



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO POR
ASPERSIÓN MEDIANTE COMUNICACIÓN IOT**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Derick Israel Guambo Alvarado
Dave Cristhian Ordoñez Pilay
TUTOR: MSc. Nino Tello Vega Ureta

Guayaquil-Ecuador
2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Derick Israel Guambo Alvarado** con documento de identificación N° 0927150185 y **Dave Cristhian Ordoñez Pilay** con documento de identificación N° 0951269448; manifestamos que:

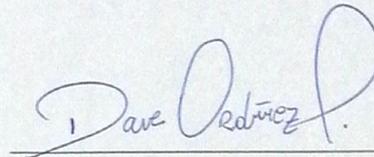
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 12 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Derick Israel Guambo Alvarado
0927150185



Dave Cristhian Ordoñez Pilay
0951269448

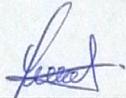
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Derick Israel Guambo Alvarado** con documento de identificación N° **0927150185** y **Dave Crithian Ordoñez Pilay** con documento de identificación N° **0951269448**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **DESARROLLO DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO POR ASPERSIÓN MEDIANTE COMUNICACIÓN IOT**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

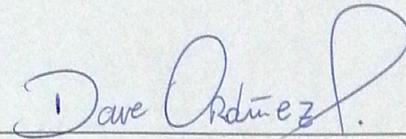
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Guayaquil, 12 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Derick Israel Guambo Alvarado
0927150185



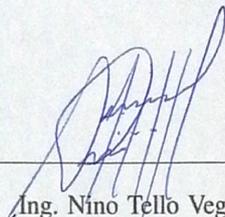
Dave Crithian Ordoñez Pilay
0951269448

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Nino Tello Vega Ureta**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana , declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO POR ASPERSIÓN MEDIANTE COMUNICACIÓN IOT**, realizado por **Derick Israel Guambo Alvarado** con documento de identificación N° **0927150185** y por **Dave Cristhian Ordoñez Pilay** con documento de identificación N° **0951269448**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 12 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Ing. Nino Tello Vega Ureta, MSc.
0801602160

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mi padre, madre, hermanos y enamorada, por ser de gran ayuda y apoyo durante el proceso de toda mi formación profesional, durante todo este tiempo nunca faltó un consejo para no desistir y seguir adelante, siendo una inspiración para seguir creciendo personalmente.

Derick Israel Guambo Alvarado.

Esta tesis, va dedicada para mis padres, hermanos y a todas las personas que creyeron en mí, qué día a día me daban consejos y me animaban a seguir adelante, jamás decaer y lograr todos mis objetivos, por ayudarme a forjar la persona que hoy en día soy y también para quienes anhelaban estar en este día pero no lograron alcanzar a verme cumplir mis sueños, gracias por haberme apoyado cuando más pudieron.

Dave Cristhian Ordoñez Pilay.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida, sabiduría y fuerzas para culminar mis estudios con éxitos, por la bendición de tener una familia y a mis padres aun presentes conmigo y aconsejarme en todo proceso que he pasado, a mis hermanos por cada apoyo y consejos, a mi enamorada por estar conmigo desde el inicio de mi carrera hasta el final.

Derick Israel Guambo Alvarado.

Agradezco primeramente a Dios, por permitirme llegar a este día, por bendecir mi camino, a mis maestros y compañeros de carrera por siempre apoyarme, por brindarme su mano cuando más los necesite, a mi compañero de tesis por haberme apoyado y finalmente a mi Tutor de Tesis, por habernos brindado consejos y estar siempre dispuesto a ayudarnos.

Dave Cristhian Ordoñez Pilay.

ÍNDICE

I.	Resumen	14
II.	Abstract	15
III.	Introducción	16
IV.	Problema	17
V.	JUSTIFICACIÓN	18
VI.	OBJETIVOS	19
	VI-A. OBJETIVO GENERAL	19
	VI-B. OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
VII.	MARCO HIPOTÉTICO	20
	VII-A. HIPÓTESIS	20
VIII.	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	21
	VIII-A. CARACTERÍSTICAS DEL PLÁTANO	21
	VIII-B. ASPECTOS CLIMÁTICOS PARA EL CULTIVO DEL PLÁTANO	21
	VIII-B1. TEMPERATURA	21
	VIII-B2. HUMEDAD RELATIVA	21
	VIII-B3. AGUA	21
	VIII-B4. LUMINOSIDAD	21
	VIII-C. SUELO	21
	VIII-D. TIPOS DE SUELOS	22
	VIII-E. INFILTRACIÓN HÍDRICA EN LOS SUELOS	22
	VIII-F. EVAPORACIÓN Y TRANSPIRACIÓN	22
	VIII-G. EVAPOTRANSPIRACIÓN	22
	VIII-H. HUMEDAD APROVECHABLE	23
	VIII-I. CAPACIDAD DE CAMPO (C.C)	23
	VIII-J. PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (P.M.P.)	23
	VIII-K. SISTEMAS DE RIEGO	23
	VIII-L. RIEGO POR ASPERSIÓN	23
	VIII-M. AUTOMATIZACIÓN	24
	VIII-M1. CONTROL EN LAZO CERRADO	24
	VIII-M2. CONTROL ON-OFF	25
	VIII-N. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN	25
	VIII-N1. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)	25
	VIII-N2. SENSOR DE HUMEDAD	25
	VIII-N3. SENSOR DE TEMPERATURA	26
	VIII-N4. SENSOR DE FLUJO	26
	VIII-N5. BOMBA	26
	VIII-N6. ELECTROVÁLVULAS	26
	VIII-N7. TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN	27
	VIII-N8. ASPERSORES	27
	VIII-Ñ. PANEL SOLAR	28
	VIII-O. MODULO CARGADOR DE BATERÍA	28
	VIII-P. REGULADOR DE VOLTAJE	28

VIII-Q.	BATERÍA DE LITIO	28
VIII-R.	HELTEC WIFI LORA 32	29
VIII-S.	RASPBERRY PI	29
VIII-T.	COMPONENTES ELÉCTRICOS EN UN SISTEMA DE RIEGO	30
	VIII-T1. INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	30
	VIII-T2. CONTACTOR	30
	VIII-T3. RELE TERMICO	31
	VIII-T4. CONDUCTORES ELECTRICOS	31
VIII-U.	PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN	31
	VIII-U1. PROTOCOLO DE COMUNICACION S7COMM	31
	VIII-U2. PROTOCOLO MQTT	32
	VIII-U3. MOSQUITTO	32
	VIII-U4. LORA	32
	VIII-U5. LORAWAN	33
VIII-V.	IOT	33
VIII-W.	ELEMENTOS QUE COMPONEN UN ECOSISTEMA IOT	34
VIII-X.	NODE-RED	34
IX.	METODOLOGÍA	35
	IX-A. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	35
	IX-B. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	35
	IX-C. POBLACIÓN Y MUESTRA	35
	IX-D. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	35
	IX-E. HERRAMIENTAS PARA EL PROCESO DE DATOS	35
X.	DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROTOTIPO	36
	X-A. ESTRUCTURA DE LA RED PARA TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE DATOS	36
	X-B. DISEÑO DE CIRCUITO PARA TRANSMISIÓN DE DATOS	37
	X-B1. FUENTE DE ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA	37
	X-B2. MODULO CARGADOR DE BATERÍA	37
	X-B3. REGULADOR DE VOLTAJE	38
	X-B4. MICROCONTROLADOR	38
	X-B5. SENSORES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA	38
	X-B6. VOLTÍMETRO DE CORRIENTE CONTINUA	39
	X-C. DISEÑO DE CIRCUITO PARA RECEPCIÓN DE DATOS	40
	X-C1. FUENTE DE ALIMENTACIÓN	40
	X-C2. MICROCONTROLADOR	41
	X-C3. SENSOR DE FLUJO	42
	X-D. DISEÑO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO	42
	X-D1. CONSTRUCCIÓN DE PCB PARA NODOS LORA	43
	X-D2. CONSTRUCCIÓN DE PCB PARA GATEWAY LORA	43
	X-E. DISEÑO DE CIRCUITO DE ELÉCTRICO	44
	X-E1. CIRCUITO DE FUERZA	44
	X-E2. CIRCUITO DE CONTROL	45
	X-F. DISEÑO DE CIRCUITO HIDRÁULICO	45

XI. SELECCIÓN DE MATERIALES	46
XI-A. SELECCIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS	46
XI-A1. SELECCIÓN DE SENSOR DE HUMEDAD	46
XI-A2. SENSOR DE TEMPERATURA	47
XI-A3. MICROCONTROLADOR	47
XI-A4. PANEL SOLAR	48
XI-A5. MODULO CARGADOR DE BATERÍA	49
XI-A6. REGULADOR DE VOLTAJE	49
XI-A7. FUENTE CONMUTADA DE 5 V	50
XI-A8. SENSOR DE FLUJO	50
XI-A9. RASPBERRY PI	51
XI-B. SELECCIÓN DE COMPONENTES HIDRÁULICOS	52
XI-B1. ASPERSORES	52
XI-B2. TUBERÍAS Y ACCESORIOS	52
XI-B3. ELECTROVÁLVULAS	52
XI-B4. BOMBA	53
XI-C. SELECCIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS	55
XI-C1. INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	55
XI-C2. CONTACTOR Y RELÉ TÉRMICO	56
XI-C3. SELECCIÓN DE PLC	57
XII. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO	58
XII-A. PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES	58
XII-A1. PROGRAMACIÓN NODOS LORA	58
XII-A2. PROGRAMACIÓN GATEWAY LORA	60
XII-B. ENSAMBLE DE NODOS LORA	62
XII-C. INSTALACIÓN DE PROGRAMAS EN RASPBERRY PI	63
XII-D. PROGRAMACIÓN EN NODE-RED	65
XII-E. PROGRAMACIÓN DE PLC LOGO! 8	68
XII-F. CONSTRUCCIÓN DE TABLERO ELÉCTRICO	70
XII-F1. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA HIDRÁULICO	70
XII-G. FRECUENCIA DE RIEGO	71
XIII. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	74
XIII-A. PRUEBAS DE SENSORES	74
XIII-B. PRUEBAS DE PROGRAMACIÓN	75
XIII-C. PRUEBAS ELÉCTRICAS	75
XIII-D. PRUEBAS HIDRÁULICAS	76
XIII-E. PRUEBAS COMUNICACIÓN	76
XIII-F. PRUEBAS DEL SISTEMA COMPLETO	77
XIV. RESULTADOS	78
XIV-A. RESULTADOS DE SENSORES	78
XIV-B. RESULTADOS DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	79
XIV-C. RESULTADOS DE LOS ELEMENTOS HIDRÁULICOS	79
XIV-D. RESULTADOS DE LA COMUNICACIÓN	79
XV. CRONOGRAMA Y ACTIVIDADES	80
XVI. PRESUPUESTO	81

XVII. CONCLUSIONES	82
XVIII.RECOMENDACIONES	83
XIX. ANEXOS	87
XIX-A. CIRCUITOS ELECTRÓNICOS Y ELÉCTRICOS	87
XIX-B. PROGRAMACIÓN DE PLC LOGO!8	89
XIX-C. CONSTRUCCIÓN DE TABLERO ELÉCTRICO	90
XIX-D. ENSAMBLE DE NODOS LORA	92
XIX-E. ENSAMBLE DE EQUIPOS HIDRÁULICOS	93
XIX-F. PROGRAMACIÓN DE GATEWAY LORA	95
XIX-G. PROGRAMACIÓN DE NODO LORA 1	103
XIX-H. PROGRAMACIÓN DE NODO LORA 2	109

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Plátano verde.	21
2.	Composición de los suelos.	22
3.	Sistema de riego por aspersión.	24
4.	Sistema de control.	24
5.	Lazo cerrado.	24
6.	Lazo cerrado.	25
7.	Controlador Lógico Programable	25
8.	Bombas para riego	26
9.	Electroválvulas	27
10.	Tuberías de conducción	27
11.	Panel solar	28
12.	Batería de Litio	29
13.	Microcontrolador	29
14.	Raspberry Pi	30
15.	Interruptor termomagnético	30
16.	Contactador	31
17.	Relé termomagnético	31
18.	Conductores electricos	31
19.	Protocolo MQTT	32
20.	Broker Mosquitto	32
21.	Comunicación LoRa	33
22.	LoRaWAN	33
23.	El internet de las cosas	34
24.	Software Node-RED	34
25.	Esquema del proceso de adquisición de datos.	36
26.	Circuito esquemático de sistema de carga.	37
27.	Modulo cargador de batería MCP73871.	37
28.	Regulador step up/step down 5 V.	38
29.	Circuito de la placa Heltec Wifi LoRa 32	38
30.	Conexión de sensores SHT10 y DS18B20	39
31.	Circuitos divisores de voltaje.	40
32.	Conexión de voltímetro.	40
33.	Fuente de alimentación conmutada.	41
34.	Conexión de los pines GPIO.	41
35.	Extensión de los pines.	42
36.	Bloque de terminales para sensores de flujo.	42
37.	PCB tipo shield para los nodos LoRa uno y dos.	43
38.	Vista 2D de PCB para Gateway LoRa.	44
39.	Circuito de fuerza.	44
40.	Circuito de control.	45
41.	Diseño hidráulico.	46
42.	Sensor de humedad SHT10.	47
43.	Sensor de temperatura DS18B20.	47
44.	Cargador de batería MCP73871.	49
45.	Módulo de regulador de voltaje S13V10F5.	50
46.	Fuente conmutada de 5 V.	50
47.	Sensor de flujo YF-S403	51
48.	Raspberry Pi 4B	52
49.	Electroválvula normalmente cerrada.	53

