



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

Tema:

**SISTEMA DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN AGROINDUSTRIAL 4.0
APLICADO A CULTIVOS VERTICALES.**

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

ÁREA:	Física y Electrónica.
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:	Tecnología de la Información y Sistemas de Control.
AUTOR:	Guillermo Fabián Villacís Zamora
TUTOR:	Ing. Andrea Patricia Sánchez Zumba, Mg.

Ambato – Ecuador

febrero - 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: SISTEMA DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN AGROINDUSTRIAL 4.0 APLICADO A CULTIVOS VERTICALES, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Guillermo Fabián Villacís Zamora, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, febrero 2023.

Ing. Andrea Patricia Sánchez Zumba, Mg.

TUTOR

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado SISTEMA DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN AGROINDUSTRIAL 4.0 APLICADO A CULTIVOS VERTICALES, es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, febrero 2023

Guillermo Fabián Villacís Zamora
CC: 1805306519
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, febrero 2023

Guillermo Fabián Villacís Zamora
CC: 1805306519
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señor Guillermo Fabián Villacís Zamora, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado SISTEMA DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN AGROINDUSTRIAL 4.0 APLICADO A CULTIVOS VERTICALES, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la Señora Presidente del Tribunal.

Ambato, febrero 2023

Ing. Pilar Urrutia, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Santiago Manzano, Mg
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Pamela Castro, Mg
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto de titulación a mis padres Guillermo Villacís y Sara Zamora ya que siempre me han formado con sus valores y enseñanzas, ellos son el pilar fundamental en mi vida y mi ejemplo a seguir.

A mis compañeros y amigos que me compartieron sus conocimientos a lo largo de todo el camino.

Villacís Zamora Guillermo Fabián

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por guiarme con abundante sabiduría y ayudarme a culminar una etapa más de este camino.

Agradezco a mis padres por el apoyo que me han brindado y por qué siempre estar ahí para mí.

Además, agradezco a Carmita V. que siempre me apoyo incondicionalmente en todo momento como si fuera una madre más para mí,

Y sobre todo me agradezco por seguir adelante y no desistir en este camino que no fue fácil pero tampoco imposible.

Villacís Zamora Guillermo Fabián

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	20
CAPÍTULO I	22
MARCO TEÓRICO	22
1.1 Tema de Investigación	22
1.2 Antecedentes Investigativos	22
1.3 Contextualización del Problema	24
1.4 Fundamentación Teórica.....	25
1.4.1 Cultivos Agrícolas	25
1.4.2 Cultivos de Agricultura Vertical.....	26
1.4.2.1 Funcionalidades de la agricultura vertical.....	27
1.4.3 Tipos de Cultivos Agrícolas	28
1.4.4 Cultivo Aeropónico	29
1.4.5 Condiciones climáticas que afecten a los cultivos.....	30
1.4.6 Sistema de riego vertical.....	31
1.4.7 Cultivos de lechuga en sistemas verticales.....	31
1.4.8 Agroindustria 4.0.....	32
1.4.8.1 Aplicaciones que ofrece la Agroindustria 4.0.	33
1.4.9 Sensores	34
1.4.10 Sistema de control	35
1.4.10.1 Sistema de control manual	36
1.4.10.2 Sistema de control Automático	36

1.4.11	Controlador Lógico Programable (PLC)	39
1.4.11.1	Partes de un PLC	39
1.4.12	Transmisión de datos	40
1.4.13	Medios de transmisión de datos.....	40
1.4.13.1	Medio Guiados	41
1.4.13.2	Medios No Guiados.....	41
1.4.14	Protocolo MQTT	41
1.4.14.1	Funcionamiento del protocolo MQTT	42
1.4.15	Monitorización	43
1.4.16	Internet de las Cosas (IoT).....	44
1.4.17	Tecnologías de IoT	44
1.4.18	Arquitectura IoT	45
1.4.19	Plataformas en la nube de IoT	46
1.4.20	Gateway IoT	47
1.4.21	Gateway Raspberry.....	48
1.5	Objetivos.....	48
1.5.1	Objetivo general	48
1.5.2	Objetivos Específicos	48
CAPÍTULO II.....		49
METODOLOGÍA.....		49
2.1	Materiales.....	49
2.2	Métodos	49
2.2.1	Modalidad de Investigación.....	49
2.2.2	Recolección de Información.....	50
2.2.3	Procesamiento y análisis de datos	50
2.2.4	Propuesta de solución	50
CAPÍTULO III		52
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		52
3.1	Análisis y discusión de los resultados.....	52
3.1.1	Entrevista al Ing. Agrónomo Segundo Curay de la Universidad Técnica de Ambato 52	
3.1.2	Objetivo de la entrevista.....	52
3.2	Desarrollo de la propuesta	59
3.2.1	Requerimientos del sistema.....	59
3.2.2	Estudio de la Empresa FVE Importadora Agrícola e Industrial S.A.....	60

3.2.3	Capacitación en las necesidades nutricionales y de riego de lechuga.	62
3.2.4	Diagrama P&ID del Sistema.	66
3.2.5	Selección de los componentes para el dispositivo.	67
3.2.6	Diseño esquemático del proyecto	77
3.2.7	Desarrollo del Sistema de control y monitorización Agroindustrial 4.0 aplicado a cultivos verticales.	80
3.2.8	Arquitectura electrónica de hardware del sistema.	83
3.2.9	Arquitectura de Software del sistema.	85
3.2.10	Desarrollo de la programación del dispositivo	87
3.2.11	Configuración del Gateway	101
3.2.12	Programación de NodeRed	103
3.2.13	Configuración del servidor	105
3.2.14	Configuración telegram	106
3.2.15	Diagrama de control del sistema de control	109
3.2.16	Pruebas de Funcionamiento	110
3.2.17	Validación y eficiencia del Sistema	126
3.2.18	Análisis estadístico del Sistema	129
3.2.19	Comparación de los Sistemas de cultivo.	131
3.2.20	Tiempos de ciclo de cultivo de lechuga evaluado en cada sistema.	133
CAPÍTULO IV		137
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		137
4.1	Conclusiones	137
4.2	Recomendaciones	138
Bibliografía		139
ANEXOS		146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Tipos de Cultivos Agrícolas	28
Tabla 2.	Condiciones climáticas que afecten a los cultivos.	30
Tabla 3.	Sensores apropiados	35
Tabla 4.	Ventajas y desventajas de lazo abierto	38
Tabla 5.	Ventajas y desventajas de lazo cerrado	39
Tabla 6.	Preguntas de entrevista al especialista agrónomo.	53
Tabla 7.	Resultado de la entrevista.....	53
Tabla 8.	Datos de método de cultivo	54
Tabla 9.	Resultado de la pregunta 1	55
Tabla 10.	Resultado de la pregunta 2.....	56
Tabla 11.	Resultado de la pregunta 3.....	57
Tabla 12.	Resultado de la pregunta 4.....	58
Tabla 13.	Ciclos de cultivos de lechuga	63
Tabla 14.	Temperaturas para el cultivo	63
Tabla 15.	Características de los nutrientes del suelo recomendado.....	63
Tabla 16.	Requerimientos nutricionales para el cultivo de lechuga [54].	64
Tabla 17.	Abonos-Fertilización	65
Tabla 18.	Especificaciones técnicas de bombas de agua.....	68
Tabla 19.	Especificaciones técnicas de electroválvulas	69
Tabla 20.	Especificaciones técnicas de Bombas peristálticas dosificadoras	70
Tabla 21.	Comparativa de dispositivos para el Gateway.....	71
Tabla 22.	Comparación del controlador PLC	72
Tabla 23.	Comparativa de sensores de pH.	73
Tabla 24.	Comparativa de sensores de temperatura y humedad.....	74
Tabla 25.	Comparativa de sensores de PH.	75

Tabla 26.	Comparativa de material de tubería y estructura	76
Tabla 27.	Requerimientos Edafoclimáticos	78
Tabla 28.	Comparación del sensor de temperatura.....	121
Tabla 29.	Tabla comparativa de los sensores	122
Tabla 30.	Tabla de error del sensor de Ph	124
Tabla 31.	Tabla de errores del sensor Tp.....	124
Tabla 32.	Tabla de errores del sensor de Humedad.....	125
Tabla 33.	Esquema del análisis de varianza ANOVA.....	130
Tabla 34.	Resultados del análisis entre los sistemas de cultivo más empleados. ...	131
Tabla 35.	Test estadístico de Tukey evaluado entre cada sistema.....	132
Tabla 36.	Resultado estadístico del mejor sistema empleado para el cultivo de lechuga.	132
Tabla 37.	Tiempos de ciclo de cultivo de lechuga.....	133
Tabla 38.	Resultados del análisis de comparación de tiempos de ciclo del cultivo entre los sistemas.	134
Tabla 39.	Test estadístico de Tukey evaluando los tiempos de ciclo de cada sistema	134
Tabla 40.	Resultado estadístico de tiempos de ciclo del cultivo de lechuga empleado entre los sistemas.	135
Tabla 41.	Cálculo de porcentaje de productividad de cada sistema	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Cultivos Agrícolas [11].	26
Figura 2.	Cultivos de Agricultura Vertical[13].	27
Figura 3.	Funcionalidades de la agricultura vertical	27
Figura 4.	Cultivo aeropónico [17].	29
Figura 5.	Sistema de riego vertical [22].	31
Figura 6.	Cultivos de lechuga en sistemas verticales [24].	32
Figura 7.	Agroindustria 4.0 [25].	33
Figura 8.	Aplicaciones que ofrece la Agroindustria 4.0	34
Figura 9.	Diagrama de composición de un sistema electrónico.....	36
Figura 10.	Ejemplo de una planta procesadora [30].	36
Figura 11.	Sistema de control de lazo abierto [31].	37
Figura 12.	Sistema de control de lazo cerrado [33].	38
Figura 13.	Partes de un PLC [37].	40
Figura 14.	Medios de transmisión no guiados [40].	41
Figura 15.	Medios de transmisión no guiados [41].	41
Figura 16.	Esquema de una comunicación mediante el protocolo MQTT [43].	43
Figura 17.	Ejemplo de un tablero de monitorización [45].	43
Figura 18.	Representación del Internet de las Cosas [47].	44
Figura 19.	Arquitectura de una red IoT [49].	46
Figura 20.	Plataforma de AWS IoT [50].	47
Figura 21.	Gateway IoT [51].	47
Figura 22.	Gateway Raspberry [53].	48
Figura 23.	Representación gráfica de la pregunta 1	55
Figura 24.	Representación gráfica de la pregunta 2	56
Figura 25.	Representación gráfica de la pregunta 3	57
Figura 26.	Representación gráfica de la pregunta 4	58

Figura 27.	FVE importadora agrícola e industrial S.A.	61
Figura 28.	Geolocalización de FVE importadora agrícola e industrial S.A	61
Figura 29.	Servicios de trabajo FVE Importadora Agrícola e Industrial S.A.....	62
Figura 30.	Síntomas visuales de deficiencias nutricionales en la lechuga [54].	66
Figura 31.	Diagrama P&ID del sistema.	67
Figura 32.	Raspberry pi 4 b [61].	72
Figura 33.	Controlador PLC Siemens S7-1200	73
Figura 34.	Sensor de PH más tarjeta acondicionadora[64].	74
Figura 35.	Sensor de nivel flotador [70].	76
Figura 36.	Material de tubería y estructura PVC	77
Figura 37.	Diseño esquemático del Sistema de control y monitorización Agroindustrial 4.0 aplicado a cultivos verticales.	79
Figura 38.	Diseño del plano estructural del cultivo vertical.	81
Figura 39.	Modelado de la estructura.....	81
Figura 40.	Estructura de cultivo vertical.....	82
Figura 41.	Diseño de la cavidad de desarrollo del cultivo.	82
Figura 42.	Diseño del sistema	83
Figura 43.	Distribución de pines del PLC.....	84
Figura 44.	Conexión de relés y bombas.....	84
Figura 45.	Conexiones finales de control.	85
Figura 46.	Paro de emergencia.....	87
Figura 47.	Programación de botones de inicio y paro.....	88
Figura 48.	Programación del selector	88
Figura 49.	Lectura de sensores de nivel.....	89
Figura 50.	Accionamiento de los sensores de nivel.....	89
Figura 51.	Lectura del sensor de PH.....	90
Figura 52.	Memoria de tanque lleno.	90

Figura 53.	Accionamiento de riego manual	91
Figura 54.	Proceso de mezclado.	91
Figura 55.	Activación de bomba principal.....	92
Figura 56.	Activación de bomba dosificadora.	92
Figura 57.	Activación EV1	93
Figura 58.	Activación EV2	93
Figura 59.	Activación EV3	94
Figura 60.	Activación EV4	94
Figura 61.	Activación EV5	95
Figura 62.	Proceso de reloj del sistema.....	95
Figura 63.	Programación de la diferencia de Tiempo.....	96
Figura 64.	Riego 1.....	96
Figura 65.	Riego2.....	97
Figura 66.	Riego 3.....	97
Figura 67.	Riego 4.....	98
Figura 68.	Riego 5.....	98
Figura 69.	Riego 6.....	99
Figura 70.	Vaciado.....	100
Figura 71.	Conductividad.....	100
Figura 72.	Valores para node red	101
Figura 73.	Firewall activado	102
Figura 74.	Instalación de NodeRed.....	102
Figura 75.	NodeRed en Raspberry	103
Figura 76.	Conexión con la base de datos.....	103
Figura 77.	Programación de las fechas y horas.....	104
Figura 78.	Programación de las fechas y horas.....	104
Figura 79.	Control de botones.....	105

Figura 80.	DigitalOcean.....	105
Figura 81.	Máquina de Ubuntu	106
Figura 82.	Configuración del BotFather bot	106
Figura 83.	Creación del nuevo bot.....	107
Figura 84.	Token de acceso HTTP API.....	107
Figura 85.	Telegram en node red	108
Figura 86.	Asignación de las variables	108
Figura 87.	Notificaciones de telegram	109
Figura 88.	Diagrama de control del sistema aeropónico.....	110
Figura 89.	Tablero de control.....	111
Figura 90.	Tablero de control.....	111
Figura 91.	Tablero de control del sistema.....	112
Figura 92.	Activación y desactivación de las electroválvulas y la bomba.....	112
Figura 93.	Funcionamiento y rendimiento de las bombas de agua.....	113
Figura 94.	Activación y desactivación de las electroválvulas y la bomba.....	114
Figura 95.	Funcionamiento del sistema aeropónico.....	114
Figura 96.	Activación y desactivación de las electroválvulas y la bomba.....	115
Figura 97.	Ingreso al sistema NodeRed	115
Figura 98.	Ingreso a PHpMyAdmin.....	116
Figura 99.	Ingreso a la tabla de datos de NodeRed.....	116
Figura 100.	Monitorización del sistema	117
Figura 101.	Sistema en funcionamiento	118
Figura 102.	Monitoreo de los niveles del sistema.....	118
Figura 103.	Monitorización de sensores.....	119
Figura 104.	Chatboot de Telegram.....	119
Figura 105.	Control del estado del sistema por Boot de telegram	120
Figura 106.	Digital Ocean	120

Figura 107.	Sensor de PH con su visualización	121
Figura 108.	Sensor de temperatura.....	122
Figura 109.	Plantas de lechuga de 20 días de germinación en la estructura de Aeroponía.	126
Figura 110.	Primera etapa luego de 15 días y segunda remesa de plántulas de lechuga.	127
Figura 111.	Plantas de lechuga de un mes en el sistema aeroponico.....	128
Figura 112.	Registro de los datos de parámetros recolectados durante 8 días de toma de muestras.	129
Figura 113.	Resultado de comparación de sistemas de cultivo.....	133
Figura 114.	Resultados de comparación de los tiempos de ciclo de cultivo en distintos sistemas.135

RESUMEN EJECUTIVO

El actual proyecto de investigación propone la implementación de un Sistema de Control y Monitorización aplicado a la agricultura vertical eficiente o Agroindustria 4.0 en beneficio de agricultores y productores, debido a que el proceso agrónomo requiere de factores como áreas verdes, procesamiento, condiciones climáticas, hidratación, financiación etc. En base a dichos factores y las investigaciones en este campo se ha desarrollado un sistema útil en la agricultura, que asegura la calidad de producción, el sistema diseñado incluye una estructura estética y ecológica, que aprovecha espacios reducidos, es sostenible y económico, ahorra de forma eficiente cada recurso utilizado y ofrece un método diferente al proceso agroindustrial.

El proyecto se lleva a cabo mediante un sistema de riego vertical y enfocado en un cultivo de pruebas para la lechuga, lo cual permite aplicar tres etapas o fases, como son la tecnología aeropónica o agroindustrial 4.0. Para el proceso de control en la etapa de riego y fertilización se hace uso de controladores lógicos programables y de sensorización para el control de humedad, PH y temperatura; la comunicación del sistema se realiza con un Gateway por medio de un protocolo de mensajería, y el diseño de una base de datos con el uso de plataformas de almacenamiento, se puede monitorear el estado de los cultivos a través de una aplicación móvil.

Este sistema ofrece un apoyo en el campo de la agroindustria, en los procesos de cultivo de productos sanos para el consumidor final, además de promover una mayor productividad tanto para el agricultor como los productores, ofrece un método diferente e innovador en la agricultura, disminuyendo la contaminación, reduciendo espacios de terrenos cultivables, también aumenta el consumo de productos de alta calidad, y aprovecha los recursos de agua, además aporta a los agricultores un mayor control sobre sus plantaciones, lo cual garantiza la calidad de producción de forma rápida y efectiva.

Palabras Claves: Agroindustria 4.0, sistema, riego vertical, cultivos, lechuga

ABSTRACT

The current research project proposes the implementation of a Control and Monitoring System applied to efficient vertical agriculture or Agroindustry 4.0 for the benefit of farmers and producers, contributing to the consumers of the cultivated product, due to the fact that the agronomic process requires factors such as green areas, processing, climatic conditions, hydration, financing etc. Based on these factors and research in this field, a useful system has been developed in agriculture, which ensures the quality of production, the designed system consists of an aesthetic and ecological structure, which takes advantage of small spaces, is sustainable and economical, efficiently saves every resource used and offers a different method to the agro-industrial process.

The project is carried out through a vertical irrigation system and focused on a test crop for lettuce, which allows the application of three stages or phases such as aeroponic or agro-industrial 4.0 technology. For the control process in the irrigation and fertilization stage, use is made of programmable logic controllers, as well as sensorization for the control of humidity, PH and temperature, the communication of the system is done through a Gateway by means of a messaging protocol, as well as the design of a database with the use of storage platforms, and monitoring the state of the crops through a mobile application.

This system offers support in the field of agribusiness, in the processes of cultivation of healthy products for the final consumer, in addition to promoting greater productivity for both the farmer and producers, offers a different and innovative method in agriculture, reducing pollution, reducing spaces of arable land, also increases the consumption of high quality products, and takes advantage of water resources, also provides farmers with greater control over their plantations, which ensures the quality of production quickly and effectively.

Keywords: Agribusiness 4.0, system, vertical irrigation, crops, lettuce.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación denominado Sistema de Control y Monitorización Agroindustrial 4.0 Aplicado a Cultivos Verticales, ofrece un apoyo en el área de la agricultura mediante un método diferente de cultivar, tratar, tecnificar y controlar productos de calidad, a través de un sistema de control y monitorización Agroindustrial que aplica tecnología aeropónica y agroindustrial 4.0, lo cual regula el proceso de riego y fertilización a través de controladores lógicos programables, acorde a la sensorización de humedad, PH y temperatura, por medio de protocolos y plataformas programables que permiten un almacenamiento de datos para que el productor y agricultor puedan monitorear el estado de los cultivos usando una aplicación móvil y lograr un eficiente control sobre sus plantaciones.

El desarrollo del proyecto de investigación y su aplicativo se divide en cuatro capítulos explicados a continuación.

Capítulo I, se efectúa el desarrollo investigativo del proyecto con la técnica de investigación aplicada basado en investigación bibliográfica, análisis de artículos científicos, libros, tesis y temas relacionados con el proyecto, así como información recolectada de fuentes bibliográficas que permitan conocer los requerimientos y especificaciones de sistemas de riego para la agricultura vertical, de los sistemas de riego inteligentes y automatizados utilizando tecnología IoT. De esta manera se establecen, el objetivo principal y específicos que permitan analizar y determinar una solución al problema que los productores y agricultores presentan en el campo del cuidado, tratamiento y producción de los productos en el área de la agricultura,

Capítulo II, se describe la metodología aplicada en el proyecto de investigación, abarca la parte de software y hardware necesarios para su desarrollo en base a la problemática planteada, se define de igual la modalidad utilizada y el análisis de los elementos para dar paso al desarrollo del trabajo.

Capítulo III, se desarrolla el proyecto de investigación basado en cada etapa planteada y estudiada, en base a las necesidades como funcionalidades requeridas para satisfacer de manera óptima, dando cumplimiento al sistema aplicado en el área de Agroindustria para apoyar tanto al productor, agricultor y consumidor en el campo de tratamiento, producción, cultivo y consumo de productos de calidad mediante un método diferente de

agricultura. Se diseña y valida el sistema basándose en simulaciones, pruebas de funcionamiento de campo y resultados del proyecto.

Capítulo IV, se describe las conclusiones y recomendaciones como consecuencia del proyecto desarrollado, mediante los resultados y aportación de información útil para investigaciones futuras en el área.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de Investigación

Sistema de control y monitorización agroindustrial 4.0 aplicado a cultivos verticales.

1.2 Antecedentes Investigativos

En la investigación realizada sobre las nuevas tecnologías de los sistemas de riego, se han desarrollado varios trabajos para optimizar el riego y facilitar el método de utilización donde no intervenga la mano del hombre, además se basa en la tecnología IoT, abriendo un campo extenso para las automatizaciones en la comunidad.

Gerhard Petrus Hancke y Adnan M. Abu-Mahfouz, el 22 de junio de 2020 publicaron el artículo denominado **“From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges”** Menciona que las tres revoluciones industriales transformaron profundamente la industria agrícola de la agricultura autóctona a la agricultura mecanizada y la agricultura de precisión reciente. Se espera que la Industria 4.0 remodele la industria agrícola una vez más y promueva la cuarta revolución agrícola, en este contexto, la agricultura industrial sostenible e inteligente se lograría mediante la recopilación, el procesamiento y el análisis de datos espaciotemporales variables y detallados en tiempo real en todos los aspectos de la industria agrícola, desde la producción, el procesamiento y la distribución de alimentos hasta la experiencia del consumidor. Además, cinco tecnologías emergentes, a saber, Internet de las cosas, robótica, inteligencia artificial, análisis de big data y blockchain, hacia Agriculture 4.0 se discuten. Específicamente, se enfocan en las aplicaciones clave de estas tecnologías emergentes en el sector agrícola y los desafíos de investigación correspondientes. Para abordar estos problemas, es esencial integrar las tecnologías emergentes de la Industria 4.0 en la agricultura. Por lo tanto, en este artículo, presenta discusiones detalladas sobre las aplicaciones clave y los desafíos de investigación cuando estas tecnologías se encontraron con la agricultura [1]

En el artículo científico denominado **“Bioeconomía, economía circular y agroindustria 4.0: proposiciones para las transiciones tecnológicas emergentes.”** Publicado en el año 2022 por Bruno Gouveca, José Carlos de Jesús, Carolina Nogueira Y Kalil Neiva,

presenta la evolución tanto económica como la transición tecnología, lo cual establece a la agroindustria 4.0 una conexión digital en diferentes aspectos como lo son las grandes cadenas productivas agroindustriales que interfieren de una forma más sostenible e inteligente. Este artículo científico se establece la factibilidad que ha tenido en la actualidad la agroindustria 4.0 y su enfoque en los diferentes aspectos económicos y sostenibles para el futuro de los cultivos. Gracias a este artículo se puede determinar el cambio que ha existido para contribuir a una economía más ágil utilizando los parámetros necesarios de la agricultura inteligente, de igual forma proporciona la bioeconomía sostenible que presenta automatizar la agricultura [2].

La investigadora Srishti Rawal presentó en el año de 2017, el artículo de investigación titulado “**IoT based Smart Irrigation System**”, donde desarrolló e implementó un sistema de riego automatizado con sensores de humedad relativa del suelo y un controlador para una válvula de aspersión. Los valores obtenidos por el sensor de humedad permitieron que el sistema administre de forma adecuada la cantidad de agua, de esta manera se evita un riego excesivo/insuficiente, estos datos son adquiridos por un microcontrolador Atmega328p. La información de los sensores es actualizada regularmente en una página web utilizando dispositivos GSM-GPRS y un módem SIM900A a través del cual el agricultor puede comprobar si los rociadores están encendidos o apagados en un determinado momento. Además, todos los datos se transmiten a un canal Thing Speak que genera gráficas dinámicas. En el momento de la implementación se obtuvo un valor inicial de humedad del 79%, por lo tanto, el valor permite que el sistema apague el rociador debido a que la humedad relativa es alta. Posteriormente se tomaron lecturas por varios días dando como resultado la disminución del consumo de agua y un mejor control de la humedad del suelo [3].

Los investigadores Buscaratto, Silva, R. Silva y Almeida, presentaron en el año 2019 el artículo científico denominado “**System integration between PLCs and IoT devices**”, en este artículo se demuestra la efectividad de conectar los Controladores Lógicos Programables (PLC) a Internet permitiendo de esta manera el acceso remoto a los equipos que son utilizados y requeridos en la mayoría de los procesos industriales. A partir de un dispositivo Industrial de IoT (IIoT) integrado con el PLC, se empleó un algoritmo de Inteligencia Artificial (AI), que procesa y gestiona todos los datos recibidos de los sensores conectados al PLC's en la nube, convirtiéndolos en dispositivos inteligentes

(SD). Así, se puede lograr intercambiar datos a través de Internet con otras SD, agregando valor a la información e integración / convergencia entre las tecnologías habilitadoras de la "Industria 4.0". Los resultados obtenidos en la primera etapa del proyecto permitieron la interconexión de varios PLC's y equipos Smart a Internet, con una inversión inicial muy baja [4].

1.3 Contextualización del Problema

El crecimiento poblacional acelerado en zonas urbanas y rurales en el cantón Ambato, ha ocasionado que se reduzcan considerablemente las áreas verdes y terrenos cultivables, esto provoca que aumenten los niveles de contaminación, se eleven los costos en los precios de los alimentos y se pierdan suelos cultivables [5]. A su vez la escasez de agua, las inundaciones, las sequías y otros factores climáticos han ocasionado que los agricultores pierdan un gran porcentaje de su producción. Estos inconvenientes y pérdidas son evitables si se tiene una gestión cuidadosa del suelo y a su vez se implemente nuevas técnicas agrícolas que sean sostenibles [6].

En varias zonas de la sierra centro la actividad agrícola se tornó insostenible debido a malas prácticas agrícolas, entre las que se encuentran: el uso y abuso de fertilizantes y pesticidas, el excesivo pastoreo de animales, la inadecuada rotación de cultivos y la mala aplicación de sistemas de riego que son considerados como los principales procesos ejecutados por el hombre que ocasionan una excesiva degradación del suelo [5]. Todos estos factores ocasionan que los agricultores busquen nuevas técnicas agrícolas, una de ellas es la implementación de la agricultura vertical inteligente, en la cual es estrictamente necesario tener mayor cuidado y atención, ya que no pueden ser operadas manualmente y necesitan una automatización con sensores [7].

Hoy en día muchos agricultores no implementan instalaciones verticales debido a que existen algunos inconvenientes sin resolverse como son: nulo conocimiento sobre esta técnica agrícola, sistemas de riego ineficientes, escasez de agua y falta de nutrientes, además muchos agricultores aun utilizan procesos manuales en la gestión de sus cultivos [5]. Este problema se puede solucionar fácilmente haciendo uso de un sistema automatizado y controlado por un autómatas programable que este enlazado a una plataforma IoT, para que los cultivos sean monitorizados constantemente mediante sensores [8]. Existen nuevas tecnologías de control como es la agroindustria 4.0, que se

están desarrollando a un ritmo acelerado en la nube Cloud Connect mejorando el sector agrícola [9].

La implementación de la agricultura vertical eficiente o Agroindustria 4.0 es orientada a diferentes beneficiarios directos tales como: agricultores y productores, como beneficiarios indirectos están: los consumidores finales ya sean las familias de cada uno de sus hogares o los clientes consumidores de productos sanos. Además, tiene múltiples beneficios no solo estéticos también climáticos y ecológicos ya que funcionan como filtros vivos de sustancias tóxicas del ambiente, generan oxígeno, reducen el calentamiento global, se reduce el espacio de los terrenos cultivables, aumento de consumo de productos naturales, crecimiento económico de cultivos y las condiciones climáticas no afectan al cultivo debido a que se encuentra aislados de la tierra. El sistema de riego ayuda a reducir y ahorrar de forma eficiente el agua, y con ello reducir también la contaminación ambiental, además los agricultores tienen mayor control sobre sus plantaciones mejorando la calidad de la producción y adquiriendo una gestión sostenible de sus terrenos.

Para llevar a cabo el presente proyecto se realiza un sistema de riego vertical para cultivos de lechuga en tres etapas, aplicando tecnología aeropónica e agroindustria 4.0. En el proceso de riego y fertilización es controlada por un PLC de acuerdo a los sensores de humedad, PH y temperatura, el cual también se conecta al Gateway a una plataforma en la nube para el almacenamiento de los datos de los sensores y monitorización del estado de los cultivos por medio aplicación móvil. La factibilidad económica de este sistema tiene un incremento de ganancias de producción en agricultura ya que es un método tecnificado y controlado.

1.4 Fundamentación Teórica

1.4.1 Cultivos Agrícolas

Se denomina como un sistema de producción cuyo principal objetivo es ofrecer productos sanos, usados para alimentación y así tener una mejor nutrición en las personas que lo consumen, así como en los agro ecosistemas, el medio ambiente con su diversidad biológica y el trato adecuado del terreno cultivable referido agrícola, debido a que en el área en el cual se produce cultivos orgánicos no se presentan pesticidas o sustancias químicas que perjudique al medio ambiente, plantaciones llevado a cabo mediante

métodos orgánicos o biológicos y buenas prácticas agrícolas como se observa en la figura 1. [10].

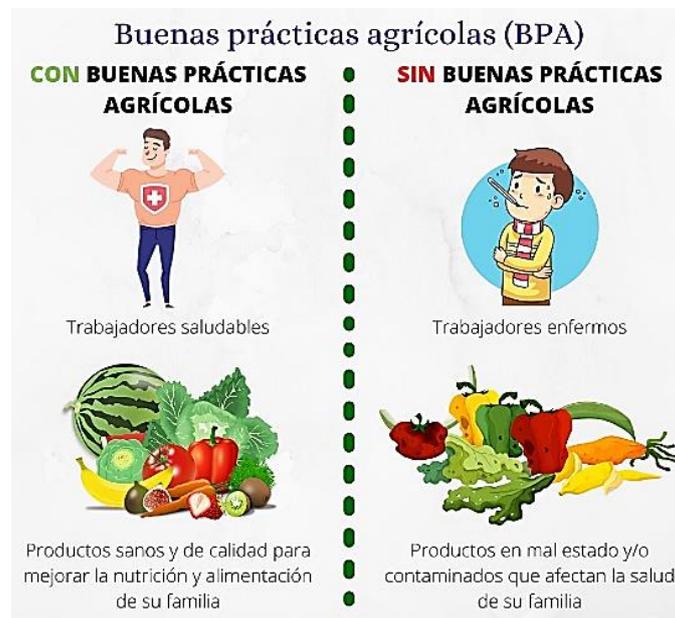


Figura 1. Cultivos Agrícolas [11].

1.4.2 Cultivos de Agricultura Vertical

Un alto crecimiento poblacional hace que más áreas se urbanicen en terrenos que sirven para el cultivo, la agricultura vertical surge como un método diferente de cultivar, su diseño permite a los cultivos posicionarse de manera vertical en un interior cerrado y controlado con las condiciones necesarias de luz, temperatura y humedad, hace efectivo al desarrollo de las plantaciones con múltiples beneficios como se muestra en la figura 2, así también permite reducir espacios, aumentar el crecimiento de productividad y ahorro de agua [12].

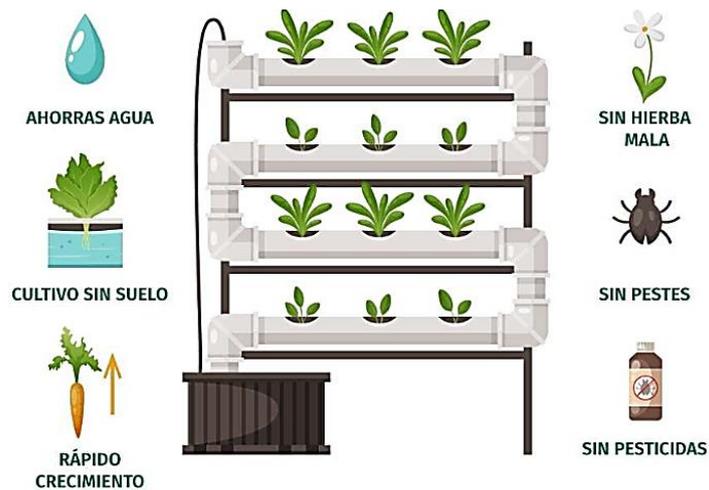


Figura 2. Cultivos de Agricultura Vertical[13].

1.4.2.1 Funcionalidades de la agricultura vertical

Para comprender cuales son los aspectos principales a considerar en el método de cultivo vertical se divide en cuatro puntos clave como se muestra a continuación en la figura 3, estructurada por la disposición física, condiciones de iluminación, medio de desarrollo del cultivo y sostenibilidad del proceso.



Figura 3. Funcionalidades de la agricultura vertical

Elaborado por: El investigador a partir del artículo The Transformative Environmental Effects Large-Scale Indoor Farming May Have On Air, Water, and Soil [14].

1.4.3 Tipos de Cultivos Agrícolas

El estudio se enfoca en las áreas de plantación particulares, cada una demanda de un distinto proceso de producción, en el cual se analiza e identifica las características más relevantes en cada uno de los cultivos clasificada en la tabla 1.

Tabla 1. Tipos de Cultivos Agrícolas

Tipos de Cultivos	Concepto
Monocultivos	El producto se cultivaba en una sola plantación y en un terreno extenso.
Policultivos	En el mismo espacio de terreo se puede realizar más de una cosecha de diferentes productos, cuidando no sobrecargar el suelo fértil.
Transgénicos	Las semillas de los productos son tratados previos a la siembra lo cual impide la polinización.
Hidropónicos	Son cultivos que se tratan en otro ambiente que no es el suelo sino por medio de un método que ofrece todas las cualidades para el desarrollo del producto, dando paso a su crecimiento.
Aeropónicos	Las plantaciones se desarrollan en el aire siendo uno de los sistemas más rápidos para productividad, pues no requieren de suelo.
Organopónicos	Son cultivos que no requieren de suelo sino simplemente sean nutridos con una mezcla de agua y fertilizantes que reemplazan minerales y nutrientes que ofrece el suelo para su desarrollo.
Tradicionales Geopónicos	Son aquellos cultivos básicos para la alimentación de las personas que se dan en un entorno simple como los grados y cereales producidos en la tierra.
No tradicionales	Los cultivos o productos que no necesariamente son primordiales para la alimentación sino usados en otra amplia comercialización de uso.

Elaborado por: El investigador [15].

1.4.4 Cultivo Aeropónico

Es una manera diferente de la producción de los cultivos, considerando un sistema moderno en el cual se coloca las plantas en posición vertical por cilindros de PVC, en cuyo interior crece y se desarrollan las raíces suspendidas en el aire sin necesidad de un suelo, siendo tratados y controlados en ambientes cerrados y reducidos lo cual aumenta la productividad y calidad del producto, en la figura 4, se visualiza el esquema representativo de este tipo de cultivos así como sus beneficios.[16].

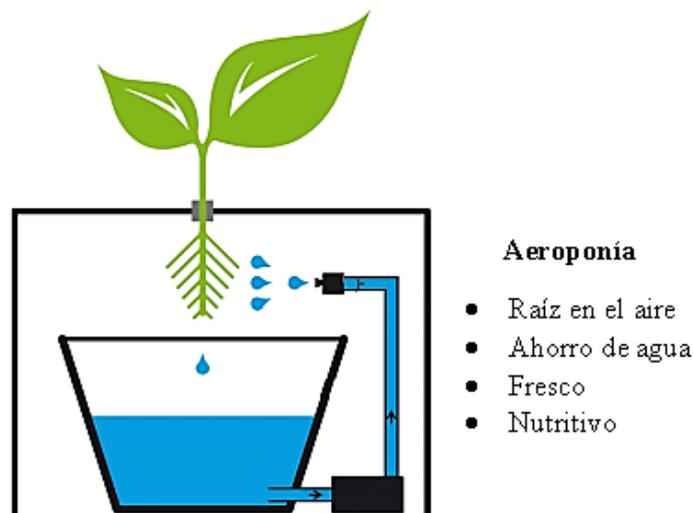


Figura 4. Cultivo aeropónico [17].

Ventajas

- Existe mayor oxigenación para el desarrollo del cultivo, pues su raíz está expuesta y suspendida en el aire lo cual beneficia al crecimiento.
- El recurso de agua se aprovecha al máximo pues con esta técnica existe menos evaporación y mayor absorción que otros métodos.
- Reduce la exposición a plagas y enfermedades que se encuentran principalmente en el suelo y deterioran los cultivos, lo cual aumenta la calidad del producto
- Se puede cultivar en espacios reducidos y a una mayor escala de producción [18].

Desventajas

- En el área de cultivos, el sistema y método aeropónico tiene sus desventajas y una de las principales, es necesariamente el conocimiento tanto en el campo agrícola como en el campo de la tecnología.
- Otro punto a declarar es la constancia y el tiempo que se debe emplear para vigilancia y regulación en el proceso de desarrollo de las plantaciones.
- El alto costo de implementar el sistema, aunque si se tiene el conocimiento de cultivador se puede aprovechar para tener ganancias siendo más efectivo que el método tradicional [19].

1.4.5 Condiciones climáticas que afecten a los cultivos

Uno de los factores clave para el cultivo de plantaciones son las condiciones climáticas, de acuerdo al entorno en el cual son expuestos estos pueden desarrollarse o no, por ello es fundamental estudiar esta área, debido a que si se desea tener un producto es necesario tener un ambiente controlado con una infraestructura adecuada para el producto a cultivar, por ello se toma como referencia el manual de establecimiento de cultivos con sus factores que se muestra en la siguiente tabla 2.

Tabla 2. Condiciones climáticas que afecten a los cultivos.

Condiciones Ambientales	Causas
Luz	Fuente de energía para el proceso de fotosíntesis y llevar a cabo su desarrollo.
Temperatura	Regula la velocidad con la cual se desarrolla el cultivo y se clasifican en plantas de clima frío y caliente.
Agua	Permite el crecimiento y desarrollo de la raíz siendo la parte principal para alimentar la planta y recolectar todos los nutrientes requeridos, elemento de mayor importancia.
Precipitación	Es la determinación de lluvia y riego en los cultivos, mediante el control de drenaje en zonas lluviosas y retención e infiltración en zonas secas.
Altitud y Latitud	Refiriéndose a las zonas geográficas como templadas o tropicales en las cuales se dan diferente producto.
Nutrientes	Se consideran dos tipos los que se encuentran en la atmosfera como agua, oxígeno, hidrógeno, carbono y los que se encuentran en el suelo como fósforo, calcio, potasio, magnesio, cinc, cobre, etc.

Elaborado por: El investigador [20].

1.4.6 Sistema de riego vertical

Una de las problemáticas que surge en zonas urbanas o ciudades como Ambato es el alto grado de contaminación, por lo cual una de las ideas es la aplicación de sistemas de riego verticales en zonas urbanas e industriales, este sistema consiste en aprovechar los recursos como el consumo de agua para ello se forma una estructura vertical con espacios en donde se colocan las plantaciones, además contiene un sistema de control y monitorización brindando a los cultivos las mejores condiciones para su desarrollo como son: luminosidad, humedad, temperatura, PH, etc. Se visualiza en la figura 5, el esquema estructural de un sistema vertical, estos sistemas purifican las áreas en las cuales se implementan [21].



Figura 5. Sistema de riego vertical [22].

1.4.7 Cultivos de lechuga en sistemas verticales

La lechuga se considera como uno de los productos mejor adaptados en el área del cultivo una de sus ventajas es que no requiere de condiciones climáticas exactas, se adapta fácilmente y es un producto muy usado en la gastronomía de todo el mundo, tiene un ciclo de desarrollo muy rápido desde que se siembra hasta su cosecha con una duración de 50 a 60 días, las condiciones que requiere este tipo de cultivos se describe a continuación, así como en la figura 6, se representa el cultivo de lechuga y sus partes [23].

- **Temperatura.** - Está preparada para soportar temperaturas entre los rangos de 0°-30°, siendo el rango intermedio de 15-25° el más adecuado para su máximo desarrollo.
- **Humedad.** - Es un factor clave para que la lechuga crezca con la humedad necesaria sin que se produzcan parásitos y hongos que afecten al cultivo, esta humedad oscila entre 60-70°.
- **Suelo.** – El suelo debe estar nutrido con minerales necesarios para el desarrollo de la lechuga y muy absorbente en retención de agua para hidratar constantemente.
- **Agua.** - Lo que más requieren las plantaciones de lechuga para su óptimo desarrollo es el agua como liquido principal, se debe suministrar y mantener humectada la planta siempre con 4mm de agua [24].

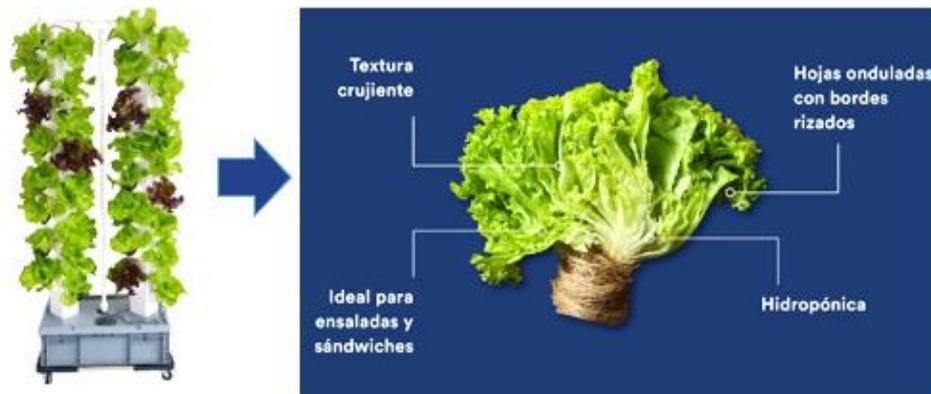


Figura 6. Cultivos de lechuga en sistemas verticales [24].

1.4.8 Agroindustria 4.0

Los inicios de la revolución industrial llegaron a surgir mediante mecanizaciones y procesos, al igual que el uso de la electricidad con fines industriales en la cual se considera la automatización, las conexiones de red y control, todos esos ámbitos dieron paso a la época de la industrial llegando a enfocarse en las áreas productivas hasta llegar a lo que hoy se conoce como Agroindustrial 4.0, que va creciendo a pasos agigantados en el uso de la tecnología, innovación y ciencia.

Aplicar el internet de las cosas en la industrial ha permitido maximizar sus procesos, interconectar máquinas, controlar áreas mediante software, realizar modelos de inteligencia artificial para tomar decisiones, así como la automatización para optimizar recursos, aplicado especialmente a procesos alimentarios y de consumo ha sido de gran importancia y más ahora con el concepto de Agroindustrial 4.0, expandiendo un nuevo

método con beneficios de productividad eficientes, ya que no solo toma como referencia el producto final sino cada una de las etapas de desarrollo, desde su semilla hasta la entrega del producto final, se puede visualizar en la figura 7, algunos ejemplos aplicados de la agroindustria 4.0 [25].



Figura 7. Agroindustria 4.0 [25].

1.4.8.1 Aplicaciones que ofrece la Agroindustria 4.0.

La agroindustrial 4.0 es un ámbito de crecimiento progresivo y un área de estudio extenso en aplicaciones, con métodos y procesos diferentes en el ámbito de control y monitorización, así como la recolección de datos para un mayor registro del avance de cada uno de los productos y cultivos, también en la manera de análisis en cada etapa para así maximizar la productividad y tener mayores beneficios, hoy en día los agricultores y productores tiene una gran facilidad de controlar sus cultivos con tan solo conectarse a la nube por medio de un dispositivo móvil, apoyando en las necesidades que se requiere satisfacer. En la figura 8, se observa algunas de las aplicaciones que la Agroindustrial 4.0 ofrece.



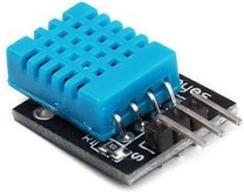
Figura 8. Aplicaciones que ofrece la Agroindustria 4.0

Elaborado por: El investigador a partir del artículo: Application of simulation models in agricultural mechatronic design for Agroindustry 4.0. [25].

1.4.9 Sensores

De acuerdo al estudio definido de los cultivos Aeropónicos enfocados en la plantación de lechuga se constata los requerimientos que necesita este método agroindustrial, lo cual demanda de sensores que satisfaga las necesidades en esta área, por ello se describe en la tabla 3, las características generales de los sensores a utilizar para su posterior clasificación y selección, siendo adecuados para este proyecto los sensores análogos [26].

Tabla 3. Sensores apropiados

Sensor	Características
<p>Temperatura y Humedad</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Buena medición a baja potencia -Bajo costo -Precisión humedad relativa $\pm 2\%$ -Precisión temperatura $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ -Comunicación I2C -Rango de temperaturas -40°C a 125°C -Voltaje de alimentación 2,7V a 5V -Estabilidad ante humedades altas.
<p>Nivel</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Dimensiones de cable: 30cm -Voltaje: DC hasta 12V -Consumo de energía: 0.5 A -Interfaz: + - DO AO -Temperatura de funcionamiento: $-10-85^{\circ}\text{C}$
<p>pH</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Alimentación: 5 V - Rango de medición: 0-14 pH -Temperatura de medición: $0-80^{\circ}\text{C}$ -Precisión: $\pm 0.1\text{pH}$ (25°C) -Tiempo de respuesta: = 5s -Sonda de pH con conector BNC

Elaborado por: El investigador [26].

