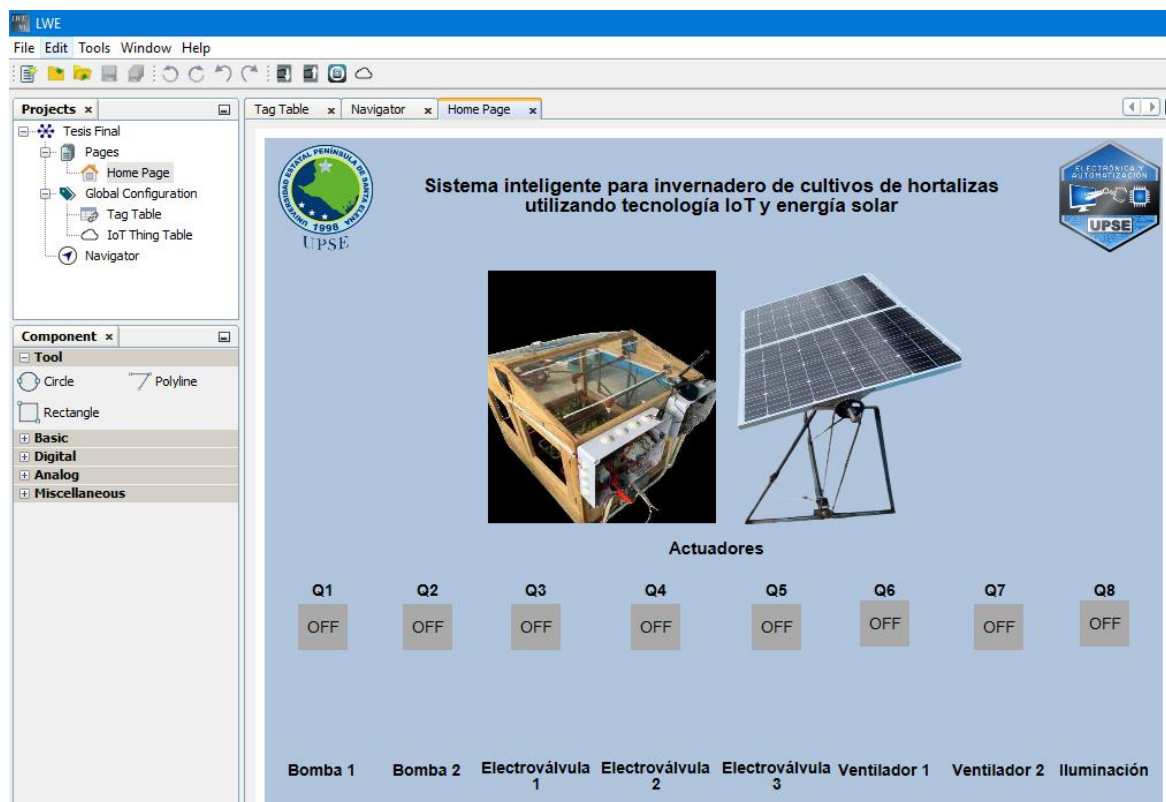


Figura 91. Diseño del servidor web realizado en la herramienta Logo Web Editor.

3.3.17 Diseño de un control para el sistema de seguimiento solar

En este apartado se describe el diseño del control del seguimiento solar seleccionado el cual es un seguidor con posición astronómica ya que este tipo de seguidor solar es independiente de las condiciones climáticas y además no requiere del uso de sensores de luminosidad ya que este tipo de seguidor únicamente depende de las ecuaciones solares, la latitud, longitud, fecha, la ecuación del tiempo y ángulo de elevación para de esta manera conocer la posición astronómica del sol en cualquier instante de tiempo y de esta manera orientar los paneles solares hacia la respectiva posición.

Para el desarrollo de este seguidor solar es necesario realizar el cálculo de los parámetros antes mencionados, con los cuales es posible estimar la posición del sol en cualquier instante de tiempo, a continuación, se detallan los respectivos cálculos de las ecuaciones solares.

En primer lugar, mediante la siguiente fórmula se calcula la declinación solar en grados decimales, en donde la variable d indica el día del año, tomando en consideración que el 1 de enero ($d=1$) y 31 de diciembre ($d=365$)

$$\delta = 23.45^\circ \times \sin\left(360 \frac{284 + d}{365}\right)$$

Efectuando el cálculo para $d=16$, se obtiene

$$\delta = 23.45^\circ \times \sin\left(360 \frac{284 + 16}{365}\right)$$

$$\delta = -21.09^\circ$$

Lo que da como resultado una declinación solar de -21.09° .

Consecutivamente se calcula el Tiempo Solar Verdadero (TSV), tomando en consideración que previamente se calcula la ecuación del tiempo, la longitud estándar y la longitud local, mediante las ecuaciones que se detallan a continuación:

$$E_t = 229.18(0.00075 + 0.001868 \cos \theta - 0.032077 \sin \theta - 0.014615 \cos 2\theta - 0.04089 \sin 2\theta)$$

Donde θ es igual a, donde corresponde al día del año

$$\theta = n \left(\frac{2\pi}{365} \right)$$

$$\theta = 16 \left(\frac{2\pi}{365} \right) = 0.2754^\circ$$

$$E_t = 229.18(0.00075 + 0.001868 \cos(0.2754) - 0.032077 \sin(0.2754) - 0.014615 \cos(2 \times 0.2754) - 0.04089 \sin(2 \times 0.2754))$$

$$E_t = 229.18(0.00075 - 0.01329) = -2.8739 \text{ min}$$

Al estar en el país Ecuador, el huso horario es de 75° al Oeste es decir será negativo, mientras que la longitud local de la instalación de esta propuesta se calcula a continuación, tomando como referencia las coordenadas de la longitud correspondiente a la ubicación de la propuesta $80^\circ 51' 26.646''$ O.

$$L_{local} = - \left(80^\circ + \frac{51}{60} \right) = -80.85^\circ$$

Calculando el tiempo solar verdadero mediante la siguiente ecuación, para el día 16 de enero a las 2 de la tarde:

$$TSV = (HO - \varepsilon) + \frac{E_t}{60} + \frac{L_{st} - L_{lc}}{15^\circ}$$

$$TSV = (14 - 0)h + \frac{-2.8739}{60}h + \frac{-75^\circ - (-80.85^\circ)}{15^\circ} = 14.342h$$

Como resultado se obtiene que el tiempo solar verdadero el día 16 de enero a las 2 de la tarde (HO) en Santa Elena es $TSV = 14h\ 20\ min$

El TSV calculado se utiliza para calcular el ángulo horario ω , este valor indicara el desplazamiento angular aparente del sol de Este a Oeste, dicho parámetro es de vital importancia ya que conociendo este valor en cualquier instante de tiempo es posible orientar los paneles solares a la posición resultante dada por las ecuaciones solares.

$$\omega = 15^\circ(12 - TSV)^\circ$$

$$\omega = 15^\circ(12 - 14.342)^\circ = -35.13^\circ$$

Con estos datos calculados anteriormente es posible calcular la elevación solar (β) y el azimut (α), mediante las siguientes ecuaciones, tomando en consideración la latitud de la ubicación correspondiente a la instalación solar $\varphi = 2.216^\circ$:

$$\sin \beta = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega$$

$$\sin \beta = \sin 2.216 \sin -21.09 + \cos 2.216 \cos -21.09 \cos -35.13$$

$$\sin \beta = -0.0139 + 0.76249$$

$$\beta = \sin^{-1}(-0.0139 + 0.76249) = 48.46^\circ$$

$$\cos \alpha = \frac{\sin \varphi \cos \delta \cos \omega - \cos \varphi \sin \delta}{\cos \beta}$$

$$\cos \alpha = \frac{\sin 2.216 \cos -21.09 \cos -35.13 - \cos 2.216 \sin -21.09}{\cos 48.46}$$

$$\cos \alpha = 0.5867$$

$$\alpha = 54.06^\circ$$

Los resultados obtenidos son únicamente válidos para las 14h del día 16 de enero, mediante la programación de las ecuaciones solares se determinará la posición astronómica del sol en cualquier instante de tiempo

La Figura 92 muestra el diagrama de bloques del seguidor solar en el cual conociendo la hora, fecha, latitud y longitud de la instalación solar es posible determinar el número de pulsos adecuados que se enviarán al controlador tb6650 para lograr que el motor a pasos gire y que los paneles solares se ubiquen en la posición astronómica actual del sol, esto de acuerdo con los resultados de las ecuaciones de tiempo solar verdadero, ecuación del tiempo elevación solar y el azimut, programadas en la tarjeta ESP32. La implementación de las ecuaciones solares y del algoritmo del seguidor solar en el lenguaje micropython y en la herramienta MATLAB son detalladas en el Anexo 7.

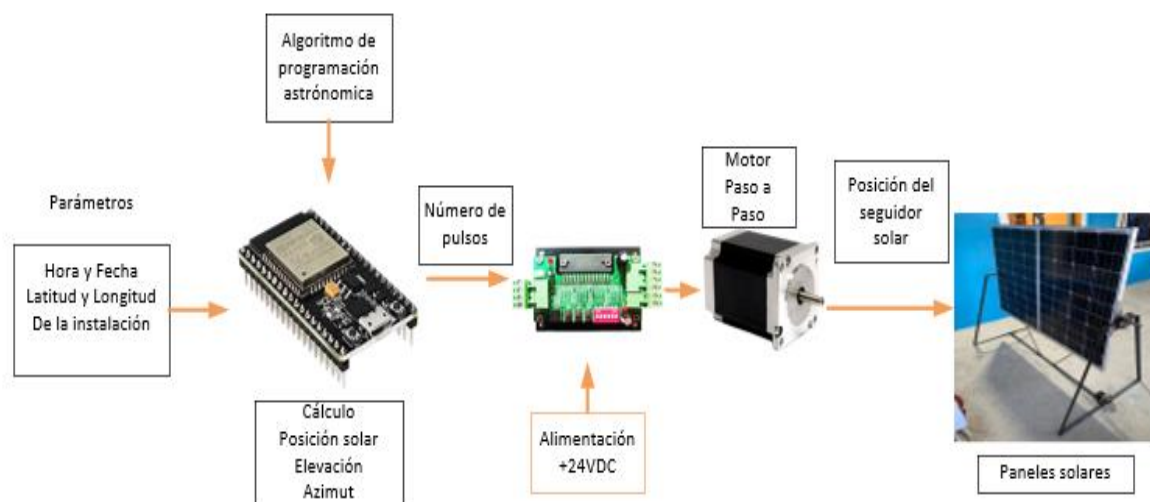


Figura 92. Diagrama de bloques del seguidor solar.

El diagrama de interconexión de la tarjeta ESP32 y el driver TB6560 con el motor a pasos se muestra en la Figura 93, en estas conexiones se utiliza los pines GPIO 15,2 y 0 de la tarjeta ESP32 para los pines STEP, DIR y EN, los cuales proporcionarán los pulsos necesarios, el sentido de giro y la funcionalidad de habilitar o deshabilitar el tb6560. Adicionalmente el driver tb6560 se configura para que suministre una corriente nominal de 3A ya que el motor a pasos seleccionado posee una corriente nominal de 2.9A, el suministro de este amperaje se habilita mediante los switches 1,2,3 del driver del motor a pasos.

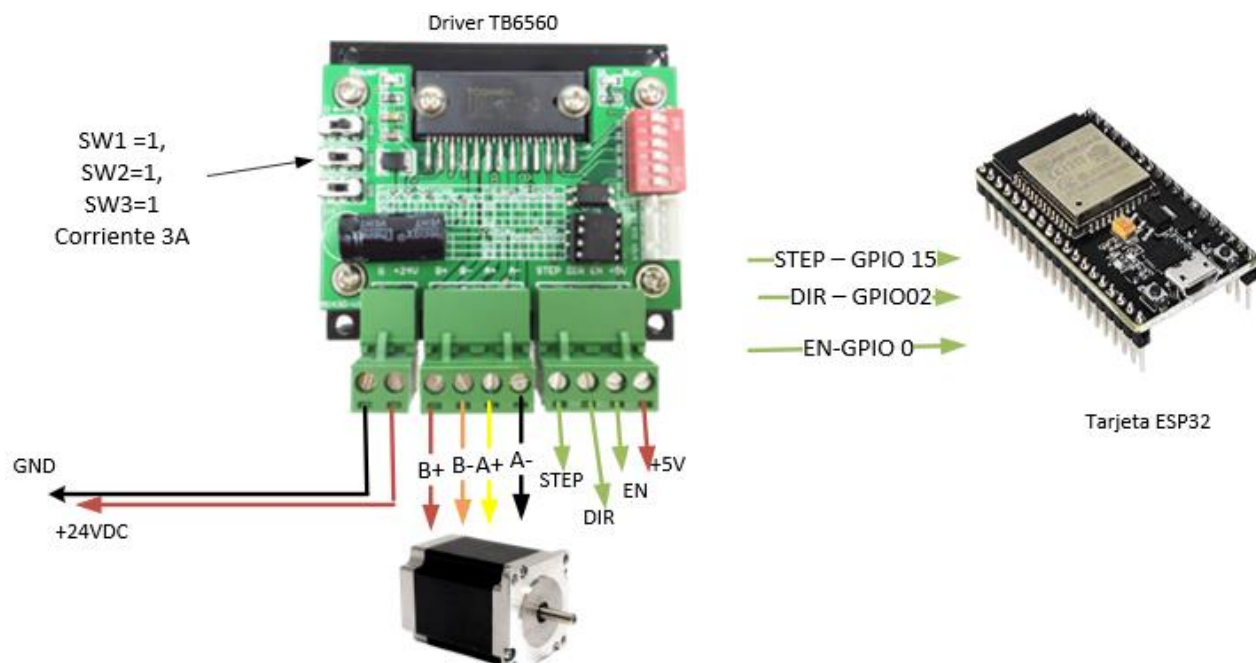


Figura 93. Diagrama de conexiones Motor Paso a Paso, Driver TB6650 y ESP32.

3.4 COSTO DE LA PROPUESTA

La implementación de un prototipo invernadero inteligente con un sistema de energía fotovoltaica lleva consigo el uso de varios componentes, eléctricos, electrónicos y mecánicos, los cuales son utilizados en el sistema IoT, adquisición de lecturas de sensores, control de actuadores eléctricos y generación de energía fotovoltaica, en las siguientes Tablas se visualiza de manera detallada la cantidad y valores de cada uno de estos materiales utilizados:

Tabla 38. Costo Solución IoT y sistema fotovoltaico.

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Tarjeta ESP32 WROOM 32	1	\$12	\$12
Tarjeta Raspberry Pi 4	1	\$150	\$150
Case y ventilador Raspberry Pi 4	1	\$8	\$8
Módulo lógico PLC LOGO 8	1	\$163	\$163
Módulo de expansión DM8 12/24R	1	\$85	\$85
Router Nyx 300	1	\$22	\$22
Panel solar PMS120	2	\$85	\$170
Regulador de Carga PWM 20A	1	\$30	\$30

Batería 12VDC/55Ah	1	\$180	\$180
Tarjeta de memoria microSD 16GB	1	\$10	\$10
Tarjeta de memoria microSD 32GB	1	\$20	\$20
Costo solución IoT y sistema fotovoltaico (C1)			\$850

Tabla 39. Costo Sensores.

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Sensor de iluminación BH1750	1	\$3.00	\$3.00
Sensor de nivel de CO2 MG-811	1	\$75.00	\$75.00
Sensor de temperatura sonda LM35	1	\$5.85	\$5.85
Sensor SHT3x (temperatura y humedad relativa)	1	\$11.75	\$11.75
Sensor de humedad de suelo HD-38	3	\$10.00	\$30.00
Sensor de Voltaje FZ0430	1	\$7.00	\$7.00
Sensor de Corriente ACS712-20A	1	\$3.27	\$3.27
Transductor de medición de distancia AJ-SR04M	1	\$20.00	\$20.00
Display voltímetro amperímetro 100V/10A	1	\$9.00	\$9.00
Costo Sensores (C2)			\$164.87

Tabla 40. Costo de los actuadores eléctricos.

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Bombas de agua DP-521	2	\$14.00	\$28.00
Válvulas de solenoide	3	\$12.00	\$36.00
Ventilador VN6A-012P	2	\$9.00	\$18.00
Tira de Iluminación LED (5 metros)	1	\$23.00	\$23.00

Motor a pasos 20kg*cm	1	\$34.00	\$34.00
Controlador de motor a pasos Toshiba TB6560	1	\$20.00	\$20.00
Costo de los actuadores eléctricos (C3)			\$159.00

Tabla 41. Costo de materiales eléctricos.