50.	Bomba de 3/4 HP	54
51.	Curvas y datos de la bomba	55
52.	Datos técnicos de interruptores termomagnéticos.	56
53.	PLC Logo! 8 12/24 RCE.	57
54.	Inicio de librerías.	58
55.	Obtención de temperatura.	58
56.	Obtención de humedad.	59
57.	Escalamiento de voltímetro.	59
58.	Transmisión de paquetes LoRa.	60
59.	Diagrama de flujo de Nodos finales LoRa.	60
60.	Inicialización de librerías.	61
61.	Parámetros para conexión WiFi.	61
62.	Programación para sensor de flujo.	61
63.	Diagrama de flujo de Nodo Gateway.	62
64.	Ensamble de nodos LoRa.	62
65.	Instalación de Node-RED en Docker.	63
66.	Inicio de Node-RED.	63
67.	Instalacion de Mosquitto Broker.	64
68.	Creación de dominio DNS.	64
69.	Creación de certificado SSL en NGINX.	64
70.	Inicio de Node-RED de manera segura.	65
71.	Lista de contenedores en Portainer.	65
72.	Registro de servidor MQTT en Node-RED.	66
73.	Programación final de Node-RED.	66
74.	Visualización del sistema de monitoreo.	67
75.	Programación para el diseño grafico del sistema de control.	67
76.	Visualización del diseño grafico del sistema de control.	68
77.	Diagrama de flujo de la programación del PLC.	68
78.	Programación de PLC.	69
79.	Configuración de horario de riego.	69
80.	Activación de protocolo S7COMM.	69
81.	Diseño esquemático de tablero eléctrico	70
82.	Construcción de tablero eléctrico	70
83.	Colocación de bomba y componentes	71
84.	Colocación de tubería de succión	71
85.	Prueba de sensores	74
86.	Prueba de tablero eléctrico	75
87.	Conexiones de tuberías	76
88.	Prueba de comunicación LoRa	76
89.	Prueba de conexión con Mosquitto	77
90.	Prueba de monitoreo	77
91.	resultado de comunicación IoT	79

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Alcance de aspersores	28
II.	Distancia entre pistas	43
III.	Ancho de pistas	43
IV.	Tabla comparativa de sensores de humedad.	46
V.	Tabla comparativa de sensores de temperatura.	47
VI.	Tabla comparativa sobre microcontroladores.	48
VII.	Consumo de corriente en nodos uno y dos.	48
VIII.	Parámetros de panel solar.	48
IX.	Comparación sobre módulos de carga.	49
X.	Comparación sobre reguladores de voltaje.	49
XI.	Comparación sobre fuentes de alimentación conmutadas.	50
XII.	Comparación sobre sensores de flujo.	51
XIII.	Selección de Raspberry Pi	51
XIV.	Aspersores para sistema de riego.	52
XV.	Parámetros técnicos de bomba 3/4 HP.	54
XVI.	Datos técnicos para contactor de 18A.	56
XVII.	Datos técnicos para relé térmico de 9 -13A.	57
XVIII.	Parámetros técnicos de controladores lógicos.	57
XIX.	Rango de humedad	66
XX.	Tabla de parámetros del suelo	71
XXI.	Umbral de riego	72
XXII.	Datos sin sistema de riego	78
XXIII.	Datos con sistema de riego	78
XXIV.	Cuadro de presupuesto total del proyecto	81

I. RESUMEN

El presente proyecto de investigación trata de realizar un sistema de riego automatizado por aspersión mediante comunicación IoT, debido a la necesidad presente en los agricultores de no tener un sistema de riego automatizado que les ayude a optimizar el agua al momento de regar. El enfoque que se tiene para el prototipo se da en el uso de tecnologías para la transmisión de datos de largo alcance y bajo consumo para el control del riego de manera local y remota. El sistema está compuesto por dos nodos LoRa que funcionan como "transmisores" para enviar los datos de las variables que influyen en el consumo del agua hacia un Gateway LoRa el cual funciona como "receptor" enviando la información a un servidor MQTT ubicado en la Raspberry Pi para dar paso al uso de Node-RED en la monitorización y control, donde la información se visualizará en un Dashboard, en el cual se diseñó una interfaz gráfica para poder visualizar en tiempo real el estado en que se encuentra el sistema de riego. La implementación del prototipo proporcionó una mejora al momento de realizar el regadío disminuyendo el uso de agua, con la ayuda de la automatización y la comunicación Iot.

Palabras claves: Comunicación IoT, aspersión, Sistema de Riego, LoRa, NODE-RED, MQTT, sensores, agricultura.

II. ABSTRACT

This research project tries to carry out an automated sprinkler irrigation system through IoT communication, due to the present need in farmers not to have an automated irrigation system that helps them optimize water when irrigating. The focus for the prototype is on the use of technologies for long-range data transmission and low consumption for local and remote irrigation control. The system is made up of LoRa nodes that work as "transmitters" to send the data of the variables that influence water consumption, to a LoRa Gateway which works as a "receiver" sending the information to an MQTT server located in the Raspberry Pi to make way for the use of Node-RED in monitoring and control, where the information will be displayed on a Dashboard, in which a graphic interface was designed to be able to visualize the status of the irrigation system in real time. The implementation of the prototype provided an improvement at the time of irrigation, reducing the use of water, with the help of automation and Iot communication.

Keywords: IoT communication, sprinkler, Irrigation System, LoRa, NODE-RED, MQTT, sensors, agriculture.

III. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas hubo un rápido avance en los Sistemas Agrícolas Inteligentes demostrando que la agricultura tiene una gran importancia a nivel mundial. En el pasado los sistemas de riego dependían de los molinos para regar en las fincas por métodos convencionales sin conocer las cantidades adecuadas de estos cultivos. Estos sistemas antiguos son una de las principales causas del desperdicio de grandes cantidades de agua y por lo tanto, destruyen algunos cultivos debido a la falta de cantidades adecuadas de agua.

Sin embargo, con los desarrollos tecnológicos recientes han surgido sistemas innovadores para el riego sin que el agricultor interfiera en el proceso de riego, por este motivo se ha propuesto el desarrollo de un sistema de riego automatizado por aspersión mediante comunicación IoT, la cual es una herramienta que ayudará de manera inteligente a realizar la irrigación, donde se implementaran nuevas tecnologías de comunicación que ayudarán con el control de la distribución del recurso hídrico.

Este proceso consta de cinco grandes etapas, donde las dos primeras etapas son las encargadas de obtener las variables ambientales que influyen en el cultivo y enviarlas mediante la comunicación LoRa, la tercera etapa recibe la información y la envía a un servidor MQTT dentro de una Raspberry Pi, para la cuarta etapa en la que se visualizará las variables por medio de un Dashboard y una interfaz gráfica, la última etapa utiliza el protocolo de comunicación S7COMM el cual controlará las entradas y salidas del PLC.

IV. PROBLEMA

Uno de los recursos naturales más importantes del planeta es el agua, dado que la mayoría de la flora y fauna depende y subsiste del él, por lo que el planeta en el estado actual que se encuentra y así mismo con los grandes cambios climáticos presentes, “es causante de variaciones en las etapas del agua, produciendo erosiones en el suelo, disminución en la filtración del líquido hacia el suelo, reducción de la humedad en la atmosfera, un aumento en la temperatura del agua dulce, todo dado a escala local, provincial, nacional e internacional” [2].

Otras de las causas es la coordinación no adecuada en el manejo de este recurso hídrico, lo que genera un desperdicio excesivo de agua en las plantaciones provocando inundaciones, de igual manera la eficiencia en el sistema de riego utilizado, se ve en desventaja por la escasez o el aumento de agua innecesaria, lo que en muchas ocasiones puede llegar provocar una disminución en la humedad del suelo; esto principalmente se ve reflejado en el sector agrícola, debido a la causa de la falta de conocimiento, además de capacitaciones sobre la eficiencia y uso de los tipos de sistemas y equipos de riego existentes, pueden provocar daños en los equipos eléctricos y de bombeo que no logran tener un control adecuado sobre el agua aplicada, así mismo se ve manifestado el gasto de dinero excesivo por equipos innecesarios para el riego en los cultivos.

Por otra parte, “la sequía y la lluvia son un problema grave en el desarrollo de los cultivos ya que son la principal limitación climática en la agricultura” [35], de modo que esto genera problemas con los regadíos y sembríos, falta de rendimiento en cultivos y producciones, pérdidas de tiempo al no poder cosechar lo planificado, estas pérdidas se ven reflejadas de manera económica para los agricultores. Las condiciones necesarias para poder enfrentarse a estos cambios climáticos son el cuidado del recurso hídrico con reservas como pozos, tanques elevados y cisternas; el cuidado de las fuentes naturales de agua, el uso de sistemas de irrigación que logren dar un mejor uso del agua.

Según [32] “el principal problema en los sectores agrícolas, es no contar con un sistema de irrigación automático, fiable y eficiente, que ayude al mejoramiento del consumo hídrico y la lectura de datos sobre estado del cultivo en lugares remotos”, por lo cual, el desconocimiento del estado de los cultivos en términos de las principales variables ambientales como la temperatura y humedad, no permite que se pueda controlar el medio en el que se desarrolla el cultivo, por ende una fácil visualización en tiempo real de las variables de temperatura y humedad es importante, ya que ayuda con la toma de decisiones en casos donde se presenten valores extremos para cada una de las variables mencionadas anteriormente.

V. JUSTIFICACIÓN

Vivimos en un mundo globalizado, donde las nuevas tecnologías no son impropias al cambio constante de evolución y desarrollo, por lo contrario, está en un avance continuo de innovación, los retos que se presentan hoy por hoy son precisamente estos; buscar estrategias que nos permitan enlazar estos tipos de tecnologías con los diferentes campos de acción como la agricultura y la industria.

El riego inteligente de sectores agrícolas y este nuevo proceso de agricultura digital 4.0 e Internet de las cosas (Iot) es muy conocido y usado principalmente por las grandes empresas extranjeras o sectores con una demanda mayor de producción, Según [40] “la automatización del trabajo agrícola actualmente está floreciendo como respuesta al cambio tecnológico, las oportunidades de nuevos métodos de cultivos automatizados, pasaron de ser usadas únicamente en cultivos de mayor magnitud a ser usadas en cultivos más pequeños”.

La necesidad de implementar este proyecto radica en ayudar a controlar y mejorar el consumo de agua al momento del riego y proteger los cultivos utilizando recursos tanto en hardware como software, que ayudaran al dispositivo encargado de obtener los datos en tiempo real del cultivo, con el fin de que así puedan comunicarse de manera remota, utilizando nuevas tecnologías como LoRa que ayuda con la comunicación a largas distancias, el protocolo de comunicación MQTT permite transferir los datos de los cultivos a la plataforma Node-RED para permitir la visualización en tiempo real, así mismo el control del PLC mediante un protocolo comunicación S7COMM, el cual se encarga del control de los elementos eléctricos de fuerza, por otro lado la energía que se usará, será suministrado por una celda fotovoltaica instalada en el dispositivo de recolección de datos.

Finalmente, el proyecto de investigación busca generar un impacto en el área agrícola del Ecuador, ayudando a impulsar a que se invierta de manera eficiente y segura en el avance tecnológico para poder brindar flexibilidad y funcionalidad a los procesos de riego en los sectores agrícolas grandes o pequeños.

VI. OBJETIVOS

VI-A. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema de riego automatizado por aspersión utilizando comunicación Iot, para optimizar el uso del agua aplicado a cultivos de plátano en una finca ubicada en el cantón Marcelino Maridueña, Ecuador.

VI-B. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las variables que influyen en el consumo de agua para el cultivo de plátano.
- Desarrollar el sistema mecatrónico que permita el control de la dosificación de agua.
- Monitorear las variables de humedad y temperatura mediante comunicación IoT.
- Verificar mediante pruebas de campo la optimización del consumo de agua.

VII. MARCO HIPOTÉTICO

VII-A. HIPÓTESIS

El desarrollo de un sistema de riego automatizado por aspersión con comunicación IoT en una finca ubicada en el cantón Marcelino Maridueña permite controlar las condiciones de desarrollo del cultivo, así mismo tener una visualización de las variables ambientales por medio de datos obtenidos por sensores de temperatura y humedad que ayuda con la gestión del agua.

VIII. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

VIII-A. CARACTERÍSTICAS DEL PLÁTANO

“El plátano es una planta herbácea de la familia Musáceas, como lo es la banana, su origen se da probablemente en las regiones tropicales del sur del continente Asiático” [21].

según [16] “los plátanos son uno de los cultivos más habituales en los países con climas tropicales y uno de los cuatro más importantes en términos globales, solo superado por los cítricos, las uvas y las manzanas”.

Figura 1. Plátano verde.



VIII-B. ASPECTOS CLIMÁTICOS PARA EL CULTIVO DEL PLÁTANO

VIII-B1. TEMPERATURA: Según [31] los plátanos necesitan un clima cálido y una humedad en el aire constante, necesitan temperaturas altas que oscilen entre 27 a 19 °C, siendo 27 °C la más óptima ya que las temperaturas menores de 27°C hacen que la producción de este fruto sea prolongada, retardando el crecimiento y desarrollo de la planta.

VIII-B2. HUMEDAD RELATIVA: [1] explica que “los plátanos necesitan una humedad relativa inferior al 80 %, ya que el porcentaje de humedad superiores, permiten el desarrollo de enfermedades en el cultivo”.

VIII-B3. AGUA: La implementación de agua en este cultivo en días soleados es de 25 litros aproximadamente, en días nublados se necesitan alrededor de 16 litros y en climas fríos se necesita entre 2.5 a 10 litros de agua, no obstante, regar en exceso puede provocar la putrefacción de la raíz [22].

VIII-B4. LUMINOSIDAD: Las condiciones de poca luz prolongan el ciclo vegetativo del banano, esto puede suceder, no solo debido a condiciones nubladas en algunas áreas con mayor altitud, si no también debido a la sombra excesiva en algunas áreas de la finca o debido a la alta densidad de siembra [31].

VIII-C. SUELO

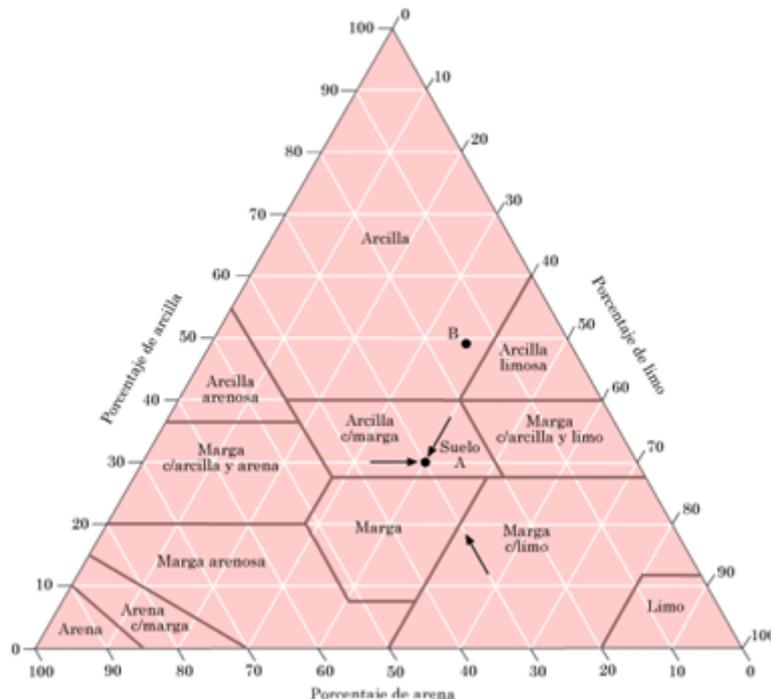
“El suelo se define como un cuerpo en el cual están presentes diversas capas, las cuales presentan diversos minerales, además con el cambio del clima y la topografía a través de los años esto da como resultado final el suelo” [14].