1.4.10 Sistema de control

Un sistema de control es un conjunto de diferentes dispositivos tales como elementos para recibir o enviar información, actuadores, microcontroladores etc. Los cuales están interconectados entre sí con el fin de poder manipular el comportamiento de algún sistema, para que este realice uno o varios procesos según las especificaciones o necesidades de la industria. Se tienen dos tipos de sistemas de control, los cuales son controles manuales y controles automáticos, en la figura 9, se especifica el diagrama de composición de un sistema electrónico [27].

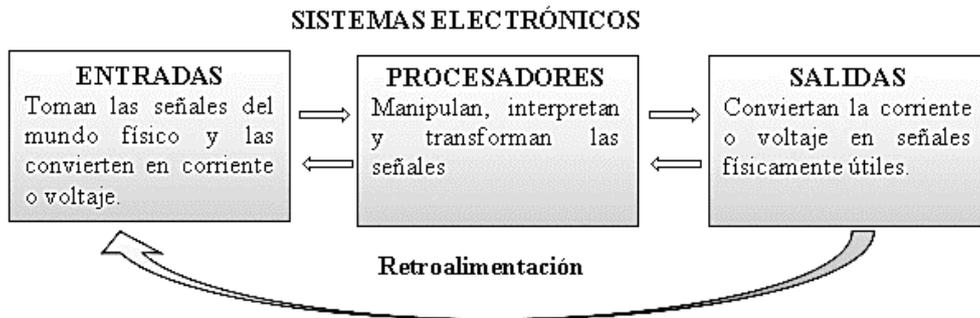


Figura 9. Diagrama de composición de un sistema electrónico

Elaborado por: El investigador a partir del artículo Sistema de control [27].

1.4.10.1 Sistema de control manual

Un sistema de control manual es el sistema en el cual tiene que intervenir el hombre u operario para que este pueda funcionar, este sistema se encuentra alrededor de la vida cotidiana ya sea cuando se maneja un auto, el encendido de luces en a la casa o simplemente al abrir o cerrar una válvula de agua [28].

1.4.10.2 Sistema de control Automático

Un sistema de control automático es un sistema que tiene un control interno el cual reemplaza al operario humano, es decir este se encarga de recolectar datos, enviar información y activar o desactivar elementos para que el sistema cumpla con un objetivo específico o mantenga al sistema entre un rango de valores o posibles estados. Como principales ejemplos se encuentran los sistemas de control en fábricas como una planta procesadora de alimentos o en embotelladoras, en la figura 10, se observa el ejemplo de una planta procesadora [29].



Figura 10. Ejemplo de una planta procesadora [30].

Al utilizar un sistema de control automático se establece una automatización para la empresa o la fábrica, debido a que la materia prima pasa por algunos procesos automáticos sin la intervención del hombre o esta a su vez sea mínima, para posteriormente tener el producto de salida logrando así incrementar la producción, mejorar la calidad del producto, economizar gastos de materia prima y energía [28]. Los sistemas de control automático pueden ser de lazo abierto o de lazo cerrado.

1.4.10.2.1 Sistema de control de Lazo Abierto

Este sistema no mide la salida de un proceso por lo cual no tiene una retroalimentación para poder controlar la entrada, en si se establece como un proceso en serie sin medir o sensar las variables del entorno o proceso, con lo cual el sistema funciona solo con el conocimiento previo que se tiene del sistema y no se puede adaptar a algún cambio del mismo [31]. En la figura 11, se observa el esquema de un sistema de control de lazo abierto.

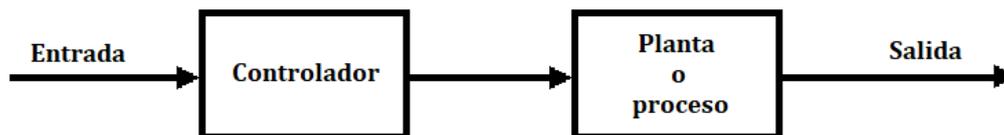


Figura 11. Sistema de control de lazo abierto [31].

Ventajas y Desventajas de un sistema de control de lazo abierto

Al utilizar un sistema de control de lazo abierto este tiene diferentes factores que influyen en el sistema y depende de las necesidades del mismo para que pueda funcionar correctamente, en la tabla 4, se muestra las ventajas y desventajas al usar un sistema de control de lazo abierto.

Tabla 4. Ventajas y desventajas de lazo abierto

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • No requiere de un sensor 	<ul style="list-style-type: none"> • Si existen variaciones del sistema o disturbios generan errores significativos
<ul style="list-style-type: none"> • Si se conocen bien las condiciones del sistema a controlar y no se tienen cambios bruscos son ideales 	<ul style="list-style-type: none"> • No pueden operar en condiciones en donde los sistemas cambian rápidamente de condiciones
<ul style="list-style-type: none"> • Los sistemas en los que se pueden implementar son amplios 	<ul style="list-style-type: none"> • La efectividad depende de la calibración
<ul style="list-style-type: none"> • Costo bajo del sistema completo 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita componentes que tengan alta precisión
<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de implementar 	

Elaborado por: El investigador [32].

1.4.10.2.2 Sistema de control de Lazo Cerrado.

Este sistema tiene una retroalimentación en la cual la salida controlada se compara con una señal de referencia o con la señal de entrada y según las necesidades del sistema, este realiza alguna acción de control para que el sistema pueda funcionar según las condiciones o especificaciones acordadas, en la figura 12, se visualiza el proceso que realiza un sistema de control de lazo cerrado [33].

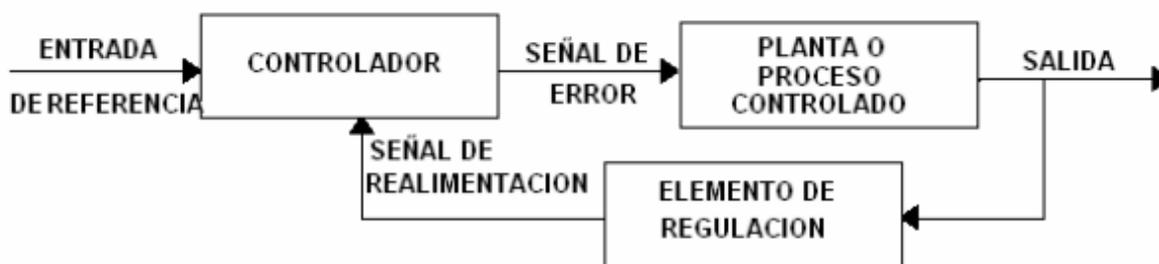


Figura 12. Sistema de control de lazo cerrado [33].

Ventajas y Desventajas de un sistema de control de lazo cerrado

Un sistema de control de lazo cerrado tiene diversos factores que lo hacen una gran opción cuando se trata de controlar procesos grandes o que dependen de factores del sistema, como se observa en la tabla 5, se presenta algunas ventajas y desventajas de este sistema.

Tabla 5. Ventajas y desventajas de lazo cerrado

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Son tolerantes a variaciones del sistema y disturbios	<ul style="list-style-type: none">• El costo de implementación es alto
<ul style="list-style-type: none">• Es más robusto y puede tener una corrección de error en un tiempo corto	<ul style="list-style-type: none">• Se requiere de algún sistema de retroalimentación, generalmente sensores
<ul style="list-style-type: none">• Si existe un error en la salida el control lo compensa	<ul style="list-style-type: none">• Puede haber ruido en la señal de los sensores
<ul style="list-style-type: none">• Puede utilizar una gran variedad de componentes así sean poco precisos y baratos	<ul style="list-style-type: none">• En algunos casos resulta complicado su implementación

Elaborado por: El investigador [34].

1.4.11 Controlador Lógico Programable (PLC)

Un Controlador Lógico Programable (PLC por sus siglas en inglés) es un autómata programable el cual es usado principalmente en el área industrial, encargado de activar o desactivar los componentes de algún sistema según la mediciones o programación realizado en el mismo. Cuenta con varias entradas y salidas tanto digitales como analógicas [35].

1.4.11.1 Partes de un PLC

Un PLC cuenta con varias partes principales como son la Unidad Central de Proceso (CPU) que es una computadora con fines industriales para la automatización de procesos, Módulo de memoria para poder guardar la información necesaria ya sea de manera provisional o permanente, Unidad de programación en donde se realiza los proceso que

debe realizar, fuente de alimentación y las diversas entradas y salidas digitales y analógicas, como se observa en la figura 13. [35]. [36].

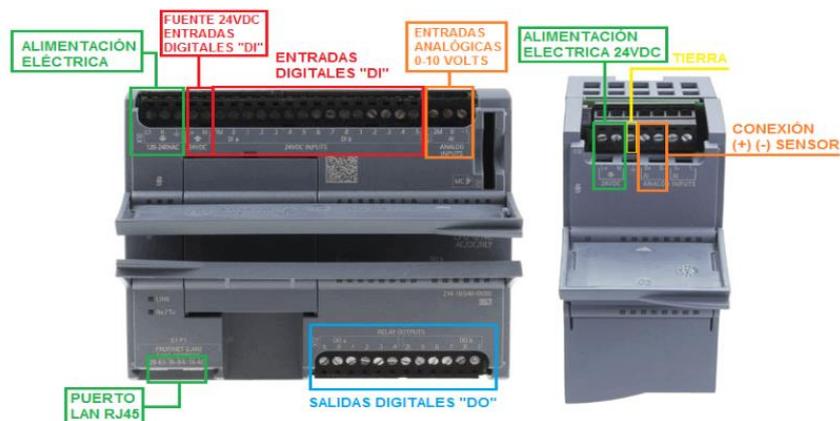


Figura 13. Partes de un PLC [37].

1.4.12 Transmisión de datos

La transmisión de datos se refiere al procesamiento de información para poder transmitirla mediante una canal de comunicación ya sea a uno o varios puntos. Para poder transmitir los datos, la información se presenta como una señal que se envía de forma alámbrica o inalámbrica y depende de varios factores como la atenuación, el cable, ruido etc. Para que pueda llegar a su destino con una alta confiabilidad [38].

Hay diversos tipos de transmisión como son:

- Simplex: La comunicación es unidireccional.
- Dúplex: También llamado semi dúplex en el cual se tiene una comunicación bidireccional pero no simultánea.
- Full Dúplex: La transmisión de los datos es bidireccional y simultánea.

1.4.13 Medios de transmisión de datos

Para la transmisión de datos se tiene dos tipos los cuales pueden ser medios de transmisión Guiados y Medios de transmisión no Guiados.

1.4.13.1 Medio Guiados

En este tipo de transmisión de datos, la información se envía mediante cables o alambres como pueden ser: Pares Trenzados los cuales están formados por dos alambres de cobre, cable coaxial para transmisión de larga distancia, fibra óptica como se observa en la figura14 [38]. Aquí la velocidad de transmisión está directamente relacionado con la distancia entre el emisor y receptor, si se trasmite los datos a un punto o varios [39].

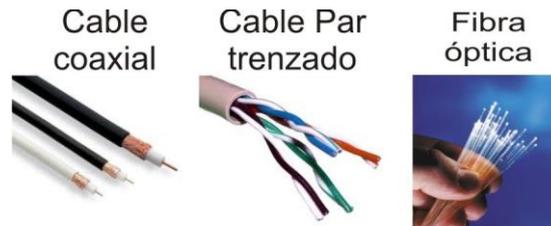


Figura 14. Medios de transmisión no guiados [40].

1.4.13.2 Medios No Guiados

La transmisión de datos en medios no guiados, la información no se envía por cables sino de forma inalámbrica utilizando el aire como medio de transmisión como pueden ser radioenlaces, microondas, bluetooth, etc. como se puede observar en la figura 15, [38]. La transmisión y la recepción deben contar con antenas para que pueda existir comunicación, la antena que trasmite irradia energía electromagnética mientras que la antena receptora capta las ondas del medio en el que se encuentra [39].



Figura 15. Medios de transmisión no guiados [41]

1.4.14 Protocolo MQTT

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) es un protocolo que se usa para las comunicaciones de forma máquina a máquina (MTM), ayuda a que los dispositivos se

comuniquen entre ellos de manera inalámbrica, y es considerado como una parte principal cuando se trata de realizar sistemas con el internet de las cosas (IoT). El protocolo MQTT trabaja sobre el protocolo TCP/IP para la transmisión de datos [42].

Ventajas del protocolo MQTT

El protocolo MQTT ha sido de gran ayuda en los últimos años para comunicar varios dispositivos, porque permite aumentar la seguridad de la fábrica o empresa en la cual haya sido posicionada, ya que los diferentes dispositivos o equipos están conectados al servidor que con una configuración adecuada los datos no son vulnerados y se mantiene un servicio seguro. Otra de las grandes ventajas del protocolo MQTT es su sencillez y ligereza para diferentes proyectos o sistemas, como para aplicaciones IoT ya que este protocolo requiere un ancho de banda mínimo, perfecto cuando se tienen redes inalámbricas o conexiones con problemas de internet o conectividad [42].

1.4.14.1 Funcionamiento del protocolo MQTT

El protocolo MQTT consiste en publicar y suscribirse, permitiendo una comunicación asíncrona entre el que envía un mensaje con las personas que lo reciben, al hablar de un cliente MQTT se establece a cualquier dispositivos o elemento conectado a una red que tenga implementado el protocolo TCP/IP y MQTT, en la actualidad hay diversos dispositivos como arduino, raspberry etc. que pueden comunicarse usando este protocolo y a su vez un cliente puedes suscribirse y publicar al mismo tiempo.

El dispositivo que publica el mensaje y el que recibe no se comunican directamente entre sí, sino que hay un elemento intermediario el cual es conocido como el bróker en el cual se recibe los mensajes y los envía a los clientes suscriptores. Para saber a qué cliente debe enviar el mensaje utiliza un topic el mismo que es establecido por el publicador y que todos los clientes que se suscriban a ese topic reciben la información como se puede observar en la figura 16 [43].

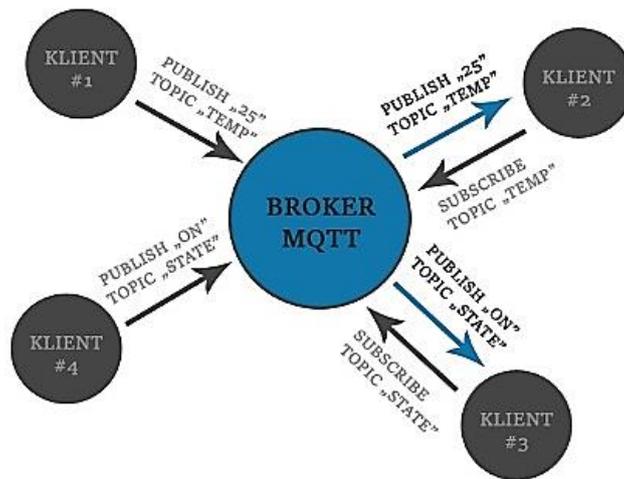


Figura 16. Esquema de una comunicación mediante el protocolo MQTT [43].

1.4.15 Monitorización

La monitorización es la verificación del estado de un proceso, sistema o máquina para poder tener una idea de cómo está trabajando la empresa o fábrica, al realizar sistemas de monitorización se crea un entorno gráfico que permite una fácil lectura de los dispositivos, sensores, actuadores entre otros, conectados a un proceso [44]. Al implementar un sistema de monitorización se establece un seguimiento del estado ya sea de la infraestructura como de los dispositivos que lo componen, es principalmente la función de verificar que el sistema está trabajando como debería y que se tiene las condiciones acordes en la empresa. Los datos pueden representarse de manera numérica, gráfica, mediante indicadores [44]. En la figura 17, se tiene un ejemplo de monitorización.

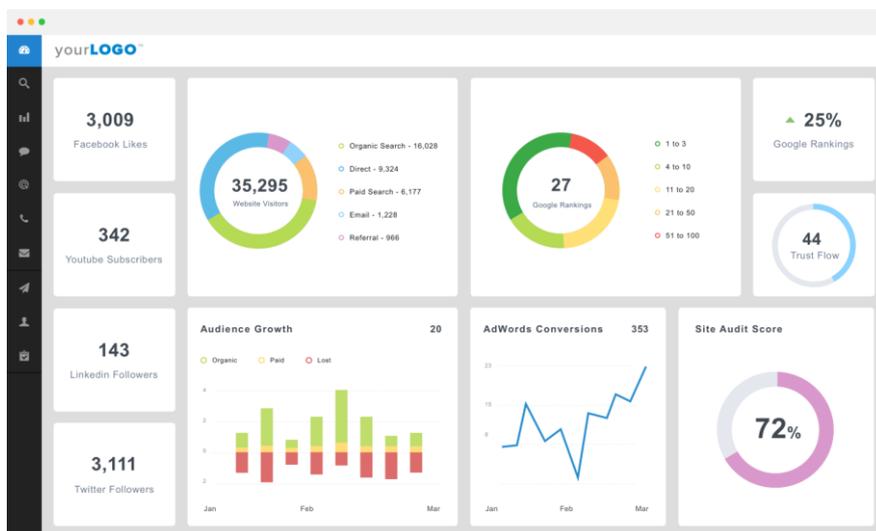


Figura 17. Ejemplo de un tablero de monitorización [45].

1.4.16 Internet de las Cosas (IoT)

El internet de las cosas es la agrupación de varios dispositivos a través de una red para que sus datos sean visibles y puedan tener una interactividad entre ellos. Aquí se puede establecer cualquier tipo de dispositivos entre sensores, máquinas, microcontroladores, etc. En resumen, se establece a IoT en la conectividad de varios dispositivos para intercambiar datos mediante internet [46]. En la figura 18, se establece una representación de cómo se conectan los dispositivos entre si usando Internet.

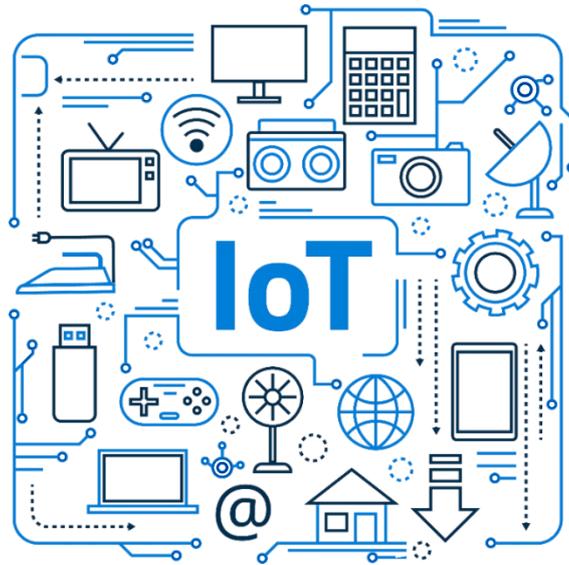


Figura 18. Representación del Internet de las Cosas [47].

1.4.17 Tecnologías de IoT

Varias tecnologías han hecho que IoT tome gran protagonismo en los sistemas y procesos de la actualidad como son:

- Sensores de bajo costo y bajo consumo. – Al crear nuevos sensores que mantienen un bajo consumo y su lectura de datos es fiable ha logrado que IoT esté al alcance de más fabricantes.
- Conectividad. – En la actualidad existen una gran variedad de protocolos para conectarse y enviar datos mediante internet con lo cual se ha facilitado la subida de datos de sensores a la nube logrando así una transferencia eficiente de la información.

- Plataformas en la Nube. Existen varias plataformas en la nube que ofrecen la posibilidad de que varias empresas usen la infraestructura que necesitan para sus sistemas ofreciendo también la posibilidad de escalamiento.
- Aprendizaje automático y analítico. - Los avances en el aprendizaje automático, así como el acceso a las grandes y diversas cantidades de datos almacenados en la nube, hacen que sea más fácil y rápido para las organizaciones descubrir información. En primer lugar, el auge de estas tecnologías relacionadas sigue ampliando los límites del IoT. Por otro lado, los datos generados por el IoT también son proporcionados por estas tecnologías.

1.4.18 Arquitectura IoT

La arquitectura IoT es un sistema en el cual intervienen varios elementos a su vez también cuenta con una estructura de red y diversas tecnologías que se encuentran en la nube con los estándares y protocolos para que haya una seguridad aceptable en el internet de las cosas. Aquí se distinguen diversos sensores o dispositivos que según su funcionalidad se encuentran en alguna de las capas de la arquitectura IoT [48]. Existen 3 capas diferentes como se observa en la figura 19, las cuales se detalla a continuación.

La capa de percepción, que resultaría ser la capa física en otros protocolos, aquí se realiza la conexión o incorporación de los diferentes sensores usados para poder obtener información sobre un proceso o sobre el entorno, en consecuencia, detecta los parámetros físicos y también otros dispositivos inteligentes conectados al sistema.

La capa de red es la capa encargada de enviar la información a otros dispositivos inteligentes, servidores, etc. Esta capa permite la comunicación y procesamiento de la información de los sensores.

La capa de aplicación es la capa en donde se establece como tal un servicio específico para el usuario, aquí se tiene diversos escenarios como pueden ser hogares inteligentes, salud entre otros [48].

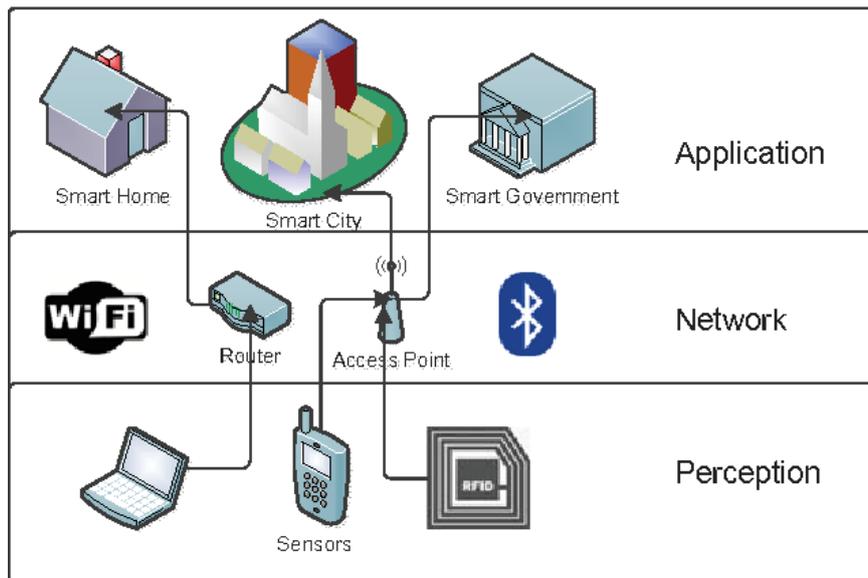


Figura 19. Arquitectura de una red IoT [49].

1.4.19 Plataformas en la nube de IoT

Las plataformas en la nube de IoT son plataformas que presentan una infraestructura de software para las empresas que lo necesiten, aquí ofrecen diversos servicios según las necesidades del cliente. Estas plataformas dan la posibilidad del escalamiento de un proceso o una aplicación IoT, entre sus principales características están.

- Gran conectividad entre múltiples dispositivos.
- Conservación de los diferentes datos a ser enviados
- Consolidación
- Reporte
- Actualizaciones contantemente de ser requeridas.

En la figura 20, se puede observar un ejemplo de una plataforma IoT en la nube.

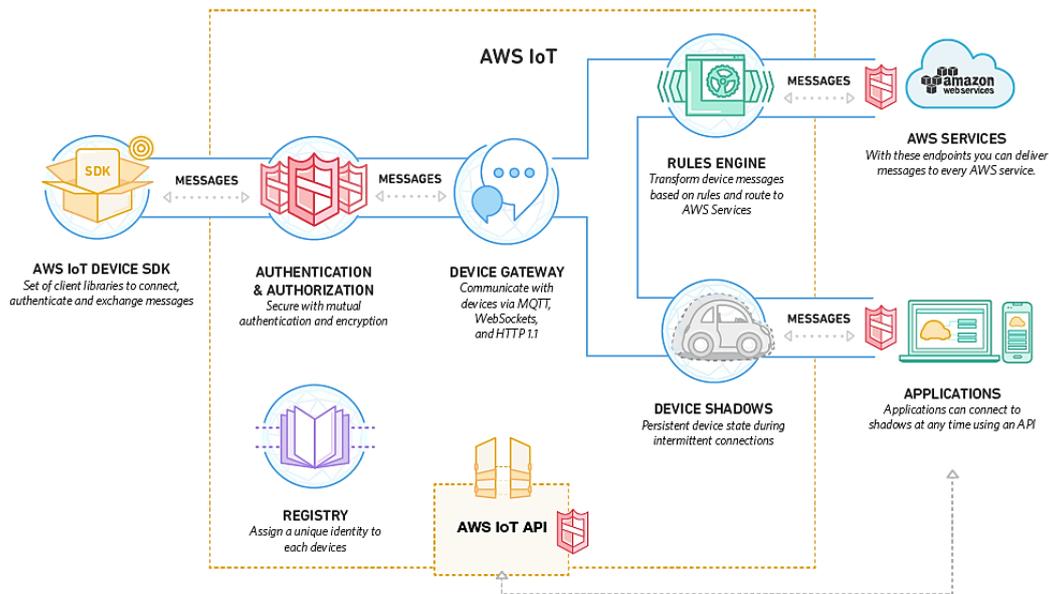


Figura 20. Plataforma de AWS IoT [50].

1.4.20 Gateway IoT

Un Gateway IoT es un dispositivo físico o en ciertos casos un programa que sirve como intermediario para realizar la conexión de los sensores, microcontroladores, etc. con la nube en donde se va a recolectar y procesar dicha información, es así que cualquier dato que se encuentre en la nube pasa por el Gateway y viceversa. Otro factor importante es que el Gateway IoT recibe información de los dispositivos por diferentes canales de información, por lo cual el Gateway también denominado pasarela se encarga de tomar los datos recibidos de los diferentes canales y acoplarlos para poder enviarlos mediante los protocolos necesarios a la nube como se observa en la figura 21. [51].



Figura 21. Gateway IoT [51].

1.4.21 Gateway Raspberry

Un Gateway es el encargado de conectar varias redes entre sí mediante diferentes protocolos y en diversos niveles de comunicación, por lo cual recibe la información, los traduce de tal forma que sea entendible y se pueda enviar por otra red hacia su destino, por lo general se usa una computadora, en el ámbito electrónico es sumamente usado una Raspberry el cual por su característica y portabilidad se convierte en un Gateway fácil de llevar y programar, ya que presenta varias opciones para configurar y con un tamaño pequeño que los hace portable [52]. Un ejemplo de raspberry que se puede usar como Gateway se observa en la figura 22.



Figura 22. Gateway Raspberry [53].

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Implementar un sistema de control y monitorización Agroindustrial 4.0 aplicado a cultivos verticales.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Analizar las condiciones técnicas empleadas en la agroindustria 4.0 aplicado a cultivos verticales.
- Diseñar los sistemas de sensorización, monitorización y control en cultivos verticales para la agroindustria 4.0 con una aplicación móvil con IoT.
- Implementar la plataforma de monitoreo para la Agroindustria 4.0

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA.

2.1 Materiales

Para el desarrollo del presente proyecto se recurrió a diversas fuentes de información como son libros, páginas web, artículos científicos y proyectos de investigación referente al tema planteado, también se utilizó software y hardware para poder realizar el sistema de control y la monitorización de los cultivos verticales, tales como un Autómata Programable, sensores, actuadores, plataformas IoT.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de Investigación

Investigación Aplicada

Se utilizó para el desarrollo del proyecto una investigación aplicada ya que se aplicó la información y conocimientos adquiridos durante toda la carrera para poder realizar el Sistema de control y monitorización Agroindustrial 4.0 aplicado a cultivos verticales.

Investigación Bibliográfica

El presente proyecto utilizó una investigación bibliográfica debido a que se obtuvo información referente a los sistemas de control y cultivos verticales en libros, proyectos de investigación, artículos científicos, documentos de páginas web y en tesis con temas relacionados a la agroindustria 4.0 con información sobre los requerimientos y especificaciones relacionados al tema.

Investigación de Campo

Se usó una investigación de campo porque fue necesario realizar pruebas de funcionamiento al sistema de control y monitorización Agroindustrial 4.0 aplicado a cultivos verticales con el fin de comprobar su eficacia y solucionar posibles errores en el proceso o visualización de los datos.

2.2.2 Recolección de Información

Para la recolección de la información se realizó el análisis y estudio en artículos científicos, libros, proyectos de investigación que fueron desarrollados en los últimos años, sobre temas de agricultura inteligente, riego automático y tecnologías IoT, además se utilizó páginas web y documentos oficiales de los desarrolladores del PLC, de los sensores de humedad, pH y de temperatura para poder usarlos correctamente y evitar daños en los mismos o en el sistema. (verificar los sensores y dispositivos a usar)

2.2.3 Procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de datos se describe los pasos a seguir a continuación:

- Lectura comprensiva y revisión de la información recopilada.
- Interpretación y optimización de la información referente a los sistemas de control en cultivos verticales.
- Planteamiento de la propuesta de solución.
- Verificación de datos obtenidos
- Presentación de resultados verificando el cumplimiento de los objetivos planteados.

2.2.4 Propuesta de solución

La implementación de un sistema de riego automatizado agroindustrial para cultivos de lechuga en forma vertical permitiendo a los agricultores incrementar la productividad y las ganancias, alcanzando también grandes beneficios para la comunidad y el cantón entre los cuales se tiene: reducción del espacio, preservación del medioambiente, mediante el riego automático disminuyendo en gran medida el consumo de agua, además de otros beneficios como la implementación de técnicas agrícolas innovadoras, la reducción de fertilizantes y al realizarse en un espacio cerrado en la empresa “FVE importadora” posibilita la producción constante de alimentos. El sistema se controla por un PLCs de acuerdo con los sensores de humedad, PH y temperatura, el cual también se conecta al Gateway IoT industrial por medio del protocolo MQTT a una plataforma en la nube para el almacenamiento de los datos de los obtenidos y monitorización del estado de los cultivos por medio aplicación móvil para ver las estadísticas del sistema de riego inteligente. Además, de que no se ven afectados por fenómenos como lluvias torrenciales, pequeñas inundaciones del campo, sequías, etc.

2.2.5 Desarrollo del proyecto

Se desarrolló el proyecto de investigación realizando los siguientes pasos para cumplir con los objetivos planteados:

1. Análisis de la situación actual de la agricultura en el cantón Ambato.
2. Identificación de las características técnicas necesarias en la implementación de cultivos verticales con la agroindustria 4.0.
3. Estudio de las condiciones agrícolas del suelo necesarias para que la agricultura vertical sea sostenible para cultivos de lechuga.
4. Análisis de los recursos y equipos utilizados en las plantaciones que utilizan instalaciones verticales.
5. Selección del hardware y software del sistema de control de riego automatizado.
6. Determinación de la arquitectura necesaria para el diseño de una red con la tecnología CloudConnect.
7. Selección de los protocolos necesarios para comunicar el hardware seleccionado con CloudConnect.
8. Elaboración del sistema de adquisición basado en IoT que permita la recolección de datos del suelo.
9. Elaboración de la etapa de monitorización y gestión de los datos del sistema.
10. Elaboración de la aplicación en el teléfono inteligente del sistema de control para riego inteligente.
11. Montaje de la estructura del sistema eléctrico y electrónico de control con PLC, basado en las normas de construcción y montaje de sistemas de riego.
12. Ejecución de pruebas, detección y corrección de errores en el sistema de control.
13. Elaboración del informe final.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

La implementación del sistema de control y monitorización Agroindustrial 4.0 aplicado a cultivos verticales, contribuyó a aumentar la productividad agrícola de lechuga con un porcentaje de 31.25%, obteniendo como resultados un producto mucho más sano, ya que fue cultivado con un método diferente, estético, climático y ecológico gracias al nuevo sistema, aprovechando espacios para que los productores y agricultores aumenten su productividad sacando así el mejor beneficio a los recursos como agua y sustancias nutritivas, lo que resulta en productos de calidad, brinda una mayor asesoría de gestión sobre las plantaciones por medio del control y monitoreo de cada una de las etapas de desarrollo de cultivo, frente a otros métodos tradicionales aplicados, cumpliendo satisfactoriamente con los objetivos planteados.

Para desarrollar el sistema propuesto se realiza una entrevista de análisis de resultados

3.1.1 Entrevista al Ing. Agrónomo Segundo Curay de la Universidad Técnica de Ambato

3.1.2 Objetivo de la entrevista

En base a la experiencia y conocimiento evaluar y comparar los sistemas más utilizados de cultivo de lechuga siendo: Geopónico, Aeropónico e Hidropónico, desde la etapa inicial hasta el resultado final del producto, basando la entrevista en el sistema con mejor resultado de desarrollo del producto. Para lo expuesto se definen rangos de aceptación como son:

1: Malo

2: Poco

3: Regular

4: Bueno

5: Excelente

Rango de nivel de aceptación del desarrollo que presenta el cultivo en cada etapa, considerado por el especialista agrónomo

Tabla 6. Preguntas de entrevista al especialista agrónomo.

Nº	Pregunta
1	¿En la etapa inicial denominada semillero en las primeras 3 semanas cómo se desarrolla la plantación de lechuga en cada sistema?
2	¿En la etapa de germinación en las 2 semanas siguientes cual sistema dio mejor resultado?
3	¿En la etapa de crecimiento como se observa el desarrollo del cultivo en cada sistema ?
4	¿Cuál es el resultado de cosecha del cultivo de lechuga obtenido en cada sistema ?

Elaborado por: El investigador.

Fecha de la entrevista

16-10-2022

Lugar de la entrevista

La entrevista se realizó de manera presencial visitando al Ing. Agrónomo en su área de trabajo ubicado en Querochaca Universidad Técnica de Ambato.

Entrevistador: Villacís Zamora Guillermo Fabián

Entrevistado: Especialista Agrónomo Ing. Segundo Curay

Tabla 7. Resultado de la entrevista

Nº	Pregunta	Respuesta
1	¿En la etapa inicial denominada semillero en las primeras 3 semanas cómo se desarrolla la plantación de lechuga en cada sistema?	En el sistema Geopónico se presenta poco y regular estado de desarrollo, en comparación con otros sistemas que su estado de desarrollo es regular.
2	¿En la etapa de germinación en las 2 semanas siguientes cual sistema dio mejor resultado?	En los sistemas tanto Geopónico e Hidropónico el estado de desarrollo de germinación varía en un rango entre poco y regular, mientras que en el sistema Aeropónico se mantiene constante en un rango de evaluación bueno.
3	¿En la etapa de crecimiento como se observa el desarrollo del cultivo en cada sistema ?	En los sistemas tanto Geopónico e Hidropónico, en el desarrollo regular de crecimiento, a diferencia del sistema Aeropónico que tiene un rango de crecimiento entre bueno y excelente.
4	¿Cuál es el resultado de cosecha del cultivo de lechuga obtenido en cada sistema ?	En el sistema Geopónico y el sistema Hidropónico se da un resultado del producto final con una cosecha regular, a diferencia del sistema implementado Aeropónico que se tiene una cosecha de producto final excelente.

Elaborado por: El investigador.

Conclusiones de la entrevista

La información recolectada al ser evaluado cada sistema por un especialista agrónomo en base a la experiencia y conocimiento en su área en respuesta a los sistemas más utilizados de cultivo de lechuga siendo: Geopónico, Aeropónico, Hidropónico, en las primeras semanas se consideran los sistemas en el mismo nivel siendo comprobado como un proceso regular puesto que las plantaciones de lechuga aún son difíciles de evaluar totalmente en su crecimiento.

En las etapas de germinación y cultivo existe una diferencia notable entre sistemas, esto por las condiciones de cultivo que brindan tanto el sistema Geopónico e Hidropónico varían en un rango regular, mientras que el sistema aeropónico va mejorando en cada etapa manteniendo los cultivos en un rango de germinación y crecimiento entre bueno y excelente por las condiciones de cultivo que brinda y ventajas estudiadas previa en la investigación.

En la etapa final de cosecha los sistemas Geopónico e Hidropónico se mantienen en un rango regular del producto fina obtenido con una aceptación media, a diferencia del sistema implementado Aeropónico que en base a la experiencia profesional es evaluada en el rango de excelente por el producto que ofrece el sistema en base a sus condiciones de cultivo, estos datos recolectados se visualizan en la siguiente tabla 8.

Tabla 8. Datos de método de cultivo

MÉTODO DE CULTIVO	GEOPÓNICO	AEROPÓNICO	HIDROPÓNICO
semillero1	2	3	3
semillero2	3	3	3
semillero 3	3	4	3
germinación 1	3	4	3
germinación 2	2	4	4
crecimiento 1	3	4	3
crecimiento 2	3	5	2
cosecha	3	5	3

Elaborado por: El investigador.

Análisis y resultado de la entrevista

Para realizar el análisis de los datos recolectados mediante la entrevista se procede a evaluar la tabla 8, obtenida con el rango promedio en cada etapa de desarrollo que precede la pregunta, tomando como referencia que el rango más alto a evaluar es 5 considerado como excelente a un desarrollo, lo cual representa el 100%, especificando estos datos se saca el promedio en cada rango y se calcula el porcentaje que representa la información.

Pregunta 1. ¿En la etapa inicial denominada semillero en las primeras 3 semanas cómo se desarrolla la plantación de lechuga en cada sistema?

Tabla 9. Resultado de la pregunta 1

Sistema	Rango de Frecuencia	Porcentaje
Geopónico	2,66	53,20%
Hidropónico	3	60%
Aeropónico	3,33	66,6%

Resultado de la pregunta 1

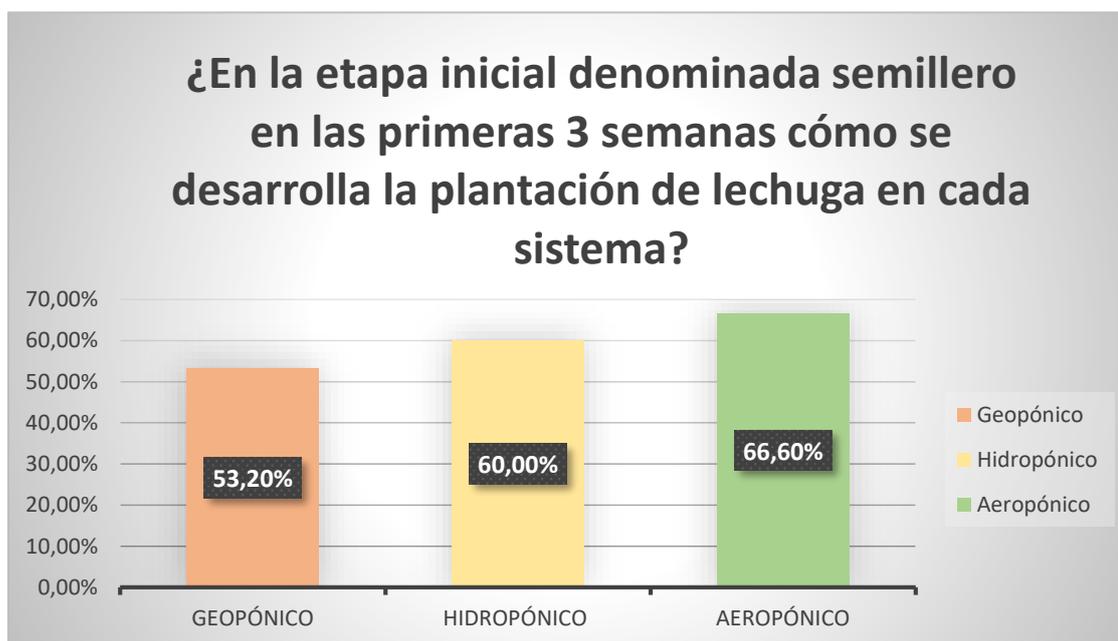


Figura 23. Representación gráfica de la pregunta 1

Elaborado por: El Investigador

Análisis

Se puede inferir en la figura 23, que en la primera etapa de semillero en las 3 primeras semanas cada sistema tiene un valor de aceptación evaluada por el especialista agrónomo, interpretando que el sistema Aeropónico es mayormente aceptado con mejores resultados de crecimiento de las plantaciones.

Pregunta 2. ¿En la etapa de germinación en las 2 semanas siguientes cual sistema dio mejor resultado?

Tabla 10. Resultado de la pregunta 2

Sistema	Rango de Frecuencia	Porcentaje
Geopónico	2,5	50%
Hidropónico	3,5	70%
Aeropónico	4	80%

Resultado de la pregunta 2



Figura 24. Representación gráfica de la pregunta 2

Elaborado por: El Investigador

Análisis

Se puede inferir en la figura 24, que en los sistemas tanto Geopónico e Hidropónico el estado de desarrollo de germinación varia en un rango entre poco y regular, mientras en que en el sistema Aeropónico se mantiene constante en un rango de evaluación bueno representado con un 80% de porcentaje.

Pregunta 3. ¿En la etapa de crecimiento como se observa el desarrollo del cultivo en cada sistema?

Tabla 11. Resultado de la pregunta 3

Sistema	Rango de Frecuencia	Porcentaje
Geopónico	3	60%
Hidropónico	2,5	50%
Aeropónico	4,5	90%

Resultado de la pregunta 3



Figura 25. Representación gráfica de la pregunta 3

Elaborado por: El Investigador

Análisis

Se puede inferir en la figura 25, ocurre que, en los sistemas tanto Geopónico e Hidropónico, en el desarrollo regular de crecimiento un porcentaje de evaluación regular, a diferencia del sistema Aeropónico que tiene un rango de crecimiento entre bueno y excelente representado un 90% de su valor evaluado.

Pregunta 4. ¿Cuál es el resultado de cosecha del cultivo de lechuga obtenido en cada sistema?

Tabla 12. Resultado de la pregunta 4

Sistema	Rango de Frecuencia	Porcentaje
Geopónico	3	60%
Hidropónico	3	60%
Aeropónico	5	100%

Resultado de la pregunta 4



Figura 26. Representación gráfica de la pregunta 4

Elaborado por: El Investigador

Análisis

Interpretando los datos de la figura 26, se observa que en el sistema Geopónico y el sistema Hidropónico se da un resultado del producto final con una cosecha regular, a diferencia del sistema implementado Aeropónico que se tiene una cosecha de producto final excelente representando el 100% de un sistema eficiente a aplicar.

3.2 Desarrollo de la propuesta

El desarrollo del proyecto se basó en diferentes etapas enfocadas al área de investigación de la agronomía, considerando los puntos positivos y negativos para identificar las condiciones más favorables en el proceso agrícola.

El análisis comprende el tipo de proceso que se va a evaluar, mostrando los problemas que presentan en los cultivos al ser tratados con métodos tradicionales, por el uso del suelo, la degradación del producto o el daño que reciben las plantaciones a causa de condiciones climáticas, un incorrecto uso de recursos y falta de control de nutrientes así como la presencia de plagas que acaban con la producción, aspectos que requieren un mayor esfuerzo y desgaste físico como económico sin resultados favorables por parte de los productores y agricultores.

Otra parte fundamental para comprender esta información, fue por parte de los conocimientos compartidos por un especialista agrónomo frente a las necesidades nutricionales de la lechuga para su completo tratamiento, como se especifica en la tabla 5, como los ciclos de cultivos de lechuga, las temperaturas óptimas para el cultivo, los nutrientes del suelo recomendado, parámetros y fertilización adecuada, experiencia profesional, por medio de este análisis se tiene una idea fundamentada para el sistema y desarrollo del proyecto.

3.2.1 Requerimientos del sistema

El desarrollo del Sistema de control y monitorización Agroindustrial 4.0 aplicado a cultivos verticales, cuenta con una recopilación de datos del cultivo de lechuga gracias al conocimiento de un experimentado Ingeniero agrónomo de la Universidad Técnica de Ambato, recopilando datos y comparando sistemas por medio de una entrevista en base a la experiencia en el área, se investigó además el tratamiento adecuando del cultivo, con información acerca de los ciclos, nutrientes y temperatura evidenciado en el estudio de

necesidades nutricionales y riego de lechuga expuesto en papers científicos [54]. De la misma manera el estudio de la empresa FVE Importadora Agrícola e Industrial SA, en la que se aplica el proyecto, determinó que clase de servicios ofrece, cuáles son los equipamientos que utiliza, y los métodos de manejo de cultivos, instalación de sistemas de riego y tecnología agrícola que emplea, y que a pesar de ser una empresa industrial agrícola completa y equipada, no posee sistemas de riego inteligente aeropónico que ayude a controlar y monitorizar las plantaciones de cultivos verticales con un método moderno y diferente.

El sistema de riego que se aplica en la empresa, se basa en el conjunto de estructuras que permiten el riego, abarcando un área específica a cultivar en la tierra, a través del cual llega el agua necesaria a las plantaciones, los nutrientes se aplican de forma manual, y el control de inspección de igual manera, llegando a obtener una producción media, y un producto de poca calidad, frente a estas falencias se planteó el prototipo de sistema de riego vertical para cultivos de lechuga, se tomó en cuenta varias características en el diseño y desarrollo.

- Se considera una estructura aeropónica, de un metro cuadrado de área que sostiene cuatro pilares donde son colocadas las plantaciones de forma aérea, permitiendo que las raíces se oxigenen para un mayor desarrollo, al igual que se evitan las plagas.
- Cuenta con cavidades apropiadas para recoger el agua y los nutrientes que necesita cada cultivo aprovechando eficientemente los recursos.
- Incluye sensores de temperatura, humedad, nivel y PH, para controlar y monitorear los datos del proceso en cada etapa de desarrollo.

3.2.2 Estudio de la Empresa FVE Importadora Agrícola e Industrial S.A

Empresa

La producción de las propiedades depende de dos elementos: tierra y agua. Aquí se ofrecen soluciones integrales para maximizar tus beneficios, cuidando el medio ambiente y la salud.

FVE Importadora Agrícola e Industrial S.A es una empresa ecuatoriana con más de 6 años de experiencia en el sector agrícola para dar solución a las necesidades de los agricultores.

Actualmente, la empresa se encuentra en un periodo de crecimiento industrial con personal altamente capacitado para brindar soluciones eficientes en el sector agrícola e industrial en la figura 27, se visualiza la empresa FVE Importadora Agrícola e Industrial S.A.



Figura 27. FVE importadora agrícola e industrial S.A.

Elaborado por: El investigador.