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Tablero eléctrico 300x250x120mm	1	\$21.00	\$21.00
Tablero eléctrico 400x350x120 mm	1	\$30.00	\$30.00
Breaker 1Px2A	1	\$2.90	\$2.90
Breaker 1Px6A	1	\$2.90	\$2.90
Breaker 2Px20A	1	\$6.50	\$6.50
Breaker 2Px16A	1	\$11.75	\$11.75
Breaker 1Px16A	1	\$6.00	\$6.00
Breaker 1Px10A	1	\$5.50	\$5.50
Conductor calibre 22AWG	80m	\$0.25	\$20
Conductor calibre 14AWG	2	\$0.60	\$1.20
Conductor calibre 12AWG	16m	\$0.70	\$11.20
Borneras de conexión	7	\$1.00	\$1.00
Pinza amperimétrica	1	\$65.00	\$65.00
Riel din	1	\$1.00	\$1.00
Funda de terminales de conexión calibre 22AWG	1	\$3.00	\$3.00
Terminales de conexión calibre 12AWG -14AWG	15	\$0.10	\$1.50
Placa de conexión con borneras para la tarjeta ESP32	1	\$10.00	\$10.00
Cargador de alimentación Tipo C 5V/3A	1	\$10.00	\$10.00

Cable USB Tipo micro C	1	\$3.00	3.00
40 cables Dupont Macho-Hembra	40u	\$3.00	\$3.00
Conectores tipo caimán 40A	2	\$0.87	\$1.74
Enchufe eléctrico	1	\$1.50	\$1.50
Costo de los materiales eléctricos (C4)			\$219.44

Tabla 42. Costo de estructura y construcción del prototipo invernadero.

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Estructura de madera prototipo invernadero	1	\$150	\$150
Estructura paneles solares	1	\$90	\$90
Plancha de acrílico 2mm de grosor	2	\$42	\$84
Macetas	3	\$4.19	\$12.57
Semillas de la hortaliza rábano	1	\$2.00	\$2.00
Tierra de sembrado	6	\$2.00	\$12.00
Tubería de agua	6m	\$6.70	\$6.70
Codos de tubería de agua ½"	8	\$0.30	\$0.30
Unión de tubería de agua ½"	4	\$0.50	\$2.00
T de tubería de agua ½"	1	\$0.75	\$0.75
Adaptadores de tubería roscables a pagables	2	\$0.35	\$0.70
Tubo conduit para cables eléctricos	2	\$1.20	\$2.40
Nebulizador metálico 6mm ¼"	3	\$3.54	\$10.62
Acople 6mm pushoff ½" RH	3	\$2.95	\$8.85
Adaptador Flex 12 x ½" Macho	2	\$0.60	\$1.20
Canaleta 10x15mm	2	\$0.85	\$1.70

Super Bonder	2	\$2.50	\$5.00
Costo de estructuras y construcción del prototipo invernadero (C5)			\$390.79

Tabla 43. Costo Final de la Propuesta.

Descripción	Costo
C1	\$850.00
C2	\$164.87
C3	\$159.00
C4	\$219.44
C5	\$390.75
Costo envío de elementos	\$50.00
Costo Total	\$1834.06

CAPITULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se detallan las pruebas y resultados obtenidos durante el proceso de elaboración del prototipo invernadero y el sistema de suministro de energía a través de los módulos fotovoltaicos, además de las lecturas y monitoreo de cada uno de los sensores a través de la plataforma ThingSpeak durante el ciclo de crecimiento de la hortaliza rábano sembrada dentro del invernadero.

4.1 PROTOTIPO INVERNADERO INTELIGENTE

Se muestra en la siguiente Figura la ubicación de las 2 bombas eléctricas de 3.5 litros/min de capacidad, las cuales se instalaron detrás de la estructura del invernadero con la finalidad de facilitar el transporte del suministro de agua mediante tuberías hacia cada una de las macetas que contienen el cultivo de la hortaliza rábano. En la parte interna de la estructura del invernadero se instalaron cada uno de los sensores de los sensores eléctricos, estos fueron ubicados en puntos específicos dentro del invernadero para monitorear las respectivas variables de humedad del ambiente y del suelo, temperatura, CO₂, y a su vez protegerlos de la exposición al agua cuando se realice el respectivo riego (Ver Figura 94). Internamente en el invernadero se situaron en la parte superior los ventiladores, las electroválvulas y el sistema de iluminación LED, considerando que esta ubicación es óptima para controlar la iluminación, la humedad y temperatura del ambiente.



Figura 94. Actuadores eléctricos instalados en la estructura del prototipo invernadero.

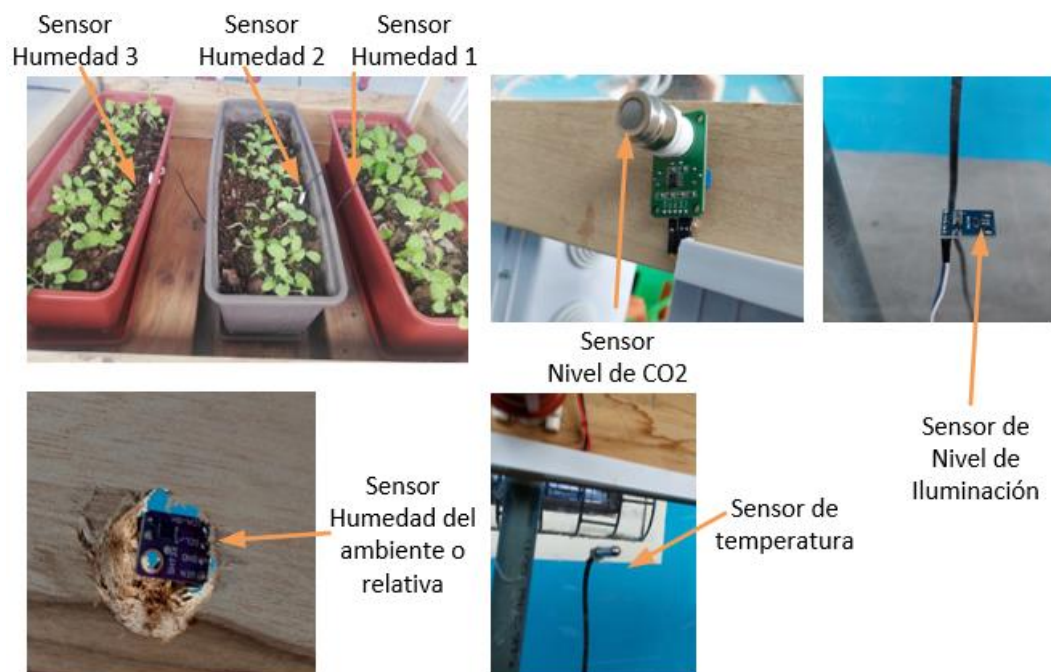


Figura 95. Sensores instalados en la parte interna del prototipo invernadero.

El factor que determina que el prototipo invernadero sea inteligente son cada uno de los componentes utilizados los cuales tienen la capacidad de conectarse a internet vía inalámbrica o cableada a través de ethernet para de esta forma enviar datos o recibir datos, se visualiza en la Figura 96 el tablero de comunicaciones implementado en la propuesta en el cual se observa los componentes utilizados.

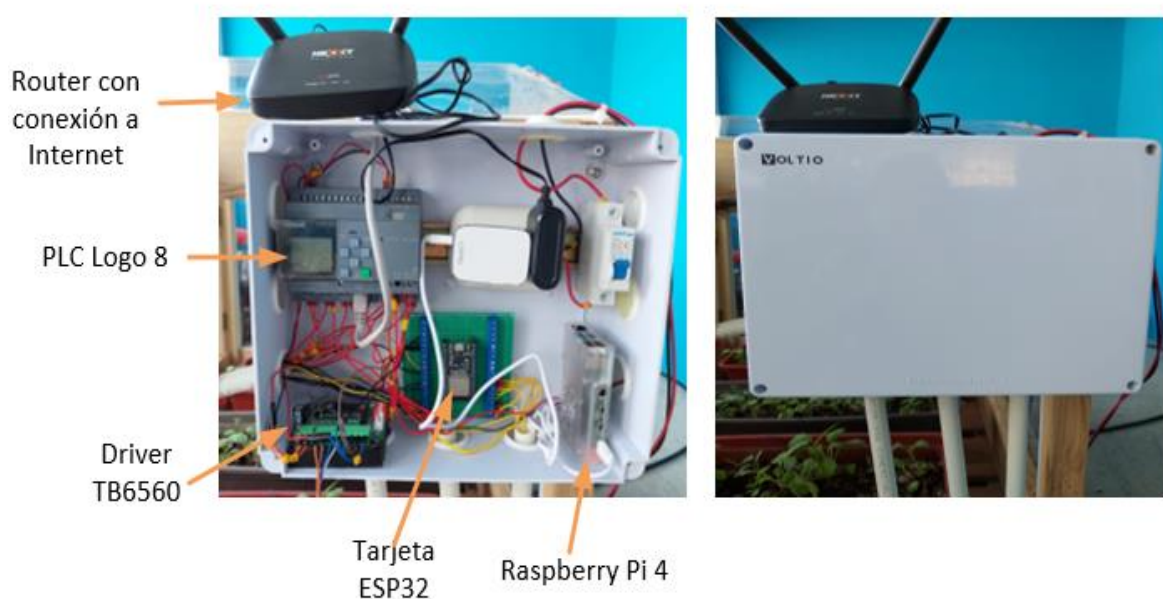


Figura 96. Tablero de comunicaciones correspondiente a los elementos de la solución IoT.

4.2 SUMINSTRO DE ENERGÍA ELECTRICA MEDIANTE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA

Esta prueba se la lleva a cabo activando cada uno de los actuadores eléctricos, para de esta forma visualizar la capacidad de potencia extraída del módulo fotovoltaico con la finalidad de comprobar que el módulo fotovoltaico es capaz de energizar la carga para la cual fue dimensionada, en primer lugar se activó las salidas digitales Q6 y Q7 del PLC LOGO 8 las cuales corresponden al sistema de ventilación del invernadero, con lo cual se obtuvo las siguientes lecturas en el amperímetro y multímetro respectivamente.

En la siguiente Figura se muestra que la corriente que se extrae de los paneles solares es de 2.80A, mientras que el consumo de carga por parte del PLC LOGO 8, sensores y ventilador 1 y 2 es de 1.09A, adicionalmente se observa que 1.64A ingresan a la batería esto se afirma ya que el sentido de la corriente se encuentra con signo negativo es decir dicha corriente está ingresando a la batería con lo cual se encuentra en estado de carga, realizando los cálculos por leyes de Kirchhoff la corriente que ingresa al sistema(I paneles) es igual a la suma algebraica de las corrientes que salen en este caso la intensidad de la batería y la corriente de consumo de carga.

$$I_{\text{paneles}} = I_{\text{batería}} + I_{\text{carga}}$$
$$2.80A - 1.64A = 1.16A$$

Con esto se obtiene como resultado que del módulo fotovoltaico se extrae una potencia de 37.152W (2.88Ax12.9V) para alimentar a la carga ante mencionada y a su vez cargar la batería.



Figura 97. Corriente en el módulo fotovoltaico, batería y carga.



Figura 98. Visualización en el display del PLC Logo 8, Q6 y Q7 activadas.

En este caso la prueba efectuada fue realizada al momento que el sistema de iluminación y el sistema de ventilación se encontraban activos, por consiguiente se obtuvo como resultado un aumento en la carga la cual es de 2.09A en comparación con la anterior prueba la cual fue de 1.09A, al presentarse este caso la corriente extraída de los paneles resulto en un valor de 3.19A, esto conlleva a un aumento de la potencia, la siguiente Figura se muestra la corriente extraída desde el módulo fotovoltaico la cuál es de 3.19A con un voltaje medido de 12.44V resultando esto una potencia de 39.68W, mientras que la corriente de carga de la batería obtenida para este caso fue de 0.91A.



Corriente que se extrae del módulo fotovoltaico



Corriente de carga de la batería



Corriente de consumo de carga Ventilador 1 y 2, sistema de iluminación sensores

Figura 99. Corriente que se extrae del módulo fotovoltaico, corriente de carga de la batería y de consumo de la carga de 12VDC.

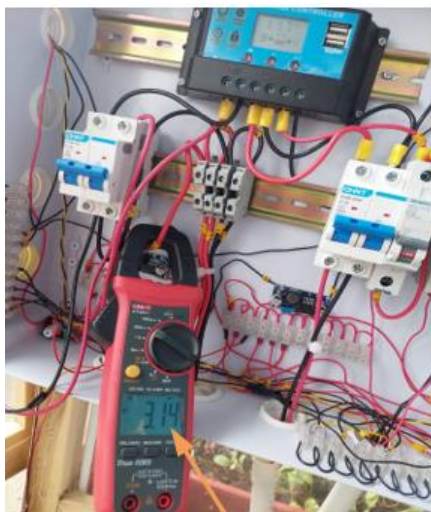
La siguiente Figura muestra la activación de las salidas digitales Q6, Q7, y Q8 las cuales indicaron que el sistema de ventilación e iluminación se encuentran activados.



Figura 100. Visualización en el display del LOGO 8, Q6, Q7 y Q8 activadas.

La siguiente prueba ejecutada consistió en colocar a plena carga la instalación fotovoltaica, es decir se activó cada una de las salidas digitales para que de esta forma se encienda el sistema de bombeo, electroválvulas, iluminación y ventilación respectivamente, de igual forma el sistema IoT conformado por los sensores, PLC LOGO 8 y tarjeta ESP32 los cuales se mantienen energizados las 24 horas del día, al ejecutar esta prueba se obtuvo la lectura de corriente que consumía el sistema la cual fue de 7.10 A (Ver Figura 101), este valor se aproxima al valor teórico calculado en el apartado 3.3.2 el cuál sumando las corrientes nominales de todos los elementos de la propuesta da como resultado un valor de corriente nominal teórica de 7.75 A. Esta prueba fue ejecutada en condiciones desfavorables para la generación de energía solar es decir en un día con nubosidad y presencia de lluvia, no obstante, se muestra en la Figura 101 que del módulo fotovoltaico se extrae una corriente de 3.14 A mientras que el amperaje restante para abastecer la demanda de carga de 7.10 A correspondiente a los elementos del invernadero se extrae de la batería, dicha corriente fue de 3.97 A.

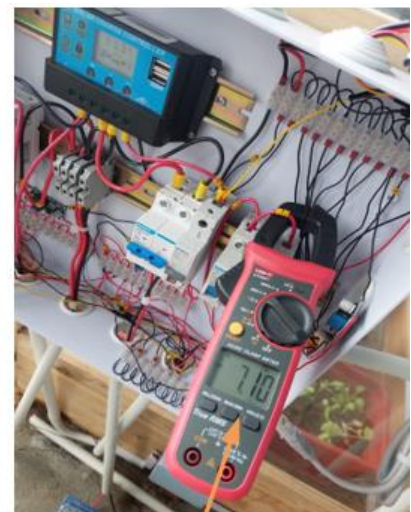
Adicionalmente la Figura 102 muestra el monitoreo del estado de cada una de las salidas digitales mediante un Test Online en la herramienta de configuración del PLC LOGO 8, en el que se muestra que las salidas Q1 hasta Q8 se encuentran activadas.



Corriente extraída del
módulo fotovoltaico



Corriente extraída de la
batería



Corriente de consumo a
plena carga

Figura 101. Valores de corrientes del sistema obtenido a plena carga.

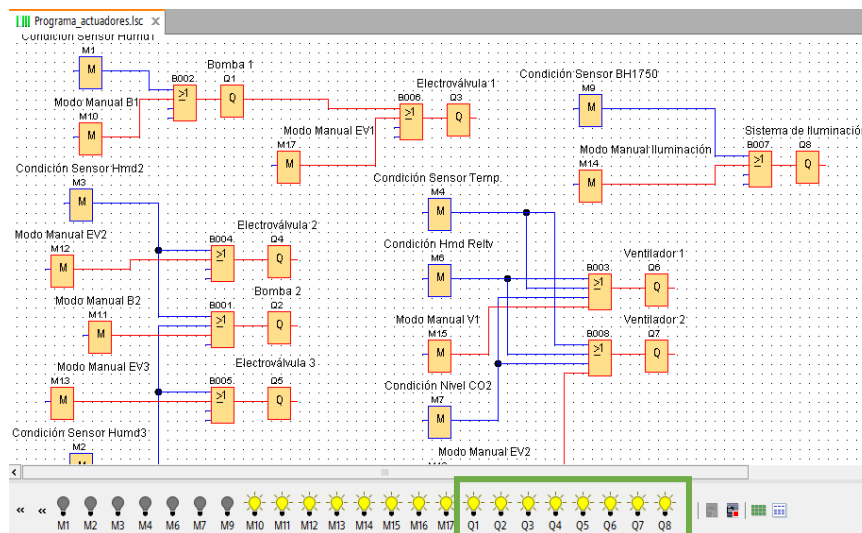


Figura 102. Visualización de actuadores encendidos mediante el software Logo Soft Comfort.

A continuación, se muestra la prueba efectuada en condiciones favorables de irradiación solar durante un día soleado tal como se muestra en la Figura 103, en estas condiciones se procedió a realizar la activación del sistema a plena carga con la finalidad de visualizar la corriente que se extrae del módulo fotovoltaico, en este caso en la Figura 104 se observa una corriente de 5.57 A la cual es la corriente de consumo de la carga al encontrarse activo la bomba 2, el sistema de ventilación, sistema de iluminación, sensores, PLC LOGO 8 y ESP32.