VIII-D. TIPOS DE SUELOS

Las características para poder diferenciar los suelos, se presentan textura, color y sus propiedades físicas y químicas.

[42] señala que “sabiendo la cantidad de arena, arcilla y limo, las cuales están presentes en el suelo se puede llegar a conocer el tipo de suelo”, a continuación en la “Figura 2” se presenta el triángulo para la descripción de los suelos.

Figura 2. Composición de los suelos.



VIII-E. INFILTRACIÓN HÍDRICA EN LOS SUELOS

Según [19] señala que “la humedad acumulada en el suelo afecta principalmente a su estructura, porque la cantidad adecuada de humedad en el suelo puede cubrir fácilmente las necesidades de agua de las plantas o cultivos, existen dos definiciones para la infiltración de agua, las cuales son: capacidad de campo y punto de marchitez permanente”.

VIII-F. EVAPORACIÓN Y TRANSPIRACIÓN

[41] señala que “la evaporación es un proceso por el cual el agua de un estado líquido a gaseoso o también como vapor de agua, esto se da a partir de una determinada temperatura en la cual el agua cambia su estado”.

Según [6] la transpiración es un proceso por el cual el agua se evapora, dándose especialmente en los tejidos de la hojas internamente.

VIII-G. EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración se presenta como consecuencia de la dificultad de separar la evaporación presente en el suelo y a su vez la transpiración de los cultivos de una superficie amplia y uniforme [6].

VIII-H. HUMEDAD APROVECHABLE

[27] señala que “la humedad aprovechable como la capacidad en la que el suelo retiene una determinada cantidad de agua, en otros términos la humedad aprovechable es la diferencia en la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente”.

VIII-I. CAPACIDAD DE CAMPO (C.C)

“La capacidad del suelo se puede definir como la cantidad hídrica que el suelo puede contener antes de la saturación y después de todas las pérdidas de agua por gravedad, dado que la tierra en ese momento no se podrá inundar y así mismo no podrá retener más agua, si luego de uno o dos días la humedad se ha estabilizado, entonces se estima que se encuentra con capacidad de campo” [19].

VIII-J. PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (P.M.P.)

Según [19] “se conoce como punto de marchitez o por sus siglas (PMP) a la humedad más baja que un suelo debe evitar tener, ya que en este punto las plantas o cultivos pierden su capacidad de absorber agua”.

VIII-K. SISTEMAS DE RIEGO

[18] señala que “un sistema de riego como el conjunto de estructuras que permiten el uso de agua y de productos químicos, de forma directa y específica; su principal objetivo es ahorrar agua y energía, para reducir los daños al medio ambiente el suministro de agua a la que los cultivos debe proporcionarse tiene que ser la necesaria, ya que si se suministra un exceso de agua en los cultivos se puede experimentar problemas de inundación o casos de humedad extrema”.

VIII-L. RIEGO POR ASPERSIÓN

[41] señala que “el riego por aspersión es un sistema que se utiliza para aplicar el agua mediante tuberías donde el flujo es trasladado a presión específica, que al final llegan a los aspersores, los cuales producen gotas de diferentes tamaños para poder controlar la cantidad necesaria en forma de lluvia”.

(MUNDORIEGO, 2022) señala que “las ventajas que tiene el riego por aspersión es que es el método más común en la agricultura con una eficiencia del 85 %, ya que ayuda a cubrir grandes áreas en los terrenos y se puede ajustar la potencia y dirección de los aspersores, “otra de las ventajas más significativas es que este sistema se puede automatizar y la vida útil de es larga duración” (Neves, 2021).

Según [24] “las desventajas del uso de este sistema, es que requiere de una importante colocación de los aspersores ya que una incorrecta ubicación puede dar paso al fácil desperdicio de agua cuando no se realiza una correcta instalación, por otro lado, la humedad que se da en las raíces también se da en los alrededores, lo que provoca el crecimiento de hongos o enfermedades en los cultivos”.

Figura 3. Sistema de riego por aspersión.

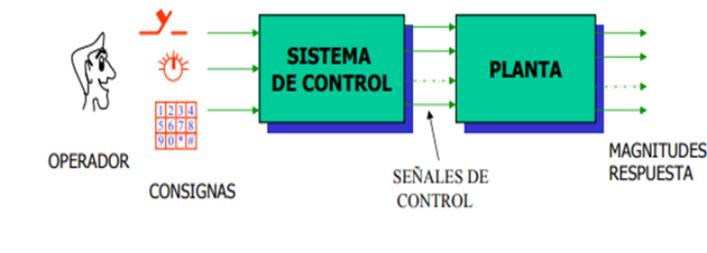


VIII-M. AUTOMATIZACIÓN

[30] explica que “la automatización es un componente esencial de cualquier modelo que se ocupe de la implementación de cualquier tipo de elemento que involucre robots, funcionando de manera adecuada gracias a sensores, procesadores, los actuadores realizan diferentes procesos, mecánicos e informáticos a través de un programa”.

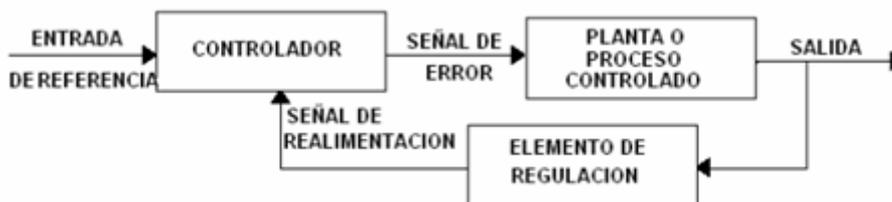
Figura 4. Sistema de control.

SISTEMA DE CONTROL



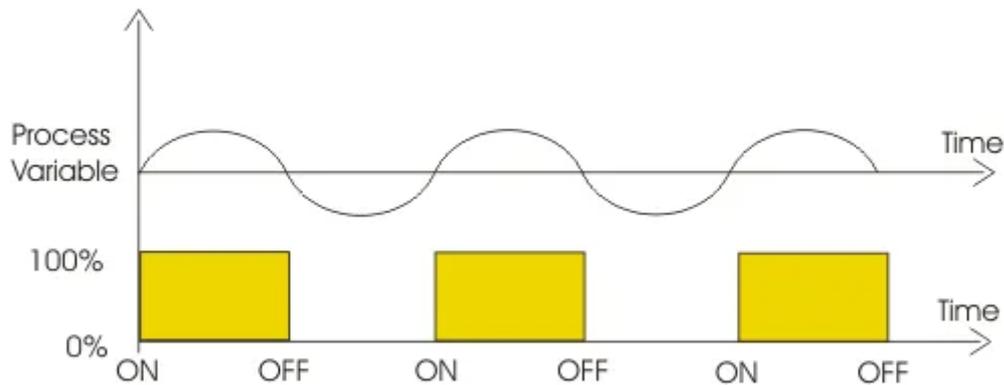
VIII-M1. CONTROL EN LAZO CERRADO: Un sistema de control en lazo cerrado es en el que la señal de salida presenta un efecto directo en el proceso, [23] explica que “son sistemas de control retroalimentados, ya que la señal de entrada y salida se la denomina como señal de error, esto permite que la señal actúe sobre el sistema de manera que lleve a la salida el valor establecido”.

Figura 5. Lazo cerrado.



VIII-M2. CONTROL ON-OFF: Un controlador ON-OFF, también es conocido como un comparador, ya que compara el valor de la señal de entrada con un valor de referencia, esto hace cambiar de estado a la señal de salida, por otro lado la señal de salida de un controlador de ON-OFF solo puede tener dos valores: máximo y mínimo. Uno de ellos enciende y el otro apaga el dispositivo de salida.

Figura 6. Lazo cerrado.



VIII-N. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

VIII-N1. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC): Se conoce como controlador lógico programable (PLC) a un dispositivo electrónico utilizado para realizar tareas automáticas específicas o en cualquier tipo de proceso de automatización de mayor tamaño.

“Un PLC posee varias entradas y salidas tanto digitales como analógicas, que realizan una tarea en específico, mediante un software que permite usar distintos lenguajes para programar y actualizar las entradas y salidas físicas del controlador” [5].

Figura 7. Controlador Lógico Programable



VIII-N2. SENSOR DE HUMEDAD: [37] plantea que “los sensores de humedad son equipos electrónicos analógicos y digitales que consienten en detectar el porcentaje de agua en el aire o superficie, también es conocido por higrómetro que es su nombre técnico, es un equipo indispensable en los sistemas de riego automatizados y la

meteorología”.

VIII-N3. SENSOR DE TEMPERATURA: “Un sensor de temperatura es un componente eléctrico y electrónico que manifiesta las variaciones de temperatura en el aire, suelo o agua en una señal analógica o digital, que es enviado hasta otro sistema electrónico, donde la señal lleva diversos cambios para la regulación de la temperatura” [39].

VIII-N4. SENSOR DE FLUJO: Los sensores de flujo o caudalímetro son equipos que ayudan inspeccionar el comportamiento que tienen los fluidos al pasar por las tuberías. Según [43] “el principio de funcionamiento reside en una turbina, la cual gira dependiendo de la velocidad del fluido, la rotación es localizada mediante un captador magnético el cual emite un pulso eléctrico a una cierta frecuencia proporcionales al flujo volumétrico, este pulso puede ser leído por las entradas digitales de un microcontrolador o un PLC”.

VIII-N5. BOMBA: [15] señala que “las bombas utilizadas para el riego son herramientas que ayudan a proporcionar la fuerza adecuada para que el caudal de agua sea dirigido a la dirección establecida en los sistemas de riego, por otro lado, como se trata de una herramienta que requiere de fuerza, se necesita de una electrobomba que funciona mediante un motor monofásico o trifásico, dependiendo principalmente de la potencia que se necesite”.

Figura 8. Bombas para riego



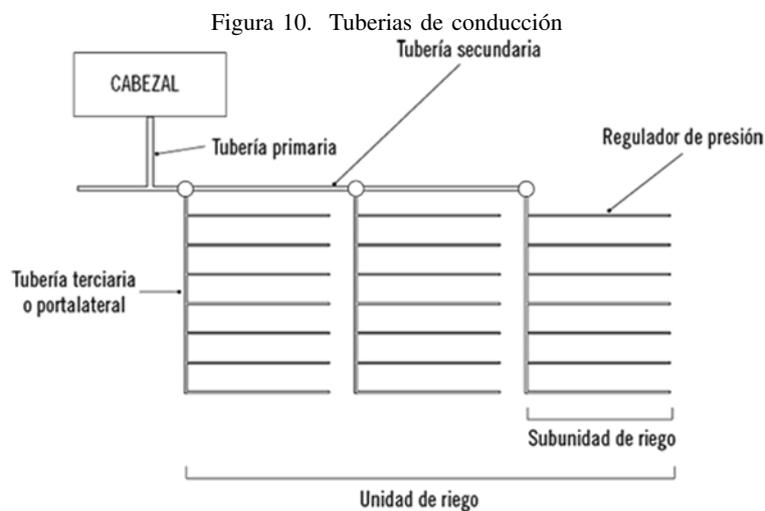
VIII-N6. ELECTROVÁLVULAS: [45] plantea que “las electroválvulas son dispositivos diseñados para controlar el ON-OFF del paso de líquidos, se pueden utilizar con agua, gas, aire, entre otros. Las válvulas pueden ser de diferentes vías, desde dos hasta cinco vías, así mismo están construidas en acero inoxidable o PVC”.

Figura 9. Electroválvulas



VIII-N7. *TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN* : “Las tuberías normalmente usadas para el suministro de agua para un riego por aspersión constituyen de una red de diversos componentes” [26].

- Tubería primaria
- Tubería secundaria
- Tubería terciaria
- Tubería porta aspersores.



VIII-N8. *ASPERSORES*: [44] plantea que “un aspersor es un equipo por el cual el agua o líquidos, son sometidos a una presión, permitiendo expulsar el agua en forma de gotas que se esparcen de forma uniforme sobre el terreno o cultivo; el alcance que tienen los aspersores normalmente es variado, esto se debe a la boquilla por la que se expulsa el agua”, según el alcance de los aspersores se dividen en cuatro grupos:

Tabla I
ALCANCE DE ASPERSORES

Tipos de aspersores	Alcance
Aspersores de corto alcance	4 a 7 metros
Aspersores de alcance medio	6 a 12 metros
Aspersores de alto alcance	12 a 18 metros
Cañones de riego	Mayor a 25 metros

VIII-Ñ. PANEL SOLAR

Los paneles solares o celdas foto voltaicas son dispositivos formados por metales que son sensibles a la luz solar dado que sueltan partículas cuando los rayos del sol irradian sobre ellos, creando así energía eléctrica, según [7] “los paneles solares consisten en celdas hechas de silicio puro a las que se les han agregado impurezas de ciertos elementos químicos, de la cuales cada una puede producir una corriente que va entre dos a cuatro amperios y un voltaje directo que cambia de los 0.46 voltios a 0.48 voltios”.

Figura 11. Panel solar



VIII-O. MODULO CARGADOR DE BATERÍA

Los modulos cargadores de bateria son dispositivos que están elaborados para suministrar una carga lineal completamente integrada para compartir la carga del sistema y la gestión de la carga de una batería de litio; este módulo puede establecer una carga de baterías la cuales pueden estar compuestas por celdas individuales, una de las ventajas con las que consta es los modos de corriente y tensión que son constantes en las operaciones de carga para un sistema, estos módulos obtienen energía principalmente de una fuente de alimentación de entrada como puede ser un panel fotovoltaico o un fuente de 5 V a través de un puerto micro USB.