Dirección: Avenida Atahualpa y Nevada, Huachi Grande AMBATO, 180103, EC

Teléfono: 0983021622

Correo: informacion@fve-importadora.com

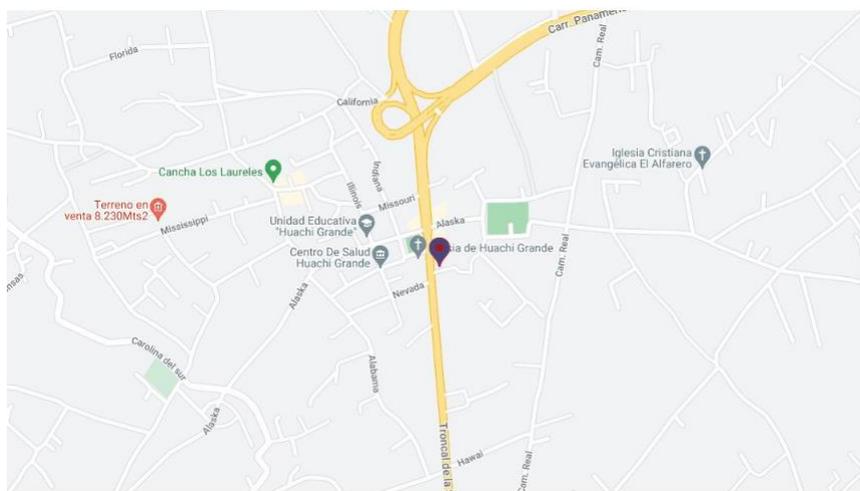


Figura 28. Geolocalización de FVE importadora agrícola e industrial S.A

Fuente: Google Maps

Servicios en Áreas de trabajo: La Empresa está conformada por diferentes áreas de trabajo específicas en la figura 29, como son:

- Capacitación plena en el manejo de cultivos
- Asesoramiento en instalación de Sistemas de Riego
- Consultoría de Proformas
- Tecnología Agrícola



Figura 29. Servicios de trabajo FVE Importadora Agrícola e Industrial S.A

Productos

- Accesorios para riego
- Bombas
- Geomembranas
- Mangueras
- Tuberías PVC

Sistemas de Riego de FVE Importadora Agrícola e Industrial S.A.

Manejo, capacitación y asesoramiento en instalación, servicio en tecnología de punta para la automatización en Sistemas de Riego, Sus productos son Accesorios para riego, Bombas, Geo membranas, Mangueras, Tuberías PVC.

3.2.3 Capacitación en las necesidades nutricionales y de riego de lechuga.

La lechuga por ser una planta cultivada hace muchos años tiene diferentes beneficios y tipologías, se aprovecha por sus hojas, el cogollo, la forma, el sabor, el color, y que prospera adecuadamente en climas templados, con un suelo de textura arenosa que retenga humedad, tiene diversas características y rangos para su desarrollo, para conocer

más esta área se ha realizado una investigación en conjunto, con un especialista agrónomo de la Universidad Técnica de Ambato de la facultad de agronomía, el Ing. Segundo Curay (Anexo A), quien aportó a este proyecto con sus conocimientos en el área de cultivo de lechuga, como ciclos de cultivo, temperaturas óptimas, requerimientos nutricionales, fertilizantes, cantidades, etc. todo el análisis de su desarrollo, la demanda de los nutrientes y generalidades del cultivo, como se analiza en las tablas 13, 14 y 15, a continuación.

Tabla 13. Ciclos de cultivos de lechuga

Estaciones	Tiempo de germinación	Tiempo de desarrollo en el terreno	Total de Ciclo de desarrollo.
Primavera-Verano	25 días	35 – 45 días	60 - 70
Otoño- Invierno	40 días	80-110 días	120-150

Elaborado por: El investigador[54].

Tabla 14. Temperaturas para el cultivo

Temperaturas	°C
Óptima	15 – 18
Máxima	24, a 30 detiene su crecimiento
Mínima	7
Nocturna	7-10
Germinación	15-20

Elaborado por: El investigador[54].

Tabla 15. Características de los nutrientes del suelo recomendado

Parámetros	Valores
pH	15 – 18
Conductividad ms/cm	7
Material Orgánica %	7-10
Nitrógeno Total %	15-20
Relación C/N	10
Nitratos ppm	200-250
Caliza %	7-10
Fósforo ppm	80-100
Calcio meq/100grs	15
Potasio meq/100grs	1,5
Magnesio meq/100grs	2
Sodio meq/100grs	0,75
Textura	Franca o Franca arenosa

Elaborado por: El investigador[54].

Fertilización

De acuerdo con la investigación de trato de cultivos por parte del especialista agrónomo Ing. Segundo Curay, y basado en el estudio investigativo propuesto por el trabajo de en el paper denominado necesidades nutricionales y de riego de lechuga la necesidad de cultivos de lechuga [54]. Se dosifica según el volumen de agua acorde al tanque en el cual se encuentre, calculando los gramos por ciclo y la concentración de los elementos, se expresa en partes por millón (ppm) como se muestra en las tablas 16 y tabla 17.

Tabla 16. Requerimientos nutricionales para el cultivo de lechuga [54].

Requerimiento nutricional lechuga		
N	120	Ppm
P	30	Ppm
K	79,4	Ppm
Ca	32,6	Ppm
Mg	15,38	Ppm
S	20	Ppm
Cu	0,6	Ppm
B	0,6	Ppm
Fe	0,8	Ppm
Mn	0,6	Ppm
Zn	0,6	Ppm

Elaborado por: El investigador

Tabla 17. Abonos-Fertilización

Fuente de Fertilizante	gramos/ciclo	Tanques			inyecciones/gramos			
		A(200lts)	B	C	1	2	3	4
								
Sulfato de amonio	190,5	A			47,6	47,6	47,6	47,6
Fosfato mono potásico	263,2	A			65,8	65,8	65,8	65,8
Nitrato de calcio	271,7	B			67,9	67,9	67,9	67,9
Sulfato de potasio	200,7	A			50,2	50,2	50,2	50,2
Sulfato de magnesio	310,7	A			77,7	77,7	77,7	77,7
Sulfato de cobre	0,05	A			0,013	0,013	0,013	0,013
Bórax	10,9	A			2,7	2,7	2,7	2,7
Sulfato ferroso	7,6	A			1,9	1,9	1,9	1,9
Sulfato de manganeso	4,4	A			1,1	1,1	1,1	1,1
Sulfato de zinc	3,3	A			0,8	0,8	0,8	0,8

Elaborado por: El investigador[54].

Síntomas de deficiencias nutricionales.

En el diagrama de la figura 30, se observan algunos de los síntomas más significativos presentes en el cultivo de lechuga, que ocasionan daños al producto final, por un deficiente mantenimiento de su desarrollo, o la falta de nutrientes necesarios.

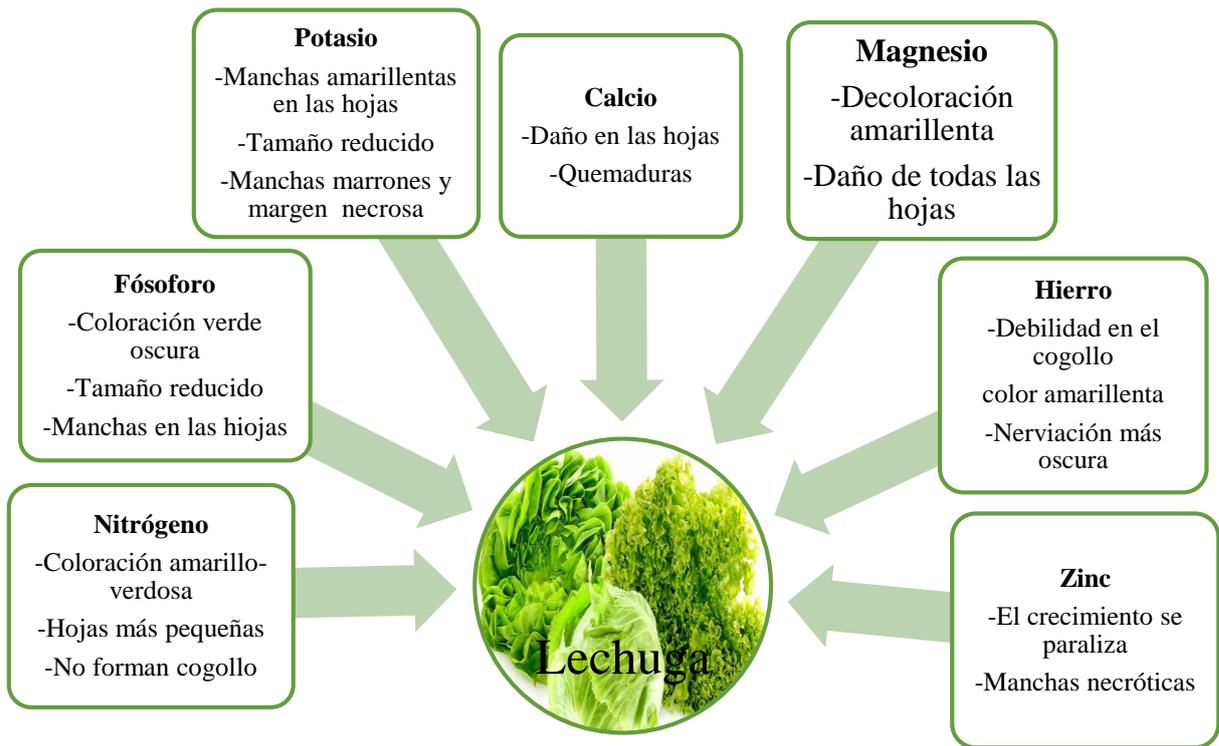


Figura 30. Síntomas visuales de deficiencias nutricionales en la lechuga [54].

3.2.4 Diagrama P&ID del Sistema.

En la figura 31, se muestra el diagrama P&ID del proyecto con el fin de entender su funcionamiento, en el cual se establece las conexiones de las tuberías las mismas que se encuentran controladas por el lazo de control eléctrico, sensores de nivel y sensores de pH y humedad, los cuales van conectados a un PLC que se encarga del accionamiento de los diferentes equipos eléctricos. Se puede observar un esquema referente a los diferentes procesos del sistema de agricultura aeropónico.

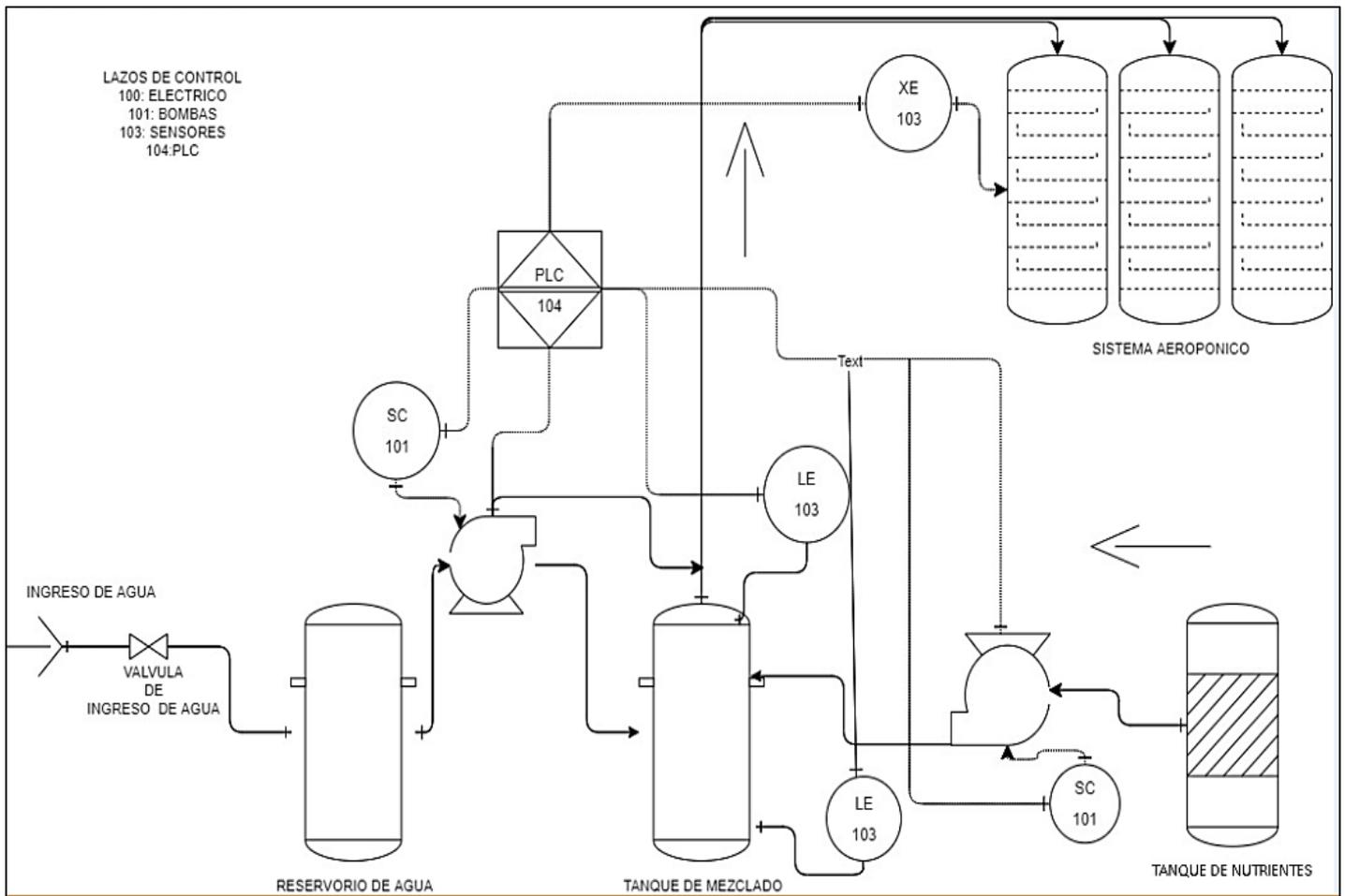


Figura 31. Diagrama P&ID del sistema.

Elaborado por: El Investigador.

3.2.5 Selección de los componentes para el dispositivo.

La implementación del Sistema de control y monitorización Agroindustrial 4.0 aplicado a cultivos verticales, está conformado por elementos de hardware y software que satisfacen las necesidades requeridas para su desarrollo conformando una estructura física adecuada, así como el funcionamiento óptimo del sistema basado en plataformas para su programación.

Por consiguiente, se procede al análisis y selección de componentes adecuados que se emplean en el proyecto de investigación a implementar.

Selección de Bomba de agua

Se especifican como máquinas cuya función principal es pasar líquido de un lugar a otro, se utiliza en áreas como piscinas, cultivos de riego o zonas en las que el agua no puede

llegar a cierto punto. En la actualidad existen diversos modelos y marcas de bombas de agua, se ha realizado un análisis considerando especificaciones y características de acuerdo a la siguiente tabla 18.

Tabla 18. Especificaciones técnicas de bombas de agua

Características	Bomba de agua		
			
Precio	\$163	\$210	\$450
Modelo	ACM 75	XKP804A	AJM75
Marca	LEO	LEO	LEO
Potencia	1 HP (750 W)	1HP (800 W)	4 HP(3000 W)
Voltaje	110V/220V	110V	220V
Entrada y Salida	1" X 1"	2" X 2"	3" X 3"
Flujo	100 L/MIN	300 L/MIN	300 L/MIN
Altura Max	36MT	10.8 MT	21.8 MT
Disponibilidad en el mercado nacional	Disponibles 9999, Guayaquil.	Disponibles 9998, Guayaquil.	Disponibles 9999, Guayaquil
Succión Max	8MT	3.5MT	8 MT

Elaborado por: El investigador [55].

Por sus especificaciones técnicas, la marca que representa la Bomba de agua leo ACM 75 es la mejor opción para usarla en el proyecto, por su alta calidad y durabilidad, así como su bajo precio frente a otras marcas y modelos, de igual forma por su confiabilidad, eficiencia en el rango de trabajo de voltaje que opera, permite un adecuado manejo con los diferentes elementos que conforman el proyecto, su producto es certificado y es una de las marcas más cotizadas para riego de cultivos, mezclas o irrigaciones, por ser una bomba centrífuga de acero inoxidable [56].

Selección de Electroválvula

Dispositivo capaz de controlar el flujo de un líquido o el caudal del mismo funcionando de manera electromecánica, su función es abrir o cerrar la línea del sistema de presión por medio del orificio principal de la válvula, se aplica especialmente a sistemas que usan bajos niveles de caudal o controladores de baja presión a través de la válvula, en la tabla 19, se observa la clasificación de diferentes electroválvulas y sus especificaciones.

Tabla 19. Especificaciones técnicas de electroválvulas

Características	Electroválvula		
			
Precio	\$30	\$89	\$240
Modelo	1 PULGADA	2 PULGADAS	2W-160-15
Marca	VYRSA	VYRSA	Innovatech
Alimentación	24VAC	24VAC	110VAC
Apertura manual	1/4 de vuelta	1/4 de vuelta	½ de vuelta
Temperatura de trabajo	2-80°C	2-80°C	5-80°C
Apertura eléctrica	0.5 s	0.6 s	0,10 s
Rango de flujo	38 Y 240 L/MIN	38 Y 300 L/MIN.	16 MLL
Presión de trabajo	1-10 Bares	1-10 Bares	0-10 Bares
Disponibilidad en el mercado nacional	Disponibles 78, envíos Quito.	Disponibles 83, envíos Quito.	Disponibles 17, fabricantes Quito.

Elaborado por: El investigador [57].

La electroválvula VYRSA de 24VAC cumple con las características para satisfacer las necesidades del proyecto, al ser un equipo específicamente para riegos, llenados de tanque y control de líquidos que son los procesos esenciales para el sistema implementado y para la apertura eléctrica en menor tiempo frente a otros modelos [58].

Selección de bomba peristáltica dosificadora de agua

Son un tipo de elemento hidráulico que permite el paso de ciertos fluidos hacia diferentes contenedores y su función radica en dosificar o tratar líquidos como agua, permite proporcionar medidas exactas en intervalos de tiempo, optimizando el proceso, a continuación, se presentan las especificaciones técnicas de selección de bombas peristálticas en la tabla 20.

Tabla 20. Especificaciones técnicas de Bombas peristálticas dosificadoras

Características	Bomba peristáltica dosificadora de agua		
			
Precio	\$220	\$225	\$235
Motor	DC 12 v - 5W	12V	DC12V
Rango de flujo	5,2ml/min-90ml/min	10 ~ 60 ml/min	5-40 ml/min
Pulso	3 rodillos, pulso bajo	3 rotores, pulso bajo	—
Peso	110g	110g	120g
Temperatura de trabajo	2-40°C	0-40°C	0-40°C
Humedad relativa	<80%	<80%	<80%
Disponibilidad en el mercado nacional	Disponibles 21, envíos Quito.	Disponibles 4, envíos Quito.	Disponibles 3, envíos todo el país.
Funcionalidad	Campo: Medicina, Ingeniería, Laboratorio, Ambiental.	Campo: Ambiental, Químico.	Campo: Ingeniería, Laboratorio

Elaborado por: El investigador[59].

De acuerdo a los parámetros de la bomba peristáltica dosificadora de agua Innovatech, determina que cumple con las necesidades del proyecto en desarrollo, por su versatilidad de aplicaciones como en la ingeniería química, permitiendo el análisis y muestreo de líquidos, al igual que el rango de flujo óptimo para el sistema implementado, otra ventaja a resaltar es su precio accesible en el mercado frente a otros elementos [60].

Selección de Gateway

El dispositivo encargado de comunicar los datos obtenidos del sistema aeropónico y enviarlos a una plataforma de IoT, debe cumplir con los requerimientos necesarios y con una relación entre sus características y precio. Es así que, en la tabla 21, se realiza un análisis de varios dispositivos para determinar el que más se adapte a los requerimientos del trabajo.

Tabla 21. Comparativa de dispositivos para el Gateway.

Dispositivo	Raspberry Pi 4 versión b 	ASUS Tinker Board S 	NVIDIA Jetson Nano 
Memoria RAM	4 Gb	2 Gb	4 Gb
CPU	ARM Cortex-A72	Rockchip RK3288	Quad-core ARM A57
Socket	MicroSD	MicroSD	MicroSD
Sistema Operativo	Linux (Rasbian)	Linux (Debian)	Linux con SDK de Nvidia
GPU	VideoCore VI	ARM Mali-T764	128-core Maxwell
Conectividad	Wifi/Bluetooth/Gigabit Ethernet	Wifi/Bluetooth/Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet
Disponibilidad en el mercado nacional	Disponibles 94, envíos todo el país.	Disponibles 3, envíos todo el país.	Disponibles 10, Riobamba.
Precio	\$260	\$160	\$625

Elaborado por: El Investigador basado en [61] [62] [63].

Una vez realizado el análisis de los diferentes dispositivos, se estableció que el dispositivo llamado ASUS Tinker Board cuenta con poca RAM, produciendo problemas cuando se cargue más información o requerimientos de sistema en el Gateway, por otro lado, el dispositivo Nvidia Jetson cumple con los requerimientos, pero su precio es elevado y esto supondría un aumento en el costo de instalación. Finalmente, el dispositivo que mejor se acopló a los requerimientos tanto en sus características como precio fue el Raspberry Pi 4 versión b, ya que tiene una RAM de 5Gb y a su vez ofrece la posibilidad de utilizar varios puertos para diversos dispositivos auxiliares y cuenta con una documentación extensa en el internet para su uso. En la figura 32, se puede observar algunas de las partes principales de este dispositivo que es usado como Gateway [61].

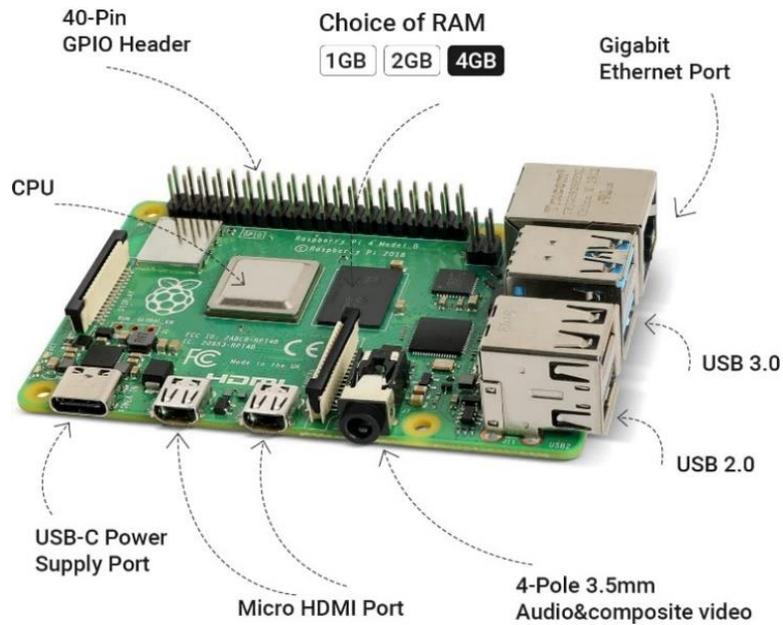


Figura 32. Raspberry pi 4 b [61].

Selección del controlador

Para realizar la comparación del controlador se prioriza con el PLC Siemens S7-1200, por su facilidad de implementación en procesos industriales simples, así como su alta capacidad de procesamiento, entradas analógicas y programación de buen entendimiento.

Se compararon varios PLC, en la tabla 22, se visualizan los resultados.

Tabla 22. Comparación del controlador PLC

Características	PLC s7-200	PLC s7 1200	1766-L32BxB Allen-Bradley
Entradas digitales	14	14+(2 on SB)	20
Salidas digitales	10	10+(2 on SB)	12
Entradas análogas	2	2	-
Salidas análogas	1	1 on SB	-
PWM/PTO	2	2	-
Contador de alta velocidad	6	6	12
Controlador de bucle cerrado	8	16	8
Costo	\$220	\$400	\$646
Interfaz	RS-232	Ethernet	RS-232
Alimentación	24Vdc	24Vdc	24Vdc
Ampliación	Max 7	Max 8	-

Elaborado por: El Investigador

Se seleccionó el PLC Siemens s7 1200, porque permite aumentar el número de módulos de comunicación (entradas y salidas), necesarios para poder corregir un error, solucionar problemas, etc. La compatibilidad frente a Firmware, fue otra característica considerada, se visualiza en la figura 33, el controlador a utilizarse.

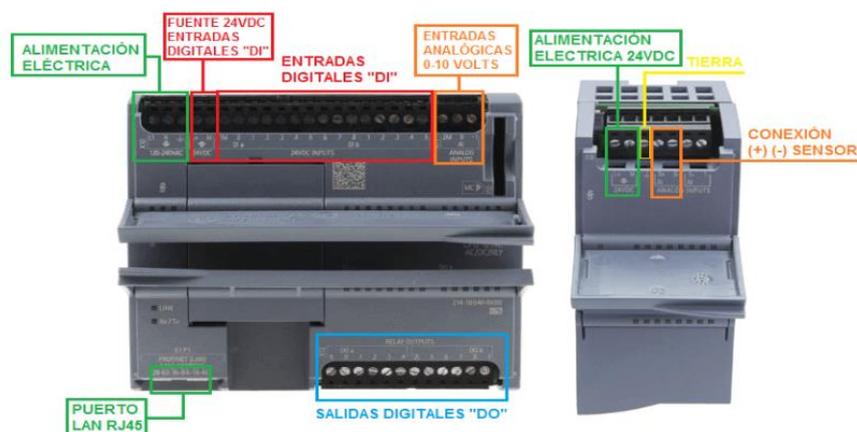


Figura 33. Controlador PLC Siemens S7-1200

Selección del sensor de PH

Una parte importante del sistema aeropónico es poder medir el pH, para lo cual es necesario un sensor que se ajuste a las características y requerimientos técnicos del sistema y que proporcione una lectura eficiente y eficaz acorde a los rangos establecidos en el proyecto. En la tabla 23, se observa la comparación de tres sensores de pH.

Tabla 23. Comparativa de sensores de pH.

Dispositivo	pH-4502C	pH + Tarjeta acondicionadora	pH -RS485
Voltaje de alimentación	5V	5v	3 – 5V
Dimensiones	42 x 17x 20 mm	43 x 32mm	15 x 12* 4mm
Consumo de energía	10mA	5 - 10 mA	4 – 20 mA
Rango	0.00-14.00 PH	0.00-14.00 PH	3.00 – 9.00 PH
Características	Cuenta con potenciómetro offset para calibrar la medición de PH	Sensor de tipo analógico con conexión instantánea para diferentes microcontroladores.	Transmisión inalámbrica LoRa
Disponibilidad en el mercado nacional	Disponibles 4, envíos Quito	Disponibles 15, envíos Quito.	Disponibles 11, Quito
Precio	\$24.56	\$45.99	\$53.00

Elaborado por: El Investigador basado en [64] [65] [66].

Después de realizar la comparación de los diferentes sensores, se determinó que el mejor para poder realizar el trabajo es el sensor de pH + Tarjeta acondicionadora, debido a que trabaja con un voltaje acorde y cuenta con un rango aceptable de medición de pH, a diferencia del sensor RS485 que no tiene un buen rango de medición y del sensor pH-4502C que cumple con las mismas características y a un precio menor pero no es de fácil adquisición en el mercado. En la figura 34, se muestra el sensor seleccionado [64].



Figura 34. Sensor de PH más tarjeta acondicionadora[64].

Selección del sensor de Temperatura y Humedad

De una lista de sensores que proporcionen los valores de temperatura y humedad se realizó un análisis en la tabla 24, para poder determinar el más adecuado para monitorear en el sistema de agricultura aeropónico.

Tabla 24. Comparativa de sensores de temperatura y humedad.

Dispositivo	Taidacent SHT30 RS485	HC2A-S	Dht11
Voltaje de alimentación	6 – 24 V	3.3 - 5V	3.3 – 5V
Dimensiones	–	105 x 15 mm	33 x 14 x 7.5 mm
Consumo de energía	25 mA	5 mA	4 – 20 mA
Rango	-30 – 80 °C	-40 – 60 °C	0 – 60 ° C
Características	Cuenta con interfaz de comunicación RS485	Trabaja con protocolos MODBUS y RoASCII	Bajo consumo con salida digital
Disponibilidad en el mercado nacional	Disponibles 19, envíos todo el país.	Disponibles 3, envíos Quito.	Disponibles 98, envíos todo el país.
Precio	\$42.30	\$297.05	\$3.50

Elaborado por: El Investigador basado en[67] [68] [69].

Una vez realizado la comparación de los diferentes tipos de sensores de temperatura y humedad, se concluyó que el sensor DHT11 no cumple con los requisitos necesarios para el presente proyecto por su corto rango de lectura, mientras que el sensor HC2A-S cumple con los requerimientos pero su precio es excesivamente alto por lo que la mejor opción a usar fue el sensor de temperatura y humedad Taidacent SHT30 RS485 ya que cuenta con un rango aceptable, tiene comunicación mediante el protocolo serial RS485 y su precio es accesible en el mercado[68]

Selección del sensor de nivel

El sensor de nivel es necesario para poder determinar el nivel de agua en los tanques y según su medida realizar alguna acción en el sistema, en la tabla 25, se desarrolla la comparación de algunos sensores de nivel.

Tabla 25. Comparativa de sensores de PH.

Dispositivo	Sensor de nivel flotador	Sensor de nivel por ultrasonidos	Sensor de nivel infrarrojo
Voltaje de alimentación	Hasta 12 v DC/AV	8-33 V	5- 24 V
Dimensiones	Cable 30 cm	279 mm x 138 mm x 89 mm	-
Consumo de energía	0.5 A	-	10 mA
Rango de temperatura	-10 – 85 ° C	-20° a +70° C	-30° a +80° C
Características	Contiene un flotador magnético de laminas	El sensor mide y comunica los datos periódicos de cada sitio para la supervisión a largo plazo y en línea	Tiene salida analógica que va desde 0 a 4.5 voltios
Disponibilidad en el mercado nacional	Disponibles 10, envíos todo el país.	Disponibles 1, envíos El Oro.	Disponibles 2, envíos todo el país.
Precio	2.53 \$	259 \$	15\$

Elaborado por: El Investigador basado en [64] [65] [66].

Después de analizar los diferentes sensores de nivel se optó por realizar el proyecto con el sensor de nivel de flotador mostrado en la figura 35, debido a sus especificaciones técnicas, su disponibilidad en el mercado y sus dimensiones.



Figura 35. Sensor de nivel flotador [70].

Selección de material de tubería y estructura.

Existen diversos materiales para todo propósito en cuanto a las necesidades que se requieren, para este proyecto es primordial seleccionar el mejor y más óptimo material para un mayor resultado en cuanto al riego de cultivos, por donde pasarán las sustancias y nutrientes necesarios por ello en la tabla 26, se clasifican los materiales más utilizados.

Tabla 26. Comparativa de material de tubería y estructura

Material	PVC	Polipropileno	Bronce
Conductividad	Directa	Directa	Difícil
Hermeticidad	100%	100%	90%
Mantenimiento	Fácil	Difícil	Difícil
Resistencia	-Al fuego -Temperatura del agua	-No resiste al fuego -Temperatura del agua limitada	-Mejor resistencia -Oxidación
Flexibilidad	Alta	Alta	Baja
Costo	Elevado	Elevado	Elevado

Elaborado por: El Investigador basado en [71] [72].

Se seleccionó la tubería PVC por sus grandes beneficios siendo un material más resistente en cuanto a la exposición de fuego o sustancias químicas, sobre todo por la directa conductividad de flujo, un aspecto principal en el desarrollo del proyecto pues se requiere establecer un alto índice de efectividad en cuanto al riego, y sin pérdidas de flujo por fugas pues ofrece una hermeticidad completa, en la figura 36, se observa el material de tubería a utilizar.



Figura 36. Material de tubería y estructura PVC

3.2.6 Diseño esquemático del proyecto

Basado en el análisis y los resultados obtenidos por el estudio en el área de agro-cultivos y agroindustria 4.0, de manera puntual referido al método de agricultura aeropónica en cultivos verticales, así como las etapas del sistema de monitoreo y control de producción en el desarrollo que presenta la producción, se determinó que el sistema agroindustrial 4.0 debe apoyar al productor y agricultor a aprovechar de mejor manera los recursos usados para una mayor producción y que el resultado de sus productos sean de alta calidad, aumentando el consumo de productos naturales, ofreciendo un método diferente con una estética ecológica e innovadora, utilizando espacios reducidos en interiores sin la necesidad de adquirir áreas extensas de terrenos, y que por medio de un sistema permitan tener un mayor control sobre el proceso de sus plantaciones, mejorando la producción y adquiriendo una gestión sostenible de sus cultivos.

El esquema general presente en la figura 37, muestra que la estructura del cultivo vertical aeropónico de lechuga tiene un diseño cilíndrico, estético, ecológico y climatizado, contiene cavidades en las cuales se coloca cada plantación por la cual fluye los nutrientes necesarios, que retiene los depósitos y cantidades requeridas para su desarrollo, de igual manera la sustancias, nutrientes y recursos que necesita el sembrío son distribuidos y accionados desde un depósito de mezcla general accionado por una bomba centrífuga y recolectado por un sistema de tuberías, cada sección se encuentra con sensores de nivel,

humedad, pH y temperatura, manejado por el dispositivo de control PLC, en el cual cada uno de los datos son recolectados en la nube, por medio de un Gateway se puede controlar y monitorizar mediante una App Móvil.

De esta manera, se puede llevar un manejo de las necesidades y requerimientos de los cultivos de lechuga, estar presente en cada etapa desde su siembra hasta su cosecha, mediante los requerimientos edafoclimáticos principales a considerar que se describe en la tabla 27:

- Temperatura, regula la velocidad de desarrollo del cultivo.
- Humedad, idónea para el crecimiento de la raíz.
- pH, evaluación del material en el cual se desarrolla el cultivo.

Tabla 27. Requerimientos Edafoclimáticos

Requerimientos	Escalas Ideales
Temperatura	Germinación 18-20°C Crecimiento 14-18°C Acogollado 12°C Temp máx. 30°C Temp min-6°C
Humedad	60 al 80%
Suelo pH	6,7 y 7,4

Elaborado por: El investigador[73].

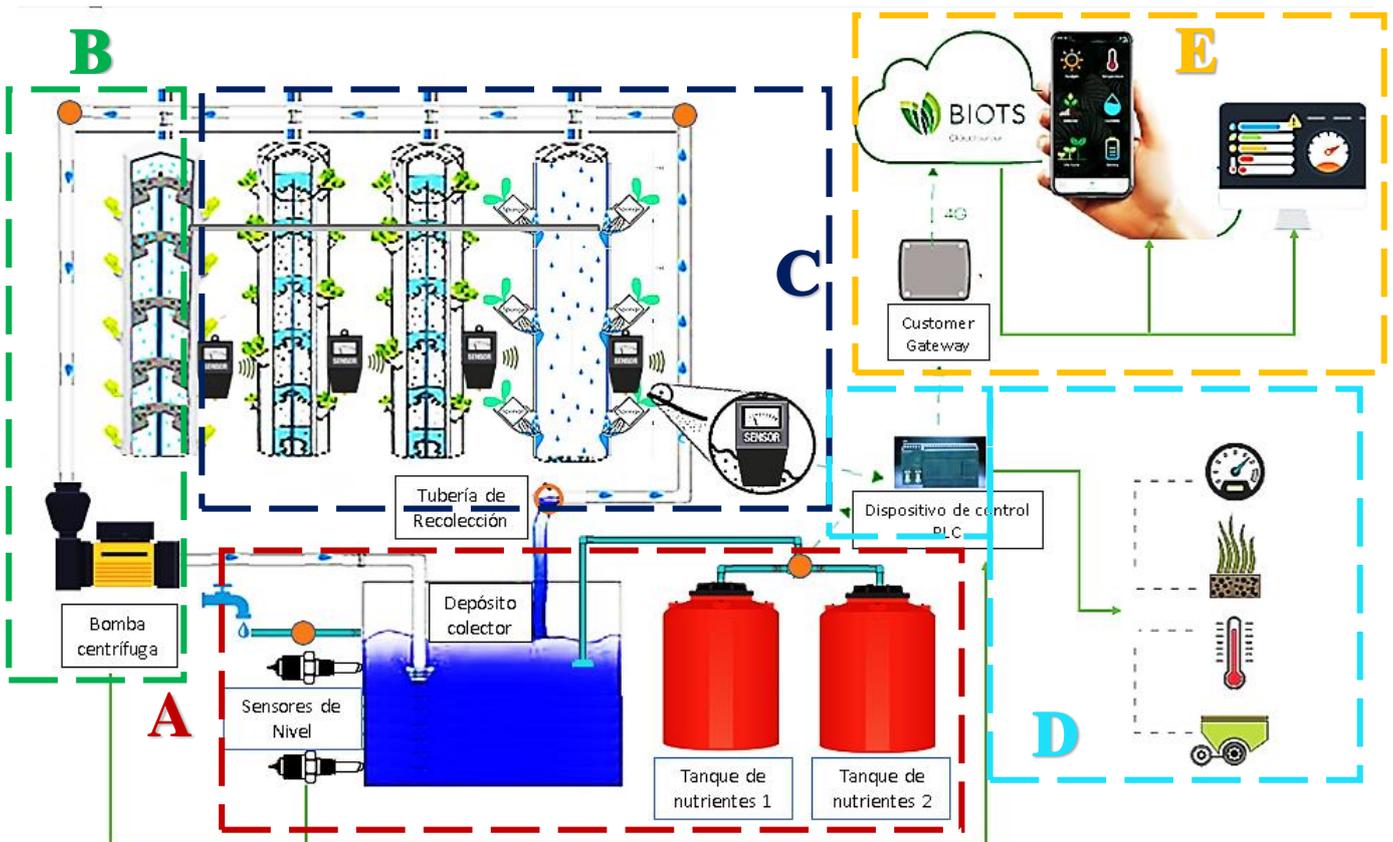


Figura 37. Diseño esquemático del Sistema de control y monitorización Agroindustrial 4.0 aplicado a cultivos verticales.

Fuente: Elaborado por el investigador

Bloque A.

Mezcla y Recolección. - En este bloque se proporciona los nutrientes y sustancias que requieren los cultivos de lechuga utilizando tres tanques: tanque de agua, tanque en donde se va a realizar la mezcla de los nutrientes y tanque en el que se depositan los nutrientes, que por medio de válvulas se dirigen al tanque principal colector de depósito, allí se mezcla con el agua proveniente de red, y es controlado por sensores de nivel.

Bloque B.

Activación y Distribución. - Se encarga de la activación de la bomba de agua, se controla mediante un relé, y permite distribuir los nutrientes y sustancias por toda la estructura aeropónico vertical, en el cual se encuentran los cultivos, la activación y desactivación del mismo se controla por medio del PLC.

Bloque C.

Riego. – Los cultivos reciben el riego para su desarrollo en el tiempo y en la cantidad adecuada, para ello su estructura cuenta con espacios y cavidades justas en la cual se deposita la cantidad necesaria de nutrientes, sustancias y agua.

Bloque D.

Control y Sensorización. – Se lleva un control del estado de los cultivos por medio de sensores de humedad, PH, temperatura, nivel, para evaluar y aplicar los requerimientos necesarios a un óptimo desarrollo de un cultivo de calidad, controlado por un PLC encargado de efectuar las acciones.

Bloque E.

Almacenamiento y Monitoreo. - En este bloque se almacena la información y los datos recolectados a la nube la cual permite llevar un mejor manejo del estado en cada etapa del desarrollo de los cultivos por medio de una plataforma IoT, en el cual se suben los datos utilizando un Gateway, en este caso es el Raspberry PI, para la transmisión y control de monitoreo.

3.2.7 Desarrollo del Sistema de control y monitorización Agroindustrial 4.0 aplicado a cultivos verticales.

Para el desarrollo del Sistema de control y monitorización Agroindustrial 4.0 aplicado a cultivos verticales, se utilizó material como tubos PVC previamente seleccionado en la tabla 26, para la estructura del modelado de los cultivos verticales en el cual se diseñaron las piezas, los planos y ensamblajes, el esquema se modelo de manera que los elementos puedan acoplarse eficientemente como se observa en la figura 38.

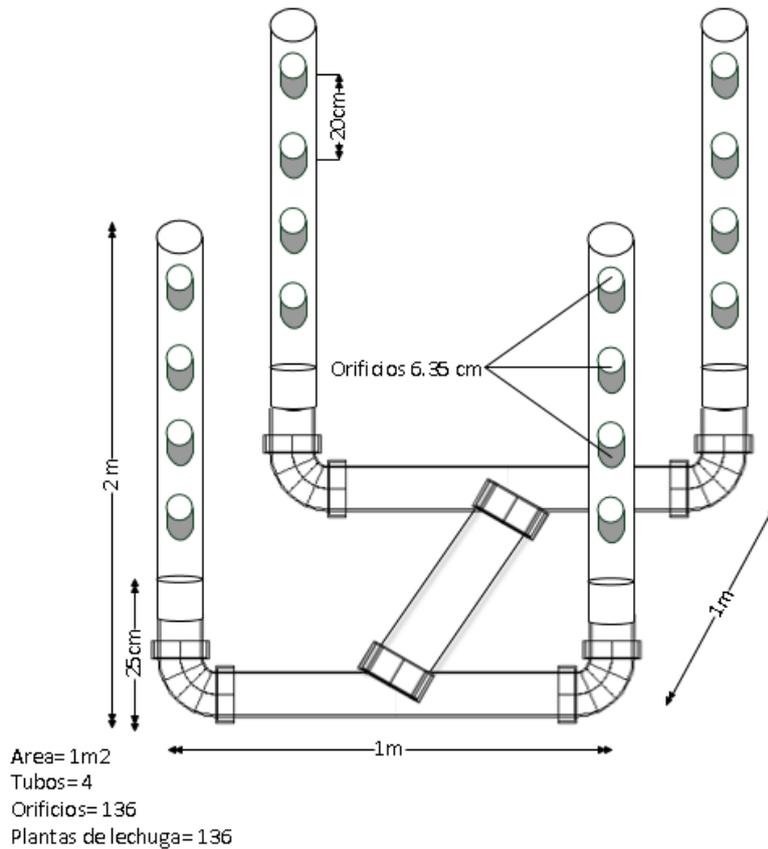


Figura 38. Diseño del plano estructural del cultivo vertical.

Fuente: El Investigador

Para el diseño se consideraron, los espacios en los cuales se desarrollan los cultivos verticales que sostiene la estructura, luego el modelado de la parte superior para el sistema de riego en la cual se estableció como eje central el espacio para acoplar los elementos electrónicos como sensores y dar espacio para las conexiones necesarias como se visualiza la figura 39.



Figura 39. Modelado de la estructura

Elaborado por: El Investigador

También se definieron las características de ubicación para las válvulas y contenedores de riego por los cuales pasa el agua y los nutrientes a cada una de las plantas de cultivo, la estructura se basa en el plano de figura 36, visualizada a continuación de manera práctica en la figura 40.



Figura 40. Estructura de cultivo vertical

Elaborado por: El Investigador

Las cavidades para las plantas de lechuga se colocarán en una canasta de soporte, se consideraron factores como el espacio óptimo para el libre desarrollo de la raíz, y la cavidad de retención de nutrientes y líquido que requiere el cultivo, su diseño en forma de canasta se acopla al tamaño adecuado de una lechuga, en la figura 41, se aprecia la cavidad.



Figura 41. Diseño de la cavidad de desarrollo del cultivo.

Elaborado por: El Investigador

3.2.8 Arquitectura electrónica de hardware del sistema.

Una vez realizado el análisis y la selección de los diferentes elementos tanto electrónicos como eléctricos para el sistema aeropónico se procedió a realizar el diseño y esquema de los materiales a usar, su conexión y la etapa de cada proceso como se puede ver en la figura 42.

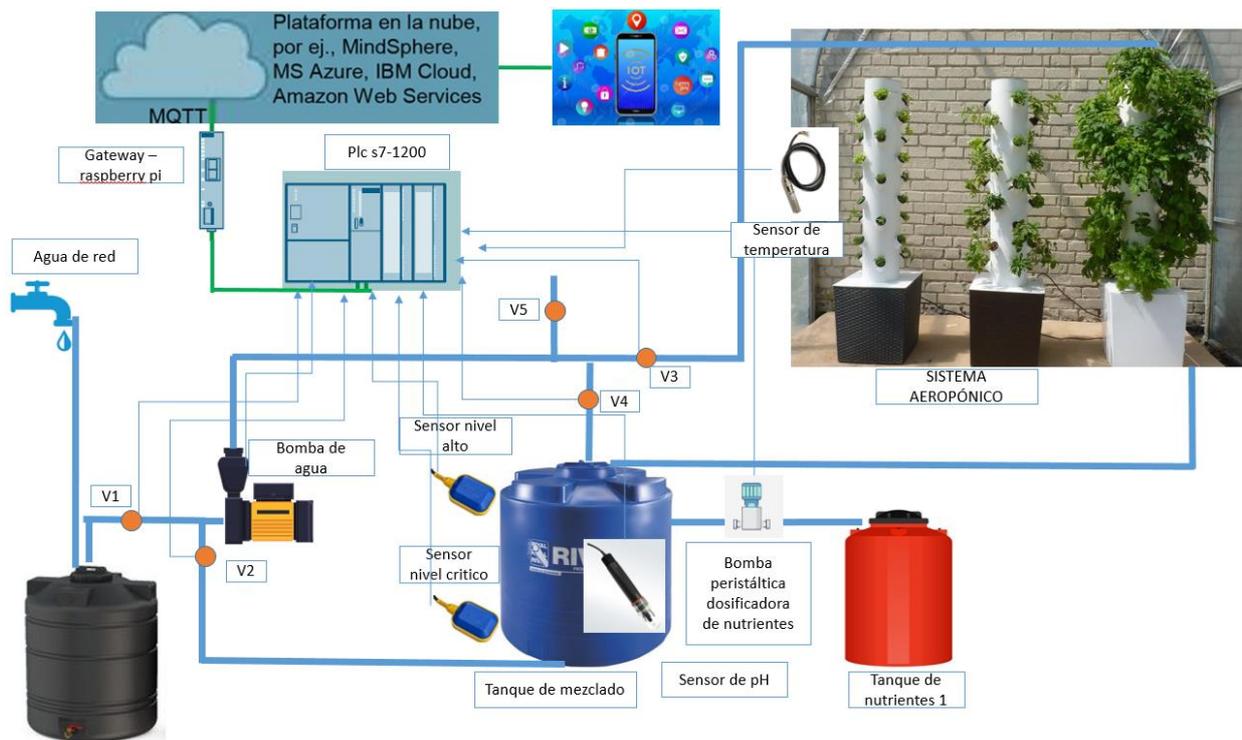


Figura 42. Diseño del sistema

Elaborado por: El Investigador

Acorde a la figura 42, se tiene tres tanques los cuales equivalen al tanque de agua, su llenado se realiza mediante la red de agua perteneciente a la ciudad; el tanque en donde se va a realizar la mezcla de los nutrientes y por último, el tanque en el que se depositan los nutrientes, Mediante la fuente eléctrica AC se procede a la alimentación de la bomba de agua, PLC, Gateway Raspberry y la bomba peristáltica. La bomba de agua se controla mediante un relé el cual está conectado al PIN DQ0 del PLC. En el tanque de mezclado se localizan los dos sensores de nivel, los cuáles son interruptores digitales que están conectados a los pines D1.6 y D1.7 del PLC, estos sensores funcionan con 12v, gracias a ellos se puede establecer en qué nivel se encuentra la mezcla en el tanque. La bomba peristáltica se conecta a un relé que activa o desactiva según sea la condición en la programación, este relé está conectado al pin DQ a.5 PLC. El sensor de pH está conectado

al pin analógico del PLC de igual forma el sensor de temperatura SHT30 se conecta a pin del PLC. Para poder subir los datos a una plataforma IoT se debe utilizar un Gateway, en este caso es el Raspberry PI 4, se conecta el PLC y la Raspberry mediante un cable ethernet el cual utiliza el protocolo TCP/IP para la transmisión de datos. Otros pines del PLC se encuentran para el Paro de emergencia en el pin DI a.0, el botón de Start y de stop en los pines DI a.1 y DI a.2 respectivamente, en la figura 43, se puede observar la distribución completa de los pines del PLC.