Por otra parte, se muestra que del módulo fotovoltaico se extrae aproximadamente 6.16 A con lo cual el amperaje excedente es inyectado a la batería del sistema para que de esta forma proceda a cargarse.

En la Tabla 44 se muestran las corrientes extraídas del módulo fotovoltaica en condiciones favorables y desfavorables de irradiancia solar, en esta Tabla se muestra que al existir condiciones desfavorables de irradiación solar, la potencia suministrada por el módulo es mínima entre 35W y 39W, con lo cual si el sistema trabaja a plena carga, es decir todos los actuadores encendidos al mismo tiempo el módulo fotovoltaico no será capaz de abastecer la demanda de carga, con lo cual se extraerá corriente desde la batería para de esta forma abastecer la demanda. Al momento de que las condiciones de irradiancia mejoran se puede visualizar en la Tabla 44 que la potencia extraída del módulo fotovoltaica aumenta considerablemente, logrando así abastecer la demanda requerida por los actuadores del invernadero, se observa demás que el excedente de corriente es almacenado en la respectiva batería.

Tabla 44. Corrientes del sistema fotovoltaico.

Condiciones desfavorables de irradiancia			
Corriente extraída de los paneles solares	Voltaje y Potencia extraída de los paneles solares	Corriente de la batería - ingresa + se extrae	Corriente de la carga
2.80 A	35.392 W	-1.64A	1.16A
3.19 A	39.6836 W	-0.91A	2.09
3.14A	39.03 W	3.97A	7.10 A
Condiciones favorables de irradiancia			
4.49 A	16.44V 73.81W	-0.66 A	3.44 A
5.02 A	16.56V 83.13 W	-0.74 A	4.07A
6.90 A	13.09V 80.63 W	-0.53 A	5.51A



Figura 103. Módulo fotovoltaico expuesto a condiciones ambientales favorables de irradiación solar.



Corriente extraída del módulo fotovoltaico



Corriente que se almacena en la batería



Corriente de consumo a plena carga

Figura 104. Lecturas de amperaje en condiciones favorable de irradiación solar.

4.3 CONTROL SEGUIDOR SOLAR

Esta prueba se la lleva a cabo mediante el módulo fotovoltaico y el mecanismo de seguimiento solar el cual es accionado por un motor paso a paso de 20kg*cm y un sistema mecánico de rotación adaptado al eje donde se encuentran ubicados los paneles solares, de acuerdo con la posición del sol resultante del algoritmo de posición astronómica del sol, este envía el número de pulsos necesarios al motor paso a paso para desplazar los paneles solares a la posición del sol. A continuación, en la Figura 105 se muestra la trayectoria del sol el día 24 de febrero del 2023 en la provincia de Santa Elena, en esta gráfica se observa que la máxima elevación del

sol se obtiene al medio día el cual fue de 77.48° , para este algoritmo de posición astronómica del sol mediante las ecuaciones solares se ingresó los parámetros de fecha, hora, latitud y longitud de la instalación solar. A modo de comparación se consulta con herramientas online (Ver Figura 106) en la que se visualiza que la elevación del sol al medio día es de 78.21° , este valor es cercano al obtenido del algoritmo de seguimiento solar implementado.

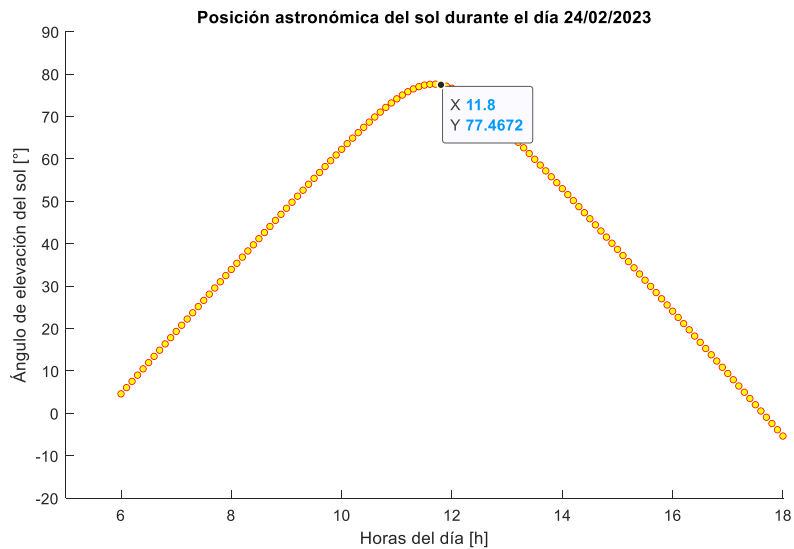


Figura 105. Trayectoria del sol resultante del algoritmo de posición astronómica implementado mediante las ecuaciones solares.

sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es

Fecha:	24/02/2023 GMT-5	
coordinar:	-2.299559, -81.1903655	
ubicación:	Santa Elena, 240103, Ecuador	
hora	Elevación	Azimut
06:33:04	-0.833°	99.5°
7:00:00	5.8°	99.27°
8:00:00	20.6°	99.22°
9:00:00	35.38°	99.93°
10:00:00	50.11°	101.94°
11:00:00	64.64°	107.25°
12:00:00	78.21°	127.24°
13:00:00	81.07°	217.58°
14:00:00	68.43°	250.1°
15:00:00	54.01°	257.25°
16:00:00	39.31°	259.84°
17:00:00	24.53°	260.83°
18:00:00	9.73°	260.97°
18:42:49	-0.833°	260.69°

Figura 106. Valores de Elevación y Azimut tomados de la herramienta online sunearthtools. Con respecto al algoritmo de posición astronómica del sol implementado en la tarjeta ESP32 se obtuvo los grados de orientación a los cuales debería orientarse el módulo fotovoltaico para de esta manera captar la mayor radiación solar, en la siguiente Tabla 45 se muestra el horario y los grados resultados del algoritmo de programación astronómica:

Tabla 45. Ángulos resultantes provenientes del algoritmo de programación astronómica.

Horario	° resultantes del algoritmo de seguimiento astronómico implementado
6:00	84.882°
7:00	69.8882°
8:00	54.88°
9:00	39.8883°
10:00	24.8883°
11:00	9.88°
12:00	-5.11°
13:00	-20.1117°
14:00	-35.1117°
15:00	-50.11°
16:00	-65.11°
17:00	-80.11°
18:00	-95.11°

De acuerdo con la tabla 45, se visualiza que a medida que transcurre el tiempo la posición astronómica del sol se mueve a razón de 14.9938° , aproximando este valor nos da como resultado un valor de $15^\circ/h$, además se visualiza que desde que sale el sol hasta que se oculta se obtiene un movimiento desde 84.882° hasta -95.11° es decir el motor paso a paso girará desde 0 hasta 180° , realizando la analogía que el motor paso a paso realiza una vuelta completa en 200 pasos por lo cual, esto daría como resultado 360° , en este caso como únicamente se requiere hasta 180° , se limita los pasos del motor a un valor de 100. Realizando el ultimo calculo obtenemos que el motor a pasos girará 1.8° (1 paso) aproximadamente cada 6.92 minutos, por lo que la tarjeta ESP32 envía al driver del motor a pasos una señal de activación cada 6.92 minutos. A continuación, en la Figura 10, se muestran los resultados obtenidos, con respecto al número de pasos enviados al driver tb6660

```

74 print("Hora:",HO)
75 pasos=((100/12)*HO)-((100/12)*6))
76 print("Número de pasos enviados al motor a pasos:",pasos)
77 #####ENVIO DE PASOS AL MOTOR#####
78 if((HO>6)and(HO<19)):
79     #EN.value(0) # Habilitar el controlador TB6550
80     DIR.value(1) #Sentido de giro en contra de las manecillas de reloj
81     for x in range(pasos):
82         STEP.value(1)
83         time.sleep(pausa)
84         STEP.value(0) |
85         time.sleep(pausa)
86     noche=0
87 #####
88 ##Colocar los paneles solares en la posición de origen
89 if((HO>=19)and(HO<=6)):
90     DIR.value(0) #Invertir Sentido de Giro
91     for x in range(100):
92         STEP.value(1)
93         time.sleep(pausa)
94         STEP.value(0)
95         time.sleep(pausa)
96     noche=1

```

Shell x

```

27 / 2 / 2023
Posición Astronómica del Sol: -80.1097 °
Hora: 17
Número de pasos enviados al motor a pasos: 91.6666

```

Figura 107. Número de pulsos resultantes del algoritmo de posición astronómica del sol aplicados al motor a pasos, a las 17:00.

En la siguiente Figura se muestra el funcionamiento del control de la posición astronómica del sol, en la cual, se muestra las diferentes ubicaciones del módulo fotovoltaico a partir de las 6:00 am hasta aproximadamente las 17:00 en la cual, el módulo fotovoltaico se orienta a 160°, además se resalta que los paneles solares se orientan satisfactoriamente de acuerdo con la posición del sol durante el día.



Figura 108. Seguidor solar en funcionamiento durante un día.

En la Tabla 46, se muestran los valores de corriente, voltaje y potencia extraída del módulo

fotovoltaico instalado en la estructura de seguidor solar, en esta Tabla se visualiza que durante el intervalo de tiempo de 7.30 a 10.30 la potencia extraída del módulo se situó entre 20 y 35W, durante este intervalo de tiempo se encontraban encendidos el sistema de adquisición de datos conformado por los sensores, PLC LOGO 8 y tarjeta ESP32 además del sistema de ventilación, se muestra que durante este intervalo de tiempo los paneles solares generan la potencia necesaria para el funcionamiento de los elementos antes mencionados, incluso el excedente de corriente se inyecta a la batería para la respectiva carga, se resalta que durante este intervalo de tiempo las condiciones ambientales de irradiación solar fueron mínimas debido a nubosidad presente en el ambiente, durante el intervalo de tiempo de 11:00 a 16:00 las condiciones de irradiancia solar fueron favorables, durante este tiempo se realizó pruebas conectando la carga antes mencionada pero esta vez adicionando el consumo por parte de las electroválvulas, durante esta prueba se visualizó que en condiciones óptimas de irradiación solar el módulo fotovoltaico es capaz de suministrar la potencia necesaria para abastecer la respectiva carga eléctrica, se muestra además que durante este intervalo de tiempo la corriente de carga que ingresó a las baterías se situó entre 0.28 y 0.68A . Durante el ocaso del día la irradiancia solar se vuelve nula por lo que, en este caso al estar encendido el sistema de ventilación y sistema de adquisición de datos, la generación de energía proveniente de los paneles solares no abastece la demanda del prototipo por lo que se observa que durante las 17:00 en adelante se empieza a extraer energía desde la batería para de esta forma abastecer la demanda de la carga conectada, a partir de las 18:45 se enciende el sistema de iluminación por lo que el consumo de amperaje se situó en 1.21 A, dicho amperaje se extrajo netamente del sistema de batería de la instalación fotovoltaica.

Tabla 46. Generación de Energía fotovoltaica el día 24/02/2023, implementando un mecanismo de seguidor solar.

Hora	Voltaje Paneles [V]	Corriente [A]	Potencia Extraída del módulo fotovoltaico[W]	Corriente de la batería [A] - ingresa +se extrae	Observación
7:30	12,96	1,59	20,6064	-1,43	S1 Encendido
8:00	15,84	1,27	20,1168	-0,99	S1 Encendido
8:30	15,29	1,12	17,1248	-0,89	S1 Encendido
9:00	16,04	2	32,08	-0,78	S1 y S2 Encendidos
9:30	14,77	1,68	24,8136	-0,54	S1 y S2 Encendidos
9:45	17,47	1,83	31,9701	-0,66	S1 y S2 Encendidos
10:00	18,8	1,91	35,908	-0,64	S1 y S2 Encendidos
10:30	18,1	1,89	34,209	-0,57	S1 y S2 Encendidos
11:00	20,1	1,77	35,577	-0,46	S1 y S2 Encendidos
11:30	18,6	3,24	60,264	-2,68	S1, S2, S3.1, S3.2, S3.3 Encendidos
12:00	17,52	3,05	53,436	-2,47	S1, S2, S3.1, S3.2, S3.3 Encendidos
12:30	18,3	3,18	58,194	-2,4	S1, S2, S3.1, S3.2, S3.3 Encendidos
13:00	19,1	3,14	59,974	-0,38	S1, S2, S3.1, S3.2, S3.3 Encendidos
14:00	14,92	3,46	51,6232	-0,67	S1, S2, S3.1, S3.2, S3.3 Encendidos
15:00	18,1	3,12	56,472	-0,28	S1, S2, S3.1, S3.2, S3.3 Encendidos
15:30	13	2,88	37,44		S1, S2, S3.1, S3.2, S3.3 Encendidos
16:00	12,58	0,95	11,951	0,26	S1 y S2 Encendidos
17:00	12,67	1,03	13,0501	0,22	S1 y S2 Encendidos
17:30	12,65	0,63	7,9695	0,19	S1 y S2 Encendidos
18:00	12,746	0,3	3,8238	-0,02	S1 Encendido
18:30	12,61	0,14	1,7654	0,14	S1 Encendido
18:45	8,9	0,01	0,089	1,21	S1 y S6 Encendidos
S1	Sensores, PLC LOGO 8, ESP32				
S2	Sistema de Ventilación				
S3	S3.1 Electroválvula 1	S3.2 Electroválvula 2		S3.3 Electroválvula 3	
S4	S4.1 Bomba 1	S4.2 Bomba 2			
S6	Sistema de Iluminación				

La Figura 109 muestra el funcionamiento del regulador de carga PWM instalado en el tablero eléctrico de la propuesta en el cual, se visualizó que mientras existía radiación solar durante el día el regulador mostraba en su display un indicando de esta manera la presencia de paneles fotovoltaicos conectados en el sistema y por ende, generación de energía solar, mientras que, por el horario nocturno cercano a las 19:00 se visualizó que el indicador de paneles solares se encontraba apagado por ende únicamente el sistema se encontraba en funcionamiento con la batería de 55Ah.

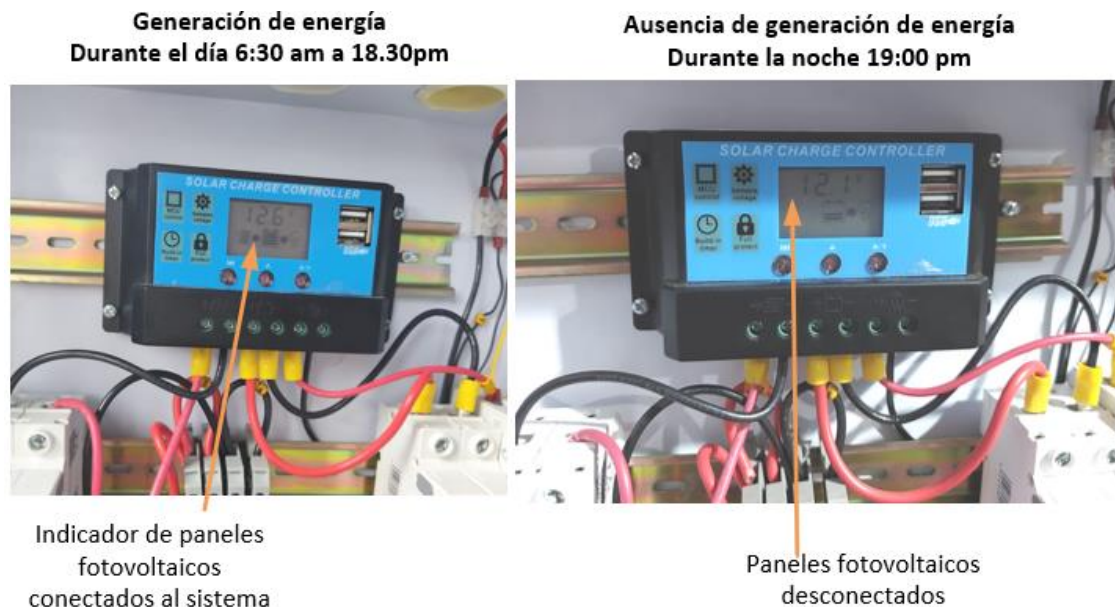


Figura 109. Regulador de carga PWM en funcionamiento.

En las siguientes Figuras se muestra la comparativa entre un sistema de generación de energía solar implementando un control de seguidor solar y uno sin este mecanismo, en la cual se visualiza que el mecanismo de seguidor solar incrementa la potencia generada a medida que los paneles solares se orientan a la posición astronómica del sol, en el intervalo de tiempo de 11:00 a 15:30 se muestra una generación constante de potencia debido a que existía una demanda constante de potencia en el prototipo durante este intervalo de tiempo aprovechando así la máxima generación por parte del módulo fotovoltaico, mientras que a partir de las 15:30 por las condiciones de irradiación solar, la respectiva generación de potencia decremента alcanzar un valor de 0W cercano a las 19:00. Para un sistema de energía solar sin seguidor solar (Ver Figura 112) se visualiza que la generación de potencia generada aumenta de igual forma conforme incrementan las horas del día, teniendo su máxima generación de potencia al medio día, luego de esto se muestra que la potencia decrece debido a que los paneles solares no reciben radiación solar directa debido al posicionamiento astronómico del sol. Al realizar la comparativa se muestra que, al tener un control sobre la orientación de los paneles solares con

respecto al posicionamiento astronómico del sol, se logra aprovechar la mayor cantidad de generación de potencia debido a que constantemente el módulo fotovoltaico recibe radiación solar, en este caso con un mecanismo de control de seguimiento solar la generación de potencia se duplica con respecto a una generación solar con posicionamiento fijo del módulo fotovoltaico.