VIII-P. REGULADOR DE VOLTAJE

Un regulador de voltaje, también denominado convertidores de Dc a Dc, estos ayudan a convertir voltajes de entrada más altos y bajos en una salida regulada por el usuario o de manera fija, los voltajes de entrada varían dependiendo de cada fabricante.

VIII-Q. BATERÍA DE LITIO

Según [28] “las baterías de litio o conocidas comúnmente como baterías de Li-Ion es un equipo con el cual se puede almacenar y proveer energía, en la actualidad son los equipos más usados a nivel mundial para almacenar energía, ya que se utilizan en diversos dispositivos electrónicos, las baterías de litio pueden alcanzar 1000 ciclos máximo de operación superando a los diferentes tipos de baterías”.

Figura 12. Bateria de Litio



VIII-R. HELTEC WIFI LORA 32

El equipo Heltec Wifi LoRa 32 es un microcontrolador desarrollado por la compañía Heltec Automation, este dispositivo está orientado a IoT, esta tarjeta usa un chip SX1276 de la compañía Semtech, el cual está especializado para manejar las comunicaciones LoRa, su funcionamiento está principalmente basado en el chip ESP32 con sus funciones de wifi.

“El chip Esp32 es una solución todo en uno, ya que no solo posee comunicación inalámbrica, si no también proporciona un procesador que contiene interfaces para poder conectarse con varios periféricos que puede ir desde sensores táctiles, sensores hall, Ethernet, entre otros” [4].

Figura 13. Microcontrolador



VIII-S. RASPBERRY PI

“La Raspberry pi es un ordenador de forma compacta de fácil acceso por su bajo costo, está destinado al constante desarrollo para lograr que la informática sea accesible para cada usuario” [38]. Este ordenador trabaja con un sistema operativo Raspberry Pi OS, el cual es un sistema operativo libre ideal para el aprendizaje de programación y la electrónica.

Figura 14. Raspberry Pi



VIII-T. COMPONENTES ELÉCTRICOS EN UN SISTEMA DE RIEGO

VIII-T1. **INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO:** [33] explica que “un interruptor termomagnético o también denominado como llave térmica, es un artefacto capaz de interrumpir el paso de la corriente eléctrica de un circuito cuando este sobrepasa los valores máximos, el funcionamiento consiste en dos de los efectos que son producidos por el paso de la corriente dentro de un circuito eléctrico los cuales son el efecto magnético y térmico”, así mismo el dispositivo consta de dos partes, un electroimán y una lámina de una material bimetálico que está conectado en serie y por la cual pasa la corriente que está dirigida a la carga.

Figura 15. Interruptor termomagnético



VIII-T2. **CONTACTOR:** El contactor es un equipo eléctrico que permite cerrar o abrir circuitos en los cuales intervienen corrientes altas, los contactores son muy similares a los relés, la diferencia radica en que estos pueden manejar niveles de corriente mucho más altas que los relés estándar, el funcionamiento implica aplicando un voltaje a la bobina, lo cual crea un campo electromagnético que se encarga de mover los contactos a la posición y así completa el circuito, así mismo cuando el voltaje es quitado, los contactos pasaran a estar normalmente abiertos y el circuito se desconectara. “Los contactores se catalogan en diferentes aspectos de acuerdo con su construcción, condición, capacidad y otros factores importas a considerar, por lo cual existen contactores electromagnéticos, electromecánicos, neumáticos, entre otros” [12].

Figura 16. Contactor



VIII-T3. RELE TERMICO: Según [3] “un relé térmico o también conocido como relé térmico de sobre carga, es un dispositivo electromecánico, el cual está diseñado para la protección de motores eléctricos procurando dar una mayor durabilidad cuidándolos de las sobre cargas”.

Figura 17. Relé termomagnético



VIII-T4. CONDUCTORES ELECTRICOS: Los conductores eléctricos son elementos los cuales facilitan y permiten el flujo de la corriente, los cuales pueden ser de diferentes materiales como aluminio, cobre y plata, es por eso por lo que en el proceso de manufactura se tiene que optar por materiales de altos niveles de conductividad, los conductores por lo general son de una baja resistencia eléctrica pero deben ser rígidos o flexibles [34].

Figura 18. Conductores electricos



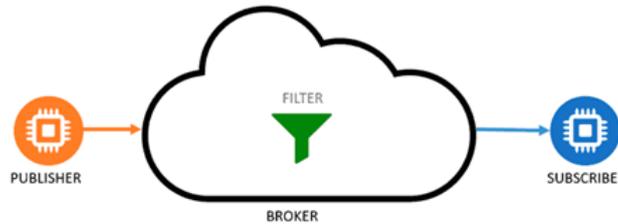
VIII-U. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

VIII-U1. PROTOCOLO DE COMUNICACION S7COMM: El protocolo de comunicación S7Comm es un protocolo propio de la compañía Siemens, la cual se ejecuta entre los controladores lógicos programables de la serie Siemens S7-300/400/Logo! 8, que se encuentran conectados dentro de una misma red, este protocolo viene integrado dentro de los sistemas operativos de los equipos [47].

Es utilizado junto con la programación del PLC, el intercambio de datos entre PLCs, el acceso a los datos del PLC para fines de diagnóstico mediante el puerto TCP 102, con este protocolo se han realizado una gran variedad de implementaciones en diferentes lenguajes de programación y plataformas.

VIII-U2. PROTOCOLO MQTT: MQ Telemetry Transport (MQTT), es un protocolo de comunicación para transporte de datos M2M (machine to machine), “el funcionamiento de este protocolo otorga un servicio de mensajería tipo push con un patrón publicador/suscriptor manteniendo la comunicación abierta, en este tipo de base los clientes se deben conectar con un servidor central a cual se lo denomina broker” [20].

Figura 19. Protocolo MQTT



VIII-U3. MOSQUITTO: Mosquitto es un broker de mensajes que está configurado para realizar una función como servidor de código abierto, implementa las versiones más actuales del protocolo MQTT, es posible ejecutarse en cualquier dispositivo electrónico inteligente, gracias a que proporciona un método ligero que ayuda con el envío de los mensajes utilizando un modelo de publicación/suscripción, lo cual lo convierte en el método más adecuado para el uso del IoT, para el intercambio de mensajes de los sensores de baja potencia, así mismo de dispositivos móviles, ordenadores embebidos o microcontroladores [13].

Figura 20. Broker Mosquitto



VIII-U4. LORA: [9] define que “LoRa es una tecnología de señal inalámbrica muy semejante al wifi, LTE, entre otras; esta tecnología de modulación se la conoce en inglés como Chirp Spread Spectrum, es una tecnología perfecta para comunicaciones a largas distancias y para redes IoT en las que requieren sensores que no dispongan de energía eléctrica”.

“Por otro lado LoRa tiene grandes aplicaciones como lo es: para las ciudades inteligentes, lugares con muy poca conexión como en las áreas agrícolas o ganaderas y así mismo para construir redes privadas en las que se usen sensores y actuadores” [9]. Además cuenta con frecuencias de trabajo que varían en cada continente, a continuación se muestra una lista de las frecuencias:

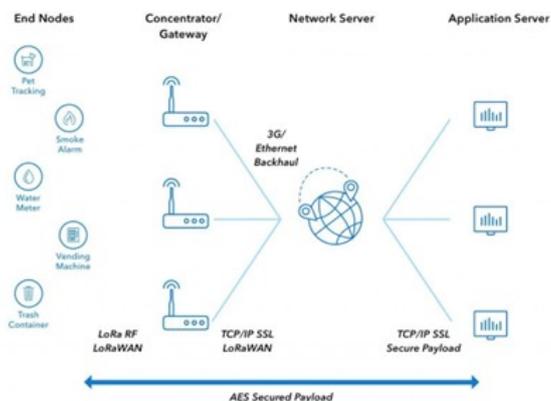
- 915 (MHz) en América
- 868 (MHz) en Europa
- 433 (MHz) en Asia

Figura 21. Comunicación LoRa



VIII-U5. LORAWAN: [9] señala que “LoRaWAN es un protocolo de red en el cual se hace uso de la tecnología LoRa, es ideal para redes de baja potencia y gran apertura, para comunicar y administrar los dispositivos LoRa se emplea una red LPWAN (Low Power Wide Area Network)”. La estructura con la que cuenta este protocolo se basa en nodos finales y gateways, en los cuales los gateways (receptores) son los encargados de recibir y analizar la información que proviene de los nodos finales, por otro lado los nodos (transmisores) son los que envían la información dada por los sensores hacia el Gateway principal.

Figura 22. LoRaWAN



VIII-V. IOT

“El internet de las cosas o Internet of Things(IoT), es el proceso que permite agrupar e interconectar dispositivos a través de una red, esta puede ser una red privada o una red con acceso a internet, el tipo de dispositivos que usan pueden ser desde sensores hasta dispositivos mecánicos, donde cada dispositivo puede interactuar con los demás” [29].

Figura 23. El internet de las cosas



VIII-W. ELEMENTOS QUE COMPONEN UN ECOSISTEMA IOT

[11] señalan que “el Internet de las cosas ha permitido a tener una nueva perspectiva en los sistemas y tecnologías de comunicación ya existentes, el objetivo principal es tener comunicación en cualquier lugar y tener información en tiempo real dada por los dispositivos”.

[17] explica que “un ecosistema IoT presenta una variedad de componentes que permiten a las empresas y los consumidores conectarse a sus dispositivos”, estos componentes contienen:

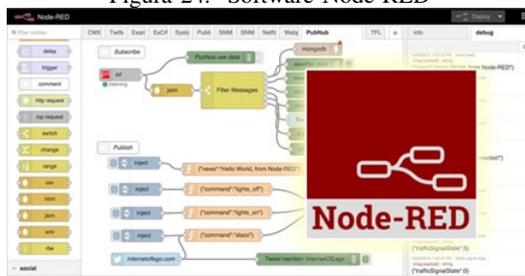
- Sensores y actuadores
- Conectividad
- Nube IoT
- Análisis y gestión de datos
- Dispositivos e Interfaz

VIII-X. NODE-RED

[36] señala que “Node-RED es un software de código abierto orientado a la programación visual, la cual es implementada en módulos controladores hardware, esto se logra mostrando las funciones de una forma visual”, para lograr una programación sin escritura, por otro lado el software puede ser instalado en ordenadores con Windows, Linux, o servidores que se encuentran en la nube.

“Así mismo es una herramienta perfecta para equipos que se dedican al trabajo industrial, donde los equipos necesitan comunicarse entre sí, tiene un enfoque orientado al IoT gracias a su motor de flujos, que permite servicios a través de protocolos de comunicación como MQTT, Modbus TCP/IP, etc.” [36].

Figura 24. Software Node-RED



IX. METODOLOGÍA

IX-A. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta que el objetivo de estudio será la automatización de un sistema de riego por aspersión con comunicación del internet de las cosas (IoT), se recurrió a un diseño y estudio experimental, dado que se evalúan los efectos del cambio climático sobre los cultivos y se efectúa un manejo para el control de dichos cambios climáticos.

[46] explica que el diseño experimental es una técnica que consiste en la observación y manipulación intencionada de una o varias variables independientes que son controladas por condiciones rigurosas, esto con el propósito de establecer el efecto de una variable como consecuencia de alterar otra variable.

IX-B. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación será diseñado utilizando el método de investigación experimental, donde se podrá manipular varias variables con el que se obtendrá la información en tiempo real, para el accionamiento del sistema de riego, así mismo será utilizado el método deductivo cuando se obtengan los datos finales para poder determinar los rangos de temperatura y humedad específicos para la irrigación del cultivo.

[8] señala que "el método deductivo trata de la orientación que va de lo general a lo específico, en otras palabras, este enfoque parte de una proposición general del cual se van desglosando partes o elementos más específicos".

IX-C. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población en la que este estudio estará enfocada será en el sistema de riego usado por los agricultores de una finca ubicada en el recinto la Isla, del cantón Marcelino Maridueña, para ayudar a desarrollar y mejorar su sistema de riego. De este modo se demuestra que la ingeniería, la automatización y las nuevas tecnologías como el IoT puede ser aplicada en zonas abiertas.

Según [25] "la población es la comprensión de la totalidad de los sujetos u objetos a los cuales va a investigar, la selección se da en función a ciertas características que ven la obtención de la información de manera relevante para realizar el estudio del problema".

IX-D. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Una vez que la investigación está en marcha, es inevitable considerar los métodos, las técnicas y herramientas que aseguran el hecho práctico la investigación, donde el método representa el camino a seguir. En esta investigación, por esta razón técnica recopilación de datos de información es una etapa donde los datos son examinados y transformados con el propósito de resaltar información útil, sugerir conclusiones y apoyar la toma de decisiones, una vez establecido el problema, las herramientas utilizadas para este proyecto serán la investigación exploratoria en artículos científicos, revisando información de los libros y el sitio web de la organización para recopilar datos sobre los equipos.

IX-E. HERRAMIENTAS PARA EL PROCESO DE DATOS

En cuanto para la tabulación y el procesamiento de los gráficos y datos, recolectados por el sistema de riego de los agricultores del recinto la Isla del cantón Marcelino Maridueña, se utilizarán las siguientes herramientas como: software de programación para microcontroladores, software para circuitos electrónicos, eléctricos y creación de PCB, software de programación visual Node-RED, software de programación de PLC.

X. DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROTOTIPO

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema de riego automatizado mediante comunicación Iot, el capítulo describe las configuraciones tanto de hardware como de software que se llevaron a cabo en los nodos LoRa y el Gateway, además de un diseño para un sistema hidráulico para la distribución del agua y un diseño eléctrico para los equipos de fuerza y control.

X-A. ESTRUCTURA DE LA RED PARA TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE DATOS

A continuación en “Figura 25” se presenta un esquema de la transmisión y recepción de datos, en el que se observa cinco grandes etapas: Las dos primeras etapas son las encargadas de la adquisición de datos que están compuestas de los nodos LoRa uno y dos respectivamente, en donde se usa un microcontrolador con un chip LoRa integrado configurado como nodo final y son los encargados de adquirir los datos de los sensores de humedad y temperatura.

Estos nodos se conectan en la tercera etapa, en la cual también se usa un microcontrolador, pero configurado como un Gateway, encargado de establecer una comunicación con los nodos finales para recibir la información que estos envían de los sensores mediante LoRa. En la cuarta etapa el Gateway publica los datos mediante el protocolo de comunicación MQTT a la Raspberry Pi, la cual incorpora el Broker Mosquitto, así mismo dentro de la Raspberry pi se encuentra instalado el software Node-RED en donde se recibirán los datos para ser analizados.