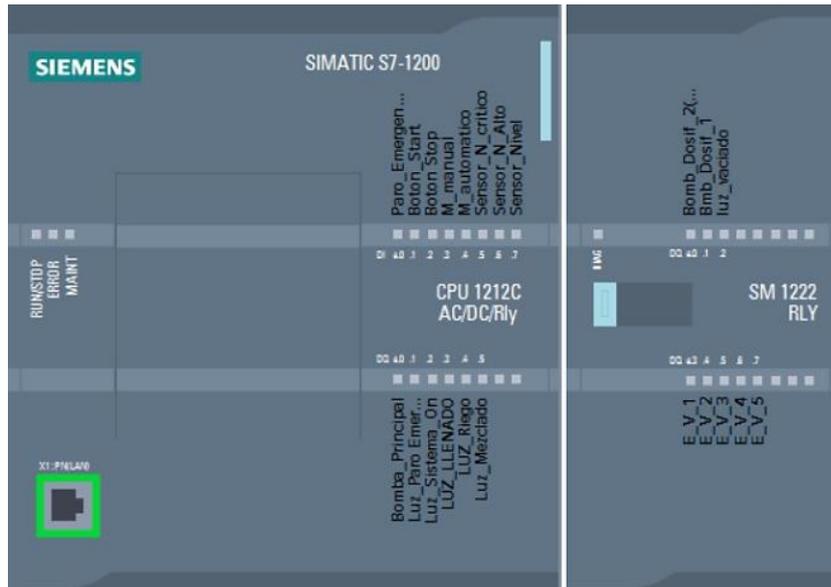


Figura 43. Distribución de pines del PLC

Elaborado por: El Investigador

Como se puede observar en la figura 44, se realizaron las conexiones referentes al diseño esquemático presentado en la figura 41, se conectaron los relés a los pines del PLC para la activación de la bomba de llenado y la bomba peristáltica, así como la conexión de los botones de control y sus indicadores.



Figura 44. Conexión de relés y bombas

Elaborado por: El Investigador

Las conexiones para las electroválvulas, con el Gateway Raspberry y los sensores se muestran en la figura 45, para poder culminar con el esquema eléctrico y electrónico, se optó por la utilización de dos colores de cable siendo estos rojo y negro para una mayor comprensión.

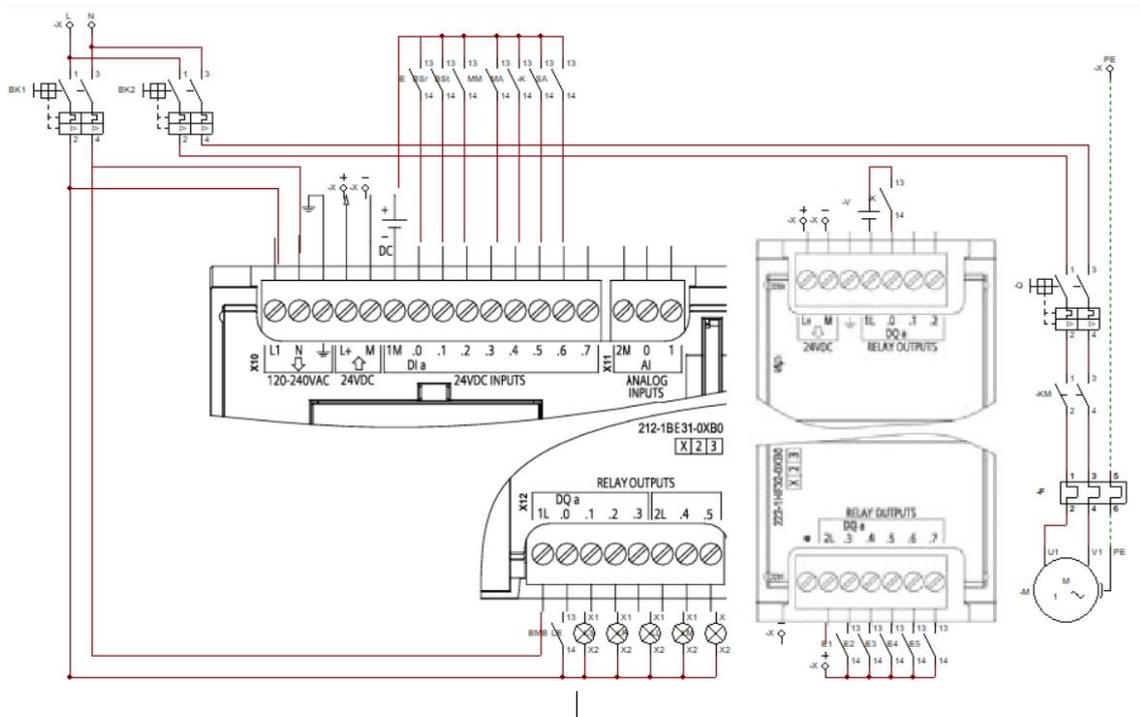


Figura 45. Conexiones finales de control.

Elaborado por: El Investigador

3.2.9 Arquitectura de Software del sistema

La arquitectura de software se enfoca en el análisis y estructuración del software para el control y manejo del sistema, los elementos y partes que se debe diseñar de tal modo que al juntarlos puedan interactuar y en conjunto a realizar una función específica.

Nivel de desarrollo

Consta de un nivel, que se desarrolla en una plataforma de codificación de instrucciones. Desarrollado en un entorno integrado, formado por un conjunto de instrucciones de lenguaje en alto nivel de programación y compatible, incorporando herramientas de compilado, carga y ejecución de manera rápido en su conexión, de esta manera se

desarrolla el código de detección e interacción de gestos que realiza el sistema con los cultivos.

Cálculos:

$$N_p = \frac{p}{\phi_r^5 N^3 \rho}$$

$$P = N_p \phi_r^5 N^3 \rho$$

$$P = [(2.8)(0.80)5(0.59)3(1030)] (w)$$

$$P = 194.089(w) \approx 1/2HP$$

Para dimensionar a la bomba comercial, la potencia requerida es de 194.089 (w) Por lo cual se establece un porcentaje de trabajo menor a 80 % de su capacidad, por lo siguiente se elige un motor de 1/2 HP.

Con esta potencia se puede obtener la intensidad de corriente teórica igual a:

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{194.089}{220}$$

$$I = 0.88 A$$

Relé térmico

Es necesario calcular las corrientes del relé térmico para protegerlo contra descargas.

$$P = 372 W$$

$$I_n = 2.89 A$$

$$V = 220 V$$

$$n = 95 \%$$

$$Fp = 0.95$$

$$Fs = 1.15\%$$

$$I_n = \frac{P_E}{\sqrt{3} V \cos \theta}$$

$$P_E = \frac{P_m}{n} = \frac{372 W}{0.95} = 391.57 W$$

$$I_n = \frac{P_E}{\sqrt{3} V \cos \theta}$$

$$I_n = \frac{391.57 \text{ W}}{\sqrt{3} (220) (0.95)}$$

$$I_n = 1.08 \text{ A}$$

Es necesario multiplicarlo por Fs para así poder calcular la corriente del relé térmico y así determinar la intensidad de salida.

$$I_s = 1.08 * 1.15 = 1.24 \text{ A}$$

Ahora es necesario multiplicarlo por 10, con esto se logra calcular la corriente de disparo que tendrá el relé térmico.

$$I_D = 1.24 \text{ A} * 10 = 12.4 \text{ A}$$

En el mercado se encuentra un guardamotor con una tolerancia de 15 A.

3.2.10 Desarrollo de la programación del dispositivo

Programación del PLC

Se realizó la programación del PLC mediante el software TIA Portal. Se comenzó con el paro de emergencia, un botón que se requiere en cualquier proceso industrial para poder accionarlo cuando existan problemas o inconvenientes, en la figura 46, se realiza la desactivación de todos los procesos mediante el paro de emergencia.

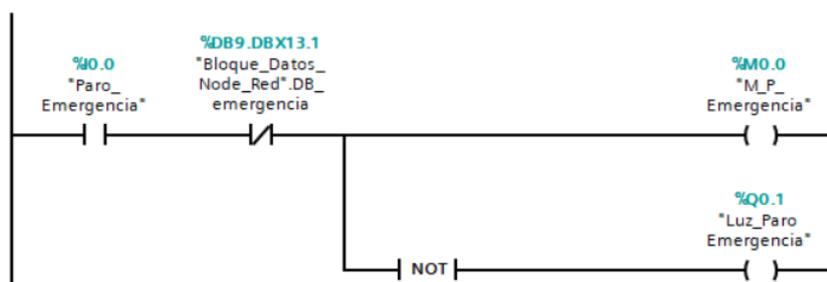


Figura 46. Paro de emergencia

Elaborado por: El Investigador

La programación de los botones de inicio y paro se muestra en la figura 47, contactos abiertos, cerrados y memorias para el segmento.

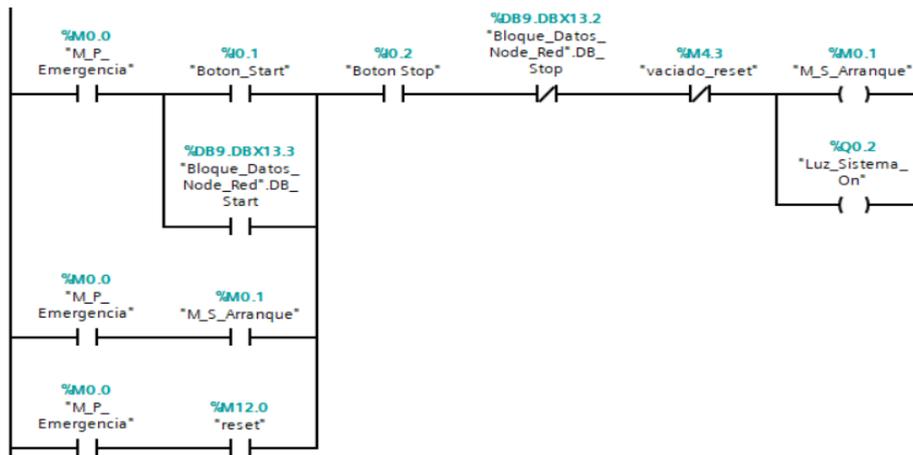


Figura 47. Programación de botones de inicio y paro

Elaborado por: El Investigador

La programación para el selector del tipo de proceso se realizó en la figura 48, que incluye dos contactores en paralelo, a partir del arranque cada contactor corresponde al funcionamiento en automático y el otro al funcionamiento manual.

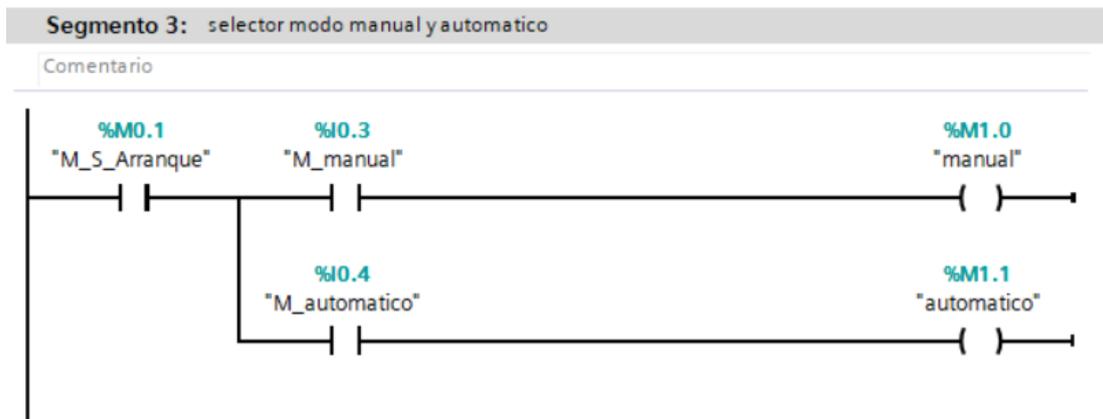


Figura 48. Programación del selector

Elaborado por: El Investigador

El proceso para la lectura de datos de los sensores de nivel se muestra en la figura 49, cuenta con 3 contactos abiertos, el primer contacto para el arranque y los dos restantes se deriva en paralelo para determinar si el nivel está en crítico o en alto.

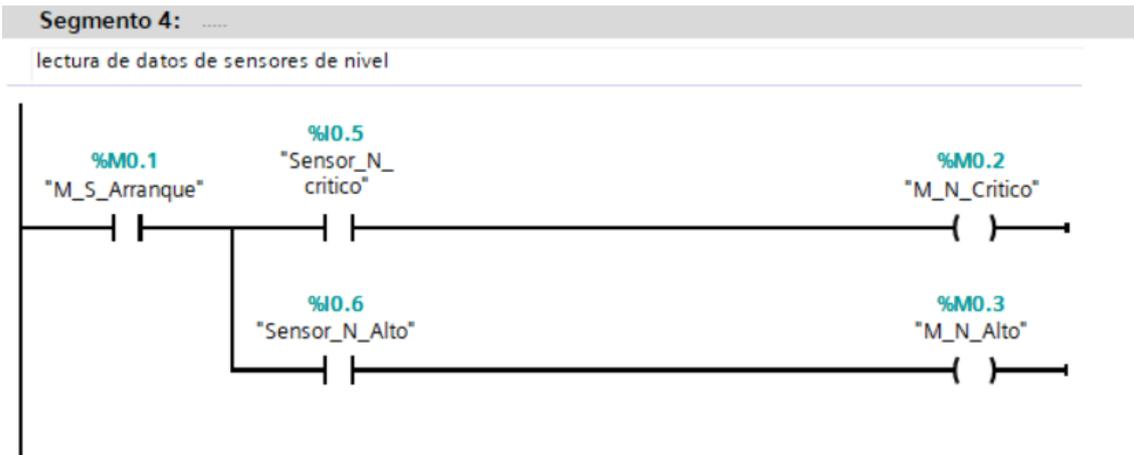


Figura 49. Lectura de sensores de nivel

Elaborado por: El Investigador

El accionamiento de los sensores de nivel se realizó en la figura 50, mediante una secuencia de contactos abiertos y cerrados en paralelo determinando el nivel crítico, bajo y alto.

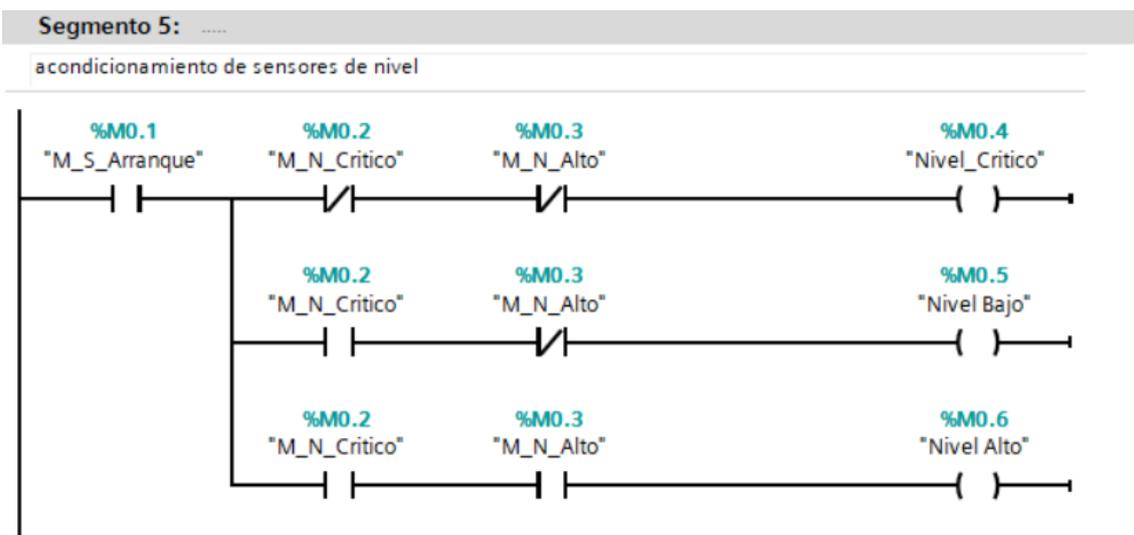


Figura 50. Accionamiento de los sensores de nivel

Elaborado por: El Investigador

La lectura del sensor de PH se realizó mediante los pines analógicos del PLC, para una lectura adecuada primero se debe normalizar el valor leído en el pin analógico y después se lo escala al valor de PH como se puede observar en la figura 51.

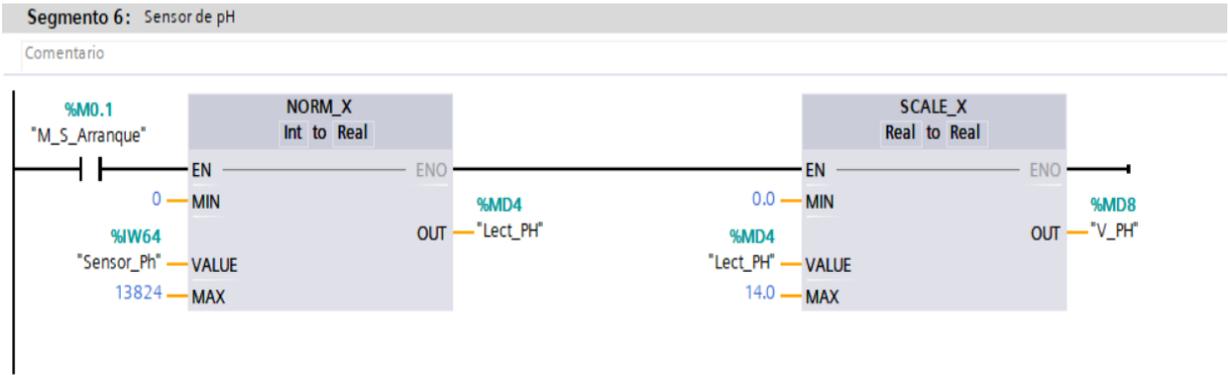


Figura 51. Lectura del sensor de PH

Elaborado por: El Investigador

La memoria del tanque cuando está lleno es necesario para poder usarlo en los diferentes procesos de accionamiento para las electroválvulas, la programación se realizó como se observa en la figura 52.

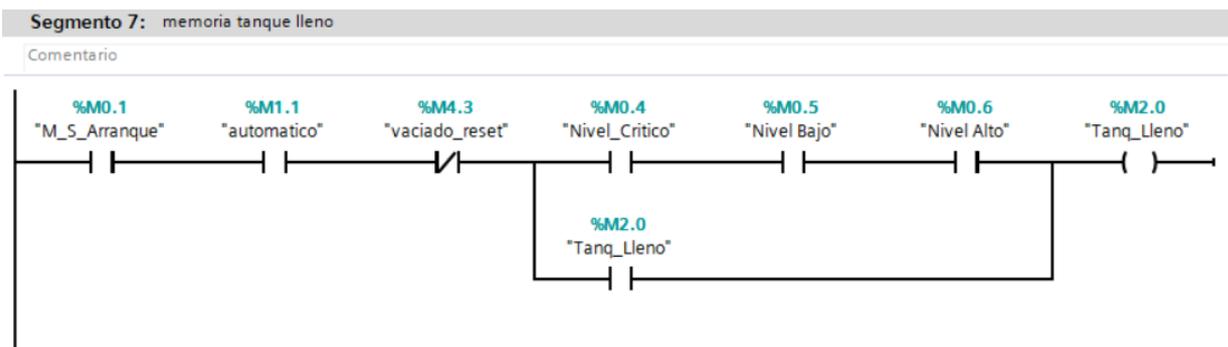


Figura 52. Memoria de tanque lleno.

Elaborado por: El Investigador

El riego manual se desarrolla con un timer en paralelo con el contacto normalmente cerrado del accionamiento del riego, para realiza un estado con memoria cuando se realice el accionamiento manualmente como se observa en la figura 53.

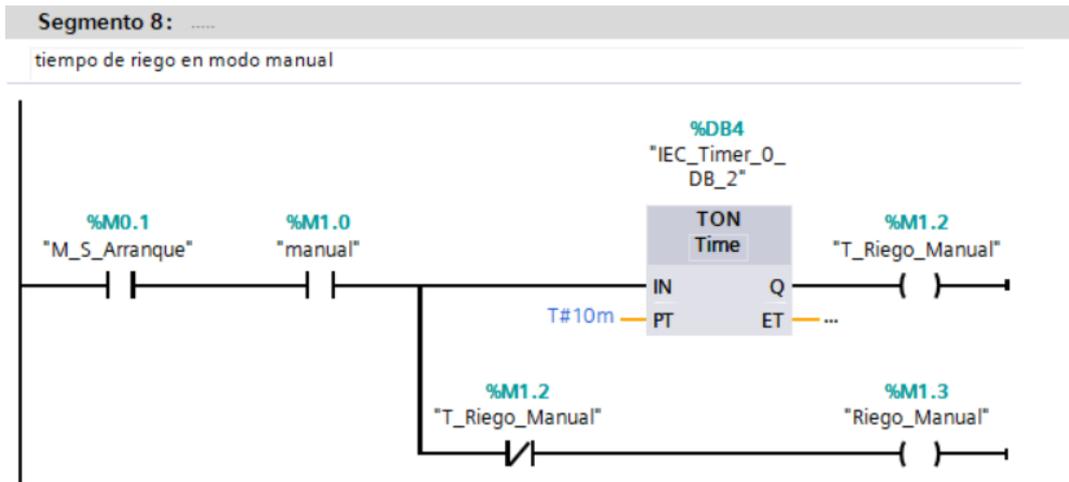


Figura 53. Accionamiento de riego manual

Elaborado por: El Investigador

El mezclado se realizó con un timer para controlar el tiempo en que se demora la mezcla de nutrientes, este timer se activa a partir del arranque y el control automático y si el tanque esta llenado, como se establece en la figura 54.

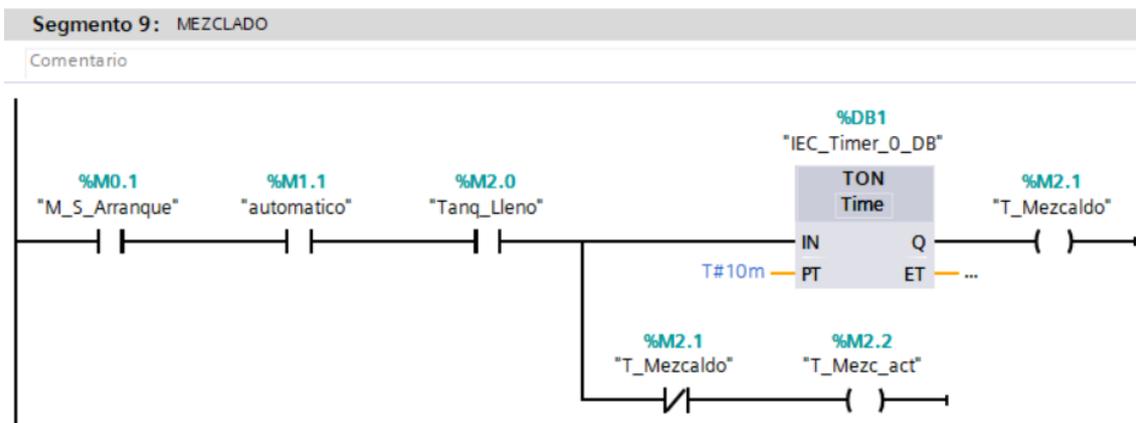


Figura 54. Proceso de mezclado.

Elaborado por: El Investigador

La activación y desactivación de la bomba esto mediante contactores cerrados y abiertos para poder controlar la bomba durante todo el sistema como se observa en la figura 55.

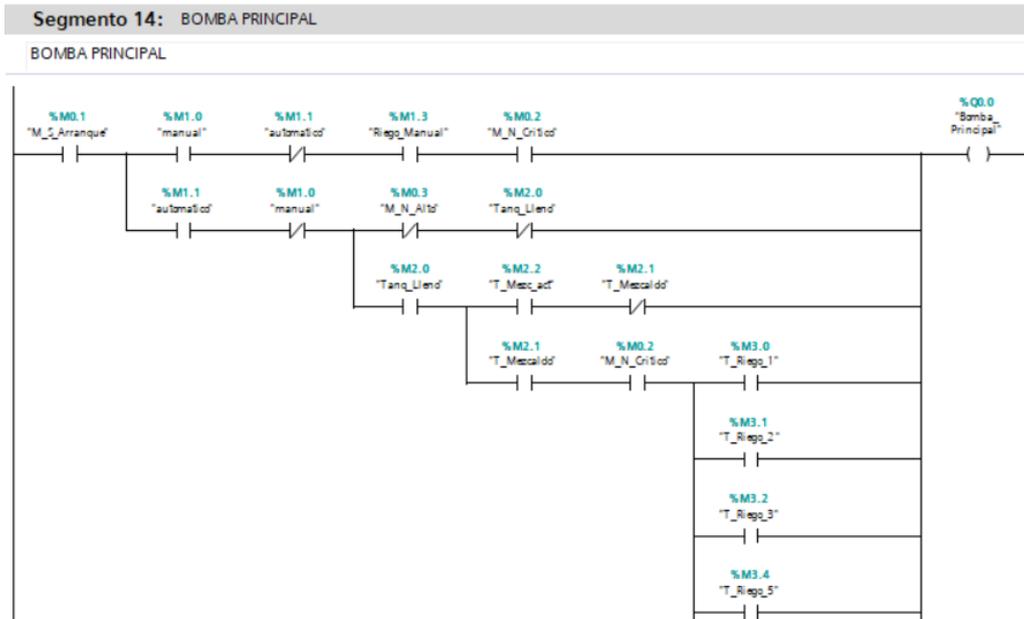


Figura 55. Activación de bomba principal

Elaborado por: El Investigador

Después se realizó la programación para la bomba dosificadora, encargada de mezclar los componentes y nutrientes, para este proceso se realizó mediante dos segmentos como se observa en la figura 56, para controlar la bomba dosificadora en las diferentes etapas del proceso

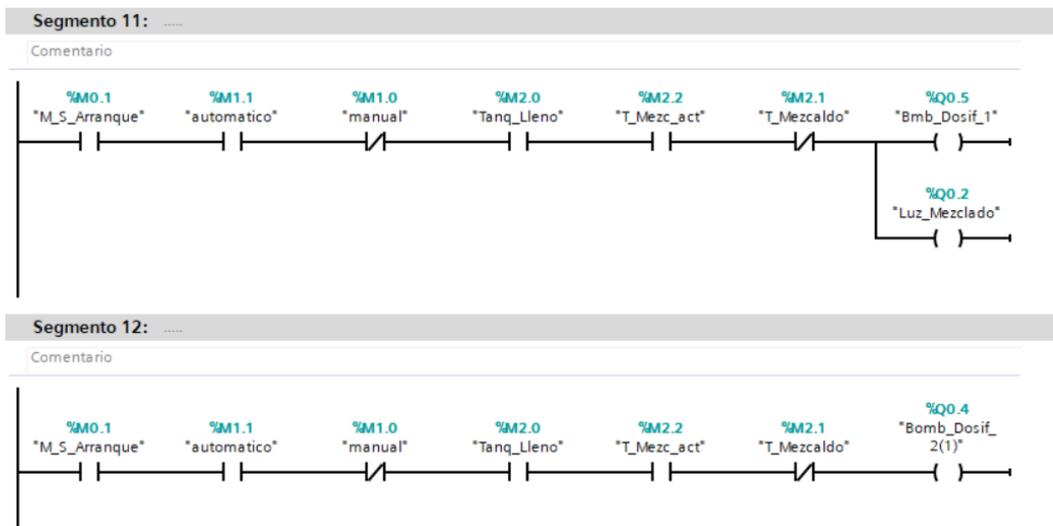


Figura 56. Activación de bomba dosificadora.

Elaborado por: El Investigador

En la figura 57, se muestra la programación necesaria para realizar el proceso EV1, mediante contactos abiertos y cerrados y con estado de memoria.

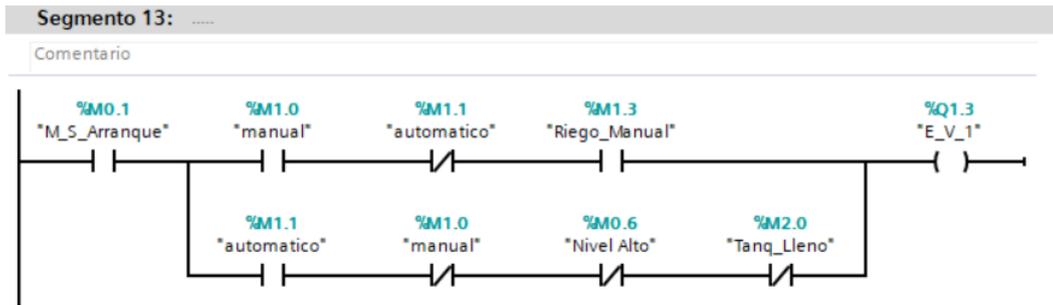


Figura 57. Activación EV1

Elaborado por: El Investigador

Para el accionamiento de EV2 se realizó una programación en paralelo con la variable de mezclado esto con el fin de que se active EV2 según sea el requerimiento, de los diferentes riegos del sistema tal como se puede ver en la figura 58.

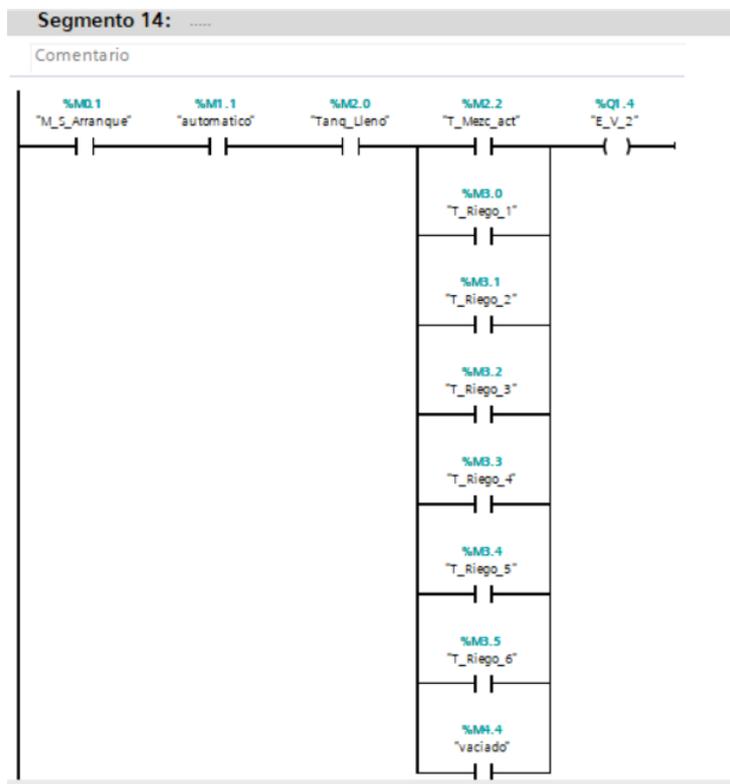


Figura 58. Activación EV2

Elaborado por: El Investigador

En la activación EV3 se realiza un proceso igual al EV2, pero con una línea de programación para la activación manual y automática para posteriormente realizar la conexión con los tiempos de riego como se ve en la figura 59, para de igual forma realizar el accionamiento de los indicadores.

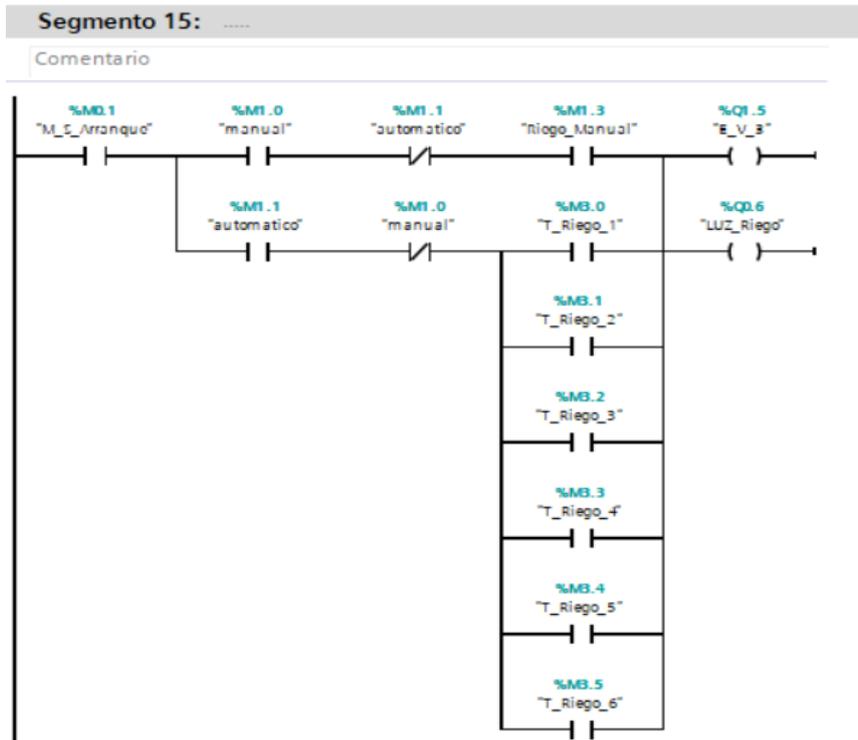


Figura 59. Activación EV3

Elaborado por: El Investigador

En la figura 60, se muestra el proceso para el accionamiento del EV4. El cual consta de contactos abiertos y cerrados conectados en paralelo con las variables del nivel de tanque y los tiempos de mezclado, antes del nivel alto.

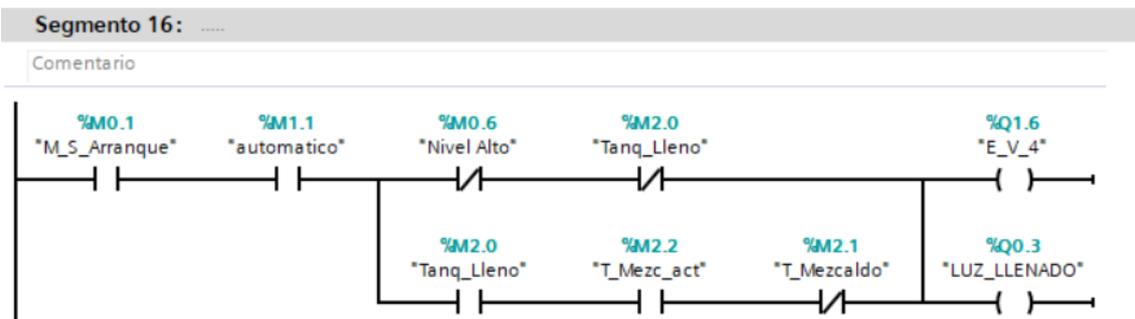


Figura 60. Activación EV4

Elaborado por: El Investigador

Para el accionamiento del EV5 se utilizó una secuencia de contactos abiertos y cerrados referente al control manual, automático, vaciado y nivel crítico, también se realiza la comparación de los tiempos con respecto a la Hora y los retardos tal como se observa en la figura 61.

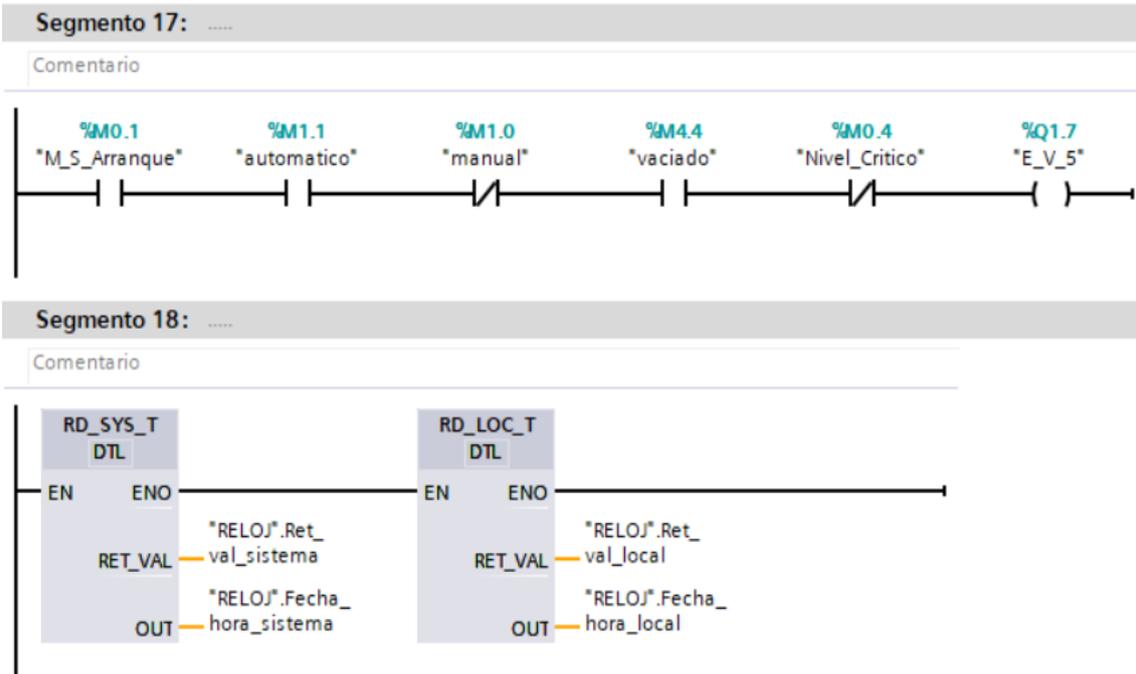


Figura 61. Activación EV5

Elaborado por: El Investigador

La figura 62, muestra la programación en la que recolecta la información de la fecha y hora del sistema con la fecha y hora local correspondientemente se lee la hora del sistema del Plc para hacer una comparación con la hora local cuando el Plc se encienda.

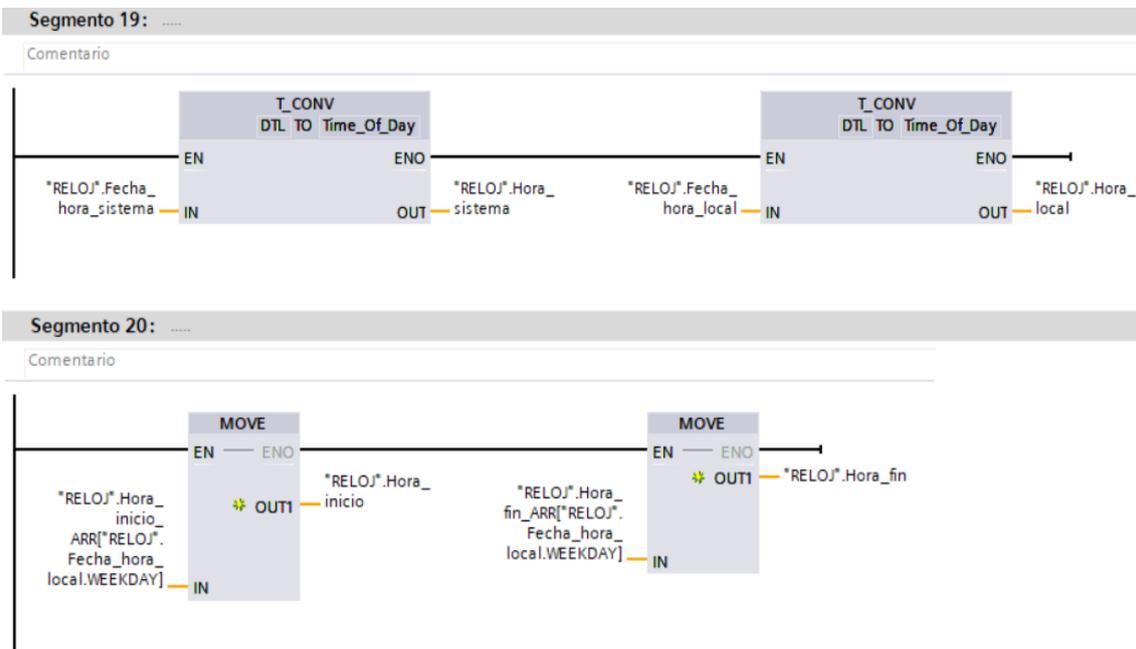


Figura 62. Proceso de reloj del sistema

Elaborado por: El Investigador

Una parte importante de la programación es determinar la hora actual y poder establecer el tiempo en comparación con la hora de inicio del riego y la hora actual del sistema tal como se observa en la figura 63.

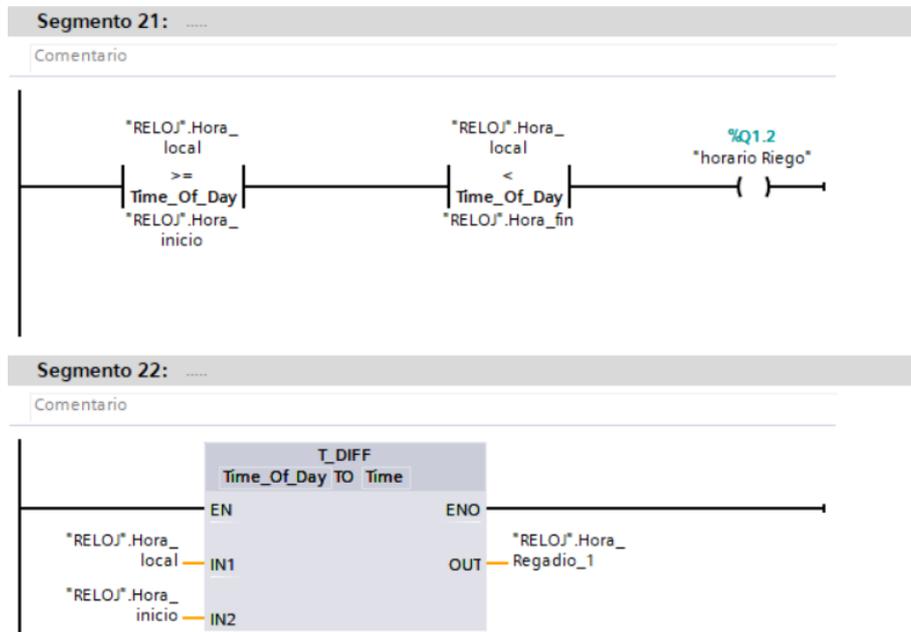


Figura 63. Programación de la diferencia de Tiempo.

Elaborado por: El Investigador

Para el riego1, se utiliza una función de rango para que se active en un determinado intervalo de tiempo y este tiempo adicionarlo a la hora de regadío como se observa en la figura 64.

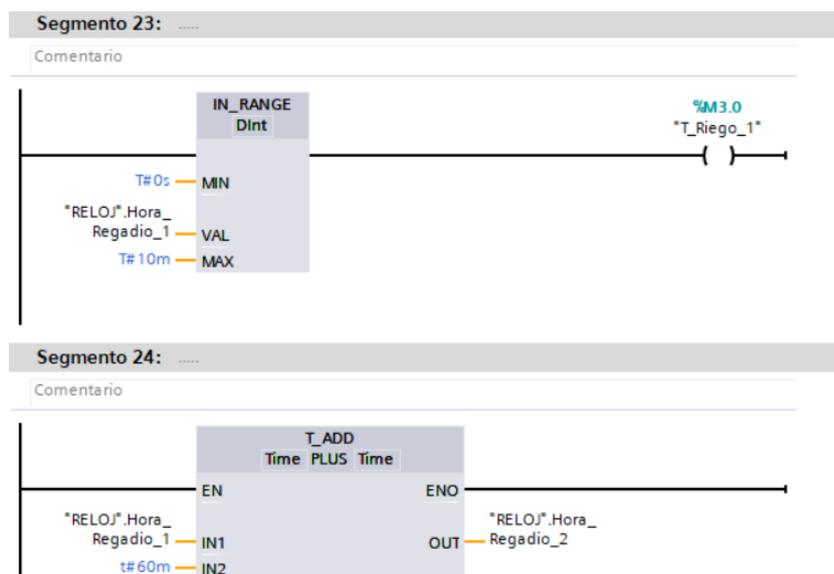


Figura 64. Riego 1

Elaborado por: El Investigador

El proceso de programación para el riego2 sigue el mismo esquema del riego1 con diferencia de los rangos de tiempos como se observa en la figura 65.