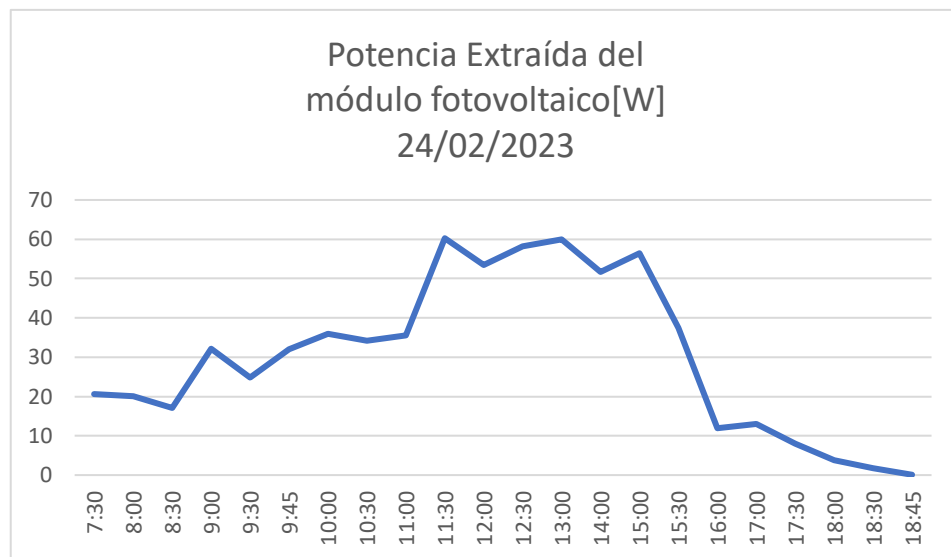


Figura 110. Potencia extraída del módulo fotovoltaico al implementar un seguidor solar.

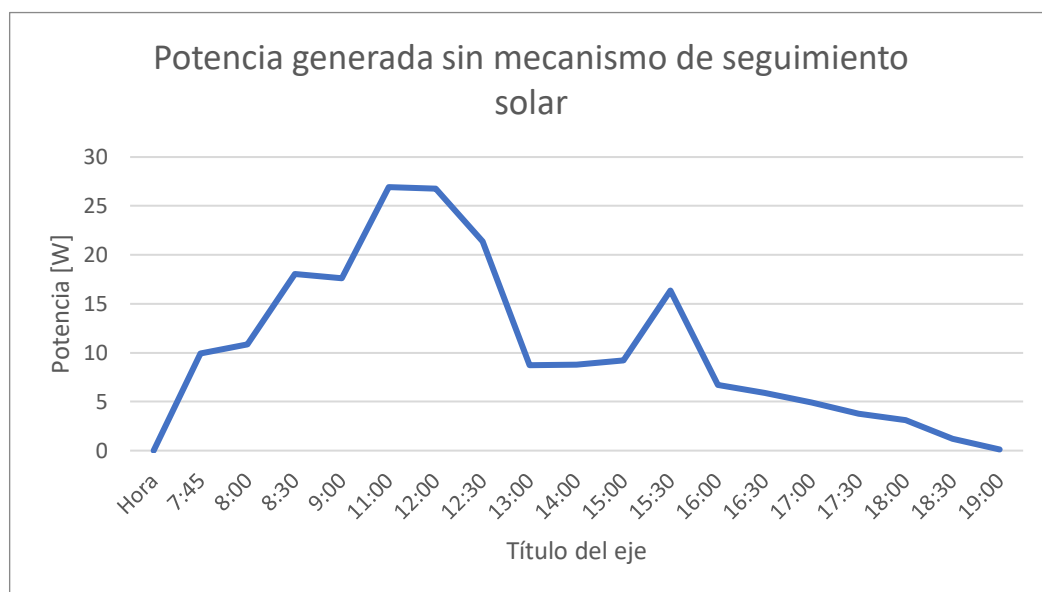


Figura 111. Potencia generada del módulo fotovoltaico sin seguidor solar.



Figura 112. Paneles solares sin mecanismo de seguimiento solar.

4.4 CONTROL DE LOS ACTUADORES ELECTRICOS DEL PROTOTIPO INVERNADERO

El control de los actuadores eléctricos del invernadero tuvo dos modos de funcionamiento, el primer modo es de manera automática a través de las condiciones de los sensores los cuales activan o desactivan cada uno de los actuadores eléctricos instalados en el invernadero, mientras que el segundo modo corresponde a la forma manual de activación de estos a través de la plataforma web del PLC LOGO 8, a continuación, se muestran las pruebas y resultados obtenidos del modo manual.

La Figura 113 muestra la vista que tiene el usuario al acceder a la interfaz web del PLC LOGO 8 a través de cualquier navegador web, en este caso se accedió desde el navegador Chrome, se visualiza que se dispone de ocho botones con los que es posible controlar cada uno de los actuadores eléctricos, para esto se utilizó ocho salidas digitales del PLC LOGO 8 (Q1 hasta Q8), al activarse el respectivo actuador dependiendo de la condición del sensor o del modo manual, se mostrará el icono del actuador eléctrico ya sea bomba, electroválvula, ventilador o iluminación, indicando de esta forma que el elemento se encuentra encendido.



Figura 113. Interfaz Web control de modo manual actuadores eléctricos del invernadero.

Al pulsar el botón número ocho correspondiente al encendido manual del sistema de iluminación del invernadero, se visualiza en la Figura 114 que se activa un icono de iluminación en el servidor web, además mediante un Test Online en el software LOGO Soft Comfort se visualiza que se encuentra activa la salida digital Q8 y la respectiva marca M14 la cual recibe el comando desde la interfaz web.

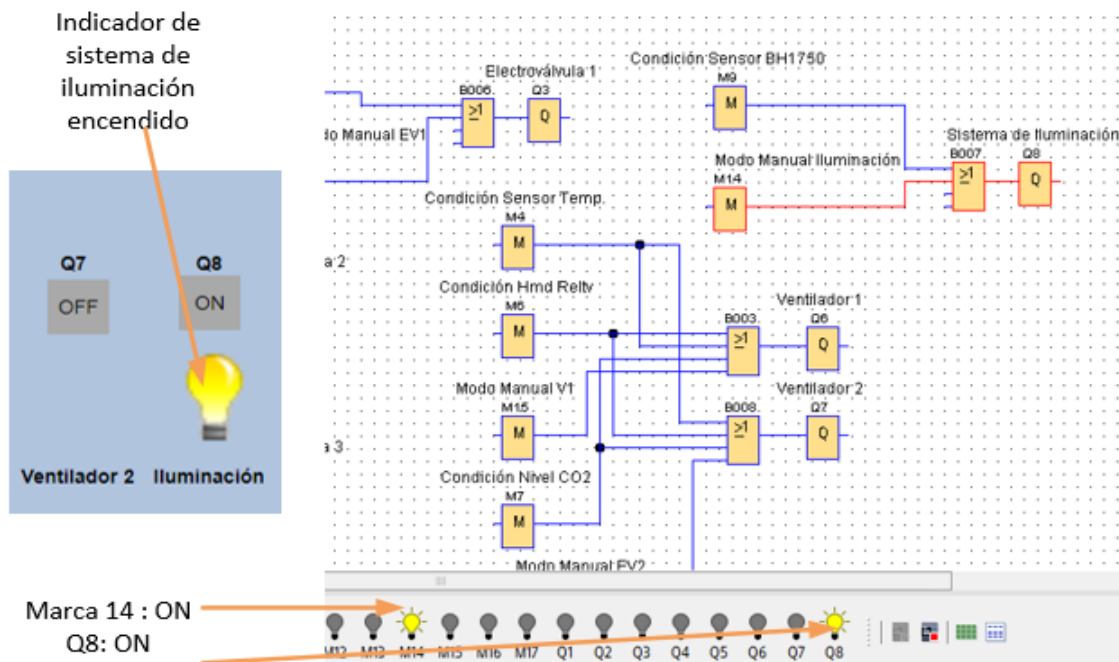


Figura 114. Indicador de activación en el servidor web y en el software Logo Soft Comfort correspondiente al sistema de iluminación.

De igual manera se muestra en la Figura 115 el display del PLC LOGO 8 instalado en el tablero de comunicaciones en donde es posible visualizar que la salida Q8 y la marca digital M14 se encuentran sombreadas de color negro indicando que estas se encuentran activadas.



Figura 115. Visualización en el display del PLC Logo 8, la activación de la salida y marca digital Q8 y M14 respectivamente.

En la siguiente Figura se muestra el sistema de iluminación encendido, en el cual, se puede visualizar el tipo de iluminación LED de color blanco que irradia al cultivo de rábano sembrado en el prototipo invernadero.



Figura 116. Sistema de iluminación encendido.

La Figura 117 muestra la lectura de un valor alto de humedad relativa del ambiente dentro del invernadero, este valor se considera alto debido a que se encuentra superior al valor máximo

que se puede presentar en el ambiente de crecimiento de un cultivo de rábano el cual es del 80%, para contrarrestar este valor alto de humedad se activó de manera automática el sistema de ventilación del invernadero tal como se visualiza en la gráfica 118 el cual contiene la programación mediante bloques de cada uno de los actuadores, se observa que se activa la marca digital M6 indicando que existe un valor elevado de humedad relativa, por lo que se activa de forma inmediata el sistema de ventilación compuesto por dos ventiladores de 3000 rpm (salidas Q6 y Q7 del PLC LOGO 8).



Figura 117. Visualización de un valor alto de % humedad relativa en la herramienta Node-RED.

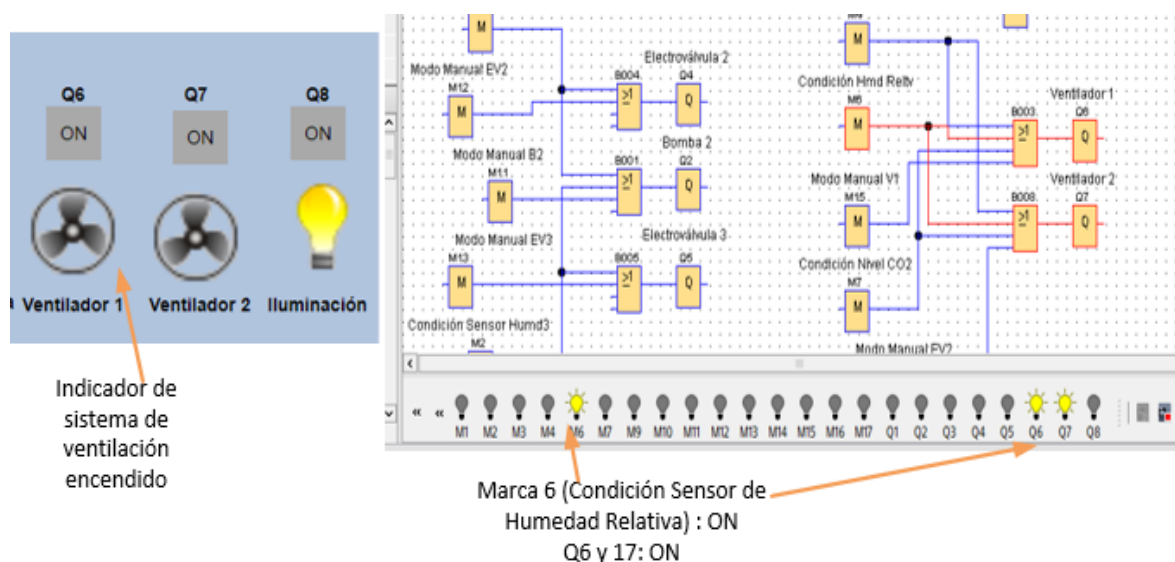


Figura 118. Indicadores de sistema de ventilación activado, en el servidor web y en la herramienta Logo Soft Comfort.

Una vez que se activó las salidas digitales del PLC Q6 y Q7, se visualiza que cada uno de los ventiladores ubicados en la parte superior del prototipo invernadero, se proceden a encender (Ver Figura 119) logrando de esta manera disminuir la humedad relativa dentro del invernadero.



Figura 119. Activación del sistema de ventilación del prototipo invernadero.

La siguiente prueba se la efectúa con las bombas eléctricas, estos actuadores se activan de manera automática al detectar que la humedad del suelo de las respectivas macetas que contienen el cultivo del rábano se encontrasen por debajo del nivel de humedad aceptable el cual es del 55%, en la siguiente Figura se muestra la lectura del nivel de humedad de la maceta 2 y 3 con un valor de 53.21% y 54.11% por parte de los sensores HD-38, por lo que se procede a energizar las bomba 2 del prototipo invernadero para que se produzca el respectivo riego.



Figura 120. Adquisición mediante Node-RED los valores de humedad del cultivo.

Se muestra en la siguiente Figura la activación de las salidas Q2, Q4 y Q5 del PLC LOGO 8 las cuales corresponden a la bomba número 2 del invernadero y las electroválvulas 2 y 3.



Figura 121. Activación de las salidas Q2,4,5 correspondientes a la bomba 2 y electroválvula 2 y 3.

Al activarse la bomba número dos en conjunto con las electroválvulas se logra que el cultivo de la maceta dos y tres las cuales se encontraban con un nivel bajo de humedad se procedan a regarse (Ver Figura 122), con lo cual el nivel del suelo tendera en aumento hasta alcanzar el porcentaje de humedad deseado el cual es del 75%, en la Figura 123 se muestra el incremento de la humedad del suelo de la maceta dos y tres al ejecutarse el riego mediante los respectivos aspersores.

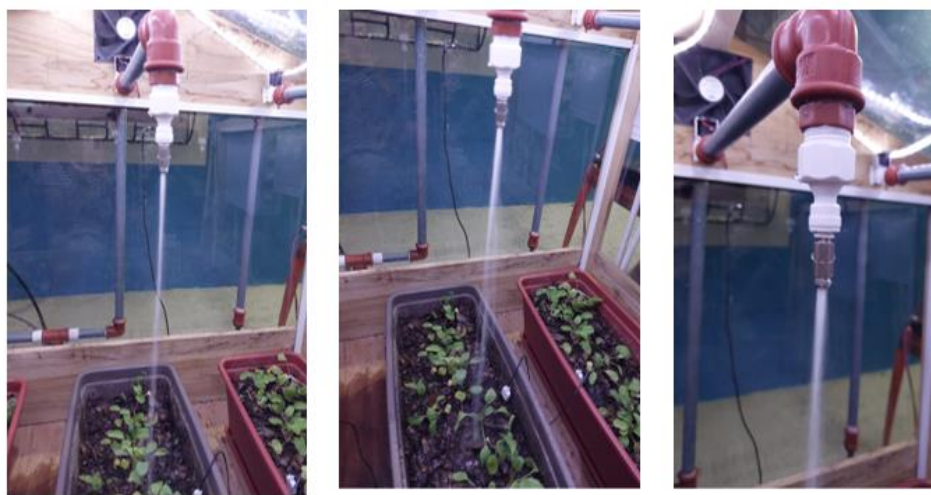


Figura 122. Sistema de riego activado en el prototipo invernadero.

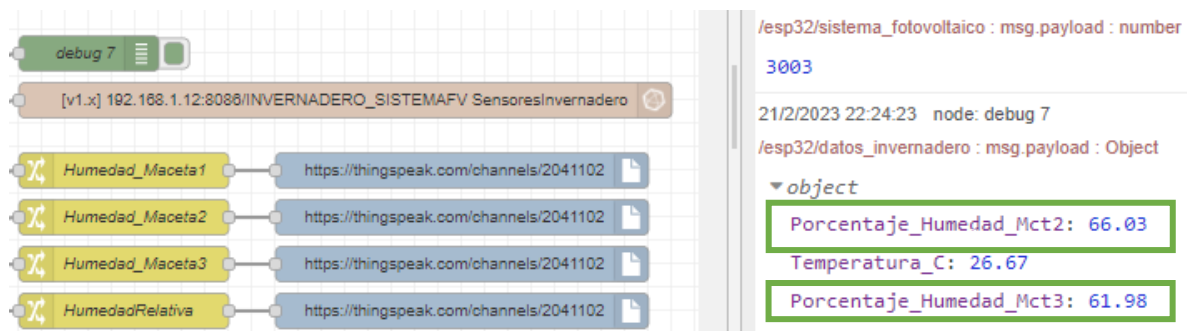


Figura 123. Incremento de la humedad del suelo del cultivo de la maceta 2 y 3 al activar la bomba 2 del invernadero.