En la quinta y última etapa Node-RED establece una comunicación con el controlador lógico programable (PLC), esto mediante el protocolo S7COMM el cual se encarga del control de la bomba y las electroválvulas del sistema de riego dependiendo de las variables analizadas.

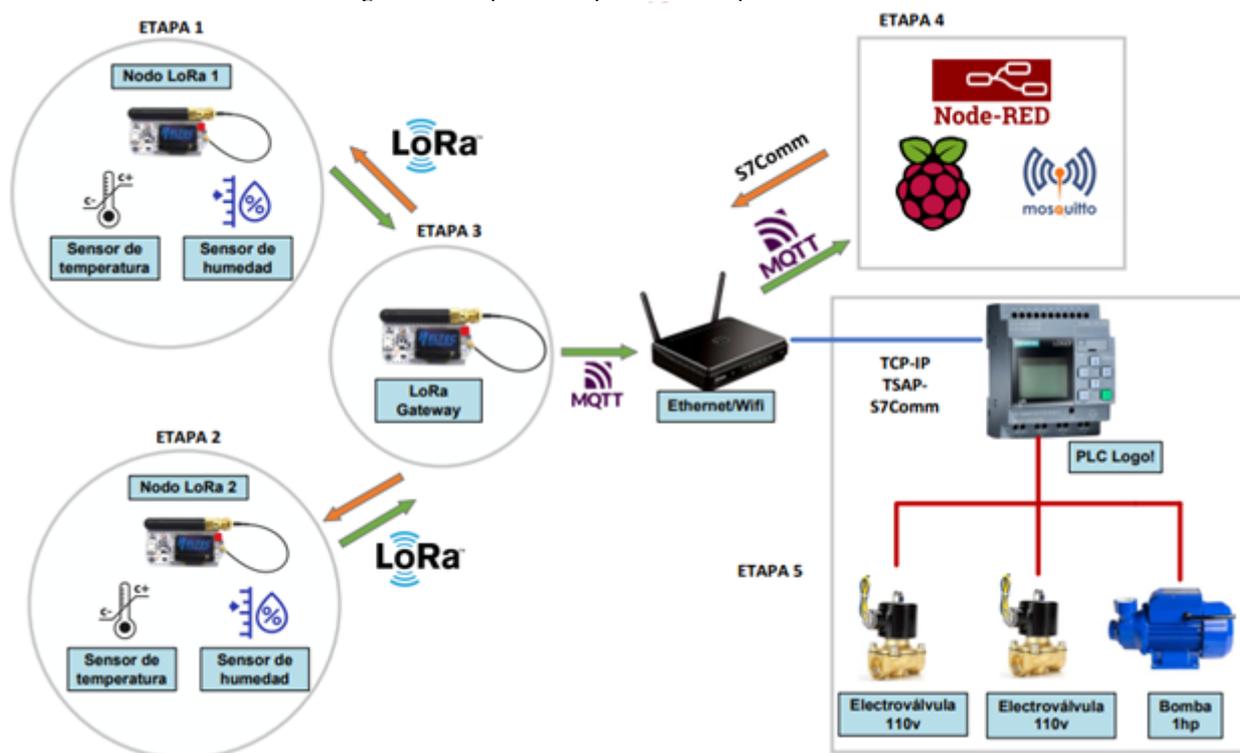
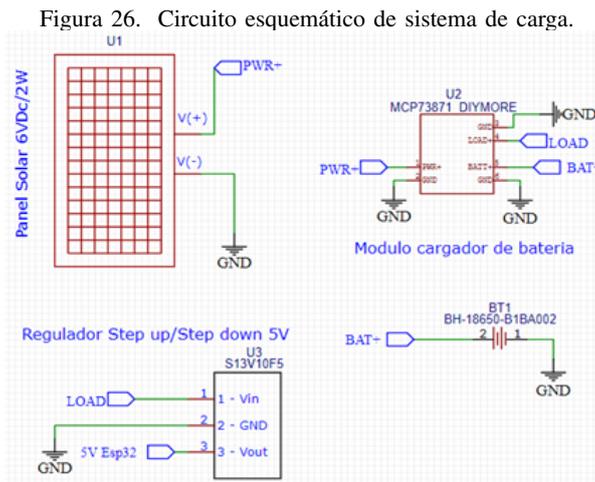


Figura 25. Esquema del proceso de adquisición de datos.

X-B. DISEÑO DE CIRCUITO PARA TRANSMISIÓN DE DATOS

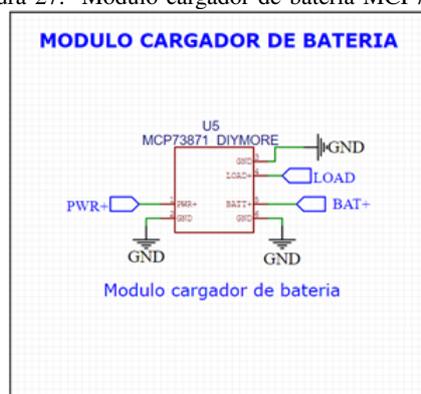
Para el diseño de esta etapa de transmisión de datos con los nodos LoRa correspondientes a las etapas uno y dos, el cual se muestra en la “Figura 25”, es necesario implementar una fuente de alimentación fotovoltaica, módulo cargador de batería, regulador de voltaje, microcontrolador, sensor de humedad y temperatura, voltímetro de corriente continua, los cuales se presentarán a continuación:

X-B1. FUENTE DE ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA: Para el funcionamiento de la etapa de transmisión de datos de los nodos LoRa uno y dos, es necesario la polarización de los circuitos utilizando un sistema fotovoltaico, esto debido a que las distancias entre el módulo de control eléctrico y los nodos finales se encuentran distantes entre sí [10].



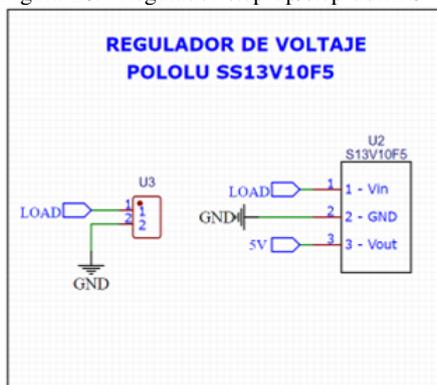
X-B2. MODULO CARGADOR DE BATERÍA: El principio de funcionamiento de este dispositivo consiste en conectar la salida del panel fotovoltaico al pin PWR+ y al pin GND respectivamente del módulo, el voltaje de operación es de 6 V suministrado por el panel solar, este se distribuye hacia los pines BAT+ y LOAD, el pin BAT+ se encarga de suministrar el voltaje a la batería 18650 de manera inteligente, ya que cuando esté totalmente cargada terminara de suministrar la energía, el pin LOAD se encarga suministrar el voltaje hacia la placa principal de cada nodo, por otro lado cuando el panel fotovoltaico no está en funcionamiento el módulo comienza a utilizar y suministrar el voltaje directamente de la batería a la placa principal.

Figura 27. Modulo cargador de batería MCP73871.



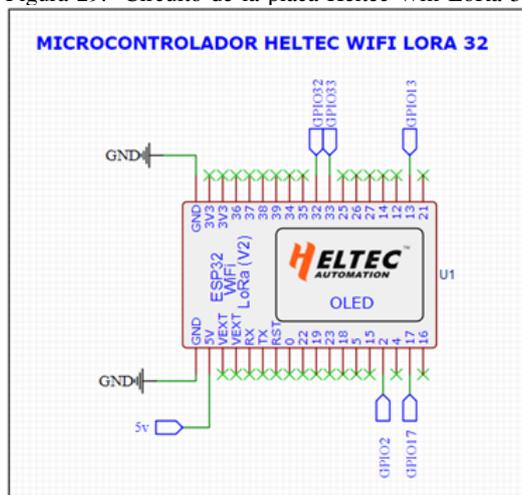
X-B3. REGULADOR DE VOLTAJE: El funcionamiento del regulador de voltaje step up / step down S13V10F5 comienza con la salida del pin LOAD del módulo MCP73871, el cual es conectado al pin VIN del regulador y al pin GND, donde el voltaje de entrada puede variar entre 2.8 V a 22 V, lo que ayuda con la variación de voltaje suministrado por el panel solar, por otro lado el pin VOUT es el encargado de otorgar 5 V fijos y una corriente de salida 1 A, la cual proporcionará el voltaje que necesita la placa principal Heltec Wifi LoRa 32 para su funcionamiento.

Figura 28. Regulador step up/step down 5 V.



X-B4. MICROCONTROLADOR: Con el voltaje de salida del pin VOUT del regulador de voltaje, se conecta al pin de 5V de la placa Heltec el cual se encarga de suministrar el voltaje necesario para su funcionamiento, así mismo se conectan todos los pines de GND de la placa, como se muestra en la “Figura 29”.

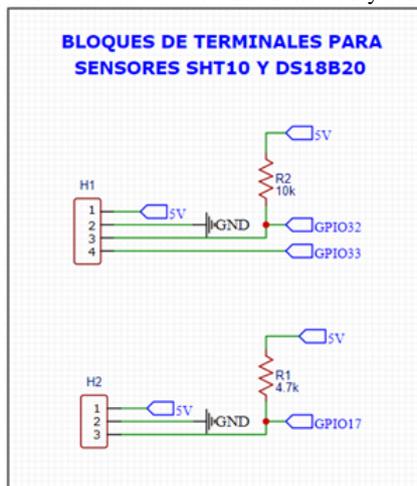
Figura 29. Circuito de la placa Heltec Wifi LoRa 32



X-B5. SENSORES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA: El sensor SHT10 consta de 4 pines, de los cuales el pin VCC se conecta con el voltaje 5 V suministrado por el microcontrolador, así mismo el pin GND es conectado con sus respectivos pines GND que se encuentran en el circuito, el pin DATA se conecta en el pin GPIO32 del microcontrolador, este se encarga de llevar la información que fue adquirida de las variables censadas, se coloca una resistencia de 10 K ohm, la cual es recomendada por el fabricante en su datasheet, esta resistencia es requerida para llevar la señal, el pin SCK así mismo se conecta al pin GPIO33 de la placa, el cual es el encargado de establecer una sincronización de la comunicación entre el microcontrolador y el sensor SHT10, así mismo se emplea otro circuito con el sensor DS18B20 para la obtención de la temperatura, esto se emplea en los pines de la placa principal,

el pin DATA junto con una resistencia de 4.7 kohm se conecta al GPIO17, así mismo los pines VCC y GND respectivamente se conectan a la alimentación del microcontrolador.

Figura 30. Conexión de sensores SHT10 y DS18B20



X-B6. VOLTÍMETRO DE CORRIENTE CONTINUA: Para observar el voltaje y el estado en que se encuentra la batería de litio y el panel solar, se colocó un circuito de resistencias en serie o divisor de tensión, donde el voltaje de salida es una fracción del voltaje que se suministra de entrada, las entradas analógicas de la placa Heltec Wifi LoRa 32 pueden leer voltajes hasta 3.3 V con una resolución de 12 bits, lo que representa una lectura valores con un rango de 0 a 4095, el primer circuito consta de dos resistencias R3 con un valor de 15 Kohm y R4 de 30 Kohm, las cuales están conectadas en serie, estas son las encargadas de dividir el voltaje que se tiene en la entrada, para adaptarlo al voltaje necesario que requiere en los pines analógicos (3.3 V), la salida que otorga el divisor de tensión es enviado al pin analógico GPIO13 el cual se encarga de convertir los datos a un formato digital para que el microcontrolador pueda procesarlo correctamente, a continuación se muestra la fórmula que se utilizó para el escalamiento del voltaje 0 a 5 Vdc, así mismo el segundo circuito consta de dos resistencias conectadas en serie R5 con un valor de 5.1 Kohm y R6 con un valor de 3 Kohm, en la cuales el voltaje de entrada será de 0 a 9 Vdc.

Datos con voltaje de 5 V:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R4}{(R3 + R4)} \quad (1)$$

$$V_{out} = 5V \times \frac{30k\Omega}{(15K\Omega + 30K\Omega)} \quad (2)$$

$$V_{out} = 3.3V \quad (3)$$

Datos con voltaje de 9 V:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R6}{(R3 + R6)} \quad (4)$$

$$V_{out} = 9V \times \frac{3k\Omega}{(5.1K\Omega + 3K\Omega)} \quad (5)$$

$$V_{out} = 3.3V \quad (6)$$

Con los datos obtenidos de los cálculos, se procedió a realizar una simulación de los circuitos divisores de voltaje los cuales se muestra en las “Figuras 31 y 32”, esto se realizó para corroborar el resultado obtenido de manera teórica.

Figura 31. Circuitos divisores de voltaje.

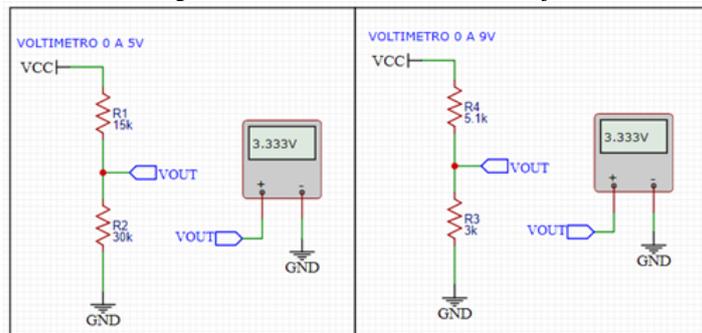
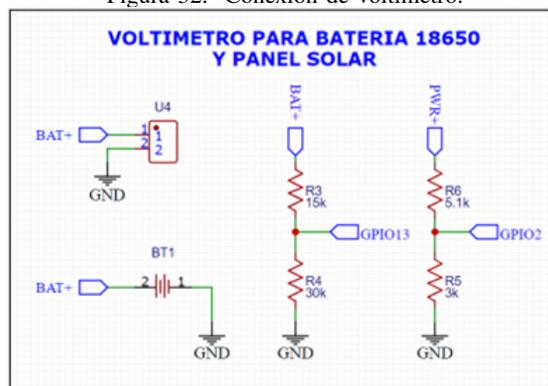


Figura 32. Conexión de voltímetro.