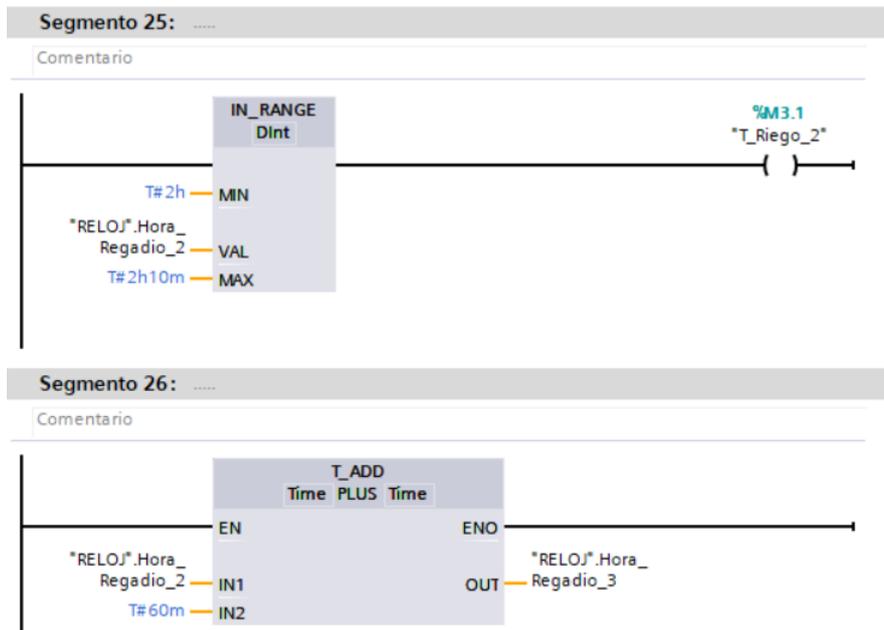


Figura 65. Riego2

Elaborado por: El Investigador

De igual forma se realizó el proceso para el riego 3 con sus respectivos intervalos de tiempo que se muestran en la figura 66.

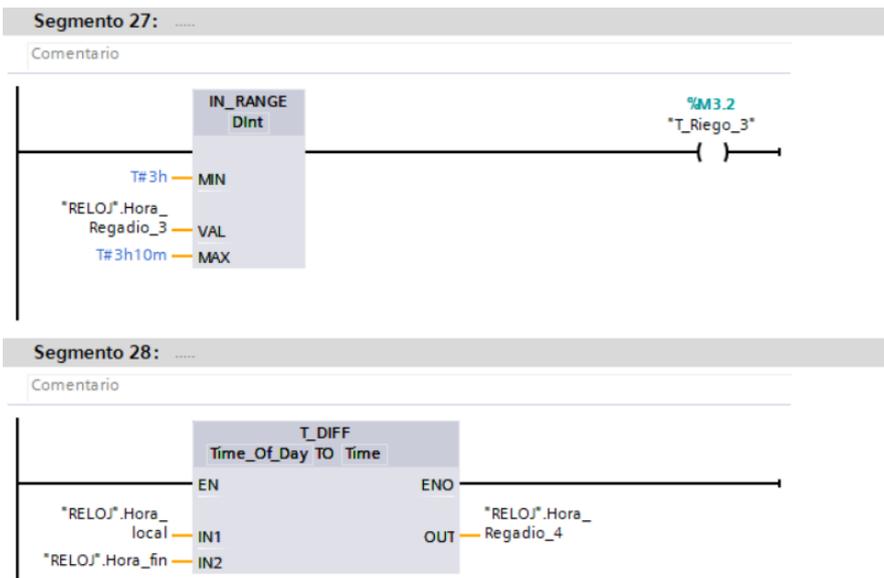


Figura 66. Riego 3

Elaborado por: El Investigador

En la figura 67, se muestra la programación para el riego 4.

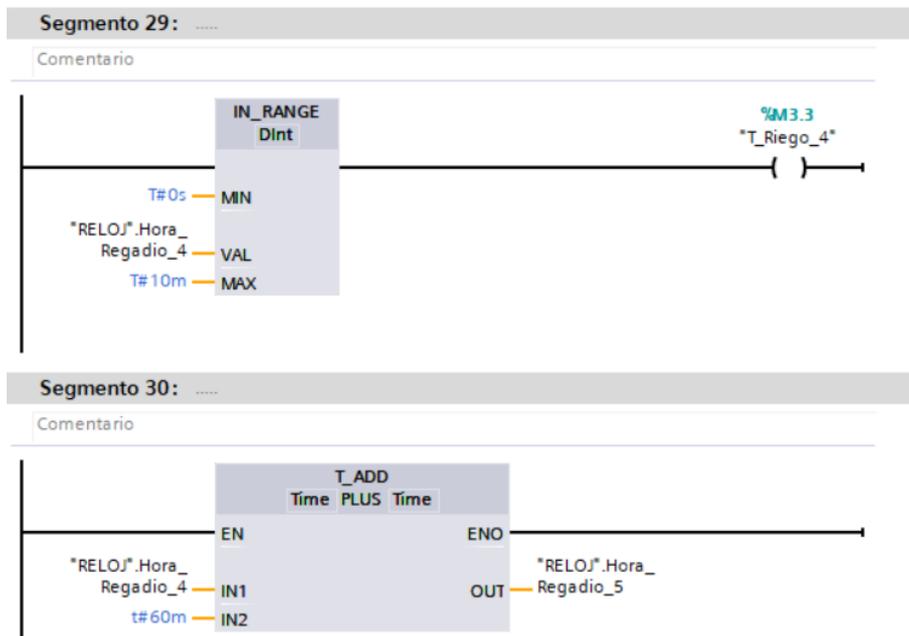


Figura 67. Riego 4

Elaborado por: El Investigador

La programación para el riego 4 con sus intervalos de tiempo se muestra en la figura 68.

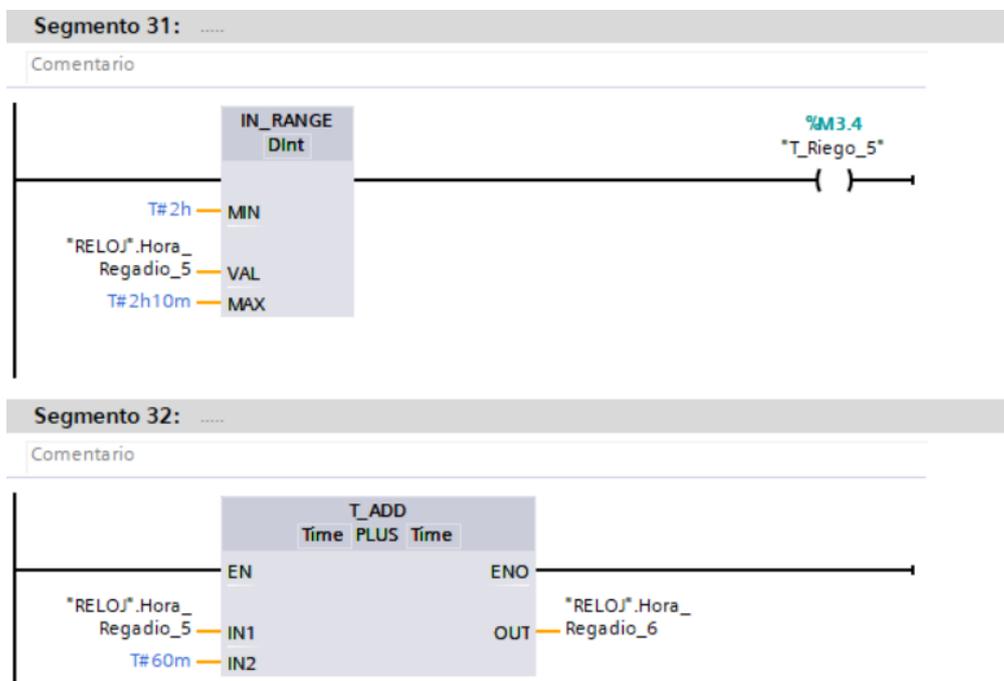


Figura 68. Riego 5

Elaborado por: El Investigador

Para el riego 6 se establece el rango de los intervalos de tiempo y un contador para determinar los días de riego el cual va hasta el rango de 31 y se resetea como se muestra en figura 69.

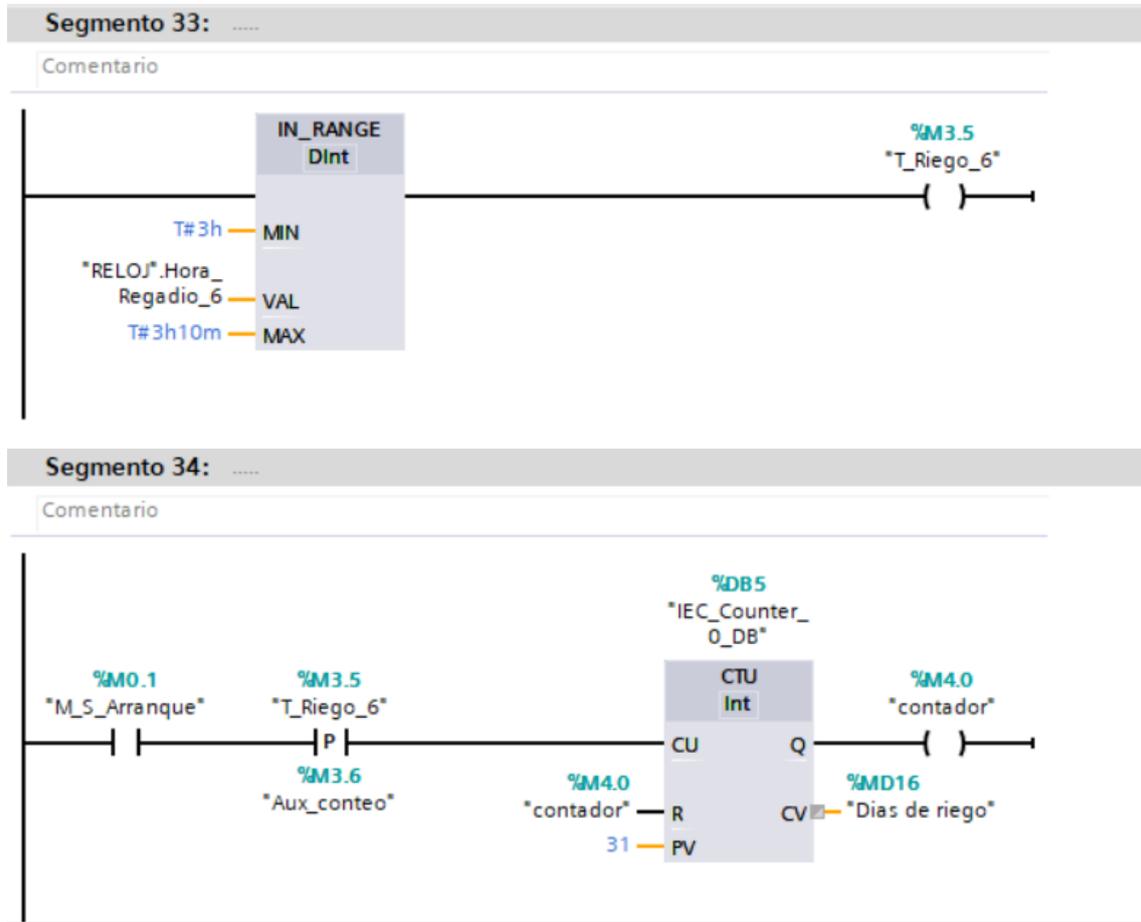


Figura 69. Riego 6

Elaborado por: El Investigador

El vaciado se realiza cuando el nivel del tanque sobrepasa el nivel crítico, en el modo automático una vez que el rango se activa M4.1 la conductividad del sistema pasa de 1.5 este se activara mandando a activar el modo de vaciado, de igual forma si ha pasado 31 días el modo de vaciado se activara, como muestra la figura 70.

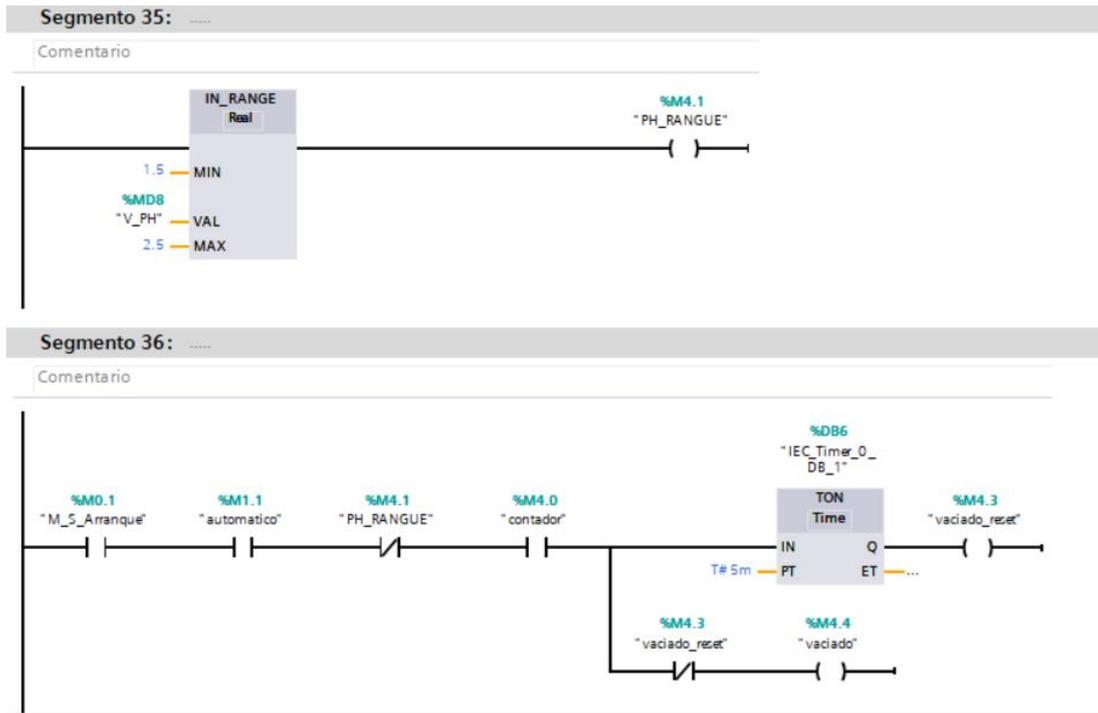


Figura 70. Vaciado

Elaborado por: El Investigador

La condición del vaciado se va a activar únicamente cuando la conductividad sobrepase el valor de 1.5[mhos/cm], este se activará y mandara activar la respectiva electroválvula.

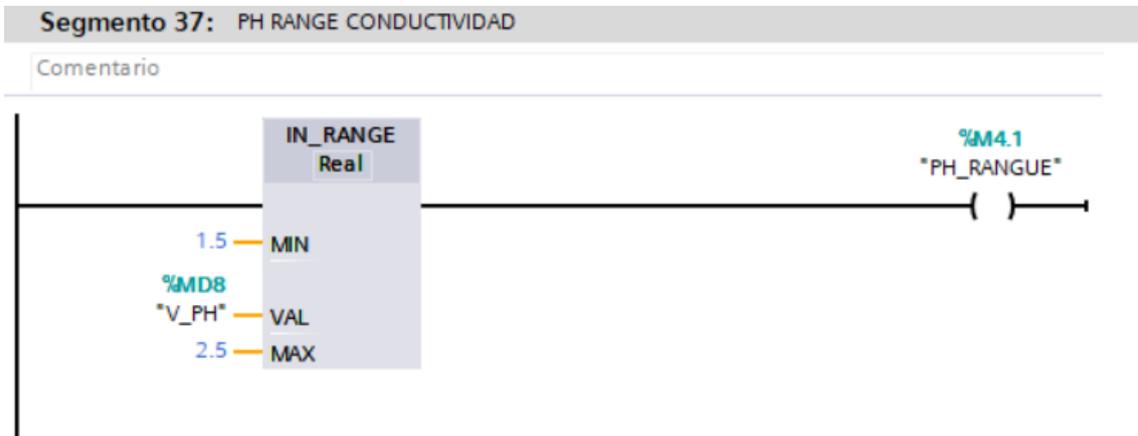


Figura 71. Conductividad

Elaborado por: El Investigador

Bloque de asignación de variables del PLC Siemens para ser enviado al Gateway en este caso al node red local

Segmento 37: Asigna variables para enviar a NodeRed

Comentario

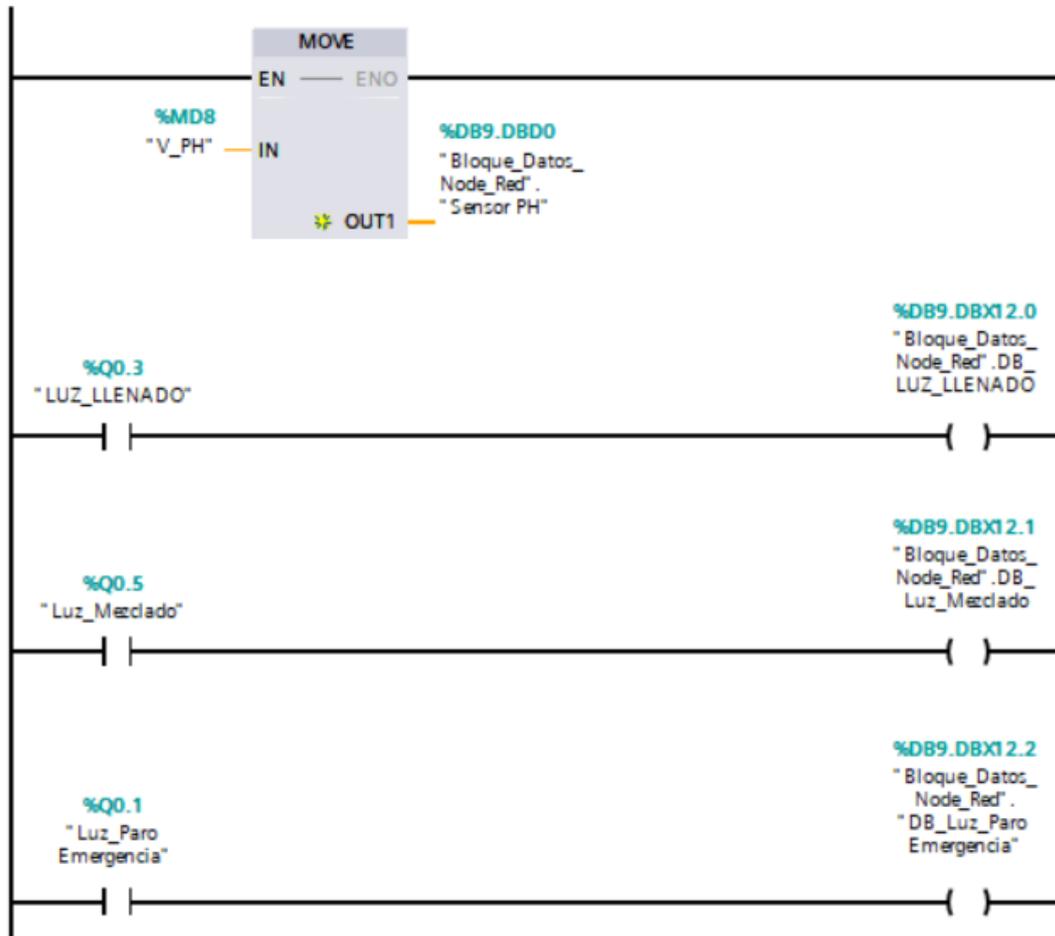


Figura 72. Valores para node red

Elaborado por: El Investigador

3.2.11 Configuración del Gateway

Se procede a verificar que este activado el firewall de la Raspberry como se observa en la figura 73.

```
root@Tesis-Fabian: ~
C.FirewallD1.policy (org.fedoraproject.FirewallD1.policy) in auto mode
Created symlink /etc/systemd/system/dbus-org.fedoraproject.FirewallD1.service -
/lib/systemd/system/firewalld.service.
Created symlink /etc/systemd/system/multi-user.target.wants/firewalld.service -
/lib/systemd/system/firewalld.service.
Processing triggers for systemd (237-3ubuntu0.56) ...
Processing triggers for man-db (2.8.3-2ubuntu0.1) ...
Processing triggers for dbus (1.12.2-lubuntu1.3) ...
Processing triggers for ureadahead (0.100.0-21) ...
Processing triggers for libc-bin (2.27-3ubuntu1.6) ...
root@Tesis-Fabian:~# systemctl status firewalld.service
● firewalld.service - firewalld - dynamic firewall daemon
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/firewalld.service; enabled; vendor preset
   Active: active (running) since Tue 2022-10-04 18:28:37 UTC; 36s ago
     Docs: man:firewalld(1)
    Main PID: 11016 (firewalld)
      Tasks: 2 (limit: 546)
    CGroup: /system.slice/firewalld.service
           └─11016 /usr/bin/python3 -Es /usr/sbin/firewalld --nofork --nopid

Oct 04 18:28:36 Tesis-Fabian systemd[1]: Starting firewalld - dynamic firewall d
Oct 04 18:28:37 Tesis-Fabian systemd[1]: Started firewalld - dynamic firewall da
lines 1-11/11 (END)
root@Tesis-Fabian:~#
```

Figura 73. Firewall activado

Elaborado por: El Investigador

A continuación, es necesario instalar la dependencia de NodeRed permitirá mostrar los datos del proyecto mediante IoT, para esto se usó el comando expuesto en la figura 74.

```
root@Tesis-Fabian: ~
Processing triggers for libc-bin (2.27-3ubuntu1.6) ...
root@Tesis-Fabian:~# systemctl status firewalld.service
● firewalld.service - firewalld - dynamic firewall daemon
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/firewalld.service; enabled; vendor preset
   Active: active (running) since Tue 2022-10-04 18:28:37 UTC; 36s ago
     Docs: man:firewalld(1)
    Main PID: 11016 (firewalld)
      Tasks: 2 (limit: 546)
    CGroup: /system.slice/firewalld.service
           └─11016 /usr/bin/python3 -Es /usr/sbin/firewalld --nofork --nopid

Oct 04 18:28:36 Tesis-Fabian systemd[1]: Starting firewalld - dynamic firewall d
Oct 04 18:28:37 Tesis-Fabian systemd[1]: Started firewalld - dynamic firewall da
lines 1-11/11 (END)
root@Tesis-Fabian:~# bash <(curl -sL https://raw.githubusercontent.com/node-red/
linux-installers/master/deb/update-nodejs-and-nodered)

root user detected. Typical installs should be done as a regular user.
If you are running this script using sudo, please cancel and rerun without sudo.
--nodered-user can be used to specify the user otherwise installation will happe
n under /root.
If you know what you are doing as root, please continue.

Are you really sure you want to install as root ? (y/N) ? y
```

Figura 74. Instalación de NodeRed

Elaborado por: El Investigador

En la figura 75, se muestra la correcta instalación y versión de NodeRed instalado en el Gateway raspberry

```

root@Tesis-Fabian: ~
are you really sure you want to do this ? [y/N] ? y
Would you like to install the Pi-specific nodes ? [y/N] ? y
Running Node-RED install for user root at /root on ubuntu

This can take 20-30 minutes on the slower Pi versions - please wait.

Stop Node-RED          ✓
Remove old version of Node-RED ✓
Remove old version of Node.js ✓
Install Node.js 16 LTS   ✓   v16.17.1   Npm 8.15.0
Clean npm cache         ✓
Install Node-RED core    ✓   3.0.2
Move global nodes to local -
Npm rebuild existing nodes ✓
Install extra Pi nodes  ✓
Add shortcut commands   ✓
Update systemd script   ✓

Any errors will be logged to /var/log/nodered-install.log

```

Figura 75. NodeRed en Raspberry

Elaborado por: El Investigador

3.2.12 Programación de NodeRed

La subida de datos a la plataforma IoT se realiza mediante programación en bloques en NodeRed, con lo cual permite la conexión. En la figura 76, se observa los diagramas de bloques para la conexión con la base de datos.

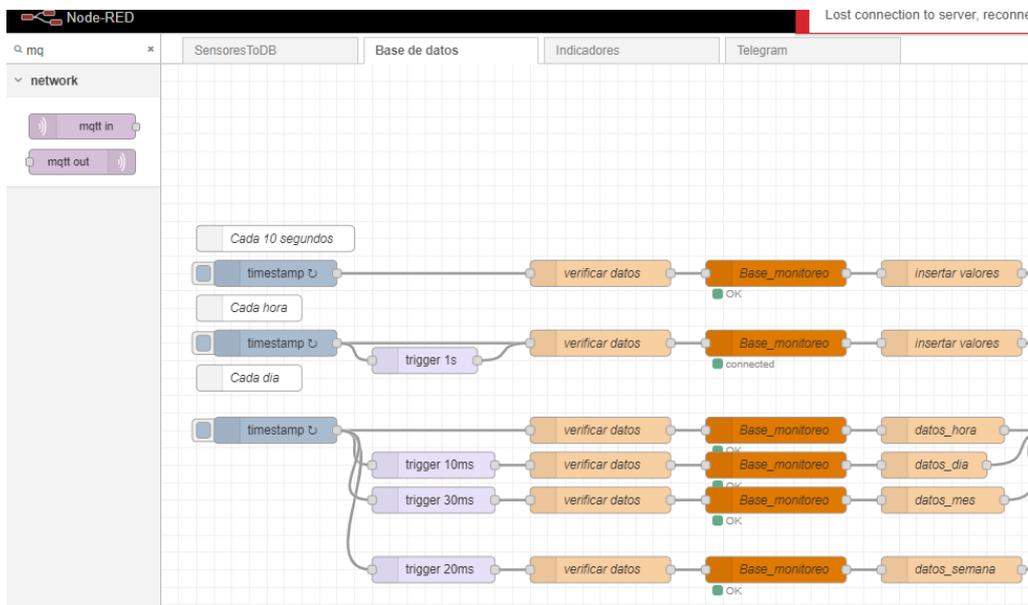


Figura 76. Conexión con la base de datos

Elaborado por: El Investigador

En la figura 77, se muestra la programación mediante la cual se establecen las horas para los procesos de la agricultura vertical.

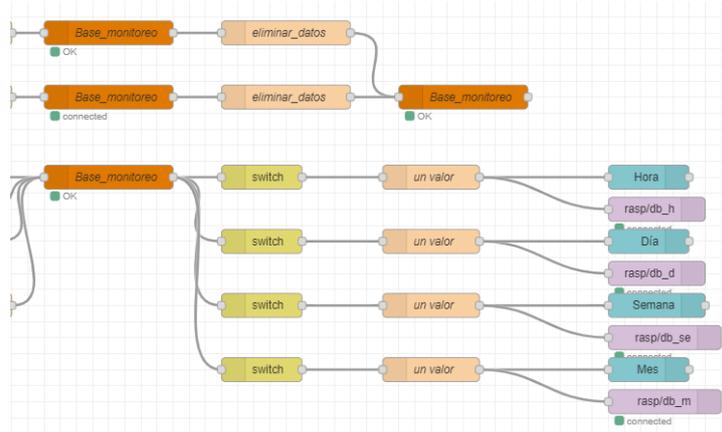


Figura 77. Programación de las fechas y horas.

Elaborado por: El Investigador

Para tomar los datos del sensor de pH, se realiza la comunicación y se usa varias funciones referentes a los bloques que ofrece NodeRed, en la figura 78, se puede observar la programación para obtener y separar los datos que no da el sensor de pH.

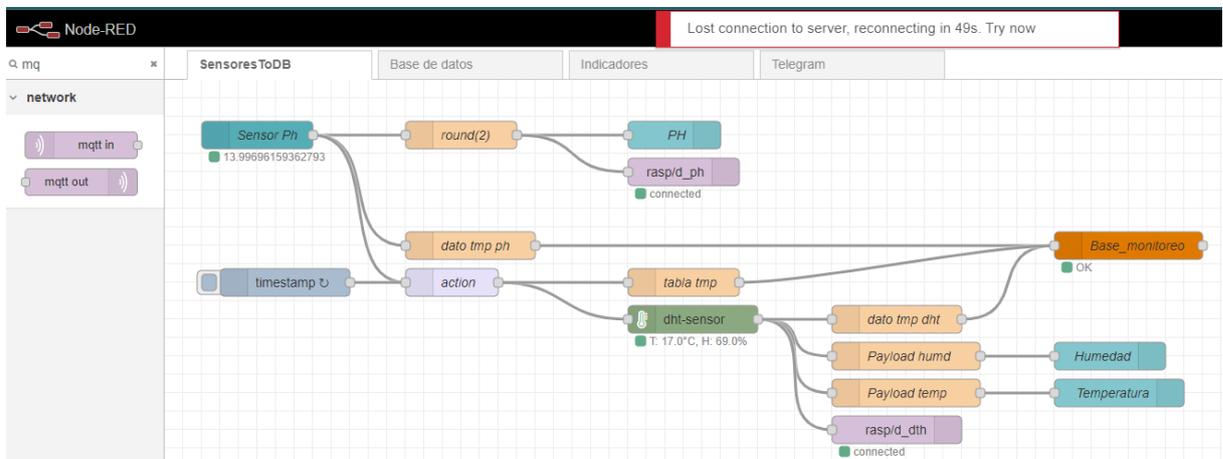


Figura 78. Programación de las fechas y horas.

Elaborado por: El Investigador

En la figura 79, se indica al node red que el control de los botones de emergencia, start y stop seran controlados desde el móvil o la plataforma Iot

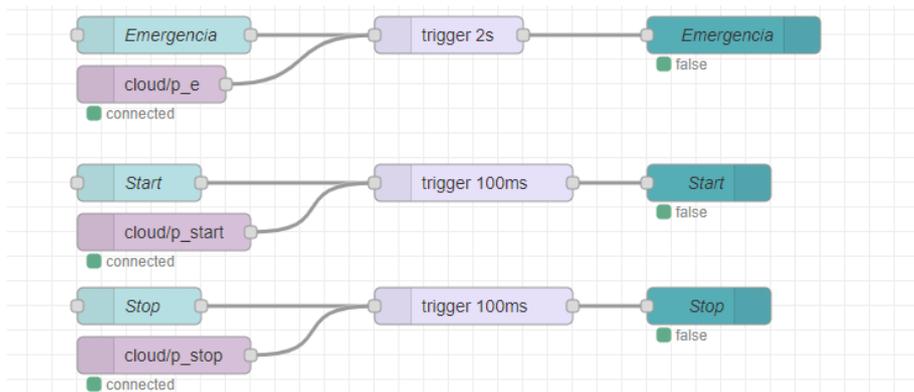


Figura 79. Control de botones

Elaborado por: El Investigador

3.2.13 Configuración del servidor

Primero se escoge el servidor como se muestra en la figura 80. En el que va a trabajar en este caso es Digital Ocean donde se selecciona una instancia regular con 512MB/ 10GB SSD disk / 500Gb Transfer con un costo de \$5 dólares al mes incluido impuestos. Se crea un nuevo proyecto a la cual se designa como nombre sistema aeropónico.

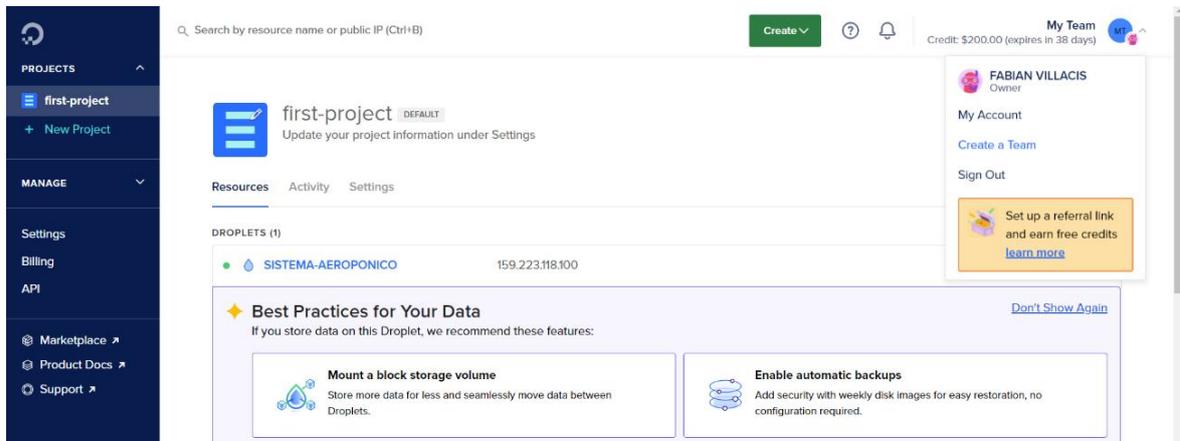


Figura 80. DigitalOcean

Elaborado por: El Investigador

En la figura 81. Se instala una máquina de Ubuntu 18.04(LTS)x64

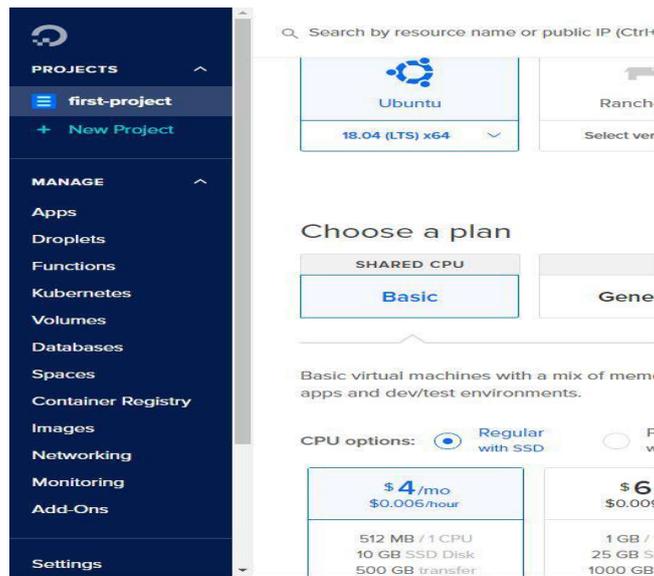


Figura 81. Máquina de Ubuntu

Elaborado por: El Investigador

3.2.14 Configuración telegram

Para la configuración del telegram de la figura 82. se activa el BotFather bot en la aplicación de mensajería se lo encuentra en los contactos de telegrama en la que se activa para usar su token y enviar mensajes.

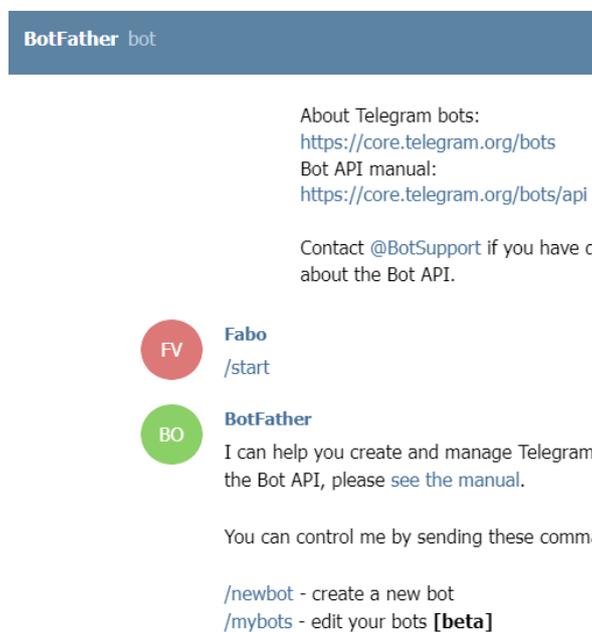


Figura 82. Configuración del BotFather bot

Elaborado por: El Investigador

Una vez iniciado el bot que se muestra en la figura 83. se crea un nuevo contacto de nombre Sistema_de_riegoFB para que este bot envíe los mensajes del control del sistema y de igual forma recibir las notificaciones del sistema de riego.

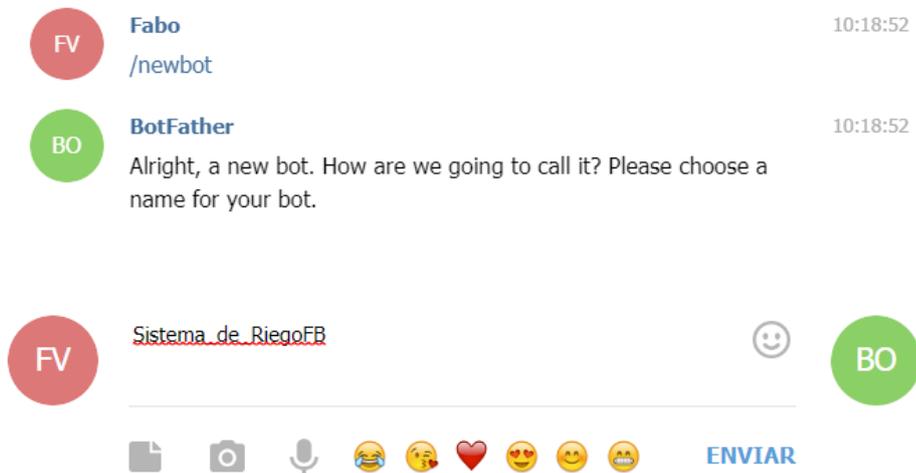


Figura 83. Creación del nuevo bot

Elaborado por: El Investigador

Una vez en el BotFather se envía un mensaje de sistemas_de_riegoFB_bot para recibir el Token para la comunicación con el node red como se muestra en la figura 84.

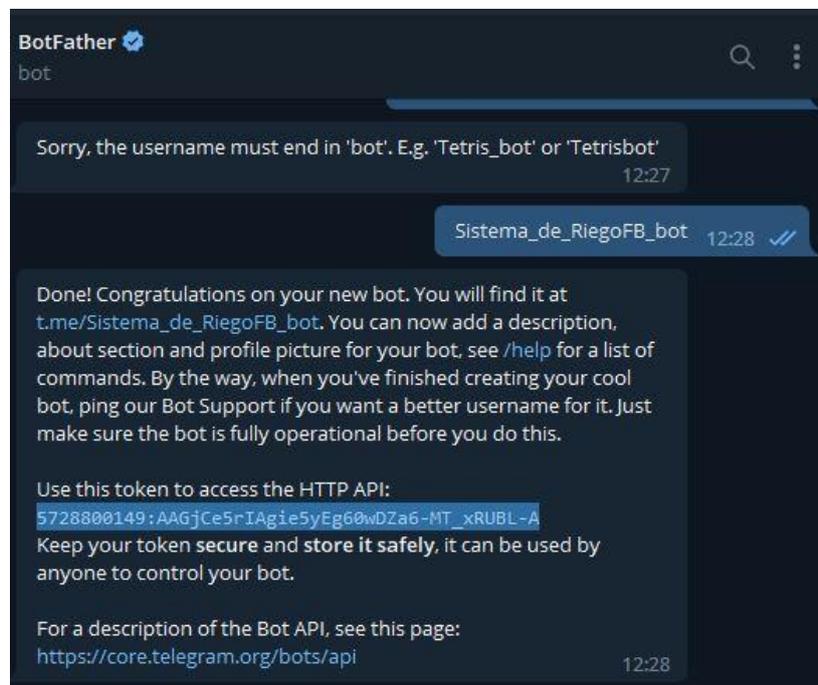


Figura 84. Token de acceso HTTP API.

Elaborado por: El Investigador

Para la configuración del telegram de la figura 85. se utilizó un Token que brinda esta app en la que permite la comunicación y notifica alertas donde indica los reportes de cada estado en el cual se encuentra el sistema de riego y si encuentra en paro de emergencia, además se podrá enviar un mensaje para poder activar y desactivar el sistema de tal manera que se logre enviar lo siguiente: n/start , /stop, /estado, /valores.

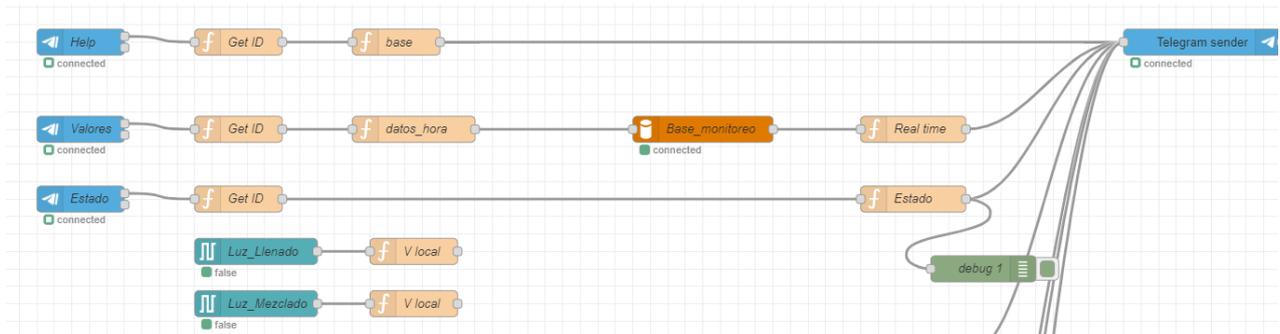


Figura 85. Telegram en node red
Elaborado por: El Investigador

En la figura 86. Para el control en node red se asigna las variables de los sensores y se coloca los chatId, type, y el content para la visualización en la mensajería de telegram.

```

Properties
Name: Real time
On Message:
1  var c_id = global.get(["chat_id"]);
2  var temp = msg.payload[0].temp;
3  var hum = msg.payload[0].hum;
4  var ph = msg.payload[0].ph;
5
6  msg.payload = {
7    "chatId": c_id,
8    "type": "message",
9    "content": "Temperatura: " + temp + " °C \n" +
10     "Humedad: " + hum + " % \n" +
11     "PH: " + ph + " ph \n"
12  }
13  return msg;

```

Figura 86. Asignación de las variables
Elaborado por: El Investigador

```

Name | Estado
-----|-----
[Setup] [On Start] [On Message] [On Stop]

1 var c_id = global.get(["chat_id"]);
2 var st = "";
3 if (
4 // n_c c_a notifica
5 // 1 1 Tanque en nivel alto
6 (global.get("n_c") == true) &&
7 (global.get("n_a") == true)
8 ){
9 st = "Tanque en nivel alto";
10 } else if (
11 // n_c c_a notifica
12 // 0 0 Tanque en nivel crítico
13 (global.get("n_c") == false) &&
14 (global.get("n_a") == false)
15 ){
16 st = "Tanque en nivel Crítico";
17 }
18
19 msg.payload = {
20 "chatId": c_id,
21 "type": "message",
22 "content":
23   "Sistema: " + flow.get("systema") + "\n" +
24   "Mezclado: " + flow.get("mezclado") + "\n" +
25   "Riego: " + flow.get("riego") + "\n" +
26   "Vaciado: " + flow.get("vaciado") + "\n" +
27   "Llenado: " + flow.get("llenado") + "\n" +
28   "Nivel: " + st + "\n"
29 }
30 return msg;

```

Figura 87. Notificaciones de telegram

Elaborado por: El Investigador

3.2.15 Diagrama de control del sistema de control

El sistema aeropónico se describe por su sistema de control que en este caso se puede controlar de tres formas que son de modo manual, automático. por interfaz IoT. De esta manera se puede controlar de forma manual y automática los sensores y el control de actuadores para la plataforma IoT mientras que mediante la aplicación de telegram se podrá visualizar las estadísticas y el monitoreo del sistema de riego aeropónico.

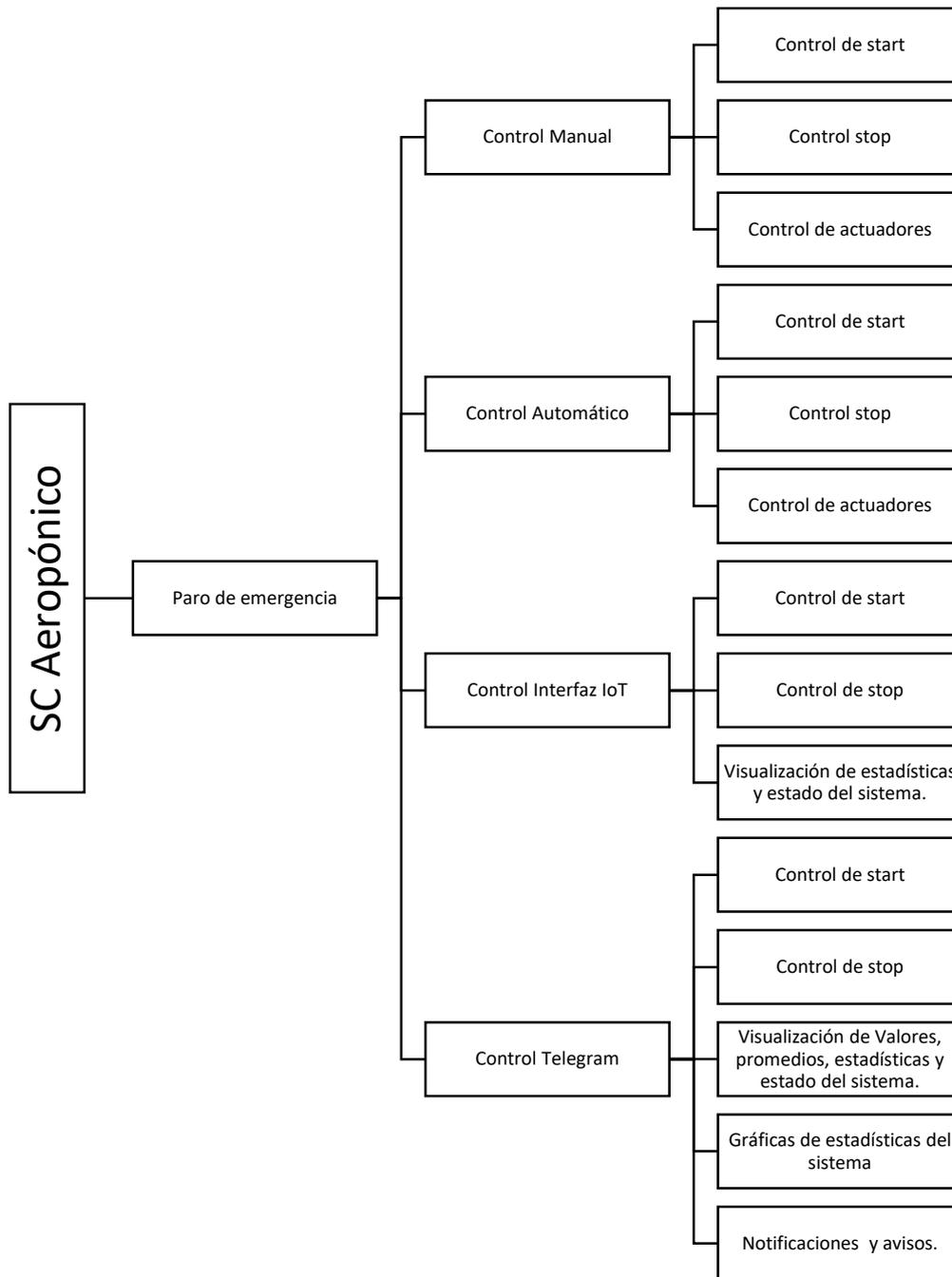


Figura 88. Diagrama de control del sistema aeropónico.