4.5 MONITOREO REMOTO A TRAVES DE LAS PLATAFORMA IOT

En este apartado se muestran los resultados obtenidos de las plataformas IoT empleadas en esta propuesta las cuales son Grafana para un monitoreo a nivel local de las variables del invernadero y sistema fotovoltaico y de la plataforma de la nube ThingSpeak la cual permitió monitorear de manera remota cada una de las variables del prototipo implementado, a continuación, se muestran las pruebas y resultados obtenidos:

La primera prueba se la efectúa con la finalidad de visualizar los datos adquiridos desde la tarjeta ESP32 los cuales fueron enviados hacia el MQTT broker instalado en la tarjeta Raspberry Pi 4, para la visualización de dichos datos se utilizó en la herramienta Node-RED el bloque “mqtt in” el cual se muestra en la Figura 124 el estado exitoso de la suscripción de los tópicos /esp32/datos_invernadero y /esp32/datos_sistemapotovoltaico, posterior a esto para visualizar cada uno de los datos que contenían los respectivos tópicos, se utilizó el bloque “debug” con lo cual fue posible visualizar las lecturas de cada uno de los sensores del invernadero y el sistema fotovoltaico.

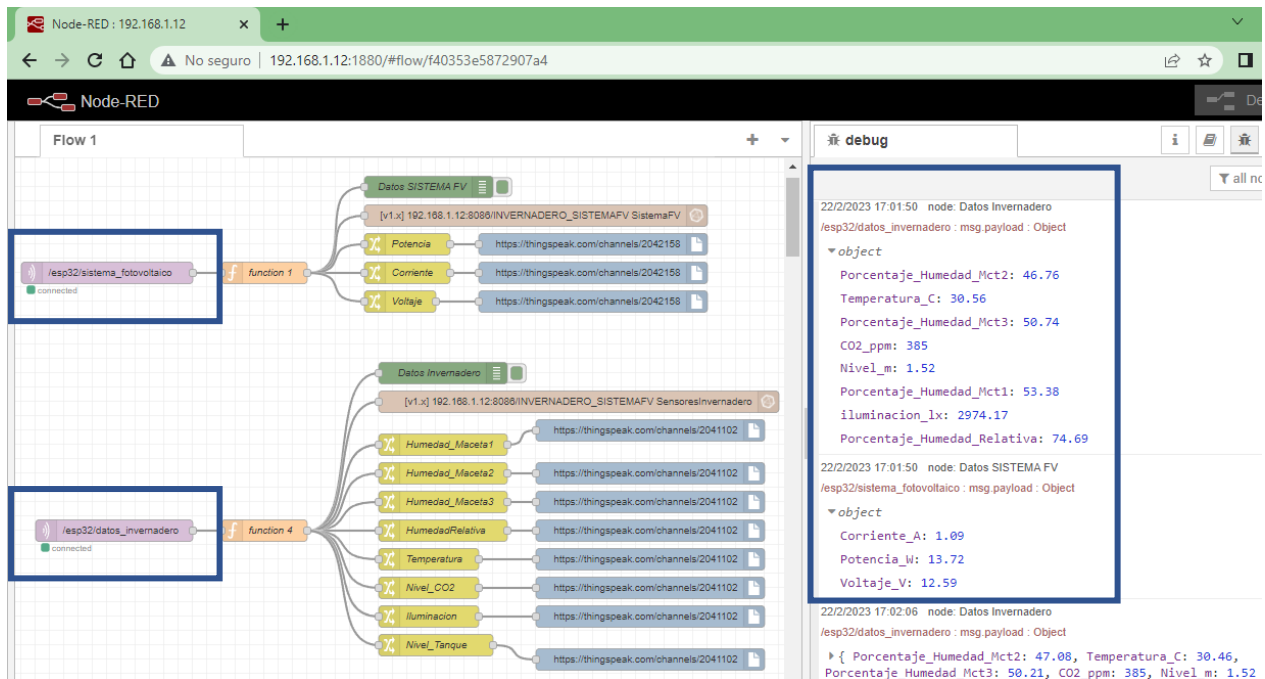


Figura 124. Lectura de valores de las variables del invernadero y sistema fotovoltaico.

En la siguiente Figura se muestra la conexión exitosa de la tarjeta ESP32 de manera inalámbrica en la red IoT 192.168.1.0, además se observa un mensaje indicando que la tarjeta ESP32 se conectó de manera satisfactoria al broker MQTT, consecutivamente a esto se visualiza que se empieza la transmisión de la data con las respectivas etiquetas que identifican a cada lectura adquirida.

```

151 obj1={"iluminacion_lx":lux,"Porcentaje_Humedad_Relativa": humedadRH,"Temperatura_C": temperatura,"Porcentaje_Humedad_Mct1":humedadmace
152 obj2={"Voltaje_V":voltaje,"Corriente_A":corriente,"Potencia_W": potencia}
153 data_invernadero=ujson.dumps(obj1)
154 data_sistemaFV=ujson.dumps(obj2)
155 print(data_invernadero)
156 print(data_sistemaFV)
157 client.publish(topic_pub1, data_invernadero) #Publicar datos en el tópico esp32/datos_invernadero
158 client.publish(topic_pub2, data_sistemaFV) #Publicar datos en el tópico esp32/datos_sistema_fotovoltaico
159 mensaje_anterior = time.time()
160 except OSError as e:
161     #print(jsonToPython)
162     #client.publish(topic_pub_humRH, humidity)
163     reiniciar_y_reconectar()

```

```

Warning: I2C(-1, ...) is deprecated, use SoftI2C(...) instead
¡Conexión establecida!
('192.168.1.7', '255.255.255.0', '192.168.1.1', '192.168.1.1')
Conexión exitosa MQTT Broker Mosquitto
192.168.1.12
{"Porcentaje_Humedad_Mct2": "48.82,", "Temperatura_C": "29.84,", "Porcentaje_Humedad_Mct3": "53.28,", "CO2_ppm": "385.00,", "Nivel_m": "1.52,", "Porcentaje_Humedad_Mct1": "53.77,", "iluminacion_lx": "1000.00,", "Porcentaje_Humedad_Relativa": "77.05,", "Corriente_A": "1.09,", "Potencia_W": "13.72,", "Voltaje_V": "12.59,"}

```

Figura 125. Envío de datos correspondiente al invernadero y sistema fotovoltaico.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos desde la plataforma ThingSpeak en la que se puede observar que cada una de las variables adquiridas desde la tarjeta ESP32 se muestran ahora en esta plataforma IoT, en este caso se observa un intervalo de tiempo desde las 16h00 hasta las 18h00 aproximadamente.

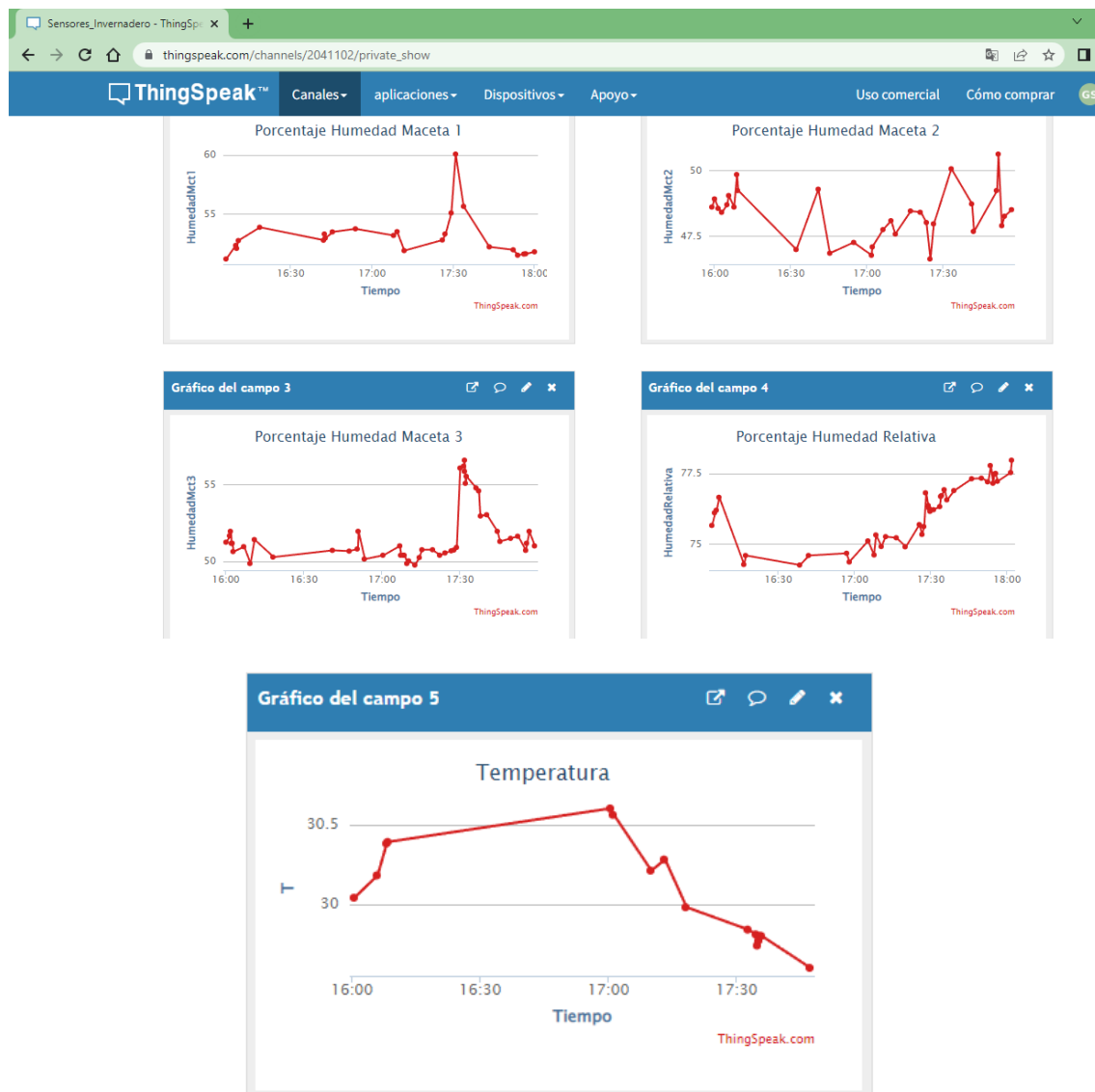


Figura 126. Monitoreo de variables en la nube a través de la plataforma ThingSpeak.

La siguiente Figura muestra el dashboard de la variable CO₂ y humedad relativa, adquirida por los sensores MG-811 y SHT3x, durante el intervalo de tiempo desde las 14h45 hasta las 15h45, se observa que durante este tiempo el nivel de CO₂ alcanzo un valor máximo de 394 ppm aproximadamente a las 15h00, mientras que para el caso de la variable humedad relativa se visualiza que tiende en aumento al transcurrir el tiempo, para este caso se presentó un valor máximo de 68% durante el intervalo de 1 hora antes mencionados, estos valores de % de humedad relativa se encuentran adecuados ya que el rango óptimo de crecimiento del cultivo se encuentra entre el 60% y 80%, para el caso del CO₂ se observa una variación entre 384 y 394 ppm estos valores son óptimos para el desarrollo del cultivo ya que la actividad fotosintética del cultivo se encuentra con normalidad (Ver Anexo 10).

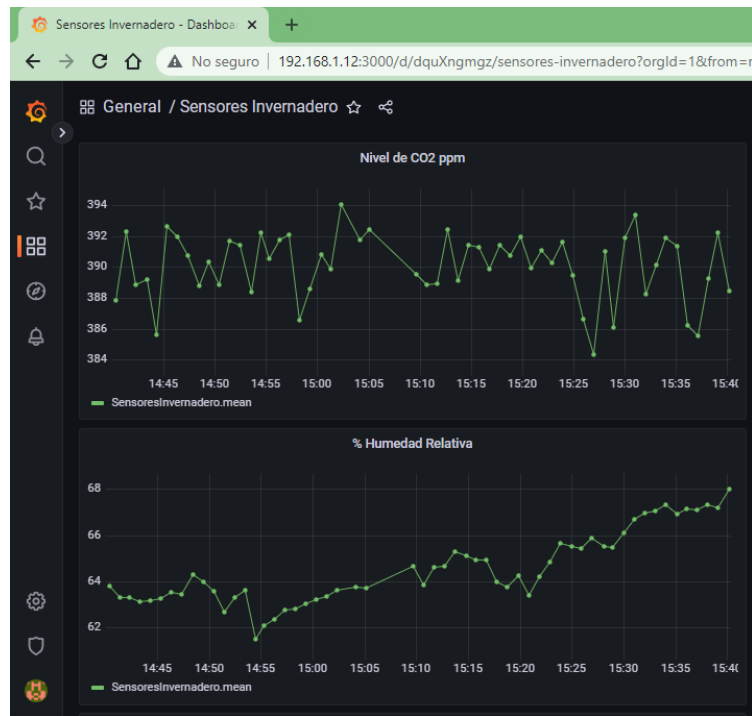
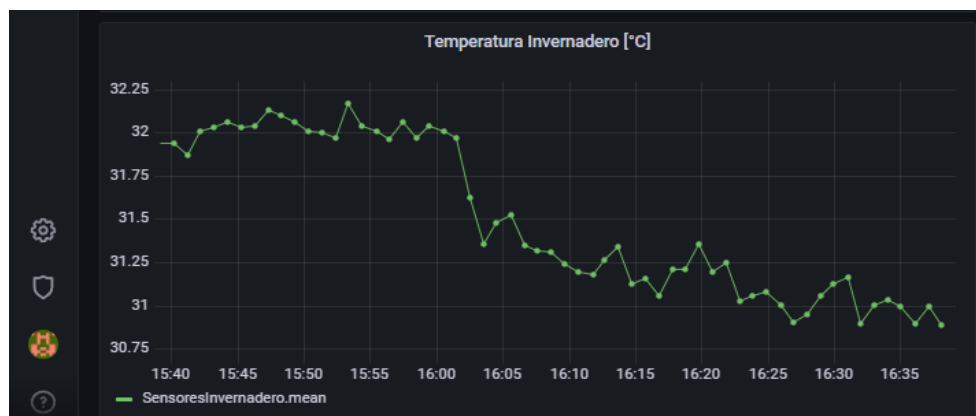


Figura 127. Dashboard de Humedad Relativa y Nivel de Co2 en la herramienta Grafana.

La siguiente Figura muestra el dashboard de la temperatura en donde se observa el comportamiento de esta variable durante el intervalo de tiempo desde las 14h00 hasta las 17h00, en la cual se observa que existe una alta temperatura cerca de las 14h15 con un valor de aproximadamente 33.5°C, este valor de temperatura es inapropiado para el crecimiento del cultivo, con lo cual el sistema de ventilación ingreso en funcionamiento para disminuir la temperatura dentro del invernadero, se observa en la Figura 128 que la temperatura logra descender aproximándose a un valor de 30.5°C a las 17h15 aproximadamente, conllevando esto un tiempo de encendido de tres horas aproximadamente por parte del sistema de ventilación.



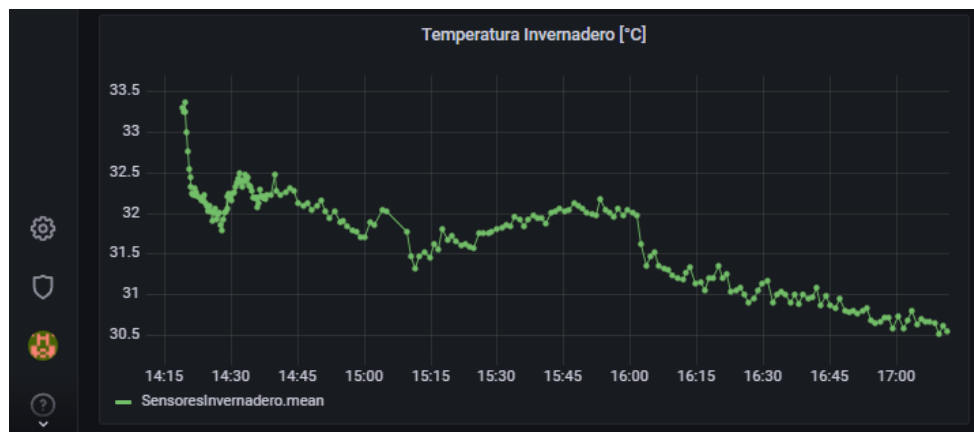


Figura 128. Dashboard de monitoreo de la temperatura en el invernadero.

CONCLUSIONES

Se pudo implementar un invernadero a dos aguas en el cual, se facilitó la instalación de tuberías, bombas de agua para el riego y adecuación de los respectivos sensores dentro del invernadero para así poder controlar las condiciones climáticas dentro del mismo.

Mediante la implementación de un algoritmo a través de ecuaciones que describen la posición astronómica del sol implementado en la tarjeta ESP32 se logró tener un control en la orientación de módulo fotovoltaico, logrando de esta forma captar la mayor radiación solar posible y aprovechando de esta forma la mayor cantidad de energía proveniente de los paneles. Al tener un control de seguimiento solar se obtuvo una potencia constante entre el intervalo de tiempo de 11 a 3 de la tarde, alrededor de los 60 Watts, mientras que para un sistema sin seguimiento solar la potencia fue variable y alrededor de los 25 Watts, de esta manera se obtuvo que con un control de seguimiento solar los módulos fotovoltaicos se aprovechan en un 50% adicional de generación de energía en comparación con un sistema sin seguimiento solar.