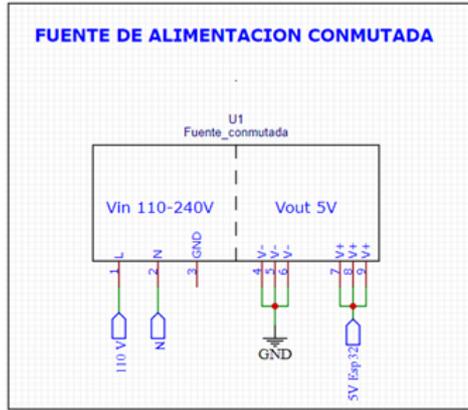


X-C. DISEÑO DE CIRCUITO PARA RECEPCIÓN DE DATOS

Para el diseño de esta etapa de recepción de datos con el Gateway LoRa correspondiente a la etapas tres, el cual se muestra en la “Figura 25”, es necesario implementar una fuente de alimentación, microcontrolador y sensores de flujo, los cuales se presentarán a continuación:

X-C1. FUENTE DE ALIMENTACIÓN: En la “Figura 33”, se muestra la conexión de la fuente de alimentación, la cual consta de una entrada de voltaje alterno de 110 a 264 V Ac y a su salida otorga 5 V Dc, los cuales serán suministrados al microcontrolador y a los sensores de flujo.

Figura 33. Fuente de alimentación conmutada.



X-C2. **MICROCONTROLADOR:** El microcontrolador que se usará en esta etapa es el mismo que se mencionó en la etapa de transmisión de datos, con su análisis con los diferentes modelos que existen en el mercado, pero en este caso se le dará una configuración como Gateway para la recepción de los datos que son enviados por los nodos LoRa.

A continuación se muestra en las “Figuras 34 y 35” con los circuitos esquemáticos de las conexiones del microcontrolador y las extensiones de los pines, así también un par de bloques de terminales para los sensores de flujo YF-S403.

Figura 34. Conexión de los pines GPIO.

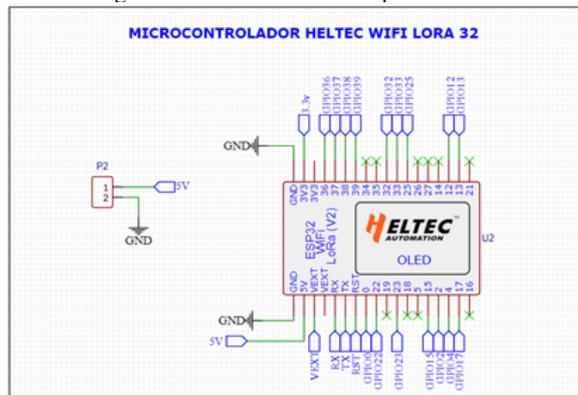
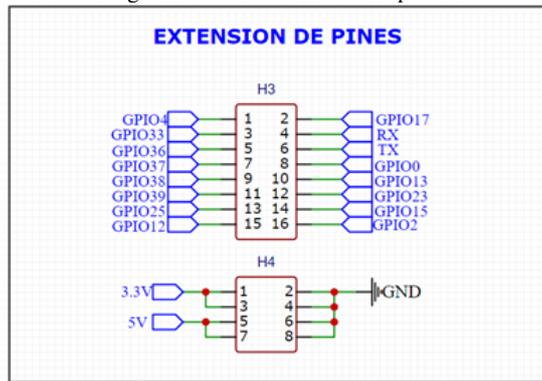
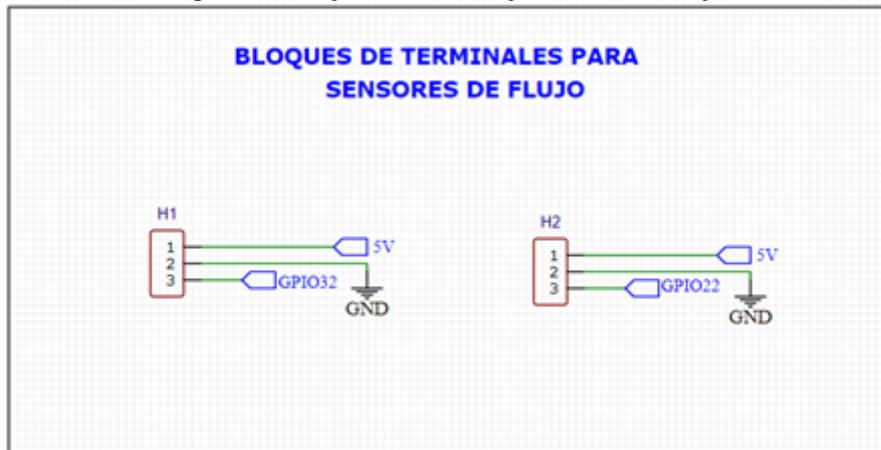


Figura 35. Extensión de los pines.



X-C3. *SENSOR DE FLUJO*: Los sensores de flujo YF-S403 constan de 3 terminales, de los cuales el pin VCC se conecta con el voltaje 5 V suministrado por la fuente de alimentación de 5 V Dc con su respectivo terminal de GND que se encuentran en el circuito, los pines de datos se conectan a los pines GPIO32 y GPIO22 del microcontrolador, este se encarga de llevar la información que fue adquirida de la variable censada.

Figura 36. Bloque de terminales para sensores de flujo.



X-D. DISEÑO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO

Una vez realizado la selección de materiales, se procede a realizar los diseños de los circuitos impresos para los nodos LoRa de las etapas uno y dos. La placa de circuito impreso se diseñó teniendo en cuenta la normas IPC 2221, donde se detallan los requerimientos de diseño que debe contar una placa PCB.

Para la ubicación de los componentes se optó por separarlos por función como: fuente de alimentación, batería, circuitos análogos y circuitos digitales, según las especificaciones de las normas IPC 2221 presentadas en las siguientes "Tablas II y III".

Tabla II
DISTANCIA ENTRE PISTAS

Voltaje	Distancia
0 a 15	0.2 mm
15 a 50	0.4 mm a 1 mm
50 a 120	8 mm a 10 mm

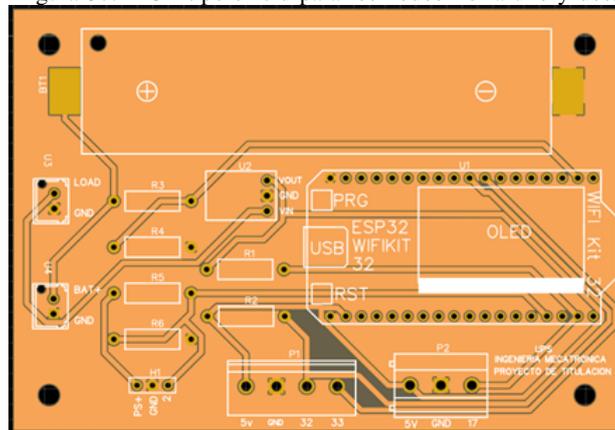
Tabla III
ANCHO DE PISTAS

Ancho de pista	Corriente
0.25	0.3 A
0.38	0.4 A
0.5	0.7 A
0.8	1 A

Se estableció una distancia entre pistas de 0.2 mm según la “Tabla II, ya que el voltaje con el que se estará trabajando será de 5 V, así mismo según la “Tabla III”, el ancho de las pistas necesarias para el circuito será de 0.8 mm, dado que la corriente máxima con la que el circuito trabaja será de menor a un 1 A, pero se optó por poner un ancho de pista mayor para tener un mejor rendimiento en la placa. A continuación se muestra las vistas superior en 2D y 3D de la PCB diseñada:

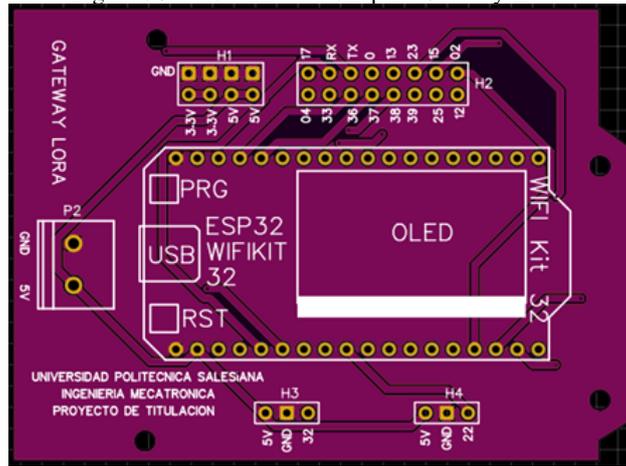
X-D1. CONSTRUCCIÓN DE PCB PARA NODOS LORA: El objetivo de esta placa de circuito impreso es conectar cada uno de los componentes que conforman los nodos LoRa uno y dos respectivamente al microcontrolador Heltec Wifi LoRa 32, el diagrama esquemático se explica en la etapa de diseño de circuito para transmisión de datos, a continuación se muestra las vistas 2D de la PCB diseñada.

Figura 37. PCB tipo shield para los nodos LoRa uno y dos.



X-D2. CONSTRUCCIÓN DE PCB PARA GATEWAY LORA: El objetivo de esta placa de circuito impreso es conectar cada uno de los componentes que conforman el Gateway LoRa al microcontrolador Heltec Wifi LoRa 32, el diagrama esquemático se explica en la etapa de diseño de circuito para recepción de datos, a continuación se muestra las vistas 2D de la PCB diseñada.

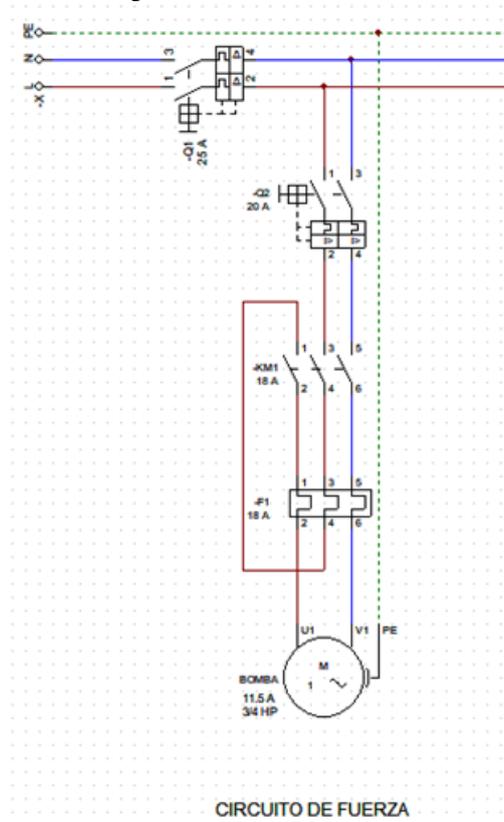
Figura 38. Vista 2D de PCB para Gateway LoRa.



X-E. DISEÑO DE CIRCUITO DE ELÉCTRICO

X-E1. **CIRCUITO DE FUERZA:** El objetivo de este circuito es poder controlar el equipo de fuerza en el proyecto y conocer cada uno de los componentes, los cuales tan compuestos por un interruptor termomagnético bipolar general de 25 A, así mismo un interruptor termomagnético bipolar secundario de 20 A para la alimentación del equipo de fuerza, por otro lado el circuito de fuerza está compuesto de un contactor con una bobina de 120 VAc y relé térmico trifásico de 18 A, los cuales serán accionados con el circuito de control para la protección de la bomba hidroneumática, en la “Figura 39” se muestra la conexiones del circuito de fuerza.

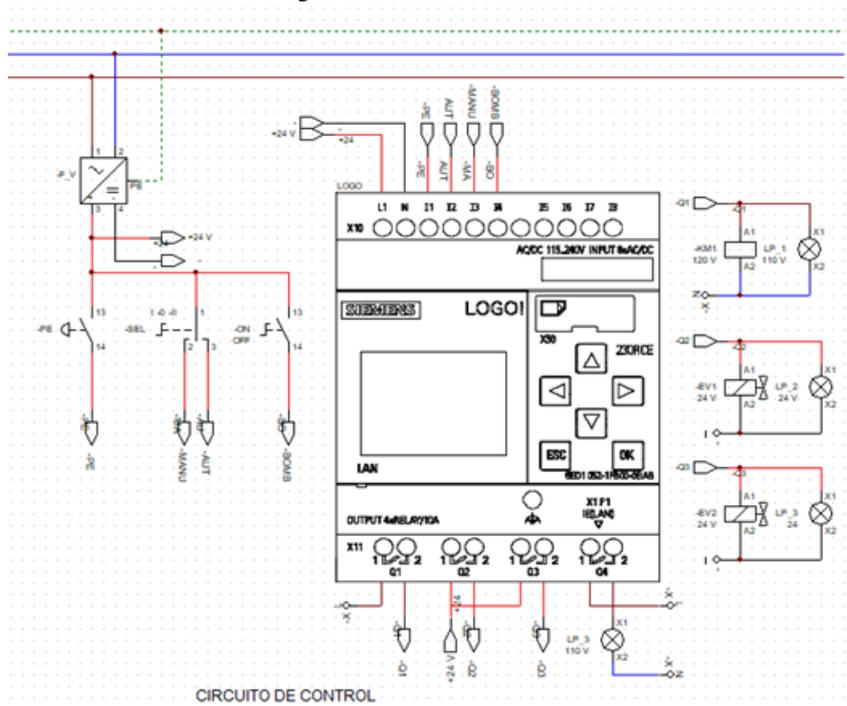
Figura 39. Circuito de fuerza.



X-E2. CIRCUITO DE CONTROL: El objetivo de este circuito es dar el accionamiento a los quipos de fuerza mediante el uso de un PLC Logo! 8 ubicado en el tablero de control principal, incluyendo elementos fundamentales como una fuente conmutada de 24 VDC que se encarga de suministrar el voltaje necesario para el funcionamiento del controlador lógico programable, es importante mencionar que el controlador está compuesto de entradas de 24 VDC, donde se estableció un pulsador de paro de emergencia NA según la normativa ISO 13850, que sirve para evitar daños en la maquina y poner en peligro a los usuarios, por otro lado se colocó un selector de tres posiciones NA, que tiene como finalidad seleccionar un control automático o manual.

El controlador consta con salidas tipo relé en las cuales se realizó las conexiones del equipo de fuerza y las electroválvulas NC de 24 VDC, a continuación se muestra el circuito de control en la “Figura 40”.