Elaborado por: El Investigador

3.2.16 Pruebas de Funcionamiento

Se realizaron las pruebas de funcionamiento para determinar la eficacia del sistema, primero se verificó el tablero de control con sus respectivos botones e indicadores, tal como se observa en la figura 89.

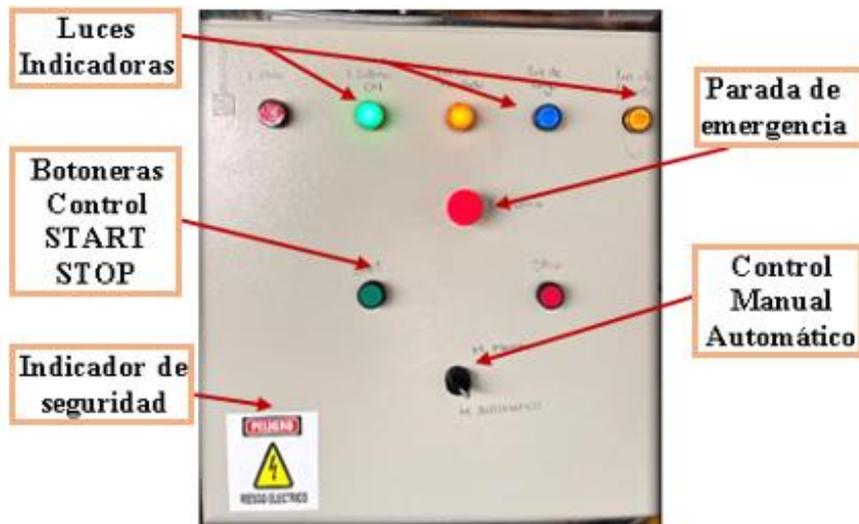


Figura 89. Tablero de control

Elaborado por: El Investigador

En la figura 90, se muestran las diferentes partes del tablero de control necesarias para su funcionamiento.

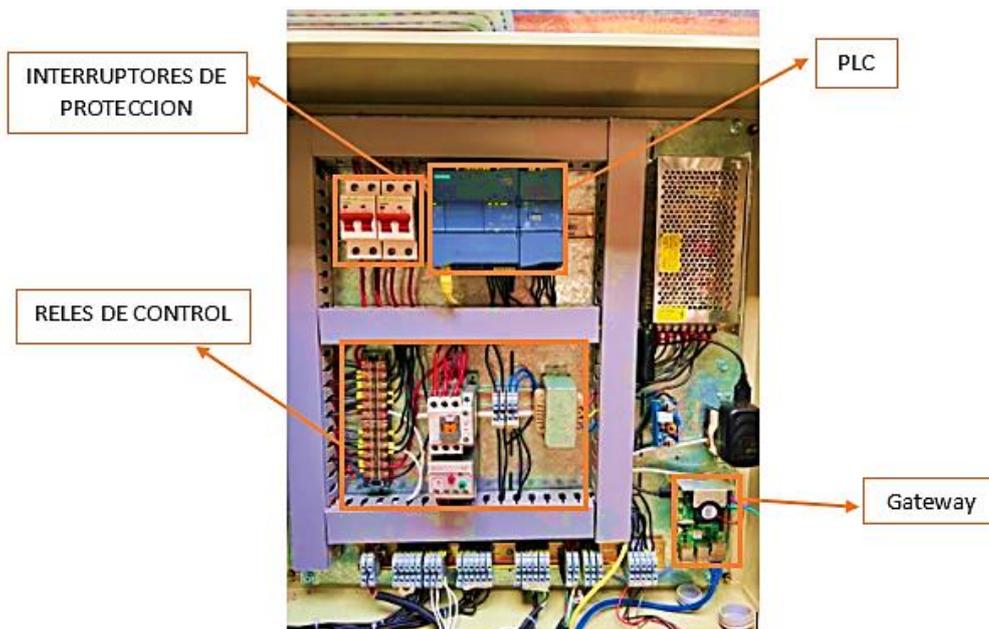


Figura 90. Tablero de control
Elaborado por: El Investigador

Al momento de inicializar el sistema se realiza el accionamiento de la luz indicadora de inicio y de mezclado, como se observa en la figura 91.



Figura 91. Tablero de control del sistema

Elaborado por: El Investigador

En la figura 80, se muestra la activación y desactivación de las electroválvulas y la bomba, para el llenado del tanque principal, para posteriormente realizar el riego a los cultivos de lechuga, se puede observar en la figura 92, la monitorización del llenado

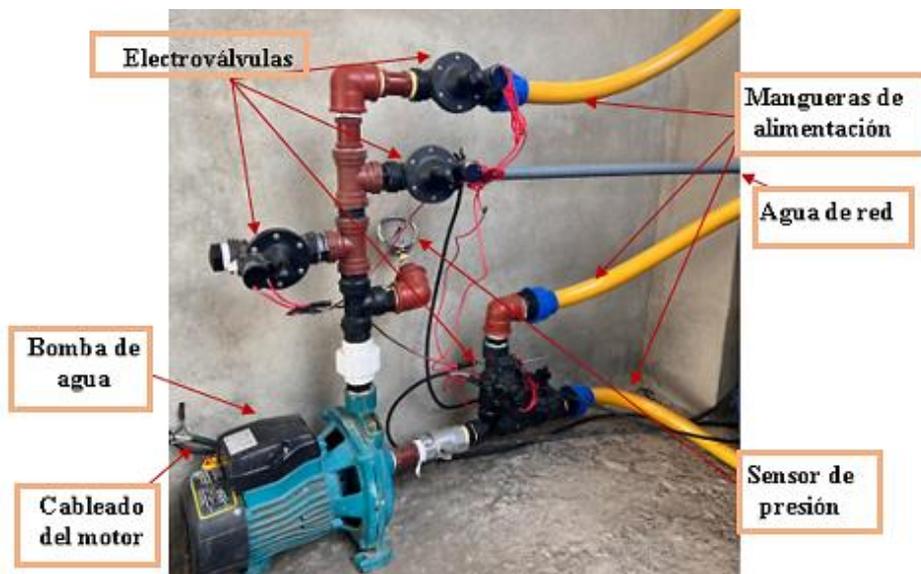


Figura 92. Activación y desactivación de las electroválvulas y la bomba

Elaborado por: El Investigador

Se realizó la comparativa del funcionamiento y rendimiento de la bomba de agua utilizada en el proyecto con las bombas que se utilizan en la empresa FVE Importadora Agrícola e Industrial, evaluado entre la capacidad Q , y la altura manométrica total H , con los parámetros considerados siendo la potencia, voltaje, flujo, altura y succión, sobresaliendo

la bomba elegida con las características suficientes a satisfacer el proyecto en especial la altura factor importante para el proyecto que se acoplo a la estructura aeropónico diseñada, estos datos evaluados se observan en la figura 93.

Modelo	Potencia	Voltage	Boca	Flujo máx	Altura máx	Succión máx
ACM75-A	0.75 KW - 1 HP	110V/220V	1" X 1"	100 L/MIN	38 Mts	8 Mts
ACM150B2-A	1.5 KW - 2 HP	110V/220V	2" X 2"	500 L/MIN	22.5 Mts	8 Mts
XHM/6A-A	2.2 KW - 3 HP	220V	3" X 3"	1200 L/MIN	18.5 MTS	8 Mts
XHM/7B-A	3 KW - 4 HP	220V	3" X 3"	1300 L/MIN	21.8 MTS	8 Mts

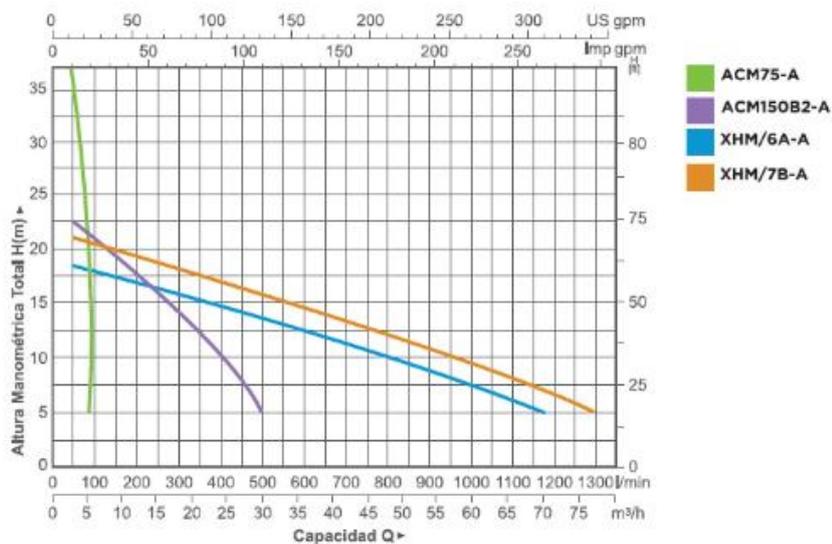


Figura 93. Funcionamiento y rendimiento de las bombas de agua

Elaborado por: El Investigador

Una vez que se realiza la activación de las electroválvulas se puede observar cómo se llena el tanque, en el mismo se encuentra el sensor de PH para determinar que el agua sea óptima para el cultivo, como se observa en la figura 94.



Figura 94. Activación y desactivación de las electroválvulas y la bomba
Elaborado por: El Investigador

En la figura 95, se observa el tanque de agua y el tablero de control con el cual se realizó las diferentes pruebas de funcionamiento

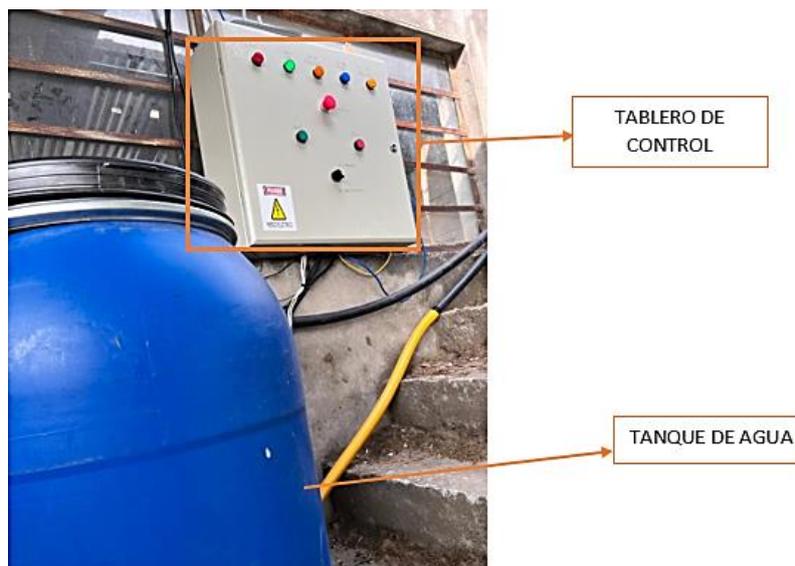


Figura 95. Funcionamiento del sistema aeropónico
Elaborado por: El Investigador

Los nutrientes son enviados a los cultivos que se encuentran en la estructura para la agricultura aeropónico como se puede ver en la figura 96.



Figura 96. Activación y desactivación de las electroválvulas y la bomba

Elaborado por: El Investigador

Ingreso al sistema NodeRed

En la figura 97, se puede observar el ingreso al sistema de NodeRed, para poder tener un control y autenticación para el operario aquí se establece el usuario y contraseña de acceso el mismo que se creó en el servidor para el acceso de usuario a MySQL.

- El ingreso por http es node red
- usuario: admin
- Contraseña: fisei2022

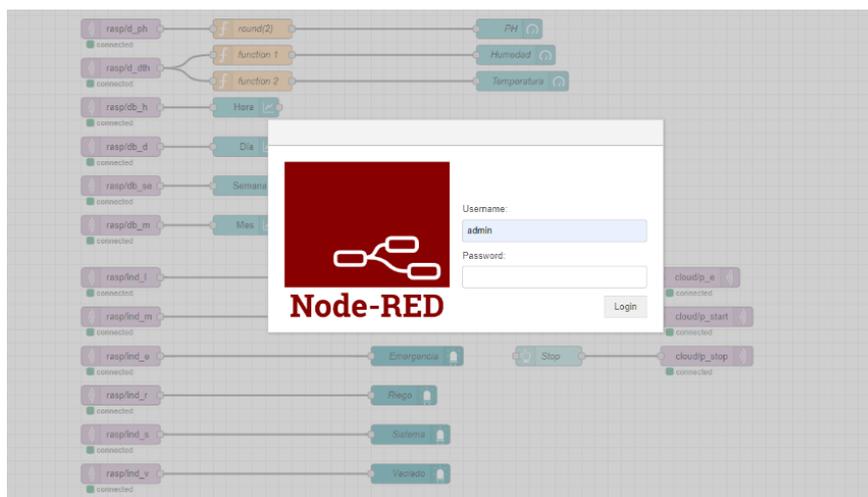


Figura 97. Ingreso al sistema NodeRed

Elaborado por: El Investigador

Para ingreso a phpMyAdmin en la figura 98.

- Usuario: root
- Contraseña: fisei2022

192.168.10.105/phpmyadmin/tbl_structure.php?db=Sensores&table=tabla_X_año

Figura 98. Ingreso a PHpMyAdmin

Elaborado por: El Investigador

Como se visualiza en la figura 99, de igual forma se ingresa la tabla de la base de datos de programación de NodeRed con las variables de temperatura pH y humedad.

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Comentarios	Extra	Acción
1	id	int(11)			No	Ninguna		AUTO_INCREMENT	Cambiar Eliminar Más
2	time	datetime			Si	NULL			Cambiar Eliminar Más
3	ph	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
4	temperatura	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
5	humedad	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más

Figura 99. Ingreso a la tabla de datos de NodeRed

Elaborado por: El Investigador

Se muestra el valor de los sensores de temperatura, PH y humedad, para la monitorización del sistema como se observa en la figura 100, de igual forma también se establecen los indicadores para las diferentes partes del proceso y para valores que sobrepasan los límites necesarios para el correcto funcionamiento del sistema, se cuenta con botones para poder iniciar el proceso, pararlo, y en caso de alguna falla en el mecanismo o en el proceso se puede realizar un paro de emergencia.

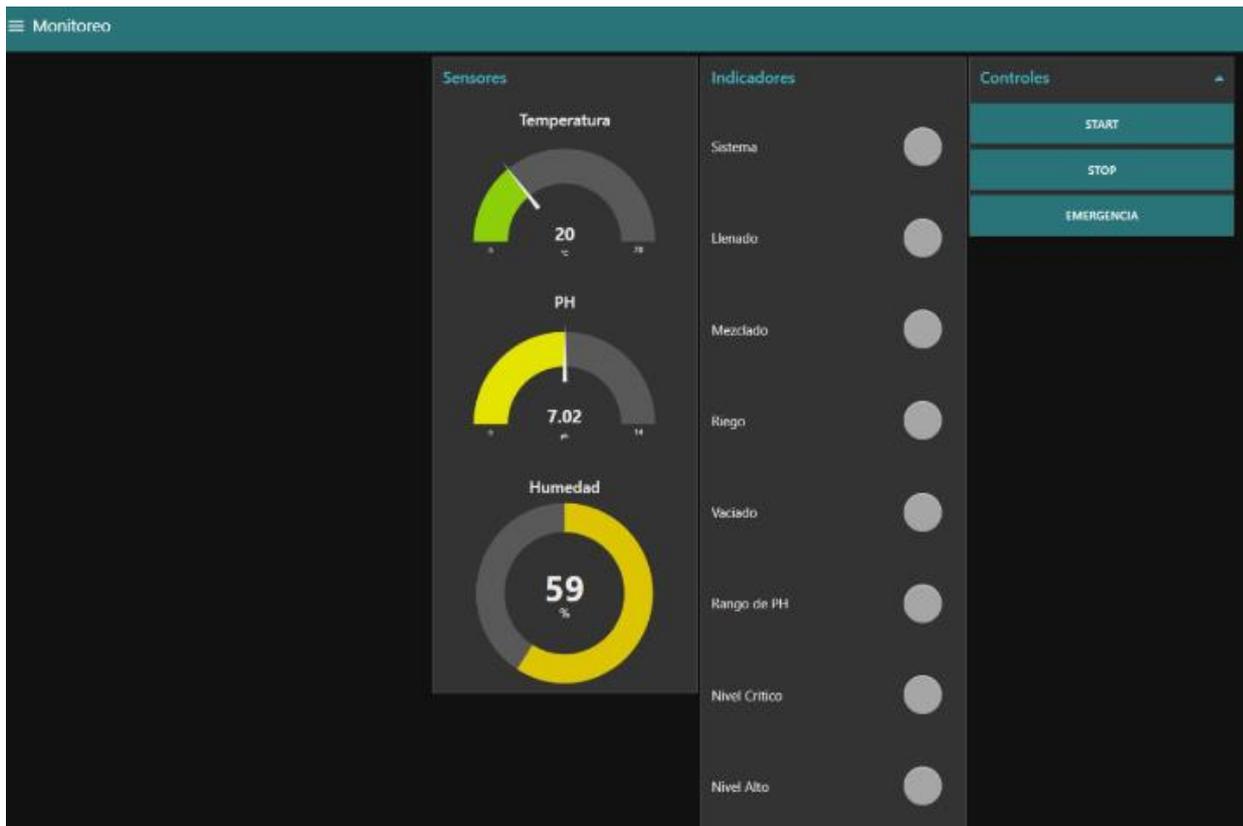


Figura 100. Monitorización del sistema

Elaborado por: El Investigador

Se muestra el indicador de la activación del sistema, además los indicadores de nivel y los indicadores del proceso en el que se encuentra también el proceso de monitoreo en el celular, visualizado en la figura 101.

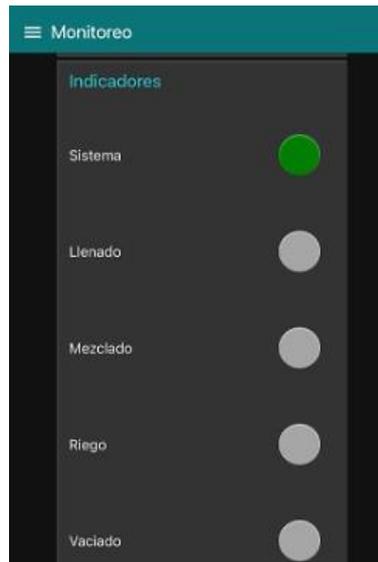


Figura 101. Sistema en funcionamiento

Elaborado por: El Investigador

También se controla y monitorea los niveles del sistema como se observa en la siguiente figura. 102, con los correspondientes botones en caso de inicio, pare y pare de emergencia.

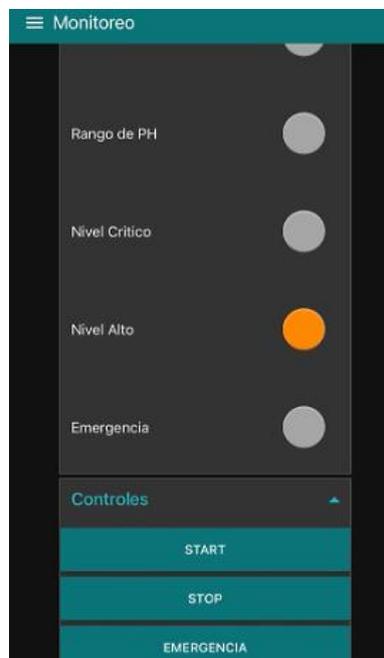


Figura 102. Monitoreo de los niveles del sistema.

Elaborado por: El Investigador

En la figura 103, se indican el valor de los sensores y a su vez también la gráfica referente al tiempo en que le fueron tomados los datos.

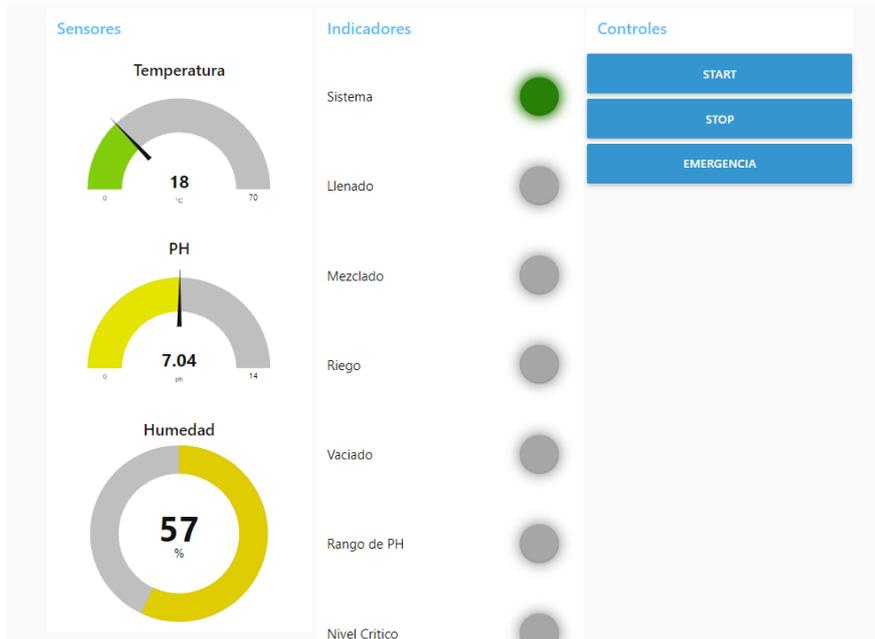


Figura 103. Monitorización de sensores.

Elaborado por: El Investigador

Para un mayor control se implementó un Bot de telegram el cual permite conocer el valor de los sensores independientemente del lugar en donde se encuentre el productor agrícola como se puede observar en la figura 104.



Figura 104. Chatboot de Telegram

Elaborado por: El Investigador

Se observa el progreso del sistema de riego en la figura 105, como su inicio, estado y accionamiento de los botones.

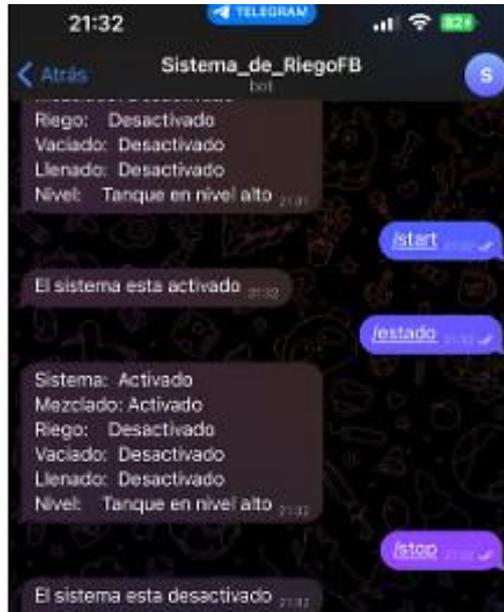


Figura 105. Control del estado del sistema por Boot de telegram

Elaborado por: El Investigador

En la figura 106, se muestra la pasarela de datos mediante la plataforma Digital Ocean para el almacenamiento de la información del proyecto de agricultura aeropónica.

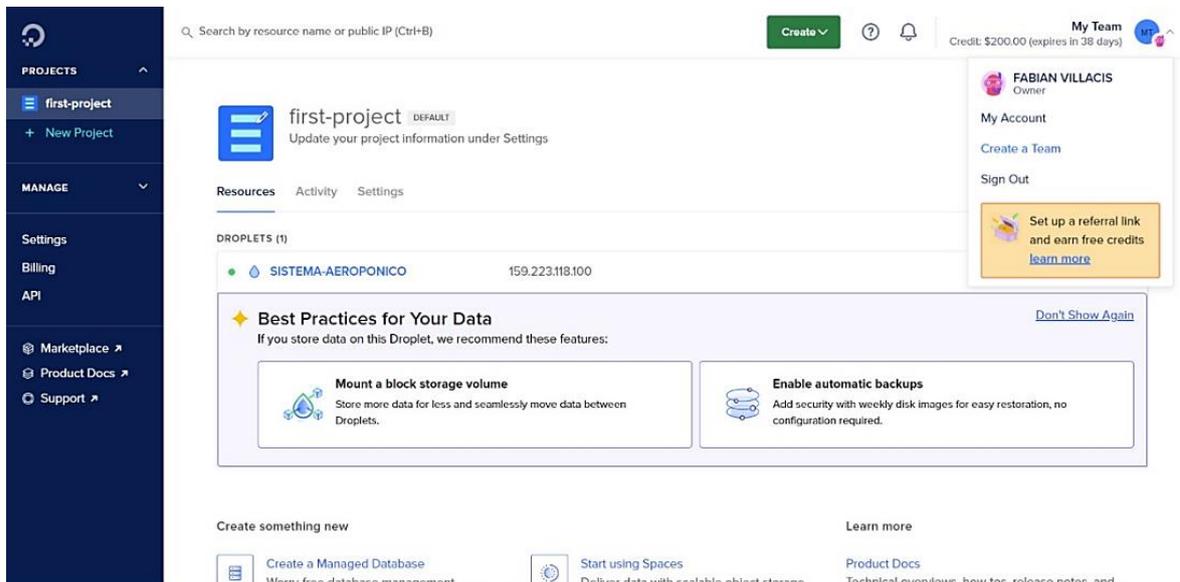


Figura 106. Digital Ocean

Elaborado por: El Investigador

Prueba de sensores

Para validar la eficiencia de los sensores se realizó la prueba de funcionamiento con diferentes sensores industriales y así poder determinar el grado de confiabilidad en nuestro sistema, con esto se procede a realizar los cálculos del error relativo y el error absoluto. En la Tabla 28 se presenta los dispositivos utilizados y su lectura en las diferentes plataformas, obteniendo un funcionamiento correcto.

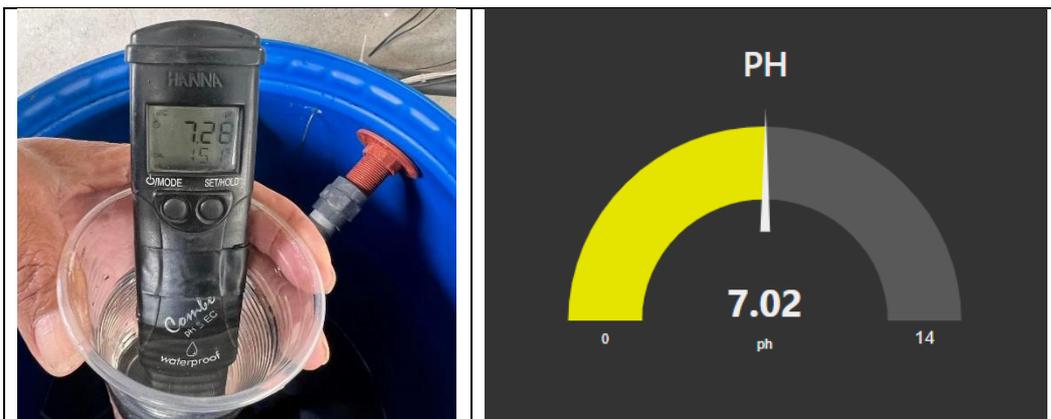
Tabla 28. Comparación del sensor de temperatura

Dispositivo	Detalle	Datos telegram	Datos Plataforma IoT	Observaciones
Sensor de temperatura Taidacent SHT30 RS485	Humedad y temperatura	correcto	correcto	Lectura correcta de datos
PH BNC	Sensor de ph	correcto	correcto	Funcion correctamente
Interruptores de nivel	sensor de nivel para agua	correcto	correcto	Funcion correctamente

Elaborado por: El Investigador

En la imagen 107, se presenta la toma del valor del sensor de PH tomando con su representación en el dashboard del sistema.

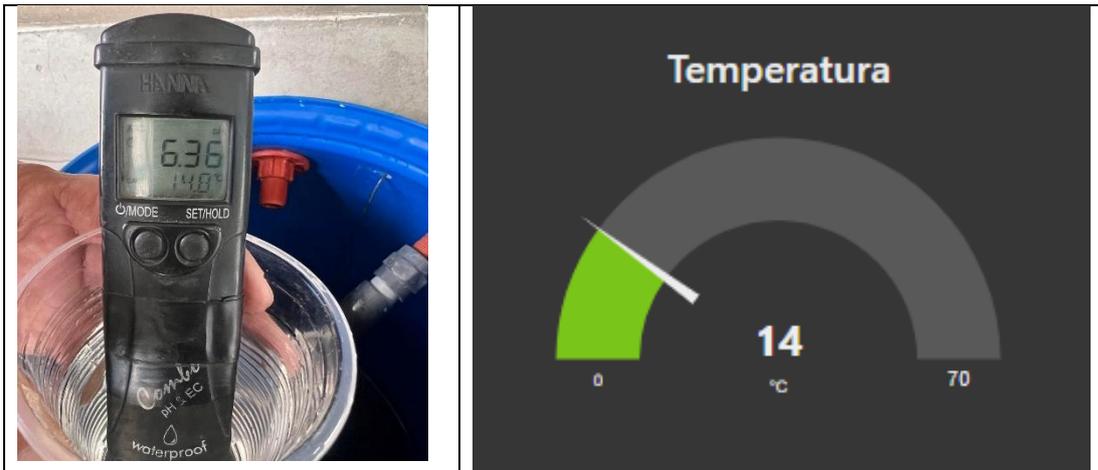
Figura 107. Sensor de PH con su visualización



Elaborado por: El Investigador

En la figura 108, se puede observar al sensor de temperatura con su respectiva representación en el dashboard del sistema.

Figura 108. Sensor de temperatura



Elaborado por: El Investigador

En la tabla 29 se presenta la comparación entre los diferentes sensores en el sistema aeropónico, aquí se establece el valor de la temperatura y humedad tomados con los sensores del sistema y los valores tomados por los instrumentos de medición industrial, se realizó una toma total de 20 muestras.

Tabla 29. Tabla comparativa de los sensores

Muestras	Sistema aeropónico			Instrumento de medición			HORA
	Temperatura °C	humedad %	pH	temperatura	Humedad	pH	
1	14	65	6.89	14.0	66	6.29	9:23:00
2	14	68	7.05	14.4	68	6.48	9:27:00
3	15	69	7.03	15.1	67	6.52	9:29:00
4	15	72	7.04	16.3	70	6.75	9:35:00
5	14	79	7.06	15.6	72	6.88	9:42:00
6	15	67	7.01	15.4	69	6.97	9:48:00
7	15	71	7.04	15.8	72	7.01	9:52:00
8	16	76	7.0	15.3	75	7.14	14:00:00
9	16	74	6.99	15.9	74	7.30	14:05:00
10	16	69	6.97	16.6	71	7.29	14:09:00

11	15	68	7.0 2	16.1	69	7.2 8	14:13:00
12	16	69	7.1	16.0	70	7.2 5	14:16:00
13	16	72	7.0 8	15.9	71	7.2 8	14:25:00
14	15	74	7.1 1	15.8	76	7.2 9	14:30:00
15	15	75	7.1 5	15.9	75	7.3 0	18:30:00
16	16	73	7.0 1	16.0	74	7.1 1	18:32:00
17	16	71	7.1 1	16.3	71	7.1 8	18:36:00
18	16	75	7.0 5	16.2	75	7.0 5	18:39:00
19	15	78	7.2	15.9	77	7.0 2	18:43:00
20	15	79	7.2 9	15.7	78	7.5 6	18:46:00

Elaborado por: El Investigador

Análisis de resultados

Se procedió a realizar el cálculo del error absoluto y relativo mediante las siguientes formulas:

Error absoluto

$$Error\ Absoluto = instrumento\ de\ medicion - valores\ del\ sistema$$

Error relativo

$$Error\ relativo = \frac{Error\ absoluto}{instrumento\ de\ medicion} * 100$$

Como se observa en la tabla 30. Se calcula el error relativo y absoluto del sensor de PH en comparación con el sensor industrial, se realizó un total de 20 mediciones teniendo un rango aceptable entre el valor medido con el valor esperado.

Tabla 30. Tabla de error del sensor de Ph

	pH sistema	pH instrumento	Error absoluto	Error relativo
1	6,89	6,29	0,60	8,71
2	7,05	6,48	0,57	8,09
3	7,03	6,52	0,51	7,25
4	7,04	6,75	0,29	4,12
5	7,06	6,88	0,18	2,55
6	7,01	6,97	0,04	0,57
7	7,04	7,01	0,03	0,43
8	7	7,14	0,14	2,00
9	6,99	7,3	0,31	4,43
10	6,97	7,29	0,32	4,59
11	7,02	7,28	0,26	3,70
12	7,1	7,25	0,15	2,11
13	7,08	7,28	0,20	2,82
14	7,11	7,29	0,18	2,53
15	7,15	7,3	0,15	2,10
16	7,01	7,11	0,10	1,43
17	7,11	7,18	0,07	0,98
18	7,05	7,05	0,00	0,00
19	7,2	7,02	0,18	2,50
20	7,29	7,56	0,27	3,70

Elaborado por: El Investigador

En la tabla 31, se presenta las mediciones y los errores del sensor tomada de igual forma 20 veces, se tiene una varianza de un 11% máximo entre el valor tomado por el sistema y el valor tomado por el instrumento de medición.

Tabla 31. Tabla de errores del sensor Tp.

	Tp sistema	Tp instrumento	Error absoluto	Error relativo
1	14	14	0,00	-
2	14	14,4	0,40	2,86
3	15	15,1	0,10	0,67
4	15	16,3	1,30	8,67
5	14	15,6	1,60	11,43
6	15	15,4	0,40	2,67
7	15	15,8	0,80	5,33
8	16	15,3	0,70	4,38
9	16	15,9	0,10	0,62
10	16	16,6	0,60	3,75

11	15	16,1	1,10	7,33
12	16	16	0,00	0,00
13	16	15,9	0,10	0,62
14	15	15,8	0,80	5,33
15	15	15,9	0,90	6,00
16	16	16	0,00	-
17	16	16,3	0,30	1,88
18	16	16,2	0,20	1,25
19	15	15,9	0,90	6,00
20	15	15,7	0,70	4,67

Elaborado por: El Investigador

Para el sensor de humedad se encuentran los errores relativos y absoluto de las 20 mediciones en la tabla 32, presentando un error menos del 9% entre el sistema y los instrumentos de medición.

Tabla 32. Tabla de errores del sensor de Humedad

	Hm sistema	Hm instrumento	Error absoluto	Error relativo
1	65	66	1,00	-
2	68	68	0,00	0,00
3	69	67	2,00	2,90
4	72	70	2,00	2,78
5	79	72	7,00	8,86
6	67	69	2,00	2,99
7	71	72	1,00	1,41
8	76	75	1,00	1,32
9	74	74	0,00	0,00
10	69	71	2,00	2,90
11	68	69	1,00	1,47
12	69	70	1,00	1,45
13	72	71	1,00	1,39
14	74	76	2,00	2,70
15	75	75	0,00	0,00
16	73	74	1,00	-
17	71	71	0,00	0,00
18	75	75	0,00	0,00
19	78	77	1,00	1,28
20	79	78	1,00	1,27

Elaborado por: El Investigador

Al realizar la comparación de los sensores del sistema con los instrumentos de medición industriales, se puede establecer que existe una diferencia entre las medidas tomadas por ambos, pero esta no es considerable para que sistema se pueda ver afectado.

3.2.17 Validación y eficiencia del Sistema

Las pruebas se realizaron con cultivos de lechuga para la validación de funcionamiento tanto del sistema como las etapas de control y monitorización de cada proceso, el tiempo empleado fue durante un mes en el cual se observó un excelente resultado de crecimiento de las plantaciones.

- **Primera etapa:** Se colocó las plántulas de lechuga de 20 días de germinación desde su semilla el 16 de agosto, estableciendo tiempos de control y monitoreo en el sistema de riego supervisado 10 min en el tiempo de tres horas, nutriendo al cultivo con 2 litros de mezcla de nutrientes calculada para 20 litros de agua. La temperatura máxima establecida para esta etapa fue de 25°C con una humedad de 47%, con el objetivo de exponer a las mejores condiciones para el desarrollo de las plantaciones y de ser necesario regularlo si sobrepasa los rangos, en la figura 107, se observa el proceso mencionado.

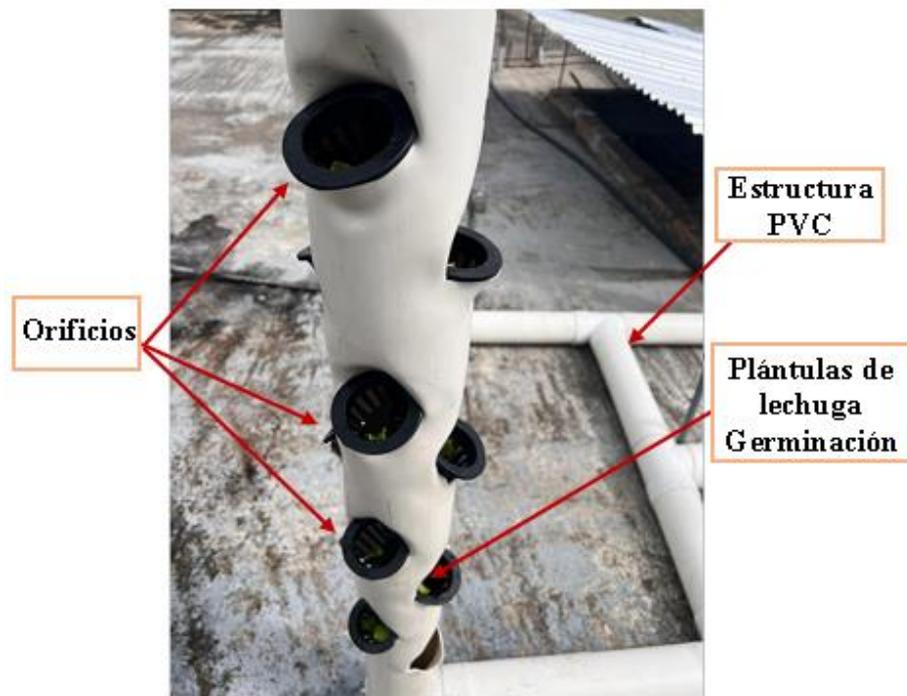


Figura 109. Plantas de lechuga de 20 días de germinación en la estructura de Aeroponía.

Elaborado por: El Investigador

- **Segunda etapa:** Transcurridos 15 días desde la primera plantación, se colocó los cultivos en los agujeros restantes, de manera que se puede apreciar el progreso de crecimiento y desarrollo de la primera siembra y para analizar, observar y corregir

cualquier anomalía que se presente a considerar en la siguiente remesa, para lo cual se aprecia su desarrollo en la figura 110, con un poco de escases de follaje por motivos de nutrientes que recibe al día, sin embargo, denota un rápido crecimiento.



Figura 110. Primera etapa luego de 15 días y segunda remesa de plántulas de lechuga.

Elaborado por: El Investigador

Las pruebas se realizaron durante un mes en las cuales se evidencio resultados excelentes en el desarrollo, crecimiento productividad de los cultivos de lechuga en el sistema aeropónico propuesto, y a pesar de que se presentaron escasez de nutrientes e iluminación, el sistema cumplió satisfactoriamente con su función, manteniendo el cultivo en óptimas condiciones y obteniendo un resultado favorable por su constante cuidado en las condiciones de desarrollo de cada una de las plantaciones.

Para obtener un producto de calidad y óptimo para su comercialización en el mercado la cosecha depende de diferentes factores a tener en cuenta como la temperatura óptima, el PH, la iluminación, humedad, nutrientes necesarios, agua, etc. Por lo cual esta cosecha de acuerdo a las pruebas no se puede evaluar como un producto con la calidad suficiente que se requiere para su comercialización, pero si se puede visualizar como el sistema aeropónico siendo un método diferente de cultivo permitió el correcto desarrollo de los

cultivos sin necesidad de suelo como se observa en la figura 111, y llegando a la etapa final de crecimiento y cosecha haciendo que el sistema sea un base para los próximos estudios en esta área realizado e implementado en la empresa FVE Importadora Agrícola e Industrial SA, para el proyecto sistema de control y monitorización Agroindustrial 4.0 aplicado a cultivos verticales.

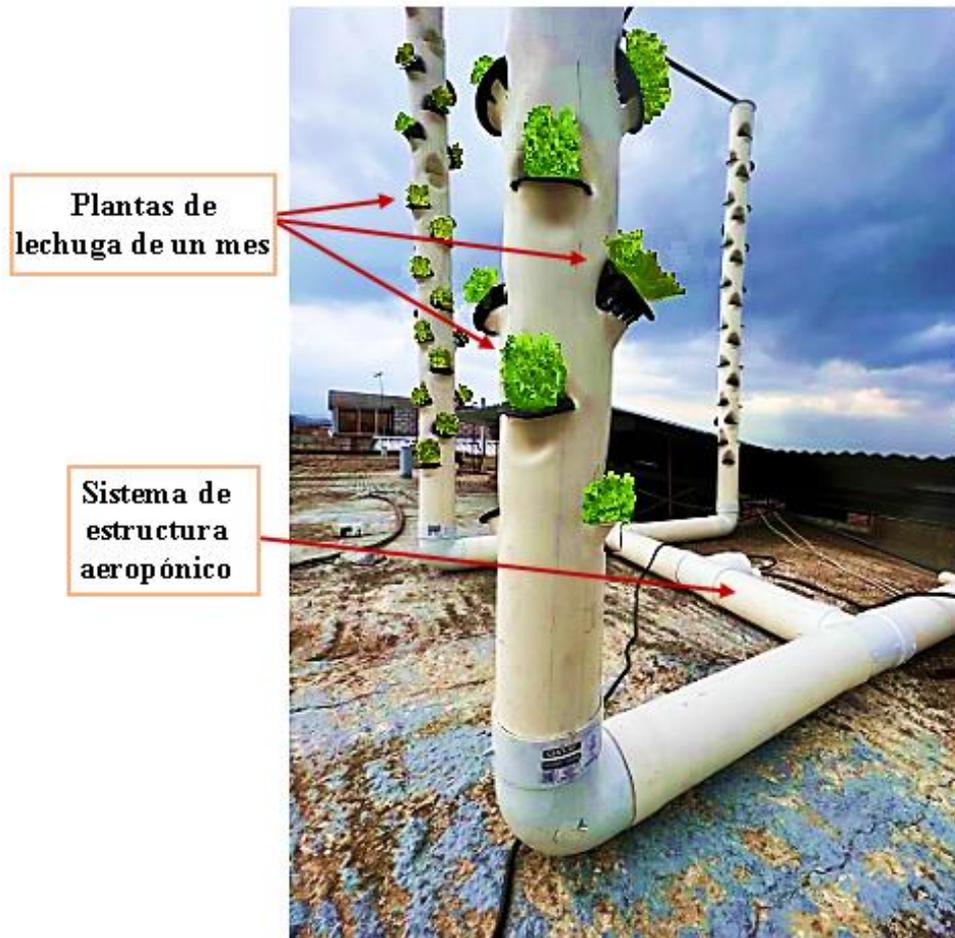


Figura 111. Plantas de lechuga de un mes en el sistema aeropónico.

Elaborado por: El Investigador

La lechuga se desarrolló en un tiempo de cosecha mucho menor a diferencia de los sistemas tradicionales utilizando el sistema aeropónico por un mes hasta su cosecha, presentando un color verde claro saludable, con una raíz fuerte, y un cogollo robusto, de la misma manera un follaje abundante con un peso por unidad de 215 gramos.

En el proceso de cultivo durante todo el proceso se controló, monitoreo y registro los datos de humedad, temperatura y conductividad PH, dentro de la estructura aeropónica cada 12,5 min durante 8 días para tener un promedio constante de sus variables. Estos

datos se recolectaron en el tiempo establecido de riego con segundos y minutos establecidos para las pruebas como base en el proyecto y la experimentación de su funcionamiento como se muestra en la figura 112.

- Temperatura promedio 25° en un rango entre 0°-70°
- Humedad relativa promedio 47,2174% en un rango entre 42%-50%
- PH conductividad promedio 2.10129 en un rango de 0-14pH

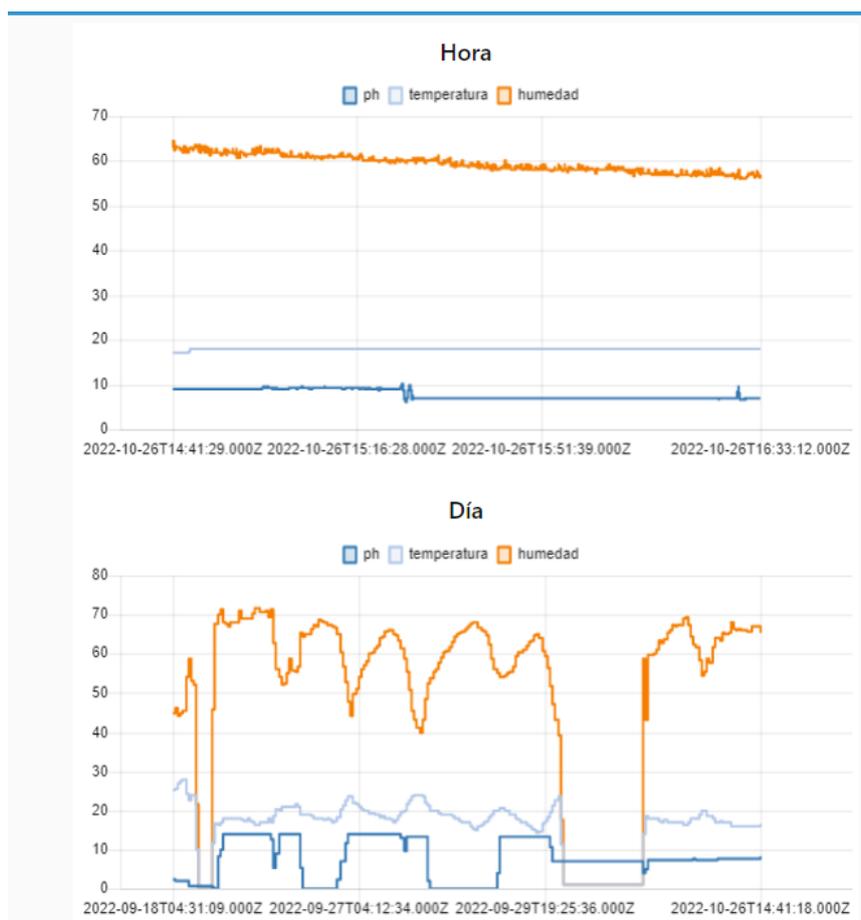


Figura 112. Registro de los datos de parámetros recolectados durante 8 días de toma de muestras.