Al implementar un sistema de energía fotovoltaica aislada, se comprobó que este funciona adecuadamente siempre y cuando las condiciones ambientales de irradiancia solar sean favorables, no obstante, se pudo constatar que pese a que las condiciones de irradiancia fueran desfavorables el módulo fotovoltaico generaba energía y para compensar la demanda de carga se constató que esta compensación se extraía de la batería.

Se pudo realizar pruebas del sistema a plena carga en el cual se activó todos los actuadores, sensores, PLC, tarjeta ESP32 obteniendo un consumo de 5.57 [A], en condiciones favorables de irradiancia solar el módulo fotovoltaico generaba alrededor de 6.90 a 7.50 [A] logrando así abastecer la demanda de los elementos de prototipo; adicionalmente, se constató que el excedente de amperaje generado se almacenaba en la batería produciéndose así el estado de carga de este elemento durante el día.

El mecanismo de rotación para el seguimiento solar se logró realizar a través de un motor a paso, limitando este únicamente a cien pasos describiendo de esta forma un sentido de giro de 0 a 180 grados, la ventaja obtenida al implementar el algoritmo para determinar la posición astronómica del sol es que esta no necesitaba de sensores de irradiancia solar adicional ya que únicamente con las ecuaciones programadas en la tarjeta ESP32 se determinó el número de pasos necesarios para orientar el módulo fotovoltaico hacia la posición del sol durante el día.

Se efectuó un control automático sobre cada uno de los actuadores eléctricos, es decir, encender o apagar las bombas, electroválvulas, sistema de ventilación y sistema de iluminación en función de los niveles dados por los sensores de CO₂, humedad del suelo, humedad relativa y temperatura. Para monitorear el encendido y apagado de los actuadores, se verificó en la herramienta LOGO Soft Comfort y en el display físico del PLC LOGO 8 el estado correspondiente de las salidas digitales, adicionalmente, mediante el protocolo MQTT se visualizó de manera óptima en la herramienta Nodered las lecturas provenientes de cada uno de los sensores.

Mediante la integración de servicios IoT instalados en la tarjeta Raspberry Pi 4, tales como Mosquitto, InfluxDB y Grafana se logró recopilar, almacenar para posteriormente visualizar mediante dashboard en tiempo real el comportamiento de cada una de las variables medidas dentro del invernadero, pudiendo de esta forma tomar las acciones pertinentes en torno a los actuadores, teniendo de esta forma un ambiente controlado para el crecimiento del cultivo del rábano.

RECOMENDACIONES

Para ejecutar la codificación de adquisición y publicación de datos al bloque Mosquitto de forma autónoma al momento de energizar la tarjeta ESP32 con 5 Vdc, se requiere que la programación a ejecutar sea guardada en el directorio principal de la tarjeta con el nombre boot.py, con esto se logra ejecutar las instrucciones de programación guardadas en este archivo.

Si se requiere colocar en funcionamiento el prototipo realizado durante dos días de autonomía, se debe emplear las 4 baterías de 55 Ah calculadas en la sección 3.3.2; para este caso únicamente se empleó una única batería de 55 Ah la cual estuvo sometida a una profundidad de descarga de 24.4% en el mínimo de los casos y en el caso máximo a una profundidad de descarga del 54.5% , con lo cual se abasteció la demanda del prototipo durante aproximadamente 16 horas, con funcionamiento constante de los sensores, PLC, tarjeta ESP32 y sistema de ventilación.

En caso de que se requiera aumentar el número de actuadores eléctricos por ejemplo bombas o extractores de aire, es necesario considerar el uso de un módulo de expansión de salidas digitales correspondientes al PLC LOGO 8, debido a que en esta propuesta se utilizan 8 salidas digitales con lo que se encuentran ocupadas las 4 salidas del módulo lógico principal y las 4 salidas del módulo de expansión utilizado, recalcando que el máximo número de salidas que se pueden tener en este controlador son de 20 salidas digitales.

Si se necesita tener un control más riguroso en torno al crecimiento y color del cultivo es posible agregar un sistema de visión por computadora conformado por una cámara y un algoritmo de visualización y detección instalado en la tarjeta Raspberry Pi 4.

Si se requiere recopilar una mayor cantidad de datos en la plataforma Thingspeak se debe considerar que para la licencia libre únicamente se permite crear hasta 4 canales con 8 campos de datos, si se excede de este número de canales es necesario contar con una licencia tipo estándar el cual permita abarcar un mayor número de canales para el almacenamiento de datos en la nube. Por otro lado, si se realizan modificaciones o aumento de componentes electrónicos, tales como sensores o actuadores, se recomienda tener en cuenta que la capacidad máxima de generación del módulo fotovoltaico es de 147.6 Watts, si se excede este valor es necesario aumentar el número de paneles solares para abastecer la respectiva demanda eléctrica que se requiera al aumentar el número de cargas eléctricas en el prototipo.

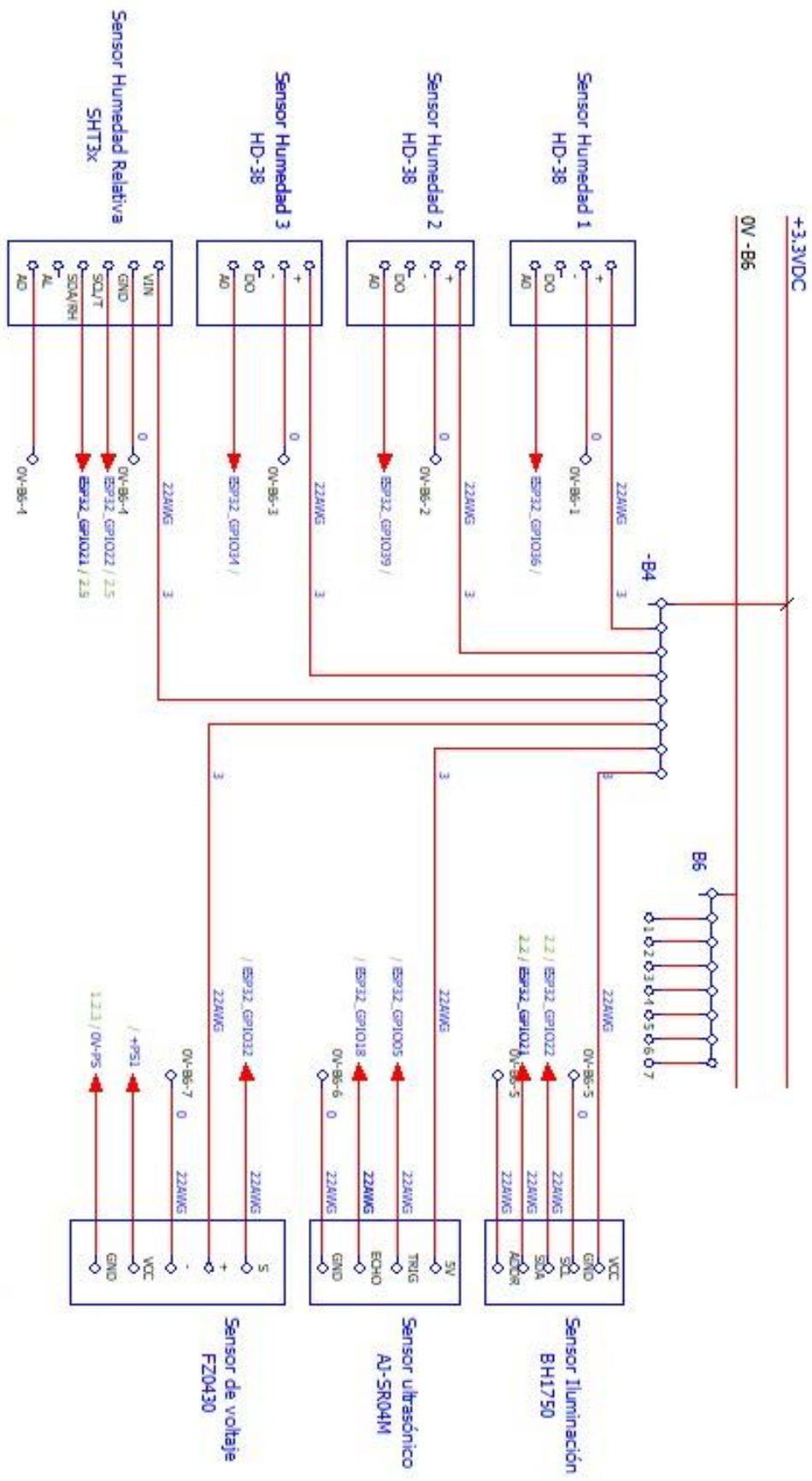
BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. F. Basurto Gustines, L. M. Basurto Gustines y M. T. Mejía Coronel, «Creación de una empresa para la elaboración y asesoramiento de invernaderos dirigido hacia agricultores de la península de Santa Elena,» 20 Febrero 2009. [En línea]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/673?locale-attribute=en>.
- [2] INEC, «Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2019,» Mayo 2020. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion%20de%20los%20principales%20resultados%20ESPAC%202019.pdf.
- [3] E. COMERCIO, «Santa Elena es un granero agrícola con alto potencial,» 3 Septiembre 2018.
- [4] INIAP, «INIAP inaugura invernadero automatizado de producción de semilla básica de papa,» INIAP, Julio 2015. [En línea]. Available: <https://www.iniap.gob.ec/iniap-inaugura-invernadero-automatizado-de-produccion-de-semilla-basica-de-papa/>. [Último acceso: 22 Febrero 2023].
- [5] R. S. Moreno, A. R. Aguilar y I. L. L. Cruz, *La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. Tecnología y ciencias del agua*, Abril 2014.
- [6] La Hora, «La inversión en energía fotovoltaica se cuadruplicará en Ecuador hasta 2023,» 21 octubre 2021.
- [7] L. A. Marianella García Villas, *Energía Solar Fotovoltaica y Cooperación al Desarrollo*, Madrid: IEPALA, 1999.
- [8] O. Style, *Energía Solar Autónoma: Planificación, Dimensionado e Instalación de un Sistema Fotovoltaico Autónomo*, Oliver Style, 2012.
- [9] V. M. Mateo, *Instalaciones Generadoras Fotovoltaicas*, Madrid: Paraninfo, 2015.
- [10] M. R. Tous, *Energía solar fotovoltaica*, Barcelona: CEAC, 2010.
- [11] J. R. Vilorio, *Determinación del potencial solar*, PARANINFO, 2011.
- [12] M. P. Aparicio, *Energía Solar Fotovoltaica: Cálculo de una Instalación Aislada*, Barcelona: MARCOMBO, 2010.
- [13] Miguel Pareja Aparicio, *Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada*, Barcelona: MARCOMBO, 2016.
- [14] F. M. Fazio, *El Cultivo Biológico de Hortalizas y Frutos*, Madrid: Editorial de Vecchi, 2018.
- [15] Y. Fuentes y G. Legaspi, *TÉCNICAS DE RIEGO*, México: MUNDI-PRESA MÉXICO, S.A. DE C.V., 1999.
- [16] J. P. Peláez, *INTERNET DE LAS COSAS (IoT) con ESP Manual práctico*, Madrid: Paraninfo, SA, 2020.
- [17] Blynk Inc., «Blynk,» 2014. [En línea]. Available: <https://blynk.io/>.
- [18] TagoIO, «TagoIO,» 2014. [En línea]. Available: <https://tago.io/>.
- [19] R. Idrovo, «Monitorización en la nube de 'livestock' para aplicaciones IoT en el ámbito de 'Smart Agriculture',» 28 Mayo 2021. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/352465870_Monitorizacion_en_la_nube_de_'livestock'_para_aplicaciones_IoT_en_el_ambito_de_'Smart_Agriculture'.
- [20] Grafana, «Grafana,» 21 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://grafana.com/grafana/?plcmt=footer>. [Último acceso: 3 Enero 2023].
- [21] ThingSpeak, «ThingSpeak,» [En línea]. Available: https://thingspeak.com/pages/learn_more. [Último acceso: 2023 Febrero 22].
- [22] A. M. Vega, *Mantenimiento y manejo de invernaderos*, Madrid: Ediciones Paraninfo, S. A., 2013.
- [23] Asociación Española de Normalización, «Invernaderos. Cálculo y construcción. Parte 1:

Invernaderos para producción comercial.,» Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0064610>. [Último acceso: 27 Febrero 2023].

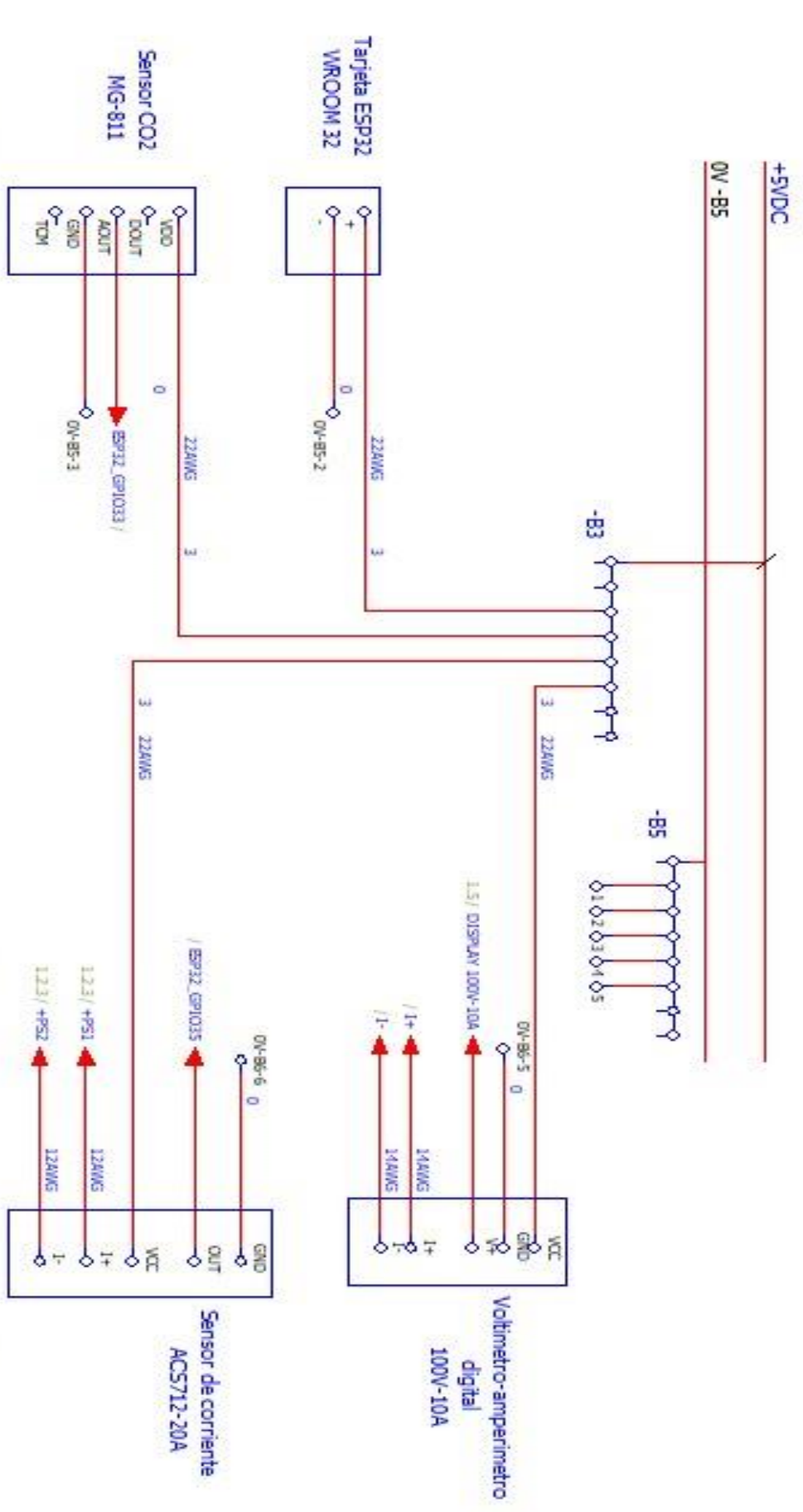
- [24] M. E. D. Pérez y N. J. O. P. e. I. J. Gómez, «Sistema Automatizado de climatización para Invernaderos de Zonas Cálidas,» 22 Julio 2016.
- [25] M. E. E. Pereira, *Diseño de interfaces modulares para facilitar proyectos de IOT*, Santiago de Chile, 2022.
- [26] S. A. H. Saif y H. R. H. A. y. A. Natsheh, *Photovoltaic Energy Convserion Smart Irrigation System-Dubai Case Study (Goodbye Overwatering & Waste Energy, Hello Water, & Energy Saving)*, Dubai, 2018.
- [27] S. Priyadarshi, S. Bhaduri y N. Shiradkar, «IoT Based, Inexpensive System for Large Scale, Wireless, Remote Temperature Monitoring of Photovoltaic Modules,» 2018.
- [28] C. Robles, J. Vilorio y D. Restrepo, *Control neuronal y difuso para sistemas fotovoltaicos*, Santa Marta: Unimagdalena, 2022.
- [29] G. Calaza y G. Bétoia, *Taller de Arduino. Experimentando con Arduino MKR 1010*, Cataluña: MARCOMBO, S.L., 2021.
- [30] D. Vaca y F. Ordóñez, «Mapa Solar del Ecuador 2019,» Yessenia Yaguana, Quito, 2020.
- [31] F. Rodríguez, A. Ruiz y D. Valiente, *Apuntes sobre la energía fotovoltaica*, Elche: Universidad Miguel Hernández de Elche, 2022.