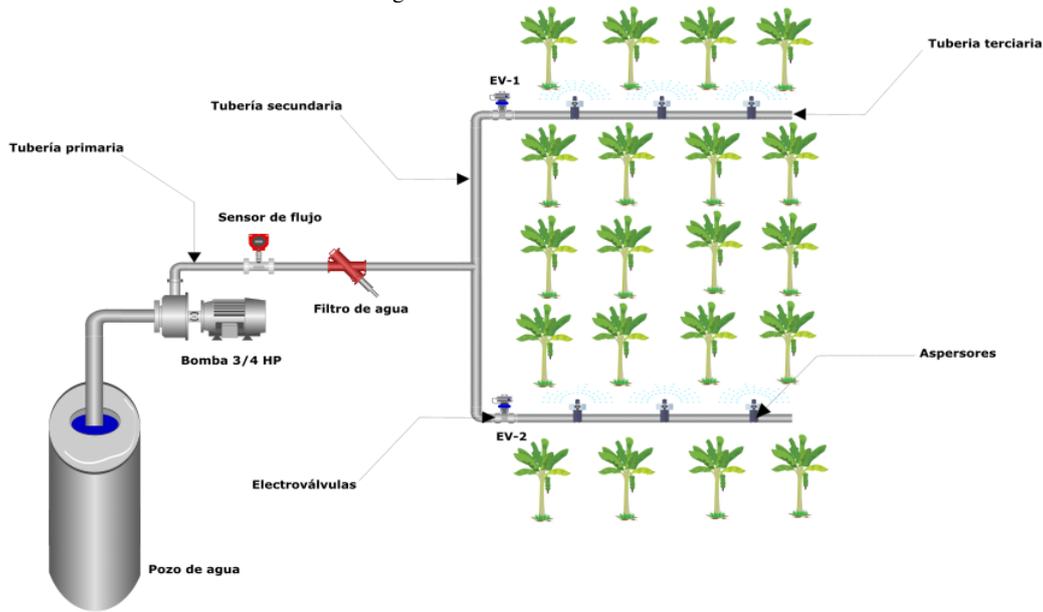
Figura 40. Circuito de control.



X-F. DISEÑO DE CIRCUITO HIDRÁULICO

La parte del sistema hidráulico del proyecto consta de una bomba hidroneumática de 110 VAC con una potencia de 3/4 HP, la cual se encarga de la aspiración e impulsión del agua mediante el depósito, así mismo consta de una distribución de tuberías denominadas prima, secundaria y terciaria, en la tubería prima se colocó un sensor de flujo de 1-60 L/min y un filtro para tratar las impurezas del agua, la tubería secundaria ayuda a distribuir el agua hacia las electroválvulas (diámetro de 1/2“) NC de 24 VDC, las cuales controlan el paso del fluido a cada zona en las tuberías terciarias, en las que se encuentran los aspersores (diámetro de 1/2“) los que distribuyen el agua hacia el cultivo, en la “Figura 41” se muestra cada uno de los componentes hidráulicos utilizados para el sistema de riego.

Figura 41. Diseño hidráulico.



XI. SELECCIÓN DE MATERIALES

Con los diseños realizados posteriormente se presentan los materiales seleccionados en cada etapa del proyecto:

XI-A. SELECCIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

XI-A1. SELECCIÓN DE SENSOR DE HUMEDAD: Para el sensor de humedad se encontraron diversas alternativas, las cuales se muestran en la “Tabla IV”, en la cual se puede visualizar los parámetros más importantes de cada sensor.

Tabla IV
TABLA COMPARATIVA DE SENSORES DE HUMEDAD.

Parámetros	DHT-11	DHT-22	SHT10
Alimentación	3 VDC a 5 VDC	3.3 VDC a 5 VDC	2.4 VDC a 5.5 VDC
Rango de medida	20 a 90 %Hr 0 a 50 °C	0 a 100 %Hr -40 a 80 °C	0 a 100 %Hr -40 a 123.8 °C
Señal de salida	Digital	Digital	Digital
Resolución de humedad	1 %Hr	0.1 %Hr	±0.05 %Hr
Precisión de humedad	4 %Hr	2 %Hr	±4.5 %Hr
Resolución de temperatura	0.1 °C	0.1 °C	±0.01 °C
Precisión de temperatura	±2 °C	±0.5 °C	±0.5 °C
Tiempo de censado	1 seg	2 seg	8 seg
Precio (USD)	\$ 3.50	\$8	\$ 14.34

Con la revisión de la tabla de los diferentes tipos de sensores de humedad y temperatura, se optó por elegir el sensor SHT10, por su precio y por las características que ofrece, ya que consta con rangos de medición más amplios que los otros sensores, así mismo consta con una precisión de humedad de ±4.5 %Hr y una precisión de temperatura de ±0.5 °C, las cuales son óptimas para la medición que se va a realizar.

Figura 42. Sensor de humedad SHT10.



XI-A2. SENSOR DE TEMPERATURA: Para la selección del sensor de temperatura se encontraron diversas alternativas, las cuales se muestran en la “Tabla V”, en la cual se puede visualizar los parámetros más importantes de cada sensor.

Tabla V
TABLA COMPARATIVA DE SENSORES DE TEMPERATURA.

Parámetros	LM35	DS18B20	Termocupla tipo J/K
Alimentación	3.3 VDC a 5.5 VDC	3.3 VDC a 5.5 VDC	3.3 VDC a 5 VDC
Rango de medida	-55 a 150 °C	-55 a 125 °C	0 a 800 °C
Señal de salida	Analógica	Digital	Digital
Resolución de temperatura	+0.5 °C	±0.5 °C	+0.25 °C
Precio (USD)	\$ 2.50	\$ 5.25	\$8

Con el análisis de la tabla de los diferentes tipos de sensores de temperatura, se seleccionó el sensor DS18B20, por las características que ofrece, ya que consta con rangos de medición ideales, así mismo consta con una con una resolución de temperatura de ± 0.5 °C, las cuales son óptimas para la medición que se va a realizar, cabe mencionar que este sensor se destaca por su calidad y precio.

Figura 43. Sensor de temperatura DS18B20.



XI-A3. MICROCONTROLADOR: En la “Tabla VI”, se muestra un cuadro de comparación entre los diferentes microcontroladores los cuales cuentan con un chip LoRa integrado.

Tabla VI
TABLA COMPARATIVA SOBRE MICROCONTROLADORES.

Parámetros	CubeCell HTCC-AB01	Heltec Wifi LoRa 32	TTGO T-BEAM
Voltaje de operación	5.5 a 7 V	5 V	1.8 a 3.7 V
Chip maestro	ASR6501	ESP32	ESP32
comunicación inalámbrica	LoRa P2P	Wifi/Bluetooth/LoRa P2P	Wifi/Bluetooth/LoRa P2P/GPS
Chip LoRa	SX1262	SX1278	SX1262
Máxima potencia de salida LoRa	22dB ± 1dB	19dB ± 1dB	20dB ± 1dB
Recurso de hardware	12-bits ADC input x1; 8 chanel DMA engine; GPIO x8	12-bits ADC input x18; 8 bits DAC output x2; GPIO x22; GPI x6	GPIO x26, ADC, VP/Vn, DAC, táctil, SPI, I2C, UART, pin 2 × "LoRa"
FLASH	128KB	8MB (64M-bits) SPI FLASH	4MB
RAM	16KB	520KB internal SRAM	8MB
Temperatura de trabajo	-40 a 80 °C	-40 a 80 °C	-40 a 85 °C
Precio (USD)	\$12.90	\$20.20	\$ 64.99

Con el análisis establecido de los diversos microcontroladores que cuentan con un chip LoRa integrado, se decidió utilizar el microcontrolador Heltec Wifi Lora 32 para la transmisión de datos, ya que es un dispositivo destacado por su calidad y precio, también porque además de su configuración como nodo, puede ser configurado como Gateway LoRa gracias a sus características internas y las comunicaciones inalámbricas que posee como Wifi, la cual ayuda con la conexión a la red local.

XI-A4. PANEL SOLAR: Para el uso de un sistema fotovoltaico se necesita realizar un análisis sobre el consumo de corriente de cada nodo LoRa, el cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla VII
CONSUMO DE CORRIENTE EN NODOS UNO Y DOS.

Nodos LoRa 1 y 2	Consumo de corriente	Unidad
Sensor de humedad y temperatura	1	mA
LoRa Tx (20 dB)	130	mA
Batería 18650	113	mA
Total	244	mA

En base al análisis del consumo, se calcula que es necesario el uso de una celda fotovoltaica por cada nodo con las características dadas en la "Tabla VII".

Tabla VIII
PARÁMETROS DE PANEL SOLAR.

Parámetro de panel solar	Unidad
Potencia máxima	2 W
Tensión máxima	6 V
Corriente máxima	330 mA

Por otra parte una de las características que presenta la celda fotovoltaica, es una cubierta de poli silicona de alta calidad, así mismo consta con un tamaño de 13.6x11cm.

cuenta con una protección contra sobre corriente, el precio es uno de los factores que se tomó en cuenta, debido a que es módulo que se caracteriza calidad y precio.

Figura 45. Módulo de regulador de voltaje S13V10F5.



XI-A7. FUENTE CONMUTADA DE 5 V: A continuación se muestra una tabla comparativa sobre las fuentes de alimentación Ac-Dc de 5 V.

Tabla XI
COMPARACIÓN SOBRE FUENTES DE ALIMENTACIÓN CONMUTADAS.

MeanWell fuente alimentación		
Modelo	DR-15-15	HDR-15-5
Parámetros		
Voltaje de salida	5 V Dc	5 V Dc
Corriente nominal	2.4 A	2.4 A
Rango de corriente	0 - 2.4 A	0 - 2.4 A
Rango de voltaje de entrada	85 a 264 VAc	110 a 230 VAc
Potencia de salida	12 W	15 W
Eficiencia	77 %	80 %
Instalación Riel Din	Si	Si
Precio	\$ 9.87	\$ 16.32

Con el análisis de la tabla anterior, se optó por elegir la fuente de alimentación DR-15-5 de la marca MeanWell, por su eficiencia y características, pero lo que más destaca es su precio, ya que tiene un costo menos elevado a comparación de otras fuentes de alimentación en el mercado.

Figura 46. Fuente conmutada de 5 V.



XI-A8. SENSOR DE FLUJO: En la “Tabla XII”, se muestra una tabla comparativa sobre los diferentes tipos de sensores de flujo.

Tabla XII
COMPARACIÓN SOBRE SENSORES DE FLUJO.

Parámetros	YF-C02	YF-S403	HT-30
Voltaje de operación	24 V Dc	5 a 24 V Dc	24 V Dc
Corriente de operación	1:00 a. m.	15 mA	0.2 A
Frecuencia del flujo		$f(\text{Hz})=7.5*Q(\text{L}/\text{min})$	
Rango de flujo	1 L/min a 50 L/min	1 L/min a 60 L/min	1 L/min a 50 L/min
Presión máxima	1.75 Mpa	1.2 Mpa	0.6 Mpa
Rosca	3/4"	3/4"	3/4"
Precio (USD)	\$20	\$11	\$ 18.55

Con los parámetros que se observan en la “Tabla XII”, se procedió a elegir el sensor de flujo YF-S403, por que consta con parámetros que son adecuados para la implementación de proyecto, así mismo por su bajo costo en el mercado.

Figura 47. Sensor de flujo YF-S403



XI-A9. *RASPBERRY PI*: Para selección de este dispositivo se muestra en la “Tabla XII”, un cuadro comparativo en donde se especifican cada una de las características mas importantes y relevantes de los modelos más comunes y actuales que estan en el mercado para los ordenadores como las Raspberry Pi.

Tabla XIII
SELECCIÓN DE RASPBERRY PI

Parámetros	Raspberry Pi 3B	Raspberry Pi 4B	Raspberry Pi Zero W
Alimentación	5 V Dc / 2.5 A	5 V Dc / 2.5 A	5 V Dc Micro USB
Procesador	Broadcom BCM2837	Broadcom BCM2837B	Broadcom BCM2835
CPU	1.2 GHz Quad Core	1.5 GHz Quad Core	1 GHz Quad Core
RAM	1 GB	1 GB	512 MB
Memoria	Micro SD	Micro SD	Micro SD
Wireless	Wifi 2.4 GHz/Bluetooth 4.1BLE	Wifi 2.4 y 5 GHz/Bluetooth 4.1BLE	Wifi 802.11/Bluetooth 4.1BLE
Ethernet	Ethernet 10/100	Gigabit Ethernet	No
GPIO	40 pines	40 pines	40 pines
Precio (USD)	\$ 29.39	\$ 30	\$ 7.85

Teniendo en cuenta las características presentadas en la “Tabla XII”, se optó por elegir el ordenador de bajo costo Raspberry Pi 4 Model B, por sus nuevas mejoras y actualizaciones que las versiones anteriores, el costo es muy similar a su versión pasada, lo que la hace uno de los ordenadores más económicos del mercado.

Figura 48. Raspberry Pi 4B



XI-B. SELECCIÓN DE COMPONENTES HIDRÁULICOS

En este apartado se presenta la selección de cada uno de los componentes hidráulicos los cuales se implementarán en el proyecto de investigación.

XI-B1. ASPERSORES: Para la selección de los aspersores se deben tomar en cuenta diversos parámetros como los que se presentaran a continuación en la “Tabla XIV”:

Tabla XIV
ASPERSORES PARA SISTEMA DE RIEGO.

Cantidad	Diámetro (m)	Caudal unitario (l/h)	Presión (psi)
6	10	300	30

El área que se utilizará para el cultivo será de 50 metros cuadrados lo cual se debe tomar al momento de realizar el cálculo del caudal total que se obtendrá con la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{T_A \times Q_{uni}}{60} \quad (7)$$

$$Q = \frac{1800[L/h]}{60} \quad (8)$$

$$Q = 30[L/min] \quad (9)$$

Donde:

Q = El caudal total dado en litros por minuto.

TA = Número total de aspersores.

Quni = Caudal unitario.

XI-B2. TUBERÍAS Y ACCESORIOS : El tipo de tuberías y accesorios hidráulicos que se seleccionó en el presente proyecto se basa en el flujo máximo que pasara a través de las tuberías es de 1800 l/h, por lo cual se decide instalar en toda la red hidráulica tuberías con un diámetro de 1/2 pulgada de material de polietileno, así mismo los accesorios que se usaran son: tee y codo de 90° con un diámetro de 1/2 pulgada para las tuberías primarias, secundarias y terciarias.