Elaborado por: El Investigador

3.2.18 Análisis estadístico del Sistema

Se analizó la comparativa de tres métodos de cultivo con diferentes sistemas empleados como son: GEOPÓNICA, HIDROPÓNICA, AEROPÓNICA, para el desarrollo de la lechuga, mediante la aplicación del análisis de Varianza ANOVA estableciendo un

porcentaje al 0,05% de significancia, después de realizo una comparación de las medias utilizando el test de Tukey, teniendo ($p < 0,05$) como se observa en la tabla 33.

Tabla 33. Esquema del análisis de varianza ANOVA

Variación	Fórmula	Desarrollo	Grados de libertad
Métodos (t-1)	(T-1)	3-1	2
Error experimental	T(r-1)	3x7	21
total	t.r-1(3x8-1)		23

Elaborado por: El Investigador

Para aplicar el análisis de varianza ANOVA en cada muestra se hace uso de la siguiente ecuación.

Ecuación media de la muestra :
$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

Media de la muestra de valores:
$$x_i - \bar{x}$$

Ecuación de desviación estándar de una muestra:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Ecuación de la Varianza:

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Ecuación de error estándar:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n - 1} \sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde:

S^2 =varianza

x_i =termino de conjunto de datos

\bar{x} =media de la muestra

n =tamaño de la muestra

Hipótesis estadística

Para la comparación se propone la hipótesis nula y la hipótesis alternativa planteada de la siguiente manera:

H_a : Al menos uno de los métodos agrícolas es considerado como la mejor opción de cultivo de lechuga

H_o : Ninguno de los métodos agrícolas hacen diferencia al momento de cultivar.

3.2.19 Comparación de los Sistemas de cultivo.

Se verifico el control de desarrollo en cuanto a significancia de cada etapa, para ello se tomó una muestra de 8 unidades en los dos meses de pruebas, 4 muestras por mes, una a la semana, y se controla hasta su cosecha con los siguientes resultados evaluados por un profesional agrónomo, datos previos obtenidos y analizados en la tabla 8 de resultados.

Tabla 34. Resultados del análisis entre los sistemas de cultivo más empleados.

ANÁLISIS DE VARIANZA				
Descripción	Alpha		0,05	
Grupo	Muestras	Promedio	Media	Varianza
GEOPÓNICO	8	22	2,75	0,214285714
AERPÓNICO	8	32	4	0,571428571
HIDROPÓNICO	8	24	3	0,285714286
Fuentes	Desviación Estándar	Grados de libertad	P value	F.crit
Entre Grupos	7	2	0,000985778	0,482758621
Dentro de grupos	7,5	21		
Total	14,5	23		

Elaborado por: El Investigador

De acuerdo a la tabla 34 , y mediante el análisis de varianza con respeto a la comparación entre los sistemas más empelados para el cultivo de lechuga se visualiza el (alpha) y el (p-valor) calculado, y de acuerdo a la regla de decisión (alpha) >(p-valor), quiere decir

que, si hay diferencias significativas entre las muestras, por lo cual se considera la hipótesis H_a (alternativa), y se procede a aplicar el Test de Tukey para evaluar entre cuales métodos existe los intervalos de confianza para todas las diferencias, que se presenta en la tabla 35.

Tabla 35. Test estadístico de Tukey evaluado entre cada sistema.

TUKEY HSD TEST				
Descripción	Alpha		0,05	
Grupo 1	Grupo 2	Media	std err	p-value
GEOPÓNICO	AERPÓNICO	1,25	0,211288564	0,001170227
GEOPÓNICO	HIDROPÓNICO	0,25	0,211288564	0,684935299
AERPÓNICO	HIDROPÓNICO	1	0,211288564	0,008234872

Elaborado por: El Investigador

Situándose en la tabla 35, se observa el valor de (alpha) y los datos calculados que arroja el (p-valor), se aplica el mismo concepto de la regla de decisión, comparando el valor de (alpha) utilizado con el (p-valor) obtenido del grupo1 y el grupo2, de esta manera si existen diferencias entre cada uno como se muestra en la siguiente tabla 36.

Tabla 36. Resultado estadístico del mejor sistema empleado para el cultivo de lechuga.

Grupo 1	Grupo 2	p-value-alpha (0,05)	Resultado
GEOPÓNICO	AERPÓNICO	0,001170227<alpha	Si existe diferencia
GEOPÓNICO	HIDROPÓNICO	0,684935299>alpha	No existe diferencia
AERPÓNICO	HIDROPÓNICO	0,008234872<alpha	Si existe diferencia

Elaborado por: El Investigador

Concluyendo que el Sistema Aeropónico implementado y evaluado mediante datos estadísticos, resulta mejor en el desarrollo, producción y cosecha del cultivo de lechuga teniendo una diferencia frente a sistema geopónico y al sistema hidropónico como se muestra gráficamente en la figura 113.

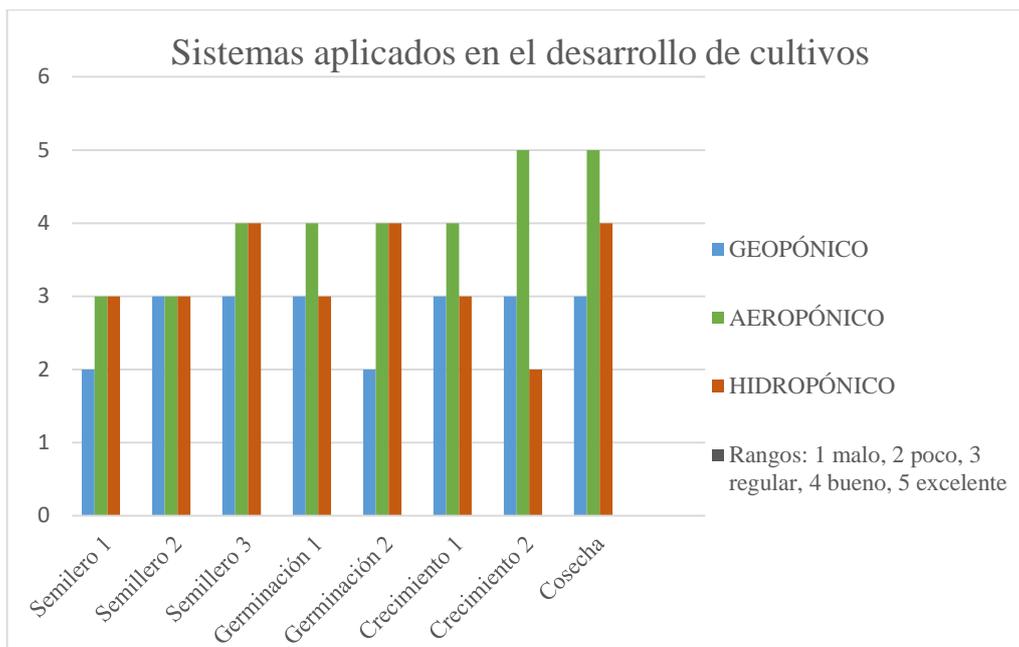


Figura 113. Resultado de comparación de sistemas de cultivo

Elaborado por: El Investigador

3.2.20 Tiempos de ciclo de cultivo de lechuga evaluado en cada sistema.

Para evaluar los tiempos de ciclo se monitoreo el proceso de cada etapa por semanas y días recolectando los datos de información de la siguiente tabla 37.

Tabla 37. Tiempos de ciclo de cultivo de lechuga

Método de cultivo	GEOPÓNICO	AERPÓNICO	HIDROPÓNICO
TIEMPO	DIAS		
semana1	7	7	7
semana2	7	7	7
semana3	7	7	7
semana4	7	7	7
semana5	7	5	7
semana6	7	0	7
semana7	7	0	6
semana8	7	0	0
semana9	7	0	0
Total días	63	33	48

Elaborado por: El Investigador.

Se procedió de la misma manera evaluando los tiempos empleados de cada sistema desde la siembra de la lechuga hasta que el producto esté listo para su cosecha aplicando el método estadístico estudiado.

Tabla 38. Resultados del análisis de comparación de tiempos de ciclo del cultivo entre los sistemas.

ANÁLISIS DE VARIANZA				
Descripción			Alfa	0,05
Grupo	Muestras	Promedio	Media	Varianza
GEOPÓNICO	9	63	7	0
AERPÓNICO	9	33	3,66	12,5
HIDROPÓNICO	9	48	5,33	9,25
Fuentes	Grados de libertad	Desviación Estándar	P value	F.crit
Entre Grupos	2	50	0,04826305	0,223214286
Dentro de grupos	24	174		
Total	36	224		

Elaborado por: El Investigador.

De acuerdo a la tabla 39, y mediante el análisis de varianza con respecto a la comparación de tiempos de ciclo del cultivo entre los sistemas para el cultivo de lechuga se visualiza el (alpha) y el (p-valor) calculado, y de acuerdo a la regla de decisión $(\alpha) > (p\text{-valor})$, es mayor comprendiendo que si hay diferencias significativas entre las muestras, determinando el promedio de días que cada sistema empleo en el cultivo de lechuga, de tal manera que el método Geopónico empleo 63 días para que la lechuga estece lista para su cosecha, el sistema Aeropónico empleo 33 días y el sistema Hidropónico 48 días, para ver de mejor manera los resultados de cual sistema permite una rápida producción de lechuga, se procede a aplicar el Test de Tukey, que se presenta en la tabla 39.

Tabla 39. Test estadístico de Tukey evaluando los tiempos de ciclo de cada sistema

TUKEY HSD TEST				
Descripción		Alpha	0,05	
Grupo 1	Grupo 2	Media	std err	p-value
GEOPÓNICO	AERPÓNICO	3,333333333	0,89752747	0,03797233
GEOPÓNICO	HIDROPÓNICO	1,666666667	0,89752747	0,04018616
AERPÓNICO	HIDROPÓNICO	1,666666667	0,89752747	0,04018616

Elaborado por: El Investigador

Aplicando el concepto de decisión y comparando el valor de (α) utilizado con el (p -valor) obtenido del grupo1 y el grupo2, se visualiza en la tabla 36, si existen diferencias o no entre cada una de ellas.

Tabla 40. Resultado estadístico de tiempos de ciclo del cultivo de lechuga empleado entre los sistemas.

Grupo 1	Grupo 2	p-value- α (0,05)	Resultado
GEOPÓNICO	AERPÓNICO	0,03797233 < α	Si existe diferencia
GEOPÓNICO	HIDROPÓNICO	0,04018616 < α	Si existe diferencia
AERPÓNICO	HIDROPÓNICO	0,04018616 < α	Si existe diferencia

Elaborado por: El Investigador

De esta manera se concluye que el Sistema Aeropónico implementado utiliza una menor cantidad de tiempo empleado para el cultivo de lechuga mejorando la producción y cosecha, teniendo una diferencia frente al sistema geopónico y al sistema hidropónico como se muestra gráficamente en la figura 114

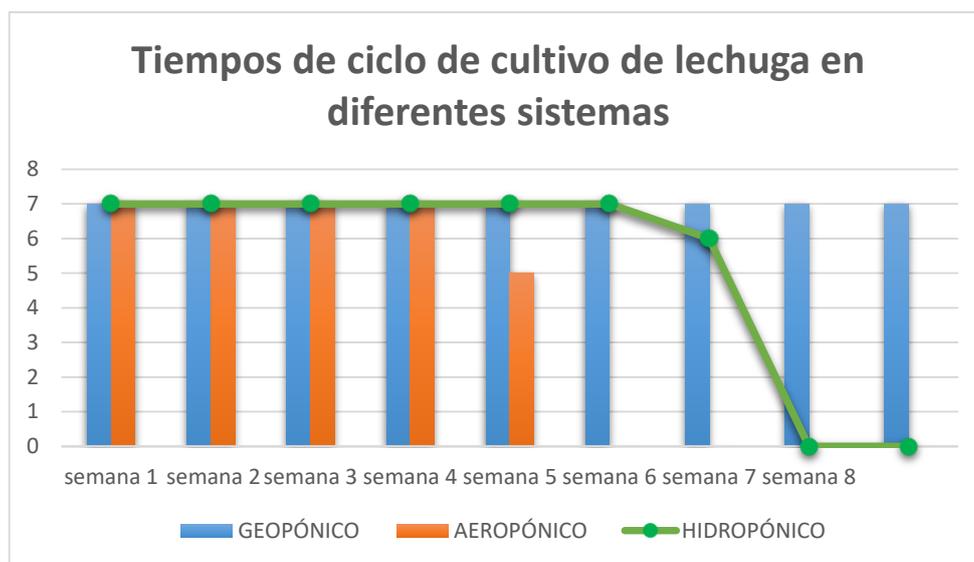


Figura 114. Resultados de comparación de los tiempos de ciclo de cultivo en distintos sistemas.

Finalmente se evalúa los datos recaudados para expresar los resultados en porcentajes de manera que basado en la tabla 41, se puede calcular la media de los valores de la siguiente manera.

Tabla 41. Cálculo de porcentaje de productividad de cada sistema

Método de cultivo	Días	Porcentaje
GEOPÓNICO	63	-31.25%
AERPÓNICO	33	31,25%
HIDROPÓNICO	48	0%
TOTAL	144	
MEDIA\bar{X}	48	

Elaborado por: El Investigador

De esta manera se concluye que el sistema Geopónico tiene un déficit de 31.25% de eficiencia productiva, el sistema Hidropónico se mantiene estable sin déficit, pero a la vez sin mejoras, y el sistema Aeropónico establecido tiene una ganancia de porcentaje de productividad de 31,25% debido a que reduce el tiempo de cultivo de lechuga y por ende aumenta la productividad de la empresa.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se analizaron las condiciones técnicas empleadas en la agroindustria 4.0 aplicado a cultivos verticales, determinando los parámetros necesarios para el correcto cultivo de la lechuga, para ello fue indispensable la implementación de un sistema automatizado de riego lo que ayudó al control de los sensores y actuadores de igual forma obtener los valores acordes de temperatura (25°), humedad (47.2175%-) y PH (2.10129), y brindando dos formas de operación, una de forma manual por parte de los actuadores y otra de forma automática que el operador controle desde su celular y supervise el riego del cultivo.

En el sistema de control se utilizó el PLC S7-1200 Siemens por su seguridad y ser un dispositivo robusto con una interfaz agradable al usuario empleando el protocolo de comunicación S7 para la interacción con el Gateway en el que se manejó una Raspberry pi 4 b+ la que permitió comunicar mediante un switch, la base de datos del Plc que contienen los datos del sensor de PH realiza un control automático para el riego de igual forma la conductividad que en necesario para el vaciado del sistema.

Se implementó el sistema de monitorización contratando un servidor como es Digital Ocean por su alto nivel de seguridad ya que tiene una buena integración con los token de acceso a HTTP API; se instaló Ubuntu 22.04 x64 para poder trabajar con node red y realizar los nodos de conexión entre el node red local con el node red del servidor.

Para la factibilidad del sistema implementando se realizó un estudio con métodos comparativos a tres sistemas de riego, como son: Geopónico, Hidropónico y Aeropónico, con los datos de tiempos de germinación, crecimiento y cosecha se analizó estadísticamente con porcentajes de error de 0,211% considerado en la evaluación del sistema y 0,8975% de error en los tiempos de producción, consiguiendo un valor promedio menor al valor de la constante alpha 0,05 en cada comparación del sistema implementado con los otros sistemas y de acuerdo a la regla de decisión concluye que el método de cultivo aeropónico supera el tiempo empleado para el cultivo de lechuga, mejorando la producción y teniendo una diferencia frente al sistema geopónico y al sistema hidropónico.

Se validó el sistema y su eficiencia comparando las etapas de siembra desde la primera remesa con 15 días de germinación evaluando todas las condiciones y corrigiendo errores en los parámetros del desarrollo de las plantaciones de lechuga, que presentó un escaso crecimiento de follaje, para ello se suministró un cantidad de 2 litros de mezcla de nutrientes calculada para 20 litros de agua en la nueva siembra luego del primer ciclo, llegando a mejorar el desarrollo de cada plantación de lechuga expuesta a las mejores condiciones para su crecimiento y cosecha, en cuanto eficiencia arrojó un porcentaje de 31,25% en reducción del tiempo frente a otros sistemas evaluados mediante el método estadístico por lo cual mejora la productividad del proceso de cultivo de lechuga.

4.2 Recomendaciones

Es necesario realizar una correcta selección de los dispositivos eléctricos y electrónicos dependiendo de las condiciones en donde se va a instalar la agroindustria vertical además dimensionar el área de trabajo para la obtención de material donde se vaya a implementar el sistema de riego.

Se debe realizar todas las conexiones sin el suministro de energía, y se debe realizar con los implementos adecuados para evitar daños en la salud, además, colocar protección a los equipos de fuerza como pueden ser un relé térmico o un guardamotor ya que pueden existir sobrecargas, calentamiento de los equipos, pérdida de las líneas o fases. Tener en cuenta la corriente de los equipos para dimensionar los equipos de protección.

Se recomienda el uso de protocolos industriales de comunicación entre los equipos interconectados, una opción es MODBUS que permite la conexión del PLC al Switch, de igual forma se puede utilizar para la conexión del Gateway en la trama de comunicación, puesto que es un protocolo basando a las necesidades que se requiere para la comunicación deseada.

Tener en cuenta la tabla de nutrientes para el cultivo seleccionado en la que se dimensiona el tamaño de los tanques de mezclado y nutrición madre, para esto es necesario la ayuda de un ingeniero agrónomo especialista en esta área, que pueda guiar y calcular el porcentaje y partes por millón de los nutrientes que necesita el cultivo.

Se debe realizar un monitoreo constante para poder determinar la germinación del cultivo de la lechuga revisar las estadísticas ya que se tiene por hora, día, mes, para poder

observar el correcto uso del sistema, con eso se puede visualizar si está trabajando correctamente en sus diferentes etapas y ante posibles fallos del sistema.

Si se desea realizar un sistema de agricultura aeropónica para otros cultivos diferentes a la lechuga, se debe tomar en consideración parámetros como los niveles de pH óptimo ya que para otro tipo de cultivos van a variar, y se requiere establecer los rangos necesarios para la etapa de germinación ya que cada planta debe ser suministrada con una mezcla ideal de nutrientes para poder desarrollarse, en este proceso interfiere directamente la lectura de sensores para controlar los valores previamente estudiados de las plantas que se desea cultivar mediante el presente proyecto.

Se recomienda el mantenimiento preventivo del sistema de riego vertical ya que el funcionamiento de los equipos podría fallar en la operación principalmente la bomba de agua por ser el principal elemento actuador que es indispensable para el riego del cultivo vertical de lechuga.

Bibliografía

- [1] Y. Liu, X. Ma, L. Shu, G. P. Hancke, y A. M. Abu-Mahfouz, «From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges», *IEEE Trans. Ind. Inform.*, vol. 17, n.º 6, pp. 4322-4334, jun. 2021, doi: 10.1109/TII.2020.3003910.
- [2] B. G. Bastos, J. C. de J. López, A. C. N. Gonzales, y K. N. Neiva, «Bioeconomía, economía circular e agroindustria 4.0: proposiciones para as transiciones tecnológicas emergentes.», *COLÓQUIO - Rev. Desenvolv. Reg.*, vol. 19, n.º 1, jan/mar, Art. n.º 1, jan/mar, 2022, doi: 10.26767/2375.
- [3] S. Rawal, «IoT based Smart Irrigation System», *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 159, n.º 8, p. 5.
- [4] O. Buscaratto, «System integration between PLCs and IoT devices», oct. 2019, doi: 10.17648/cobisa-2019-101098.
- [5] C. I. M. Sánchez y M. D. E. Enriquez, «Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Píllaro», *Siembra*, vol. 8, n.º 1, Art. n.º 1, ene. 2021, doi: 10.29166/siembra.v8i1.1735.
- [6] Organizaci??n de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentaci??n, *Estado mundial del Recurso Suelo: resumen t??cnico*. Roma: Organizaci??n de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentaci??n, 2016.
- [7] I. I. de C. para la Agricultura (IICA), K. Montiel, M. Ibrahim, E. T. I. y Tecnología (ETIT), y R. N. y G. de R. P. (PHCRG) Programa Hemisférico de Cambio Climático, «Manejo integrado de suelos para una agricultura resiliente al cambio climático:

sistematización del ciclo de foros virtuales: año Internacional de los Suelos (AIS) 2015», 2016, Accedido: 9 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/8681>

[8] «Cómo las granjas verticales están cambiando la agricultura.» <https://sinlupa.com/granja-vertical/> (accedido 9 de junio de 2022).

[9] por Ó. S. J. Herrero, «El futuro de la agricultura en la nube: ventajas de las soluciones cloud», *AgtechApps*, 25 de octubre de 2021. <https://www.agtechapps.com/agricultura-en-la-nube/> (accedido 9 de junio de 2022).

[10] «¿Qué son los cultivos Agrícolas? :: Cultivos Agrícolas». <https://plantasagricolas.webnode.es/%C2%BFque-son-los-cultivos-agricolas-/> (accedido 9 de junio de 2022).

[11] «Plantas que crecen en el suelo y cuidado manual de las plantas, incluidos los iconos. los factores que afectan el crecimiento de las plantas son el suelo, el agua, los nutrientes o fertilizantes, el aire, la luz solar y la temperatura. | Foto Premium», *Freepik*. https://www.freepik.es/fotos-premium/plantas-que-crecen-suelo-cuidado-manual-plantas-incluidos-iconos-factores-que-afectan-crecimiento-plantas-son-suelo-agua-nutrientes-o-fertilizantes-aire-luz-solar-temperatura_16049928.htm (accedido 9 de junio de 2022).

[12] «Agricultura vertical: Una gran opción para la agricultura del futuro - Berger - ES». <https://www.berger.ca/es/recursos-para-los-productores/tips-y-consejos-practicos/agricultura-vertical-una-gran-opcion-para-la-agricultura-del-futuro/> (accedido 9 de junio de 2022).

[13] «Cultivo Hidropónico – Hoja Verde | Productos Frescos». <https://hojaverdehuerto.mx/hidroponia/> (accedido 6 de octubre de 2022).

[14] E. W. Stein, «The Transformative Environmental Effects Large-Scale Indoor Farming May Have On Air, Water, and Soil», *Air Soil Water Res.*, vol. 14, p. 117862212199581, ene. 2021, doi: 10.1177/1178622121995819.

[15] A. L. M. López, «PROTOTIPO DE SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL AGRÍCOLA BASADO EN IoT. CASO DE ESTUDIO: CULTIVOS SEMI HIDROPÓNICOS DE FRESA EN EL MUNICIPIO DE GUASCA CUNDINAMARCA», p. 149, 2021.

[16] P. A. M. Peñaloza, «AEROPONÍA COMO MÉTODO DE CULTIVO SOSTENIBLE, RENTABLE E INCLUYENTE EN BOGOTÁ D.C, COLOMBIA», p. 122, 2013.

[17] «AEROPONÍA: UNA TÉCNICA DE OTRO NIVEL». <http://hidroponia.mx/aeroponia-una-tecnica-de-otro-nivel/> (accedido 9 de junio de 2022).

[18] «Cultivo aeropónico ¿qué es y cómo montarlo?», *Blog Cannabico de GeaSeeds*, 18 de junio de 2018. <https://geaseeds.com/blog/cultivo-aeroponico/> (accedido 9 de junio de 2022).

- [19] «Cultivo aeropónico: Qué es, Ventajas y Características - Agroecología», 5 de abril de 2021. <https://agroecologia.es/cultivo-aeroponico-que-es-ventajas-y-caracteristicas/> (accedido 9 de junio de 2022).
- [20] «Modulo_4_Manual_Establecimiento_de_Cultivos..pdf». Accedido: 9 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_4_Manual_Establecimiento_de_Cultivos..pdf
- [21] «Sistemas de riego para techos verdes y jardines verticales: Tendencias y novedades - Blog de PAISAJISMO DIGITAL». <https://paisajismodigital.com/blog/sistemas-de-riego-para-techos-verdes-y-jardines-verticales-tendencias-y-novedades/> (accedido 9 de junio de 2022).
- [22] «Sistemas de cultivo vertical de cannabis para las etapas de clonación | Montel Inc.» <https://www.montel.com/es/aplicaciones/sistemas-de-cultivo-vertical-de-cannabis-para-las-etapas-de-clonacion> (accedido 9 de junio de 2022).
- [23] L. E. C. Hernandez, «Manual de producción vertical como modalidad de huerto familiar para autoabastecimiento de un hogar», p. 71.
- [24] L. E. C. Hernandez, «Manual de producción vertical como modalidad de huerto familiar para autoabastecimiento de un hogar», p. 71.
- [25] R. M. De Anda-López, «Aplicación de modelos de simulación en el diseño mecatrónico agrícola para la Agroindustria 4.0. “Modelado del dosificador de semillas para sembradora automática de charolas de germinación”», en *Mujeres en la Ciencia Ingeniería*, 1.^a ed., ECORFAN, 2020, pp. 61-77. doi: 10.35429/H.2020.5.61.77.
- [26] C. Valeria, P. Buttori, y M. Tadeo, «Sistema de Automatización y Control de Cultivos Hidropónicos», p. 51.
- [27] «QUE ES UN SISTEMA DE CONTROL | Web Oficial EUROINNOVA». <https://www.euroinnova.ec/blog/que-es-un-sistema-de-control> (accedido 9 de junio de 2022).
- [28] «sistema de control manual y automatico - Tecnología de Control». <https://sites.google.com/site/tecnologiadecontrol2016/control-manual> (accedido 9 de junio de 2022).
- [29] «3-SISTEMAS-AUTOMATICOS-DE-CONTROL-ampliacion.pdf». Accedido: 9 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://ieshuelin.com/huelinwp/download/Tecnologia/Tecnologia%20industrial/3-SISTEMAS-AUTOMATICOS-DE-CONTROL-ampliacion.pdf>
- [30] «Calidad y Diseño de las Plantas Procesadoras de Alimentos - Blog IE». <https://blog.iniciativasempresariales.com/calidad-y-diseno-eficiente-de-plantas-procesadoras-de-alimentos/> (accedido 9 de junio de 2022).
- [31] «▷ Lazo Abierto y Lazo Cerrado - [Sistemas de Control]». <https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/lazo-abierto-y-lazo-cerrado/> (accedido 9 de junio de 2022).

- [32] «Sistemas de control on-off para regulación en invernaderos - Hortalizas». <https://www.hortalizas.com/horticultura-prottegida/invernadero/sistemas-de-control-on-off-para-regulacion-en-invernaderos/> (accedido 9 de junio de 2022).
- [33] B. E. P. Berenguer, «INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE CONTROL», p. 69.
- [34] «Consideraciones para el diseño de sistemas de control - ppt video online descargar». <https://slideplayer.es/slide/1725064/> (accedido 9 de junio de 2022).
- [35] «¿Qué es un PLC? ¿Cómo funciona? ¿Para qué sirve?» <https://srsl.com/que-es-un-plc/> (accedido 9 de junio de 2022).
- [36] Reptil.mx, «CPU de un PLC», *Industrias GSL*. <https://industriagsl.com/blogs/automatizacion/cpu-de-un-plc> (accedido 9 de junio de 2022).
- [37] «PLC LOGO!8 Siemens 230RC 110/220vac». https://pccontrol.ec/index.pHp?route=product/product&product_id=104 (accedido 9 de junio de 2022).
- [38] «Transmisión De Datos Y Su Utilidad [2022]». <https://definicion.xyz/transmision-de-datos/> (accedido 9 de junio de 2022).
- [39] «Unidad 12.pdf». Accedido: 9 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://ual.dyndns.org/biblioteca/Redes/Pdf/Unidad%2012.pdf>
- [40] «b).- Medios de transmisión - PrimerodosLEP». <https://sites.google.com/site/primerodoslep/conceptos-basicos-de-red/b---medios-de-transmision> (accedido 9 de junio de 2022).
- [41] «No Guiados - inalámbricos», *Mi sitio*. <http://williantab.weebly.com/no-guiados--inalaacutembricos.html> (accedido 9 de junio de 2022).
- [42] comercial, «Protocolo MQTT», *Ditel Diseños y Tecnología S.A.*, 13 de octubre de 2020. <https://www.ditel.es/protocolo-mqtt/> (accedido 9 de junio de 2022).
- [43] «¿Qué es MQTT? El protocolo de comunicación para IoT». <https://solectroshop.com/es/blog/que-es-mqtt-el-protocolo-de-comunicacion-para-IoT-n117> (accedido 9 de junio de 2022).
- [44] «Qué es y cómo funciona la monitorización en los procesos industriales», *CIC Consulting Informático*, 7 de febrero de 2019. <https://www.cic.es/que-es-la-monitorizacion-en-los-procesos-industriales/> (accedido 9 de junio de 2022).
- [45] M. F. y C. P. en L. A. A. a desarrolladores P. a acceder mercados y clientes más sofisticados y exigentes, «Un dashboard en tiempo real basado en PHP y Bootstrap», *Leeway Academy*, 3 de mayo de 2019. <https://academy.leewayweb.com/un-dashboard-en-tiempo-real-basado-en-pHp-y-bootstrap/> (accedido 9 de junio de 2022).
- [46] «¿Qué es el Internet de las cosas (IoT)?» <https://www.oracle.com/ar/internet-of-things/what-is-iot/> (accedido 9 de junio de 2022).

- [47] «IoT (Internet de las cosas) – Actus Today». <https://www.actus.today/IoT/> (accedido 9 de junio de 2022).
- [48] «¿Qué es la arquitectura IoT? | Guinea Mobile», 14 de febrero de 2022. <https://guinea.pe/blog/arquitectura-iot/> (accedido 9 de junio de 2022).
- [49] jecrespom, «Arquitecturas IoT», *Aprendiendo Arduino*, 11 de noviembre de 2018. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/11/11/arquitecturas-iot/> (accedido 9 de junio de 2022).
- [50] jecrespom, «Plataformas Cloud Públicas», *Aprendiendo Arduino*, 23 de noviembre de 2018. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/11/23/plataformas-cloud-publicas/> (accedido 9 de junio de 2022).
- [51] jecrespom, «Gateways IoT», *Aprendiendo Arduino*, 21 de noviembre de 2018. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/11/21/gateways-iot/> (accedido 9 de junio de 2022).
- [52] «Gateway IoT industrial para la optimización de procesos», *Tecnología para la Industria*, 3 de agosto de 2021. <https://tecnologiaparalaindustria.com/uso-de-una-gateway-iot-industrial-para-la-optimizacion-de-procesos-productivos/> (accedido 9 de junio de 2022).
- [53] «TG451 Industrial IoT Gateway | Python Programming», *Bivocom*. <https://www.bivocom.com/products/iot-gateways/industrial-gateway-tg451> (accedido 9 de junio de 2022).
- [54] V. Quiceno, «Necesidades nutricionales y de riego de la lechuga», Accedido: 6 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/37856887/Necesidades_nutricionales_y_de_riego_de_la_lechuga
- [55] J. ARTEAGA, «¿Qué es una bomba de agua?», *Hidromec Ingenieros S.A.C.*, 2 de noviembre de 2018. <https://hidromecingenieros.com/que-es-una-bomba-de-agua/> (accedido 29 de septiembre de 2022).
- [56] «Productos por marca – LEO – Hidromecánica Lesa S.A.». <https://www.bombaslesa.com/sitio-wp/productos-por-marca-leo/> (accedido 29 de septiembre de 2022).
- [57] B. Ibérica, S. A. U. A. Barcelona, y 40 08970 Sant Joan Despi, «How a Solenoid Valve Works | Definition of a Solenoid Valve». <https://www.burkert.es/es/Empresa-y-carrera/Actualidades/Prensa/Mediateca/Informes-tecnicos/Informes-tecnicos-temas-adicionales/Que-es-una-electrovalvula-y-como-funciona> (accedido 29 de septiembre de 2022).
- [58] «Electrovalvula Valvula 1 Pulgada Solenoide Riego Agua - U\$S 30,14». https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-516647855-electrovalvula-valvula-1-pulgada-solenoide-riego-agua-_JM (accedido 29 de septiembre de 2022).
- [59] «¿Qué es una bomba peristáltica?», *Fluideco*. <https://fluideco.com/que-es-una-bomba-peristaltica/> (accedido 29 de septiembre de 2022).

- [60] «Bomba Dosificadora Peristaltica 12v Dispensadora Innovatech - U\$S 35,1». https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-518423755-bomba-dosificadora-peristaltica-12v-dispensadora-innovatech-_JM (accedido 29 de septiembre de 2022).
- [61] I. Ros, «ASUS Tinker Board, un miniPC que sigue el concepto Raspberry Pi», *MuyComputer*, 21 de enero de 2017. <https://www.muycomputer.com/2017/01/21/asus-tinker-board-minipc/> (accedido 29 de septiembre de 2022).
- [62] «Jetson Nano Developer Kit», *DynamoElectronics*. <https://dynamoelectronics.com/tienda/jetson-nano-developer-kit/> (accedido 29 de septiembre de 2022).
- [63] «Raspberry Pi 4, características, precio y ficha técnica». <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-4-caracteristicas-precio-ficha-tecnica> (accedido 29 de septiembre de 2022).
- [64] «SENSOR DE PH + TARJETA ACONDICIONADORA – Grupo Electrostore». <https://grupoelectrostore.com/shop/sensores/agua/sensor-de-pH-tarjeta-acionadadora/> (accedido 29 de septiembre de 2022).
- [65] «PH-4502C Sensor de PH Liquido con electrodo E201-BNC», *UNIT Electronics*. <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-pH-liquido/> (accedido 29 de septiembre de 2022).
- [66] «Online Monitoring Rs485 4-20ma 0-5v Output Digital Signal Lora Lorawan 4g Agriculture Probe Soil PH Sensor - Buy Ip68 Waterproof Data Logger Soil PH Sensor For Agriculture, Rs485 Modbus Lora Lorawan 915mhz 868mhz Wireless Soil PH Sensor For The Greenhouse, Hot Selling 4-20ma 0-5v 0-10v Analog Signal Output Data Logger Soil PH Tester Product on Alibaba.com». https://www.alibaba.com/product-detail/Online-Monitoring-RS485-4-20mA-0_62546632822.html (accedido 29 de septiembre de 2022).
- [67] «22.58US \$ |Taidacent Sht30 Modbus Temperature Sensor Rs485 Modbus Rtu Temperature Humidity Sensor Plc Dcs Room Thermocouple Monitoring - Iot Accessories - AliExpress», *aliexpress.com*. https://www.aliexpress.com/item/2255800143047423.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp= (accedido 29 de septiembre de 2022).
- [68] «Modulo Humedad Temperatura DTH11». <https://rambal.com/temperatura-humedad/1067-modulo-humedad-temperatura-dth11.html> (accedido 29 de septiembre de 2022).
- [69] «HC2A-S - Sonda de temperatura y de humedad del aire by ROTRONIC AG | DirectIndustry». <https://www.directindustry.es/prod/rotronic-ag/product-14766-367465.html> (accedido 29 de septiembre de 2022).
- [70] «Sensor De Nivel Flotador Horizontal para Arduino», *UNIT Electronics*. <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-nivel-flotador-horizontal-para-arduino/> (accedido 7 de octubre de 2022).

[71] «10 Inconvenientes o limitaciones de las tuberías de PE», *Aristegui Maquinaria*, 7 de agosto de 2013. <https://www.aristegui.info/10-inconvenientes-o-limitaciones-de-las-tuberias-de-pe-2/> (accedido 8 de octubre de 2022).

[72] AdminRotoplas, «¿Por qué es mejor el PP-R que la tubería de cobre?», *Rotoplas*, 25 de septiembre de 2020. <https://rotoplas.com.mx/por-que-es-mejor-el-pp-r-que-la-tuberia-de-cobre/> (accedido 8 de octubre de 2022).

[73] «Agricultura. El cultivo de la lechuga.» <https://www.infoagro.com/hortalizas/lechuga.htm> (accedido 20 de junio de 2022).

ANEXOS

Anexo A. Asesoría del cultivo y tratamiento de lechuga por parte del Ing. Agrónomo Segundo Curay de la Universidad Técnica de Ambato



Anexo B. Página oficial de la Empresa FVE Importadora Agrícola Industrial S.A en donde se implementó el sistema.

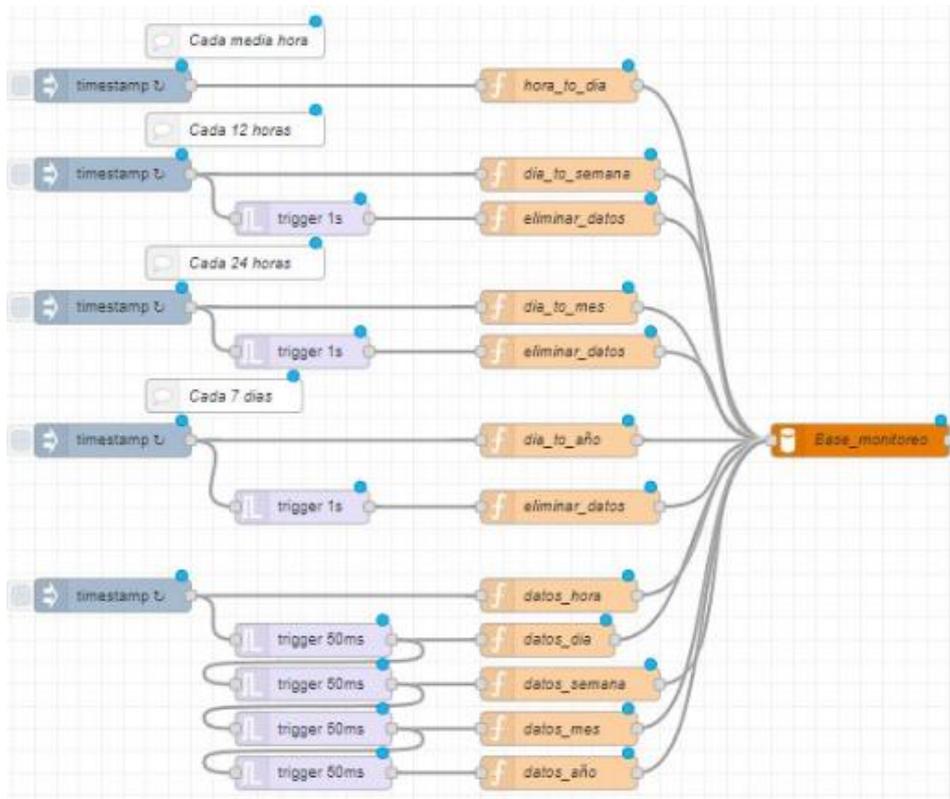
A screenshot of the website for FVE Importadora Agrícola Industrial S.A. The page has a green background with white text and graphics. The main heading is '¿Quiénes somos?'. Below it, there is a logo for FVE and the text 'IMPORTADORA AGRÍCOLA E INDUSTRIAL S.A.'. The contact information is 'CONTÁCTANOS 099 455 6658 - 096 229 1968'. The address is 'Av. Atahualpa y Nevada, Huachi Grande centro'. There is a social media link for Facebook with the text 'FVE Importadora Agrícola Industrial S.A.' and '395 Me gusta • 428 seguidores'. The page also features a small circular logo for FVE in the bottom left corner.

Anexo C. conexión eléctrica del PLC



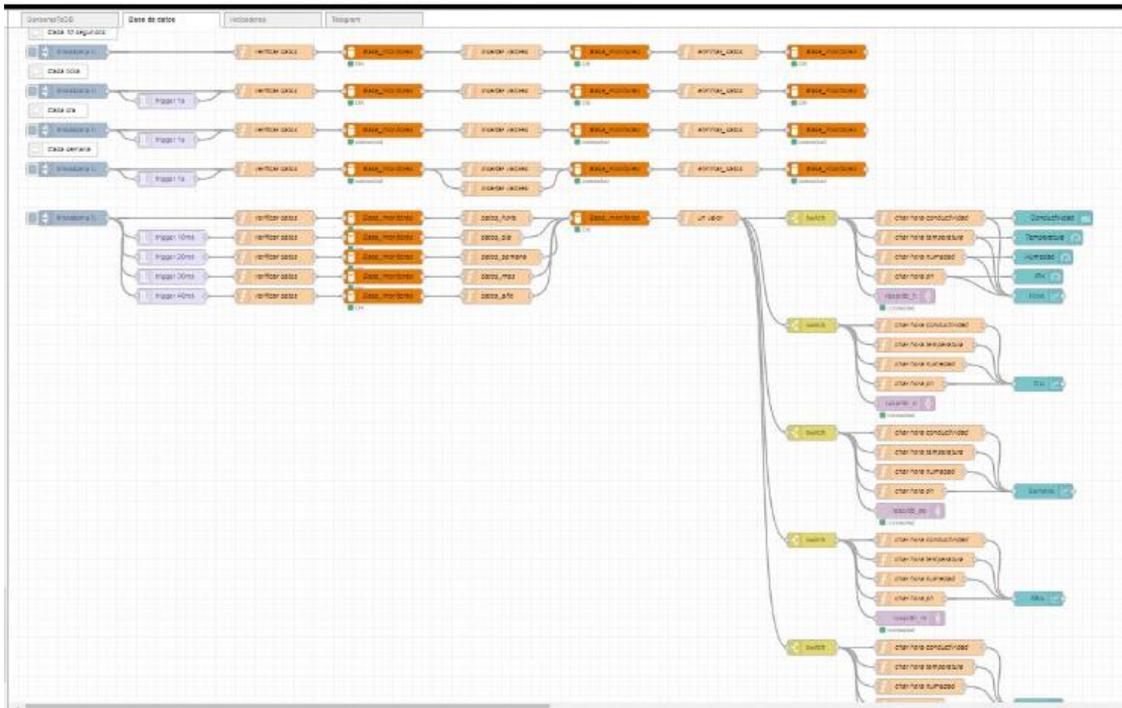
Elaborado por: El investigador

Anexo D. diseño de la base de monitoreo en NodeRed.



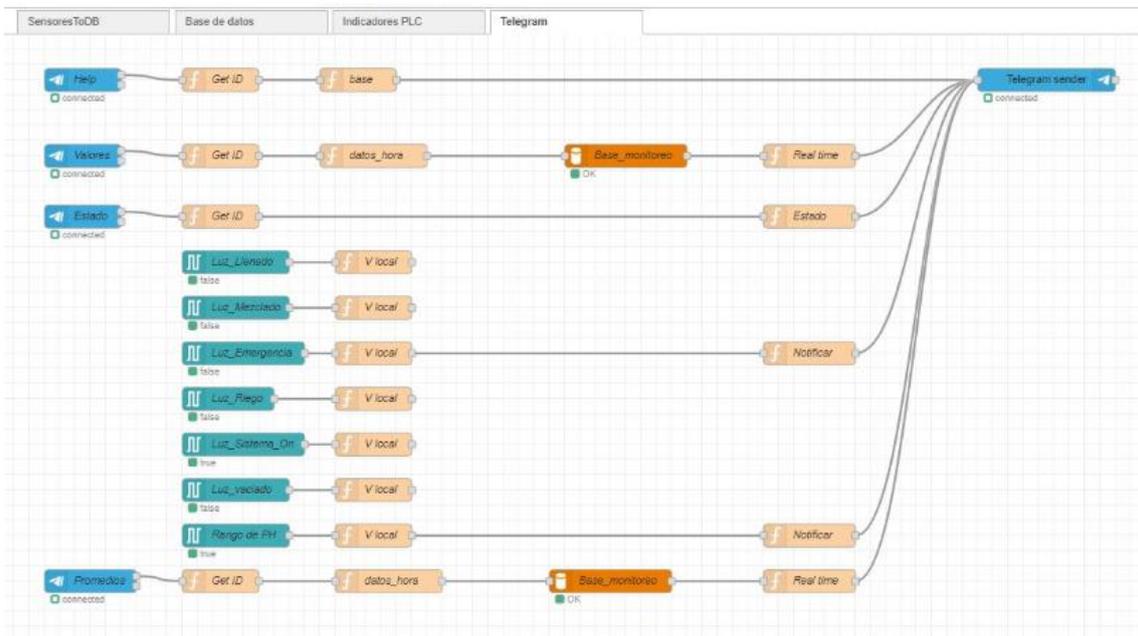
Elaborado por: El investigador

Anexo E. Diseño de la base de datos en NodeRed.



Elaborado por: El investigador

Anexo F. Diseño de Boot de telegram para el control y monitoreo del sistema.