Anexo 1. Plano de conexión elementos 3.3 V



	Fecha	26/12/2023	EP LAN	Plantilla de proyecto con estructura de designación según los estándares NFPA	EP LAN Software & Service GmbH & Co. KG	Esquema conexión elementos 3.3V
	Recp.	GABTS				
	Proyecto					
	Original					
Memoria						
		Substitución por		Substituido por		

Anexo 2. Plano de conexión elementos 5.5 V

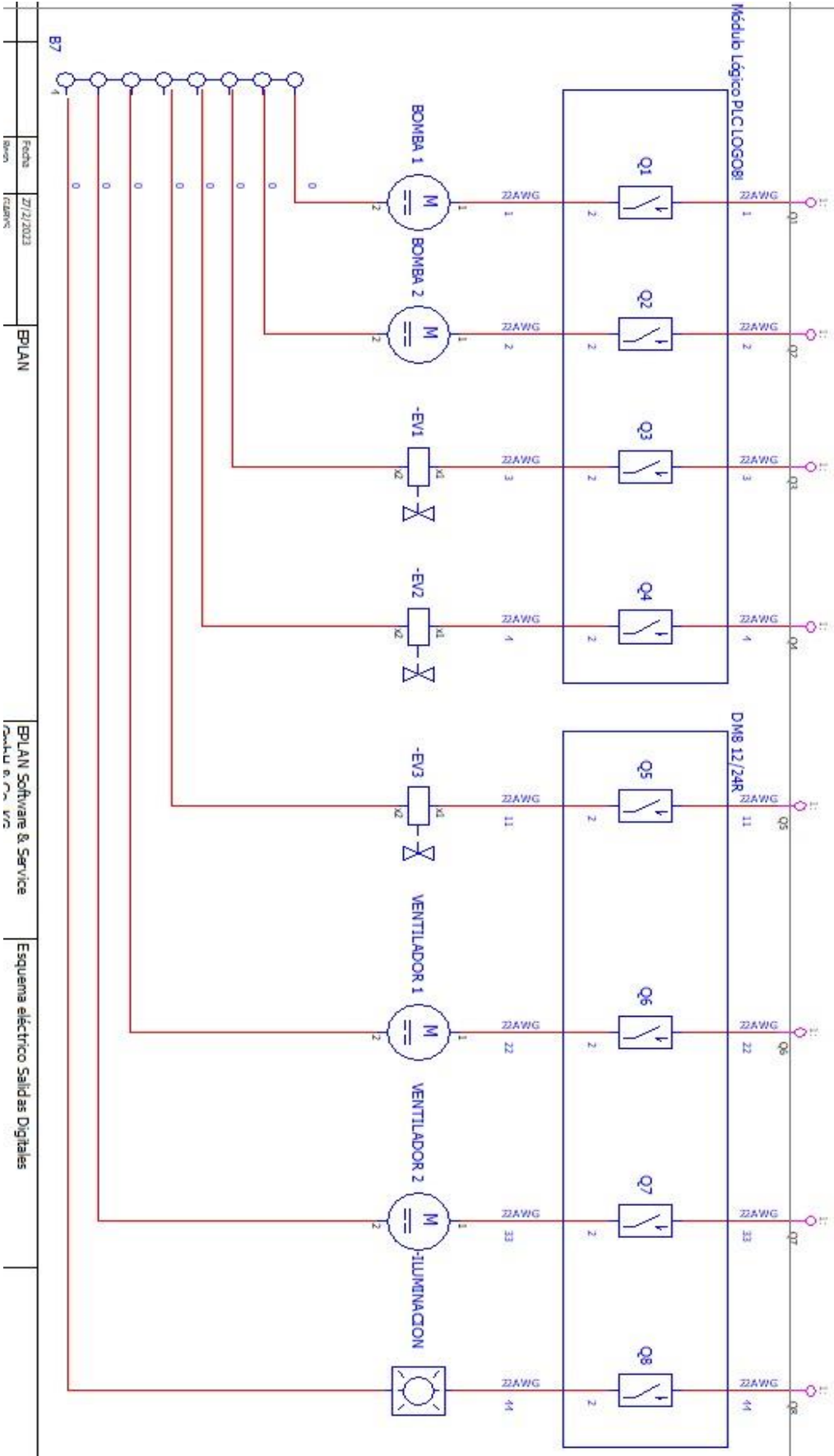


Fecha	26/2/2023	EPLAN		EPLAN Software & Service	Esquema conexión elementos 5VDC
Revis.	GAHNS	Plantilla de proyecto con estructura de designación según los estándares NPPA		GmbH & Co. KG	
Proyecto		Sustitución por			
Anterior	Original	Sustituido por			

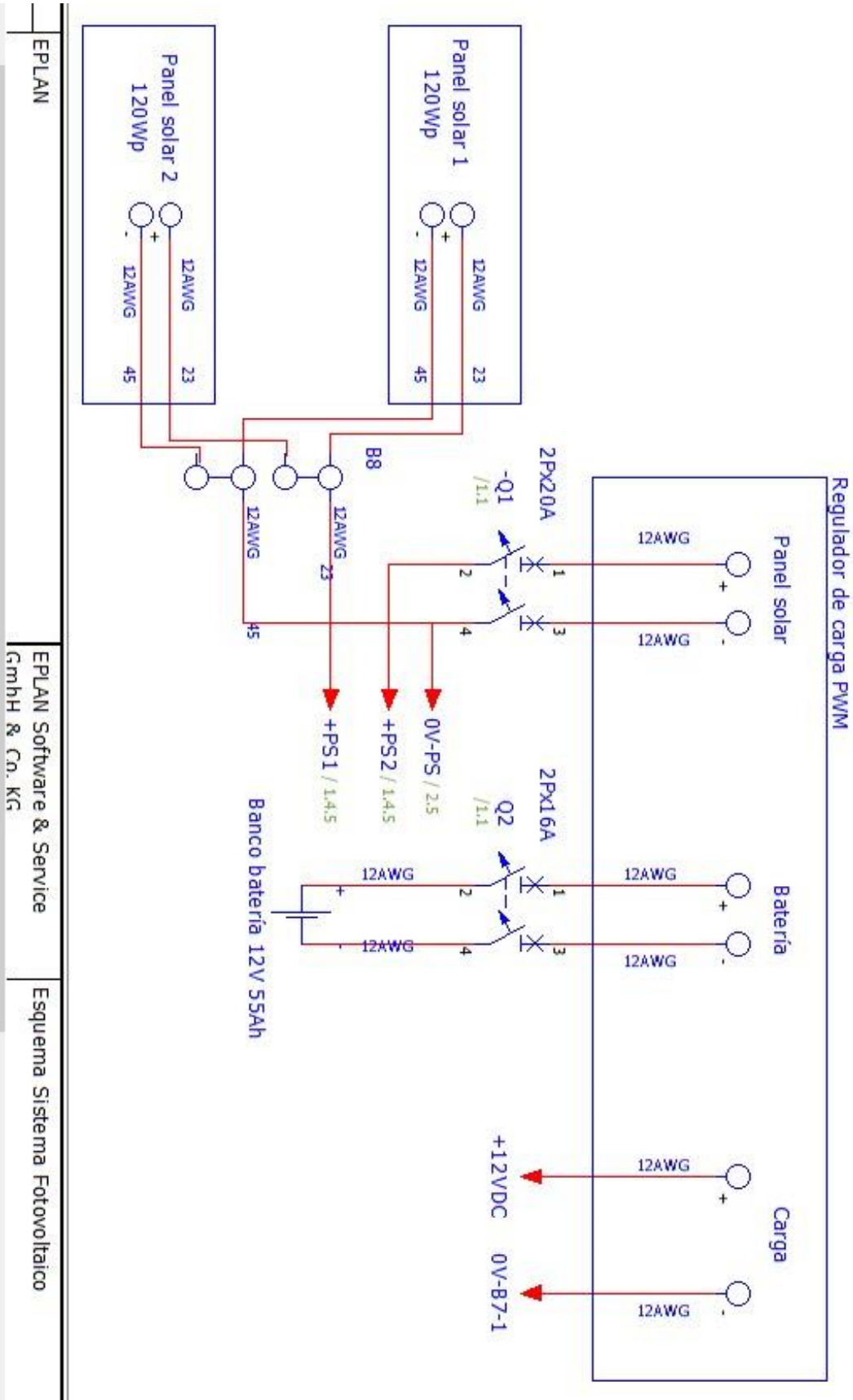
+12VDC		12AWG 12		DISPLAY 100V-10A / 1.4S	
0V -B7-1					
The diagram illustrates the power distribution for a system. It starts with a +12VDC supply and a 0V -B7-1 ground. The main power line is 12AWG 12. Key components include: Relays: 1P×10A Q4, 1P×16A Q3, and 1P×2A Q5. PLC Modules: Módulo lógico PLC Logo 8 and Módulo DM8 12/24R. Step Down Converters: LM2596S converting 12VDC to 5VDC (B5) and 3.3VDC (B6). Wiring: Various wire gauges (14AWG, 22AWG) and terminal blocks (B1, B2, B3, B4, B5, B6) are shown.					

	Fecha	26/2/2023	EP/LAN	EP/LAN Software & Service GmbH & Co. KG	Esquema eléctrico 12.5 y 3.3V
	Recp.	GABYS	Plantilla de proyecto con estructura de designación según los estándares NFPA		
	Procedo				
	Original				
Nombre			Substitución por	Substituto por	

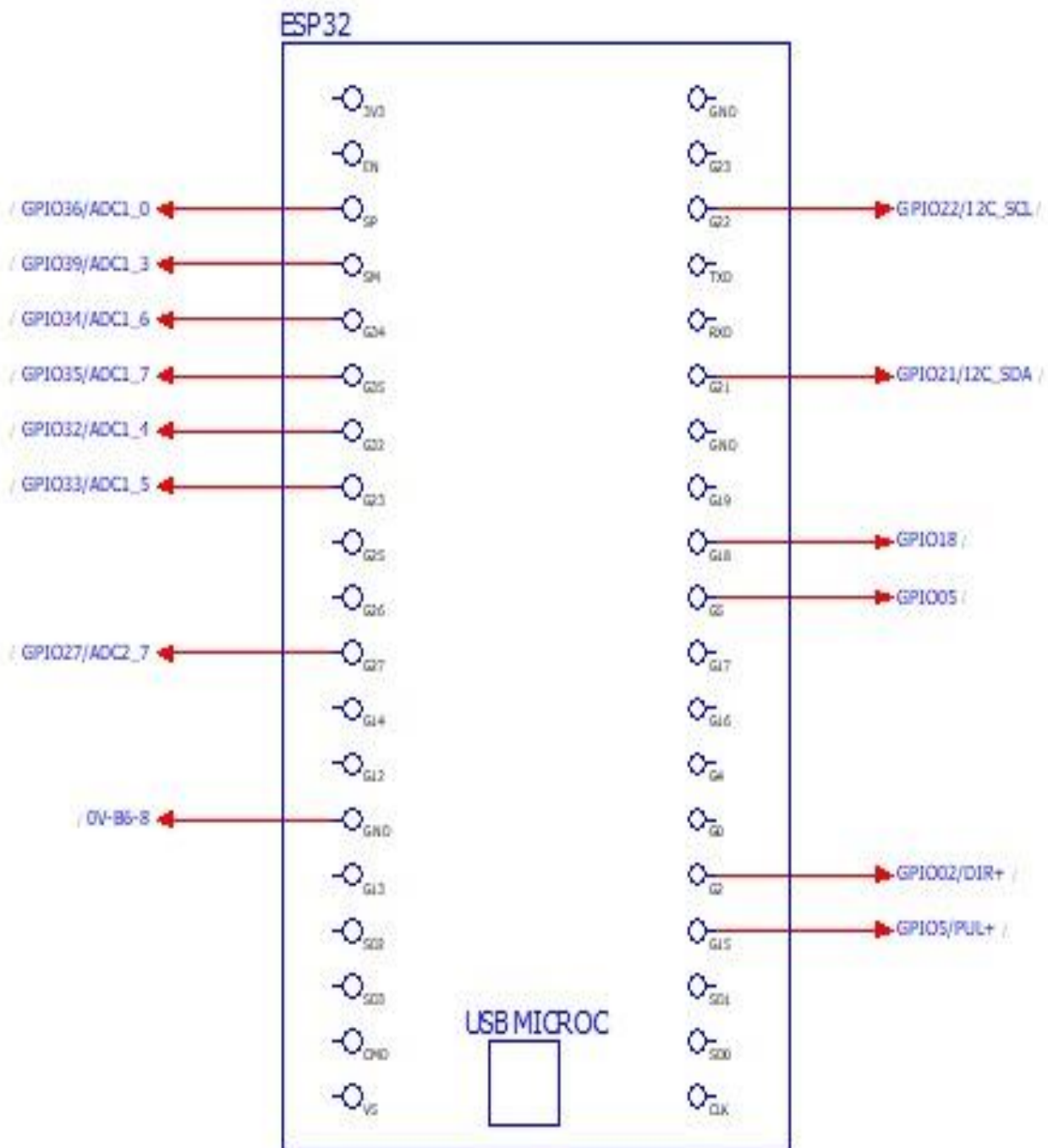
Anexo 4. Esquema eléctrico salidas digitales PLC LOGO 8



Anexo 5. Sistema de Conexión Sistema Fotovoltaico



Anexo 6. Conexiones ESP32



a	26/3/2023	EPLAN	EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG	Conexiones ESP32
-	GWT5			
ido		Plantilla de proyecto con estructura de designación según los estándares NFPA		
nal		Sustituido por	Sustituido por	

Anexo 7. Codificación en Matlab para visualizar el comportamiento de las ecuaciones solares que determinan la posición astronómica del Sol

```
ndia=55; %Ingreso del día 24/02/2023 N= 55
%HO=6;
Epsilon=0;%Corrección del horario invierno o verano
Lst=-75;%
Llocal=-80.85;%Ubicación Longitud en grados
Local_rad=(Llocal)*(pi/180);
phi_longitud=2.216; %Ubicación Latitud en grados
phi_rad=(2.216)*(pi/180);

for HO=6:0.1:18
    delta_rad=((23.45*(pi/180))sin((360*((284+ndia)/365))*(pi/180)));
    delta_g=(delta_rad)*(180/pi)
    theta_rad=(ndia*((2*pi)/(365)))*(pi/180));
    Et=229.18*(0.00075+(0.001868*cos(theta_rad))-0.032077*sin(theta_rad) ...
        -(0.014615*cos(2*theta_rad))-(0.04089*sin(2*theta_rad)))
    TSV=((HO-Epsilon)+(Et/60)+((Lst-Llocal)/15))
    omega=15*(12-TSV)
    omega_rad=(omega*(pi/180));

    beta=((sind(phi_longitud)*(sind(delta_g)))+(cosd(phi_longitud)*cosd(delta_g)*cosd(
    omega)));
    elevacion=asind(beta)

    alfa=((sind(phi_longitud)*cosd(delta_g)*cosd(omega))-
    (cosd(phi_longitud)*sind(delta_g)))/(cosd(elevacion));
    azimuth=acosd(alfa)

    hold on
    plot(HO,elevacion,'-ro','markersize',4, 'markerfacecolor','y')
    axis([5 18 -20 90]);
    title('Posición astronómica del sol durante el día 24/02/2023')
    xlabel('Horas del día [h]')
    ylabel('Ángulo de elevación del sol [°]')
end
```