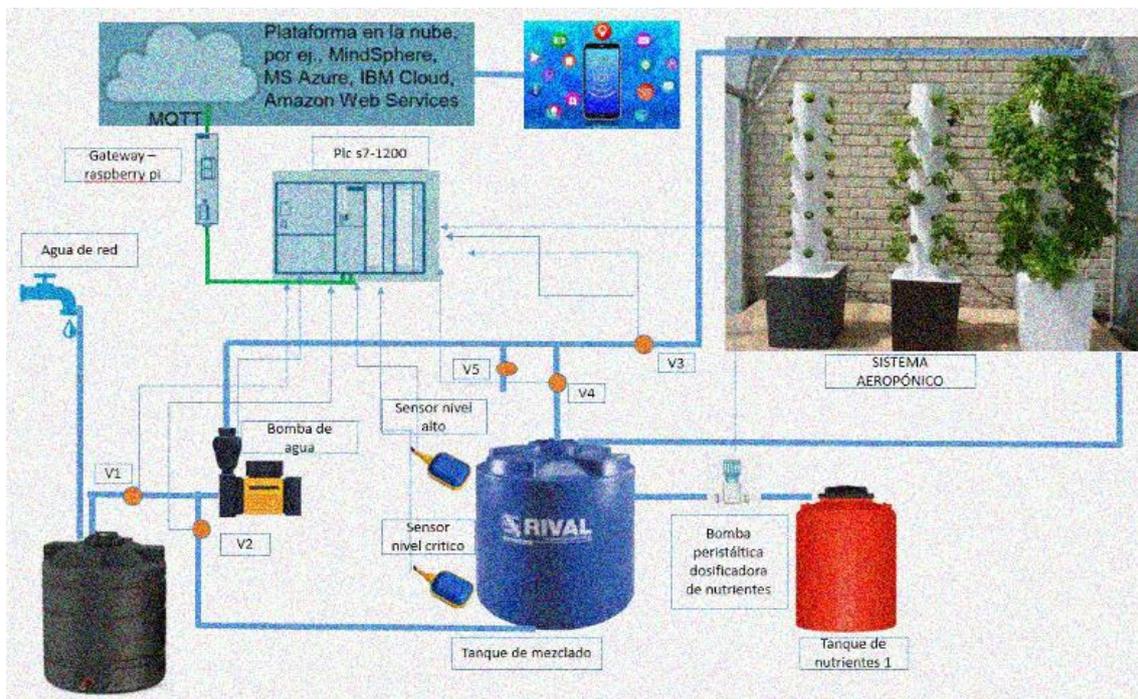
Elaborado por: El investigador

Anexo G. Control de los sensores de humedad, PH y temperatura



Elaborado por: El investigador

Anexo H. Esquema general del sistema aeropónico.

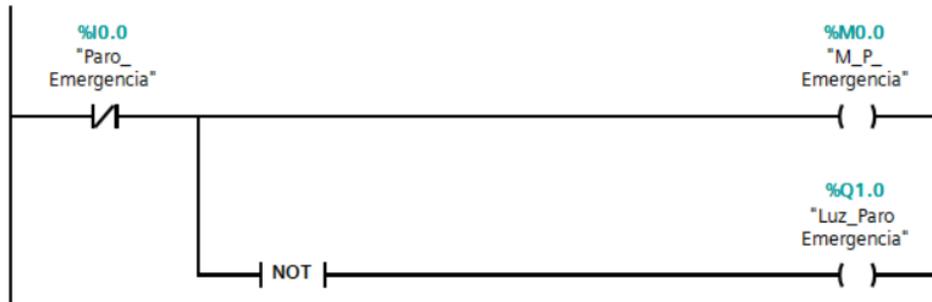


Elaborado por: El investigador

Anexo I. desarrollo de la programación del PLC

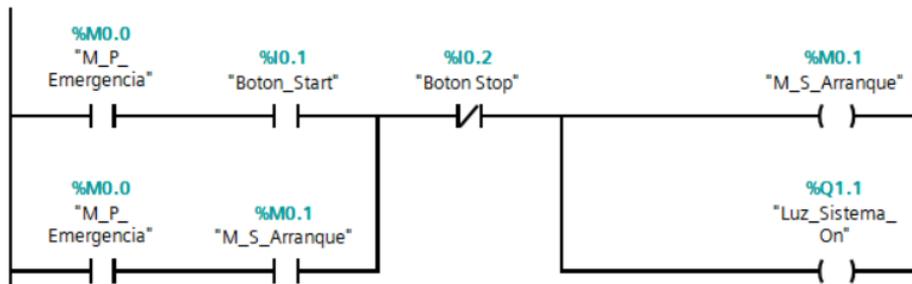
Segmento 1: Paro de emergencia

Comentario



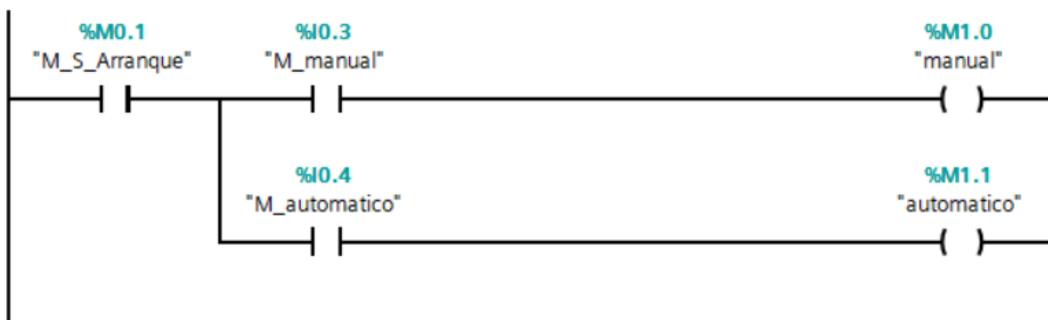
Segmento 2: Boton de start y boton de stop

Comentario



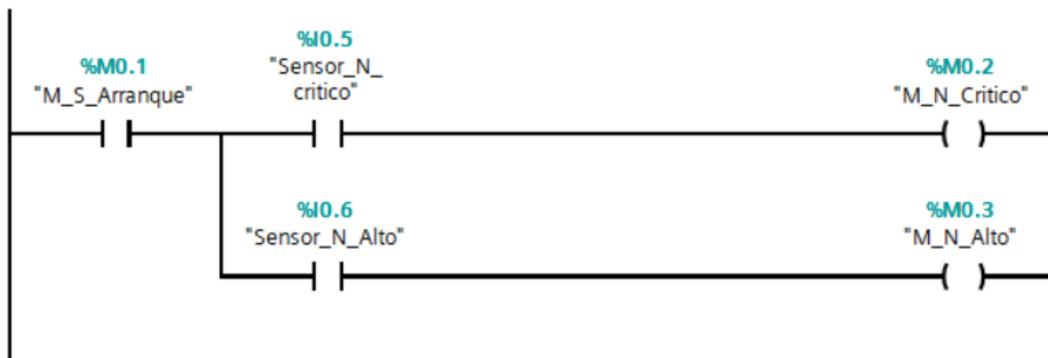
Segmento 3: selector modo manual y automatico

Comentario



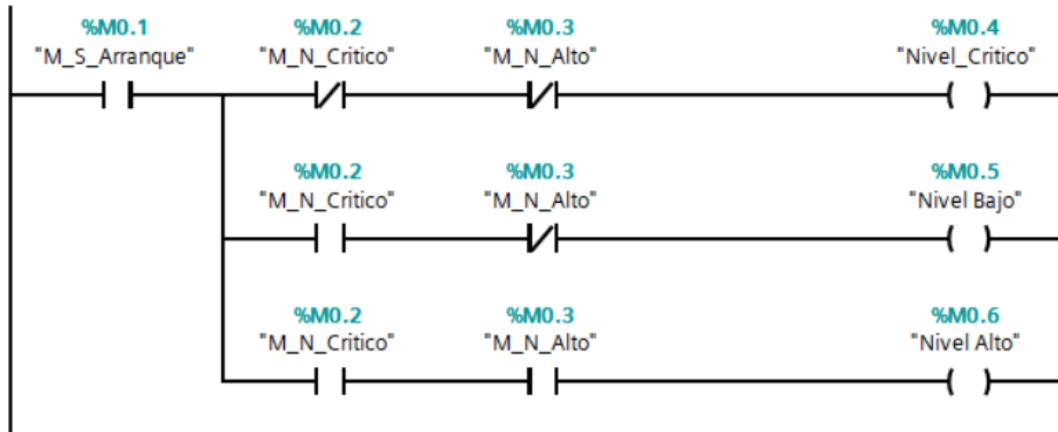
Segmento 4:

lectura de datos de sensores de nivel



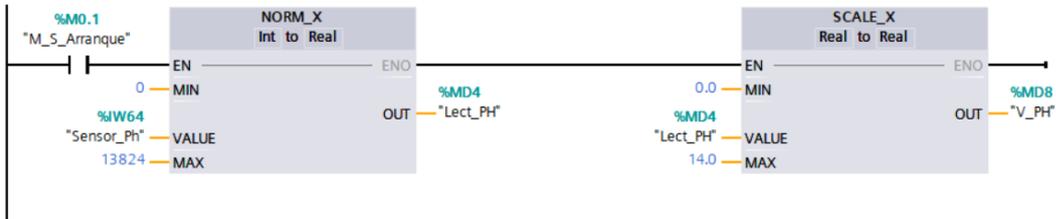
Segmento 5:

acondicionamiento de sensores de nivel



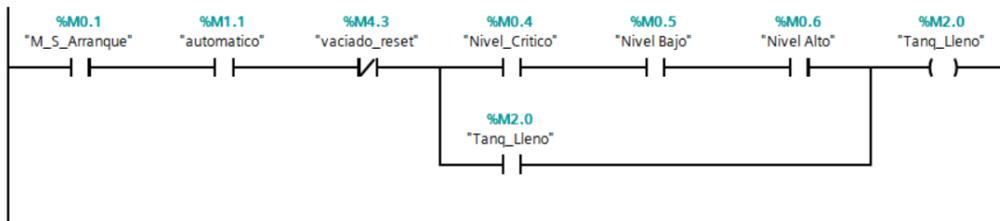
Segmento 6: Sensor de pH

Comentario



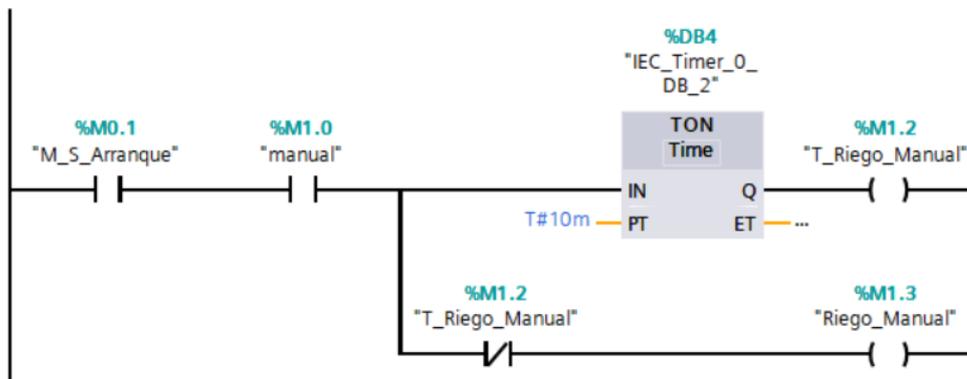
Segmento 7: memoria tanque lleno

Comentario



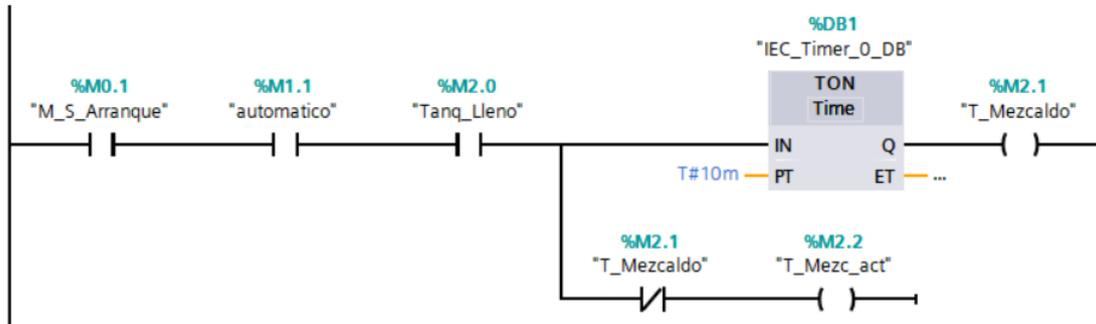
Segmento 8:

tiempo de riego en modo manual



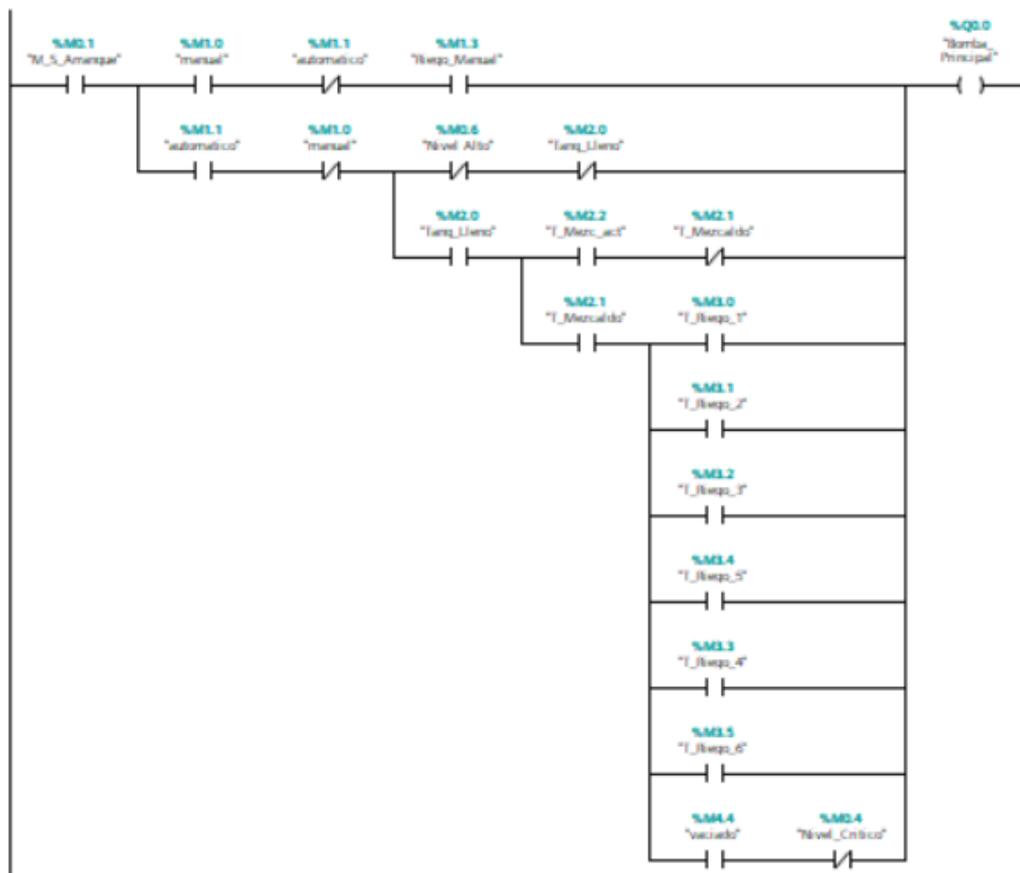
Segmento 9: MEZCLADO

Comentario



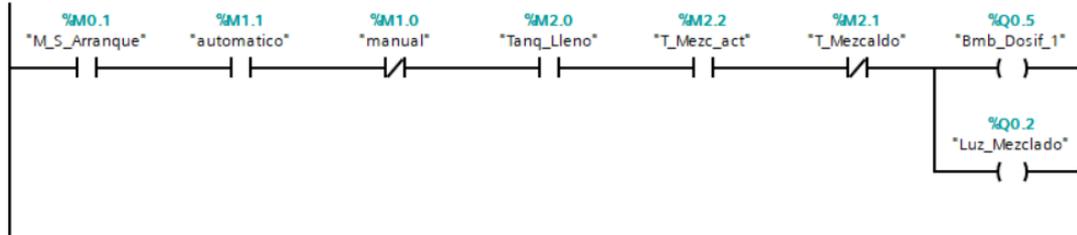
Segmento 10:

Comentario



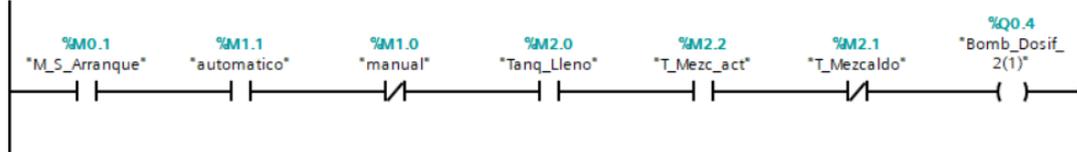
Segmento 11:

Comentario



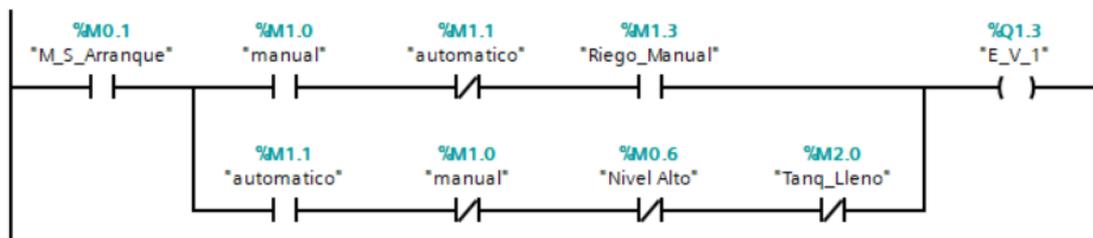
Segmento 12:

Comentario



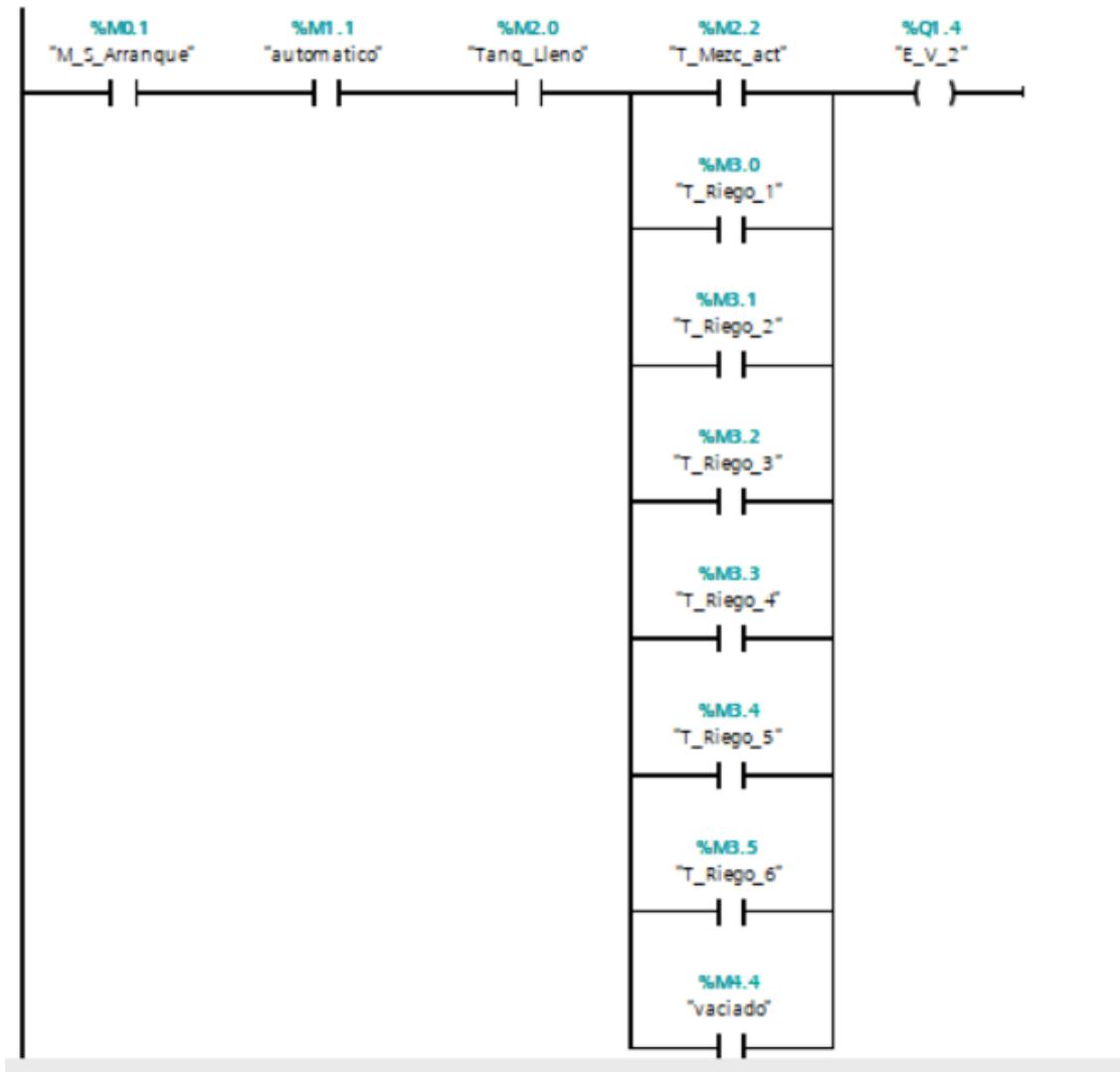
Segmento 13:

Comentario



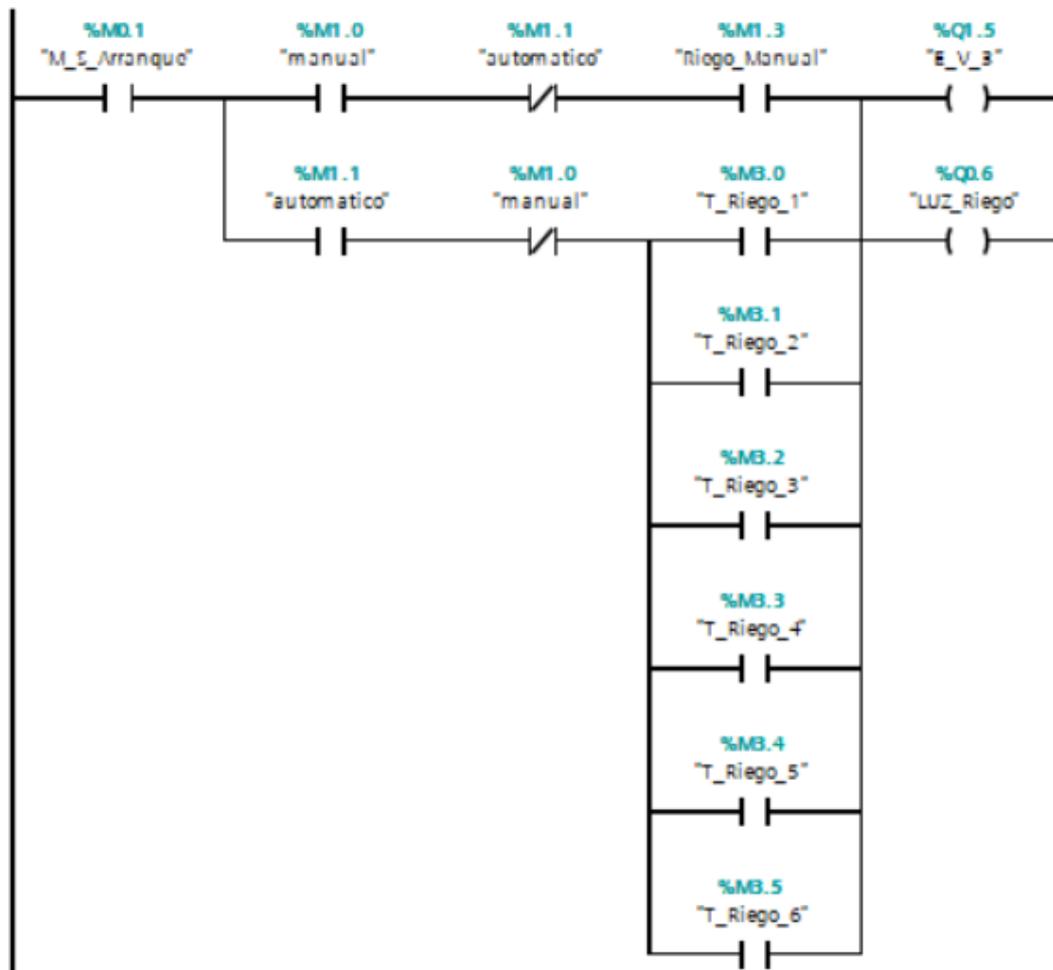
Segmento 14:

Comentario



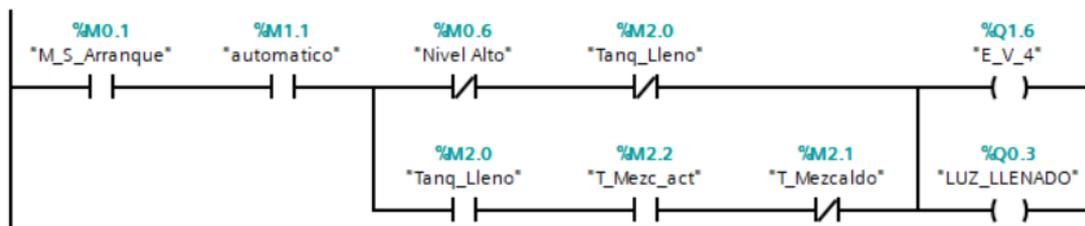
Segmento 15:

Comentario



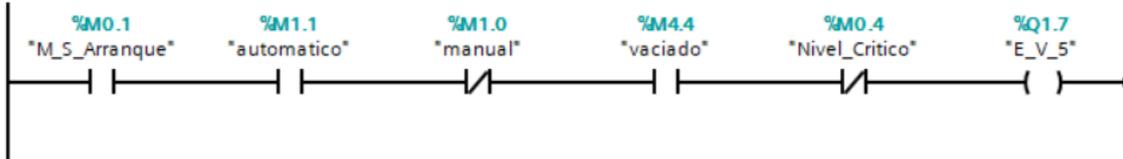
Segmento 16:

Comentario



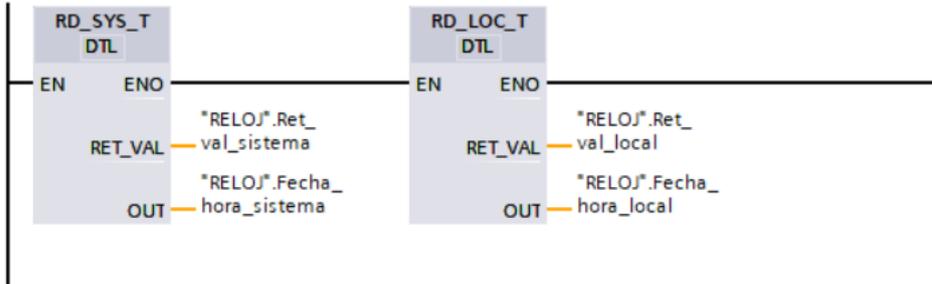
Segmento 17:

Comentario



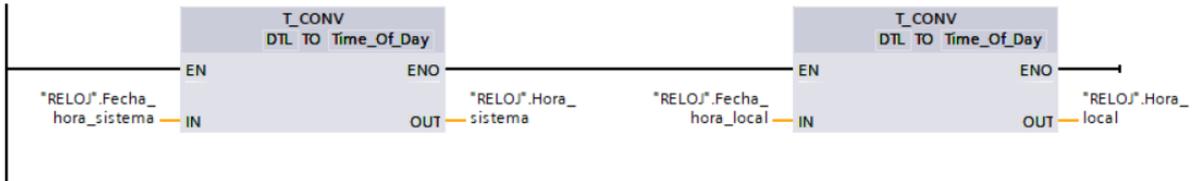
Segmento 18:

Comentario



Segmento 19:

Comentario



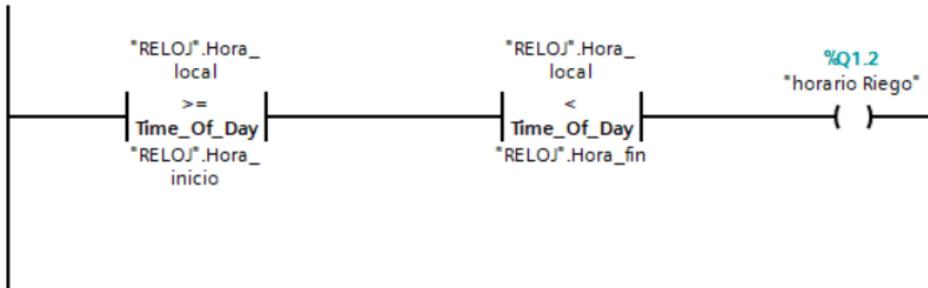
Segmento 20:

Comentario



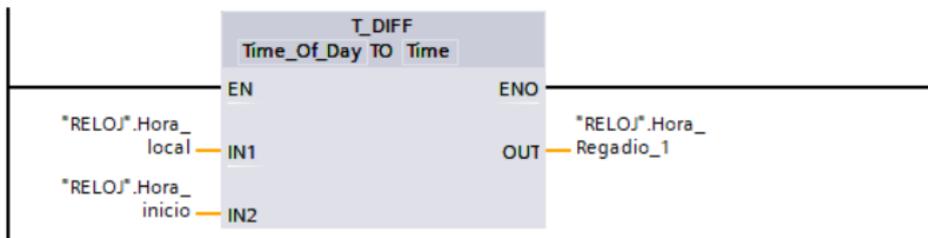
Segmento 21:

Comentario



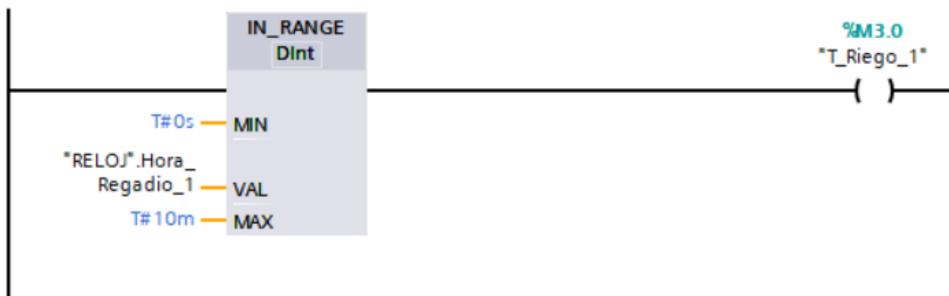
Segmento 22:

Comentario



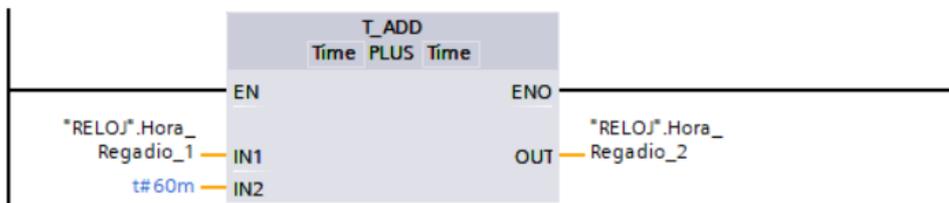
Segmento 23:

Comentario



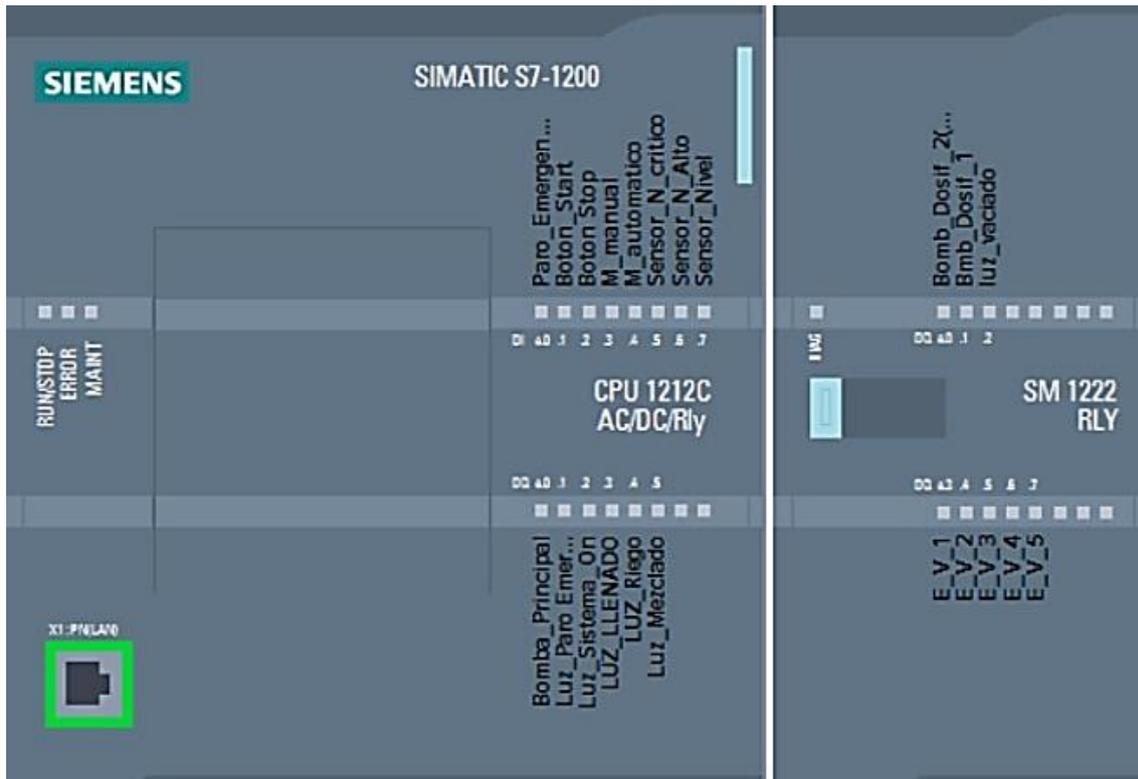
Segmento 24:

Comentario



Elaborado por: El investigador

Anexo J. Esquema general de configuración del PLC.



Elaborado por: El investigador

Anexo K. Configuración del Gateway

```
root@Tesis-Fabian: ~  
r.FirewallD1.policy (org.fedoraproject.FirewallD1.policy) in auto mode  
Created symlink /etc/systemd/system/dbus-org.fedoraproject.FirewallD1.service -  
/lib/systemd/system/firewalld.service.  
Created symlink /etc/systemd/system/multi-user.target.wants/firewalld.service -  
/lib/systemd/system/firewalld.service.  
Processing triggers for systemd (237-3ubuntu0.56) ...  
Processing triggers for man-db (2.8.3-2ubuntu0.1) ...  
Processing triggers for dbus (1.12.2-lubuntu1.3) ...  
Processing triggers for ureadahead (0.100.0-21) ...  
Processing triggers for libc-bin (2.27-3ubuntu1.6) ...  
root@Tesis-Fabian:~# systemctl status firewalld.service  
● firewalld.service - firewalld - dynamic firewall daemon  
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/firewalld.service; enabled; vendor preset  
   Active: active (running) since Tue 2022-10-04 18:28:37 UTC; 36s ago  
     Docs: man:firewalld(1)  
  Main PID: 11016 (firewalld)  
    Tasks: 2 (limit: 546)  
   CGroup: /system.slice/firewalld.service  
           └─11016 /usr/bin/python3 -Es /usr/sbin/firewalld --nofork --nopid  
  
Oct 04 18:28:36 Tesis-Fabian systemd[1]: Starting firewalld - dynamic firewall d  
Oct 04 18:28:37 Tesis-Fabian systemd[1]: Started firewalld - dynamic firewall da  
lines 1-11/11 (END)  
root@Tesis-Fabian:~#
```

Elaborado por: El investigador

```

root@Tesis-Fabian: ~
Processing triggers for libc-bin (2.27-3ubuntu1.6) ...
root@Tesis-Fabian:~# systemctl status firewalld.service
● firewalld.service - firewalld - dynamic firewall daemon
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/firewalld.service; enabled; vendor preset
   Active: active (running) since Tue 2022-10-04 18:28:37 UTC; 36s ago
     Docs: man:firewalld(1)
   Main PID: 11016 (firewalld)
      Tasks: 2 (limit: 546)
   CGroup: /system.slice/firewalld.service
           └─11016 /usr/bin/python3 -Es /usr/sbin/firewalld --nofork --nopid

Oct 04 18:28:36 Tesis-Fabian systemd[1]: Starting firewalld - dynamic firewall d
Oct 04 18:28:37 Tesis-Fabian systemd[1]: Started firewalld - dynamic firewall da
lines 1-11/11 (END)
root@Tesis-Fabian:~# bash <(curl -sL https://raw.githubusercontent.com/node-red/
linux-installers/master/deb/update-nodejs-and-nodered)

root user detected. Typical installs should be done as a regular user.
If you are running this script using sudo, please cancel and rerun without sudo.
--nodered-user can be used to specify the user otherwise installation will happen
n under /root.
If you know what you are doing as root, please continue.

Are you really sure you want to install as root ? (y/N) ? y

```

```

root@Tesis-Fabian: ~
Are you really sure you want to do this ? [y/N] ? y
Would you like to install the Pi-specific nodes ? [y/N] ? y
Running Node-RED install for user root at /root on ubuntu

This can take 20-30 minutes on the slower Pi versions - please wait.

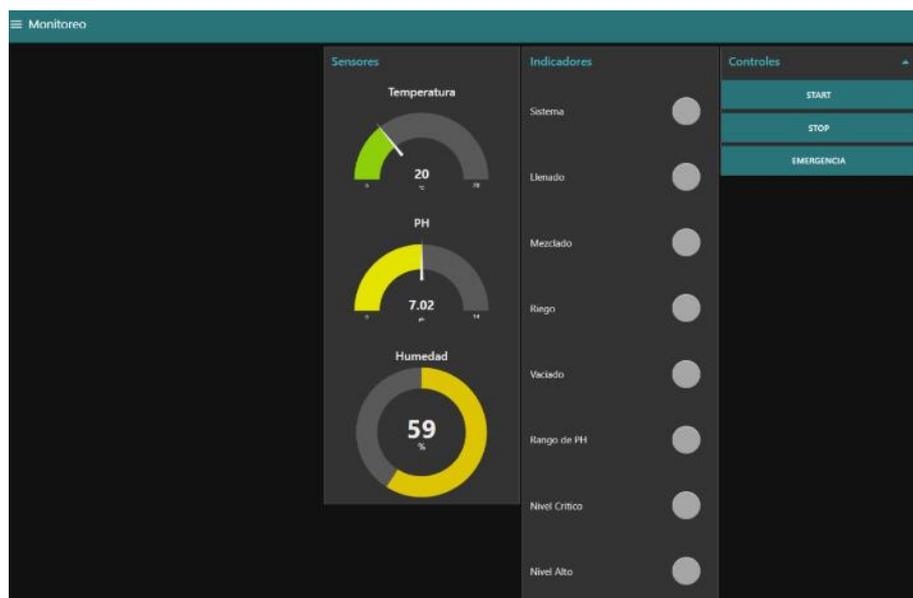
Stop Node-RED                               ✓
Remove old version of Node-RED               ✓
Remove old version of Node.js                ✓
Install Node.js 16 LTS                       ✓ v16.17.1  Npm 8.15.0
Clean npm cache                              ✓
Install Node-RED core                        ✓ 3.0.2
Move global nodes to local                   -
Npm rebuild existing nodes                   ✓
Install extra Pi nodes                       ✓
Add shortcut commands                       ✓
Update systemd script                        ✓

Any errors will be logged to /var/log/nodered-install.log

```

Elaborado por: El investigador

Anexo L. interfaz de visualización y monitoreo del Sistema.

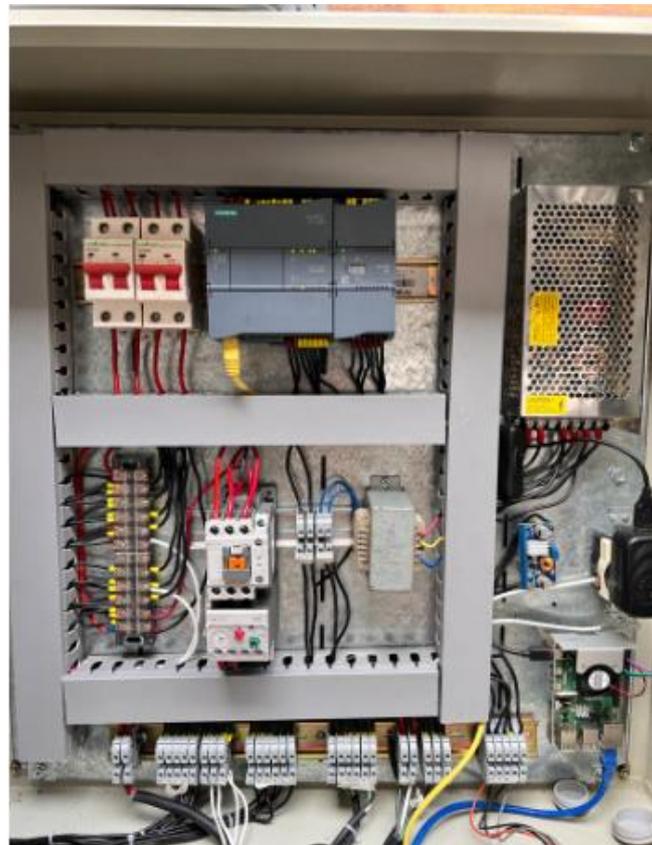


Elaborado por: El investigador

Anexo M. Montado final del tablero de control del sistema

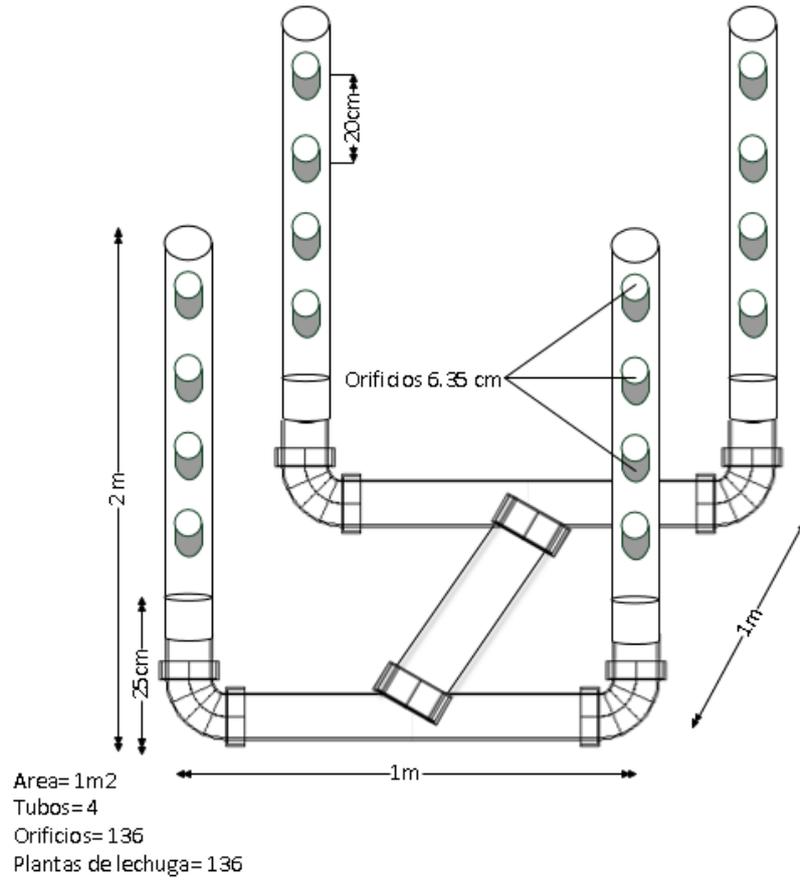


Elaborado por: El investigador



Elaborado por: El investigador

Anexo N. plano del diseño de la estructura aeropónica de cultivo vertical.



Elaborado por: El investigador

Anexo Ñ. Elaboración de la estructura aeropónica vertical



Elaborado por: El investigador



Elaborado por: El investigador

Anexo O. Instalación de los sensores en el taque principal



Elaborado por: El investigador

Anexo P. Pruebas de funcionamiento del sistema funcional completo.

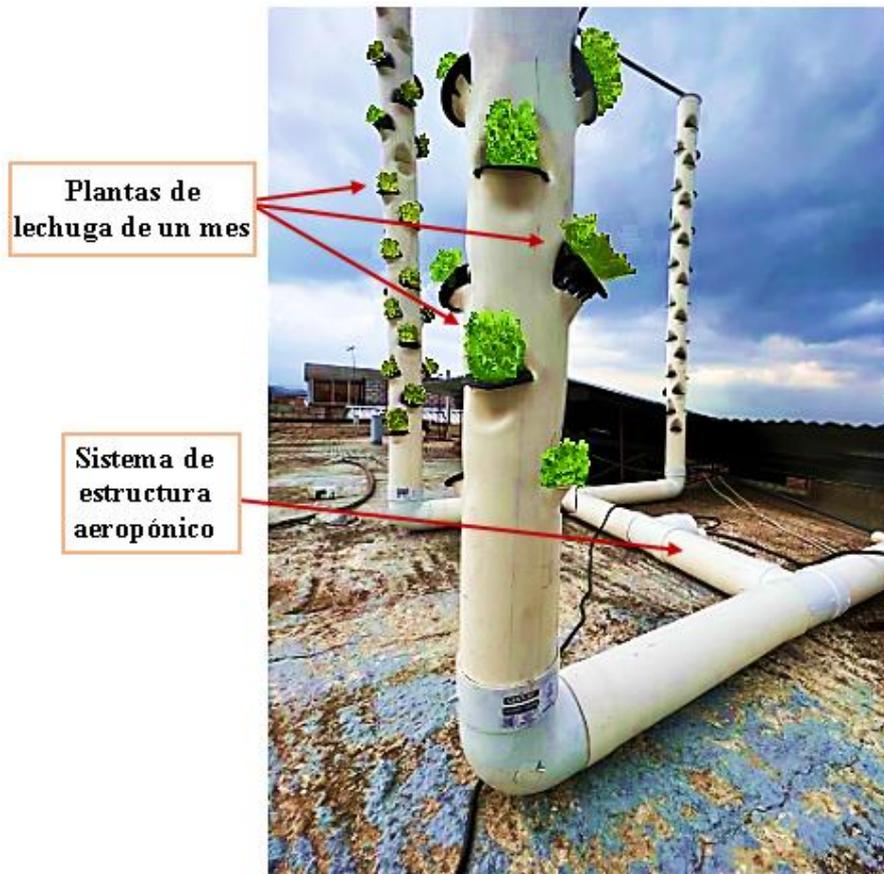


Elaborado por: El investigador



Elaborado por: El investigador

Anexo Q. Sistema funcional en la etapa final del cultivo de lechuga.



Elaborado por: El investigador