Anexo 8. Algoritmo de posición astronómica del Sol y seguidor solar implementado en la tarjeta ESP32

```
import network
import ntptime #NTP-time (obtenida desde pool.ntp.org)
import math
from machine import Pin
import time
from machine import RTC

noche=0
PIN_STEP=15 #GPIO 15
PIN_DIR=2 #GPIO 2
PIN_EN=0 #GPIO 0
PASOS=200 #1.8° Motor PAP 200*1.8°=360°
pausa=0.0080
##Configuración Pines Driver Motor a Pasos
STEP = Pin(PIN_STEP, Pin.OUT)
DIR = Pin(PIN_DIR, Pin.OUT)
EN = Pin(PIN_EN, Pin.OUT)
STEP.value(0)
DIR.value(0)
EN.value(1) #Deshabilitar el Driver TB6650
time.sleep(1)
#ndia=16 #Numero del día
#HO=18
Epsilon=0 #Corrección del horario invierno o verano
Lst=-75 #
Llocal=-80.85 #Ubicación Longitud en grados
Local_rad=(Llocal)*(math.pi/180)
phi_longitud=2.216 #Ubicación Latitud en grados
phi_rad=(2.216)*(math.pi/180)

ssid='INVERNADERO_IOT'
password='invernaderoiot01'
estacion = network.WLAN(network.STA_IF) # crear interfaz de estación
estacion.active(True) # activar la interfaz
estacion.connect(ssid,password)
while estacion.isconnected()==False:
    pass
ntptime.settime()
# Sincronización de tiempo
(year, month, mday, weekday, hour, minute, second, millisecond)=RTC().datetime()
#GMT-5 HORA DE ECUADOR
ndia=RTC().datetime()[2]
mes=RTC().datetime()[1]
año=RTC().datetime()[0]
HO_=((RTC().datetime()[4])-5)
minutos=(RTC().datetime()[5])
segundos=(RTC().datetime()[6])
```

```

print(ndia,"/",mes,"/",año)
#print(HO_,":",minutos,":",segundos)
#ndia #Numero del día
HO=17
delta_rad=((23.45*(math.pi/180))math.sin((360*((284+ndia)/365))*(math.pi/180)));
delta_g=(delta_rad)*(180/math.pi)
theta_rad=(ndia*((2*math.pi)/(365))*(math.pi/180));
Et=229.18*(0.00075+(0.001868*math.cos(theta_rad))-0.032077*math.sin(theta_rad)-
(0.014615*math.cos(2*theta_rad))-(0.04089*math.sin(2*theta_rad)))
TSV=((HO-Epsilon)+(Et/60)+((Lst-Llocal)/15))
omega=15*(12-TSV)
omega_rad=(omega*(math.pi/180))
#####
beta=((math.sin(phi_rad)*(math.sin(delta_rad)))+(math.cos(phi_rad)*math.cos(delta_rad)*m
ath.cos(omega_rad)));
elevacion_rad=math.asin(beta)
elevacion=(elevacion_rad*(180/math.pi))
#####
alfa=((((math.sin(phi_rad)*math.cos(delta_rad)*math.cos(omega_rad))-
(math.cos(phi_rad)*math.sin(delta_rad)))/(math.cos(elevacion_rad)));
azimuth_rad=math.acos(alfa)
azimuth=(azimuth_rad*(180/math.pi))
#####
print("Posición Astrónomica del Sol:",omega,"°")
print("Hora:",HO)
pasos=((((100/12)*HO)-((100/12)*6))
print("Número de pasos enviados al motor a pasos:",pasos)
#####ENVIO DE PASOS AL MOTOR#####
if((HO>6)and(HO<19)):
    #EN.value(0) # Habilitar el controlador TB6550
    DIR.value(1) #Sentido de giro en contra de las manecillas de reloj
    for x in range(pasos):
        STEP.value(1)
        time.sleep(pausa)
        STEP.value(0)
        time.sleep(pausa)
        noche=0
#####
##Colocar los paneles solares en la posicion de origen
if((HO>=19)and(HO<=6)):
    DIR.value(0) #Invertir Sentido de Giro
    for x in range(100):
        STEP.value(1)
        time.sleep(pausa)
        STEP.value(0)
        time.sleep(pausa)
    noche=1

```

Anexo 9. Codificación en micropython para la adquisición y envío de datos mediante MQTT

```
#Importar librerías necesarias
from machine import Pin, ADC, I2C
import network
from Eduponics import bh1750
import math
import time
from sht30 import SHT30
from umqttsimple import MQTTClient
import ubinascii
import machine
import micropython
import ujson
import esp
esp.osdebug(None)
import network
import gc
gc.collect()
#Inicializar sensor SHT30 Medicion de Humedad Relativa RH
sensor = SHT30()
#Inicializar el sensor BH1750
light = bh1750.BH1750()
#Configuración del canal analógico ADC1_0 Sensor de Humedad de suelo Maceta 1
adc_sensor_suelo1=ADC(Pin(36))
adc_sensor_suelo1.atten(ADC.ATTN_11DB) #Full rango: de 0V a 3.3v
adc_sensor_suelo1.width(ADC.WIDTH_12BIT) #rango de 0 a 4095, 12bits de resolución
#Configuración del canal analógico ADC1_3 Sensor de Humedad de suelo Maceta 2
adc_sensor_suelo2=ADC(Pin(39))
adc_sensor_suelo2.atten(ADC.ATTN_11DB) #Full rango: de 0V a 3.3v
adc_sensor_suelo2.width(ADC.WIDTH_12BIT) #rango de 0 a 4095, 12bits de resolución
#Configuración del canal analógico ADC1_6 Sensor de Humedad de suelo Maceta 3
adc_sensor_suelo3=ADC(Pin(34))
adc_sensor_suelo3.atten(ADC.ATTN_11DB) #Full rango: de 0 a 3.3v
adc_sensor_suelo3.width(ADC.WIDTH_12BIT) #rango de 0 a 4095, 12bits de resolución
#Configuración del canal analógico ADC1_4 Sensor de Voltaje
sensor_voltaje = machine.Pin(32) # Se inicializa el PIN32
adc_sensor_voltaje = machine.ADC(sensor_voltaje) # Se inicializa la lectura ADC en el
PIN34
adc_sensor_voltaje.atten(machine.ADC.ATTN_2_5DB) # 6 dB de atenuación. Rango de
lectura entre 0.0V y 2.0V
adc_sensor_voltaje.width(machine.ADC.WIDTH_12BIT) # Lectura con precisión de 9 bits
#Configuración del canal analógico ADC1_7 Sensor de corriente
adc_sensor_corriente=ADC(Pin(35))
adc_sensor_corriente.atten(machine.ADC.ATTN_2_5DB) #6 dB de atenuación. Rango de
lectura entre 0.0V y 2.0V
adc_sensor_corriente.atten(ADC.ATTN_11DB) #Full rango: de 0V a 3.3v
adc_sensor_corriente.width(ADC.WIDTH_12BIT) #rango de 0 a 4095. 12bits de resolución
#Configuración del canal analógico ADC1_5 Sensor de CO2
```

```

adc_sensor_co2=ADC(Pin(33))
adc_sensor_co2 atten(ADC.ATTN_11DB) #Full rango: de 0V a 3.3v
adc_sensor_co2.width(ADC.WIDTH_12BIT) #rango de 0 a 4095. 12bits de resolución
#ssid y contraseña de la red Wifi
ssid='INVERNADERO_IOT'
password='invernaderoiot01'
#Configurar la dirección IP del MQTT Broker, y el respectivo topico
#donde se publicarán los respectivos datos de los sensores del
#invernadero
mqtt_server = '192.168.1.12'
client_id = ubinascii.hexlify(machine.unique_id())
topic_pub1 = b"/esp32/datos_invernadero"
topic_pub2 = b"/esp32/sistema_fotovoltaico"
#Configurar los tiempos de publicación de datos
mensaje_anterior = 0
intervalo_mensaje = 60 #30 segundos

estacion = network.WLAN(network.STA_IF) # crear interfaz de estación
estacion.active(True) # activar la interfaz
estacion.connect(ssid,password)
while estacion.isconnected()==False:
    pass
print(';Conexión establecida!')
print(estacion.ifconfig())# obtener las direcciones IP/netmask/gw/DNS de la interfaz

#Funciones para conectar la tarjeta ESP32 con el broker MQTT
def conect_mqtt():
    global client_id, mqtt_server
    client = MQTTClient(client_id, mqtt_server,port=1883,user=b"iot", password=b"rbiot")
    client.connect()
    print('Conexión exitosa MQTT Broker Mosquitto')
    print((mqtt_server))
    return client

def reiniciar_y_reconectar():
    print('Fallo conexión con el broker MQTT. Reconectando...')
    time.sleep(10)
    machine.reset()
try:
    client = conect_mqtt()
except OSError as e:
    reiniciar_y_reconectar()
while True:
    try:
        if (time.time() - mensaje_anterior) > intervalo_mensaje:
            temperatura, humedadRH = sensor.measure()
            #print('Temperatura:', temperatura, "°C, RH:', humedadRH, '%')
            lux=light.readLight()
            #print('Iluminacion:', lux)
            sensorsuelo1_valor = adc_sensor_suelo1.read()

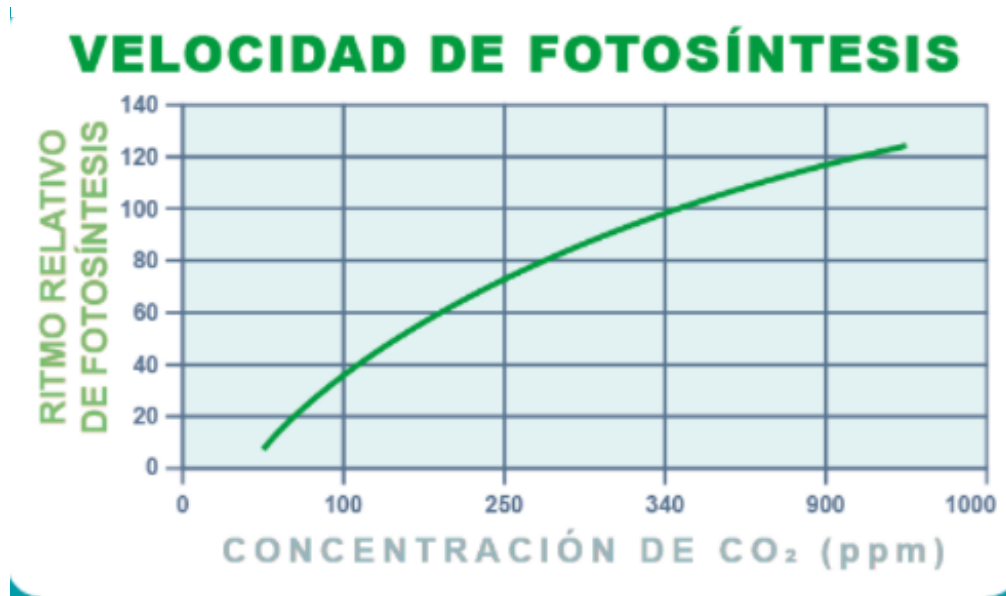
```

```

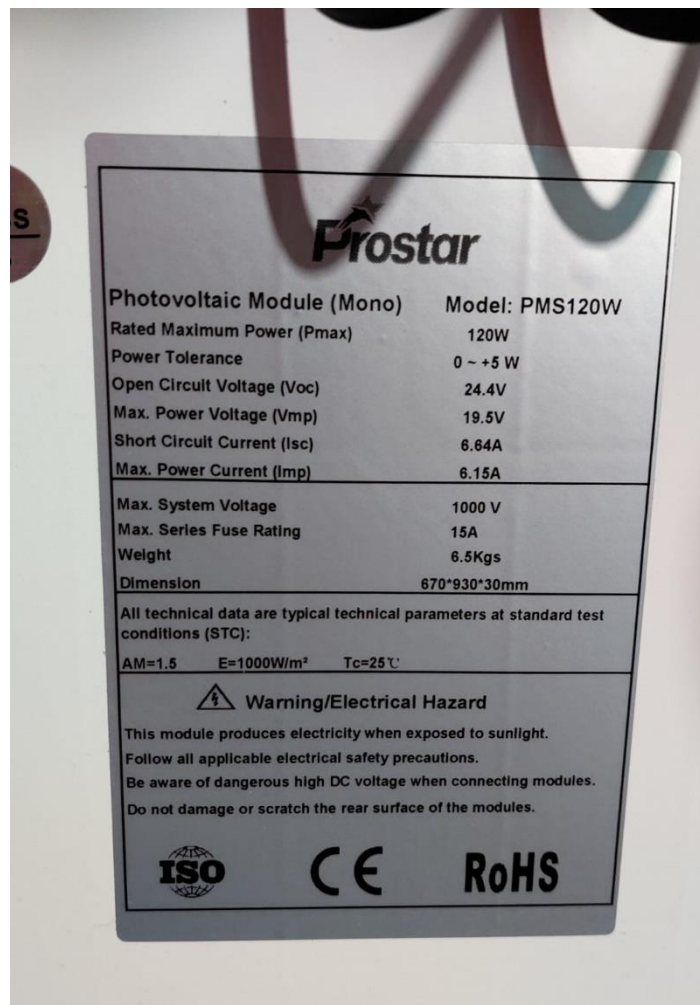
humedadmaceta1=((-100/4095)*sensorsuelo1_valor)+100
#print('HumedadSuelo 1:', humedadmaceta1)
sensorsuelo2_valor = adc_sensor_suelo2.read()
humedadmaceta2=((-100/4095)*sensorsuelo2_valor)+100
#print('HumedadSuelo 2:', humedadmaceta2)
sensorsuelo3_valor = adc_sensor_suelo3.read()
humedadmaceta3=((-100/4095)*sensorsuelo3_valor)+100
#print('HumedadSuelo 3:', humedadmaceta3)
co2_adc=adc_sensor_co2.read()
co2_voltaje=co2_adc*(5/4095)
Rs=20000*((5-co2_voltaje)/co2_voltaje)
co2_valor=(460.17*math.pow((Rs/2913.90),-0.06))
#print('NIVEL CO2 ',co2_valor())
voltaje_lectura=adc_sensor_voltaje.read()
voltaje=(voltaje_lectura*(5/4095))
#print('v',voltaje)
corriente=adc_sensor_corriente.read()
corriente=(corriente*(5/4095))
corriente=((corriente-2.5)/(0.100))
potencia=voltaje*corriente
#Limitar los valores de cada uno de los sensores a dos decimales
lux =("{0:.2f}".format(lux))
humedadRH =("{0:.2f}".format(humedadRH))
temperatura =("{0:.2f}".format(temperatura))
humedadmaceta1 =("{0:.2f}".format(humedadmaceta1))
humedadmaceta2 =("{0:.2f}".format(humedadmaceta2))
humedadmaceta3 =("{0:.2f}".format(humedadmaceta3))
co2=("{0:.2f}".format(co2_valor))
Nivel=("{0:.2f}".format(Nivel))
voltaje=("{0:.2f}".format(voltaje))
corriente=("{0:.2f}".format(corriente))
potencia=("{0:.2f}".format(potencia))
#ENVIO DE DATOS
obj1={"iluminacion_lx":lux,"Porcentaje_Humedad_Relativa": humedadRH,
      "Temperatura_C": temperatura,"Porcentaje_Humedad_Mct1":humedadmaceta1,
      "Porcentaje_Humedad_Mct2": humedadmaceta2,
      "Porcentaje_Humedad_Mct3":humedadmaceta3,
      "CO2_ppm": co2}
obj2={"Voltaje_V":voltaje,"Corriente_A":corriente,"Potencia_W": potencia}
data_invernadero=ujson.dumps(obj1)
data_sistemaFV=ujson.dumps(obj2)
#print(data_invernadero)
#print(data_sistemaFV)
client.publish(topic_pub1, data_invernadero) #Publicar datos en el t3pico
esp32/datos_invernadero
client.publish(topic_pub2, data_sistemaFV) #Publicar datos en el t3pico
esp32/datos_sistema_fotovoltaiico
mensaje_anterior = time.time()
except OSError as e:
    reiniciar_y_reconectar()

```

Anexo 11. Velocidad de fotosíntesis en las plantas



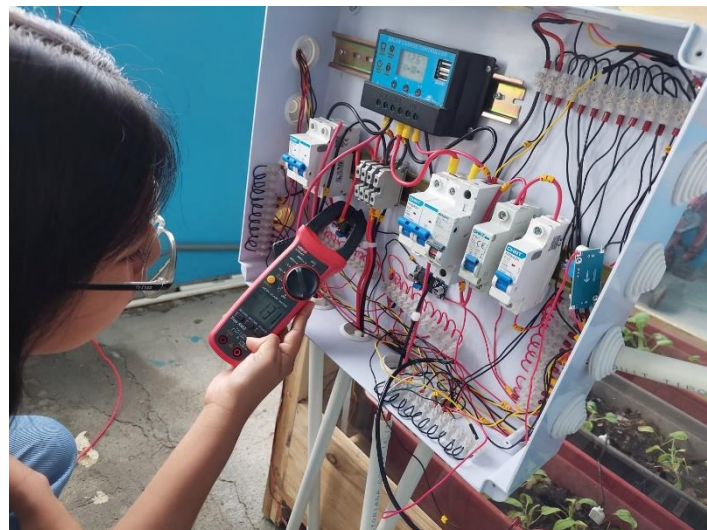
Anexo 10. Placa de datos de los paneles solares utilizados en la propuesta



Anexo 12. Construcción de la propuesta



Anexo 13. Mediciones de voltaje y corriente en la instalación eléctrica



Anexo 14. Configuración del router para el acceso a Internet

Language: English Advanced: [Settings]

☐ Access Point (AP) ☐ Router ☒ Repeater

LAN IP Address: 192.168.1.20
LAN Subnet Mask: 255.255.255.0
Auto. Configure LAN IP Address: ☐

Network Name (SSID): INVERNADERO_IOT
Key Value: invernaderoiot01
Auto. Copy From Router: ☐

Remote Network Name (SSID): SUAREZ_CNT
Auth. and Encryption: WPA2
WPA2 Cipher Suite: ☐ TKIP ☒ AES
Pre-Shared Key Format: Passphrase
Pre-Shared Key: 1529141607094

Site Survey

Anexo 15. Monitoreo remoto a través de la plataforma Thingspeak y Grafana