XI-B3. ELECTROVÁLVULAS: Las electroválvulas que se seleccionó son el tipo solenoide eléctrica normalmente cerrada con un diámetro de 1/2 pulgadas, el material del cuerpo es de latón macizo, así mismo cuenta con un voltaje de funcionamiento de 24 V Dc, la presión con la que trabaja es de 0 a 145 psi, con un rango de temperatura de trabajo que va desde -5 a 80 °C, el precio que tiene esta electroválvula en el mercado es de \$21 dólares, lo que por su calidad y precio, es excelente para la etapa hidráulica del proyecto.álvulas que se seleccionó

son el tipo solenoide eléctrica normalmente cerrada con un diámetro de 1/2 pulgadas, el material del cuerpo es de latón macizo, así mismo cuenta con un voltaje de funcionamiento de 24 VDC, la presión con la que trabaja es de 0 a 145 psi, con un rango de temperatura de trabajo que va desde -5 a 80 °C, el precio que tiene esta electroválvula en el mercado es de \$21 dólares, lo que por su calidad y precio, es excelente para la etapa hidráulica del proyecto.

Figura 49. Electroválvula normalmente cerrada.



XI-B4. BOMBA: Para la selección de la bomba que se usará para el proyecto de investigación se tomó en cuenta diversos factores:

$$Pm = \frac{Q \times H}{75 \times \eta} \quad (10)$$

$$Pm = \frac{(30[L/m]) \times 1}{75 \times 0.6} \quad (11)$$

$$Pm = 0.66[HP] \quad (12)$$

$$Pm = 0.49[kW] \quad (13)$$

Donde:

Pm = Potencia mecánica de la bomba en caballos de fuerza.

Q = Caudal en litros por minuto.

H = altura geométrica y pérdidas de fricción.

η = Eficiencia de la bomba, se coloca 60 % para el cálculo teórico.

El dato teórico que se obtuvo como resultado fue 0.66 HP, en la cual se colocó la altura de un metro para tener una cota como factor de seguridad.

Con los resultados de los calculo teóricos se optó por elegir una bomba monofásica de 3/4 HP de la marca Pedrollo, a continuación se muestra una tabla con los parámetros técnicos de la bomba seleccionada.

Con los datos técnicos obtenidos de la bomba seleccionada se realizan los siguientes cálculos:

$$\eta = \frac{Pm}{Pe} \times 100 \% \quad (14)$$

$$\eta = \frac{0.55kW}{1kW} \times 100 \% \quad (15)$$

$$\eta = 55 \% \quad (16)$$

Tabla XV
PARÁMETROS TÉCNICOS DE BOMBA 3/4 HP.

Parámetros	Bomba 3/4 HP
Caudal	5-50 l/min
Voltaje	110 V
Frecuencia	60 Hz
Potencia Mecánica	0.75 HP
Potencia Eléctrica	1 kW
Factor de Potencia	0.79
Condensador	14 uF - 450 VL
Precio (USD)	\$250

Donde:

η = Eficiencia de la bomba seleccionada.

P_m = Potencia mecánica dada en kW.

P_e = Potencia eléctrica dada en kW.

A continuación se procede a realizar el cálculo de la intensidad nominal dada en la bomba:

$$I_n = \frac{P_e}{V \times \cos \phi} \quad (17)$$

$$I_n = \frac{1kW}{110[V] \times 0.79} \quad (18)$$

$$I_n = \frac{1kW}{86.9} \quad (19)$$

$$I_n = 11.5[A] \quad (20)$$

Donde:

I_n = Corriente nominal en un sistema monofásico dada en Amperios.

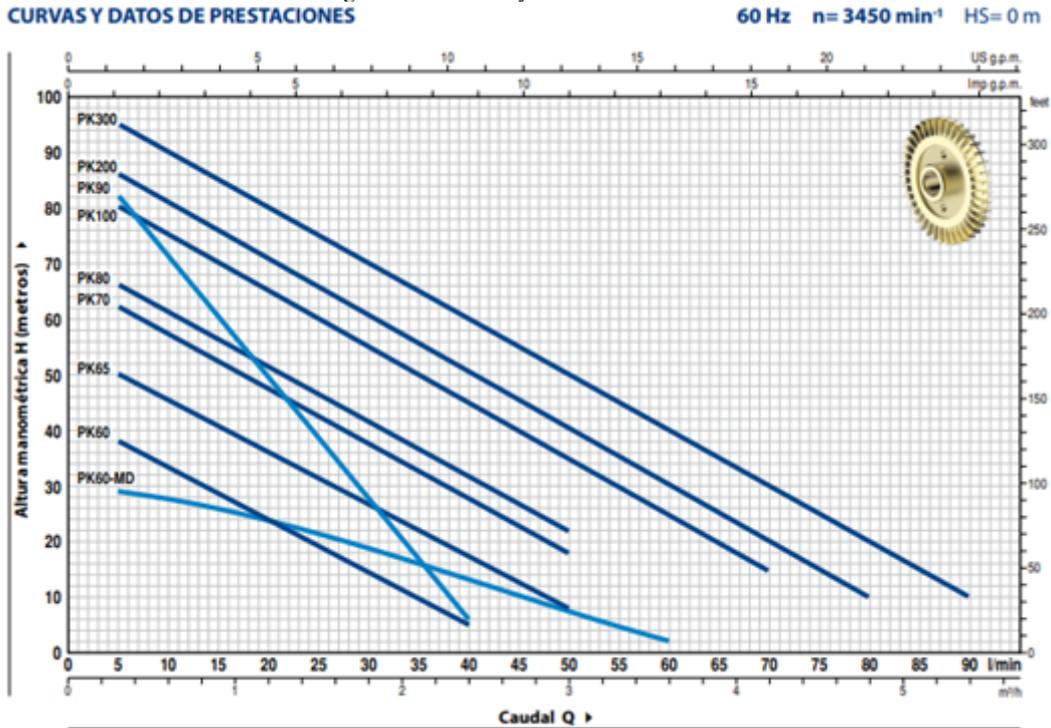
P_e = Potencia eléctrica dada en kW.

Figura 50. Bomba de 3/4 HP



A continuación se muestra una gráfica de las curvas y las prestaciones de la bomba seleccionada.

Figura 51. Curvas y datos de la bomba



XI-C. SELECCIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS

A continuación se presenta la selección de los componentes eléctricos presentes en el proyecto de investigación:

XI-C1. INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO: Con los datos técnicos establecidos de la bomba seleccionada, se tiene una intensidad nominal de 11.5 A, con la cual se procede a revisar los catálogos de los interruptores termomagnéticos bipolar dado por los fabricantes, en los que se detalla las curvas de disparo y tensión de trabajo, a continuación se muestra el cálculo para la selección de los interruptor termomagnético para el circuito de fuerza y así mismo el catálogo que proporciona el fabricante.

$$I_{IT} = In \times 1.25 \tag{21}$$

$$I_{IT} = 11.5[A] \times 1.25 \tag{22}$$

$$I_{IT} = 14[A] \tag{23}$$

Donde:

I_{IT} = Corriente de interruptor termomagnético

Factor de corrección = 1.25

Figura 52. Datos técnicos de interruptores termomagnéticos.



2P

Breakers	
Corriente (In)	Curva C
6 A	EZ9F56206
10 A	EZ9F56210
16 A	EZ9F56216
20 A	EZ9F56220
25 A	EZ9F56225
32 A	EZ9F56232
40 A	EZ9F56240
50 A	EZ9F56250
63 A	EZ9F56263
Ancho en módulos de 9 mm	4

Con el cálculo realizado de la corriente del interruptor termomagnético y la tabla dada por el fabricante en el catálogo se optó por seleccionar un interruptor general de 25 A, el cual es el indicado para alimentar al circuito de fuerza del proyecto.

XI-C2. CONTACTOR Y RELÉ TÉRMICO: El contactor y relé térmico se seleccionó basándose en la corriente nominal de 11.5 A que se obtuvo con los cálculos realizados anteriormente, dado estos parámetros de selección un contactor 18 A de la marca Chint con un costo de \$15 dólares, por otro lado se optó por elegir un relé térmico con un rango de corte de 9-13 A el cual es ideal para la protección eléctrica del proyecto.

Tabla XVI
DATOS TÉCNICOS PARA CONTACTOR DE 18A.

Nombre	Información
Polos	3
Intensidad Nominal In (A)	18
Norma	IEC 60947-4-1 / IEC 60947-5-1
Vida Útil Mecánica (ciclos)	3 12000000
Contactos Auxiliares	1NA+1NC
Potencia (kW) 400VCA	7.5
Tensión de Bobina (VCA)	110
Tensión de Bobina (VCA/VCC)	
Rango de Tensión de la Bobina	(70 % 120 %)

Tabla XVII
DATOS TÉCNICOS PARA RELÉ TÉRMICO DE 9 -13A.

Nombre	Información
Polos	3
Norma	IEC 60947-4-1 / IEC 60947-5-1
Contactos Auxiliares	1NA+1NC
Corriente de Ajuste (A)	9-13 A
Montaje	BAJO EL CONTACTOR
Compatibilidad	NXC 12-38
Fusible de protección gG (A)	25

XI-C3. SELECCIÓN DE PLC: Para la selección del PLC a continuación se muestra una tabla en la cual se comparan dos controladores lógicos programables presentes en la industria.

Tabla XVIII
PARÁMETROS TÉCNICOS DE CONTROLADORES LÓGICOS.

Parámetros	S7-1200 DC/DC/RELE	Logo 8! 12/24 RCE
Tipo de entradas	14 Digitales/2 analógicas	8 Digitales/4 analógicas
Tipo de salidas	Relé	Relé
Alimentación	24 VDC	12/24 VDC
Tipo de montaje	Riel Din	Riel Din
Consumo	500 mA	100 mA/75 mA
Interfaz Profinet	Si	Si
Precio (USD)	\$355	\$150

Teniendo en cuenta las parámetros presentados en la “Tabla XVIII”, se optó por elegir el controlador lógico Logo! 8 12/24 RCE, por sus tipos de entradas tanto digitales como analógicas y tipo de alimentación con la que cuenta puede ser 12 hasta 24 VDC, por otro lado el costo es otro de los factores que se tomó en cuenta al momento de realizar la selección, ya que en comparación a los diferentes controladores, el precio es más bajo y presenta las mismas características.

Figura 53. PLC Logo! 8 12/24 RCE.



XII. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

En este apartado se muestra el proceso de implementación de cada una de las etapas, tanto electrónicas, eléctricas, hidráulicas y lógica de programación presentes en el proyecto investigativo.

XII-A. PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES

Con el diseño establecido en la etapa de electrónica de acondicionamiento, se definió dos zonas de trabajo, en la cuales se establecieron los nodos finales LoRa, así mismo un Gateway LoRa, ubicado en la parte del tablero de control eléctrico, por lo tanto, se realizó dos configuraciones diferentes. Para cada una de las configuraciones establecidas, se definió primero que nada las librerías que se utilizaron en el desarrollo de la programación, para una mejor visualización de cada programación en general, el ANEXO F, ANEXO G y ANEXO H presenta las instrucciones de cada uno de los scripts.

XII-A1. PROGRAMACIÓN NODOS LORA: Para la programación de los nodos finales LoRa, los cuales se encargan de la adquisición de datos, se toma los sensores seleccionados en la etapa de selección de materiales, estos toman las propiedades físicas del suelo para ser analizadas y procesadas por el microcontrolador, para finalmente ser enviadas de manera inalámbrica mediante la comunicación LoRa.

Para comenzar la programación se utilizó una librería principal denominada “heltec.h”, la cual permitió la transmisión de los paquetes LoRa con las bandas disponibles 860 MHz, 915 MHz y 433 MHz, en la cual se seleccionó la banda de transmisión 915 MHz, por otro lado se estableció un factor de esparcimiento (spreading factor) el cual se definió con un factor SF8.

Figura 54. Inicio de librerías.

```
LoRa_Dispositivo1 $
1 /*Universidad Politécnica Salesiana
2  * Ingeniería Mecatrónica
3  * Proyecto de Titulación
4  * Derick Guambo
5  * Dave Ordoñez
6  */
7 #include <OneWire.h>
8 #include <DallasTemperature.h>
9 #include <SHT1x.h>
10 #include "heltec.h"
11
12 //Banda LoRa 433Mhz - ISM en Región
13 #define BAND 915E6 // 433E6,868E6,915E6
14 // ranges from 6-12,default 7 see API docs
15 byte spread_factor = 8;
16
```

Para de la toma de datos de la temperatura con el sensor DS18B20 se utilizó las librerías “DallasTemperature.h” y “OneWire.h”, el sensor utiliza una interfaz digital para enviar la información al microcontrolador mediante el protocolo 1-wire hacia el GPIO digital de la placa principal.

Se realiza una petición llamada “requestTemperatures”, por la cual se realiza una petición al sensor para verificar si existe algún dato procesado, si existe algún dato se utiliza la petición “getTempCByIndex”, la cual sirve para obtener el dato y luego ser guardado en una variable para un procesamiento interno en el microcontrolador.

Figura 55. Obtención de temperatura.

```
164
165 sensorDS18B20.requestTemperatures();
166 tempC= sensorDS18B20.getTempCByIndex(0);
167 temperatura = String(tempC);
168
```

Para la toma de datos de la humedad mediante el sensor SHT10, el sensor cuenta con un convertidor analógico digital (ADC) el cual envía la información hacia los GPIO digitales del microcontrolador, además se utilizó la librería “SHT1x.h” en la cual con los pines DATA (encargado de enviar los datos) y CLK (encargado de tomar el tiempo de lectura) se encargan del procesamiento para mostrar la humedad del suelo, por otro lado se coloca la función “millis” para realizar el tiempo entre lecturas, en la “Figura 56” se muestra la configuración del sensor de humedad.

Figura 56. Obtención de humedad.

```
157 unsigned long currentMillis = millis();
158 if ((currentMillis - previousMillis) >= (interval))
159 {
160     previousMillis = currentMillis;
161     humR = sht10.readHumidity();
162     humedad = String(humR);
163 }
```

Para la obtención de los datos de voltaje de batería 18650 y panel solar de 6 V, se estableció dos divisores de voltaje en el que se realiza una lectura a través de los GPIO analógicos del microcontrolador y se define la fórmula del divisor de voltaje y se realiza el escalamiento de la señal analógica obtenida, así mismo se realiza una sentencia “if” la cual se encarga de establecer el valor de 0 a los valores menores a 0.5, por último el dato es guardado en una variable para cada divisor de voltaje.

Figura 57. Escalamiento de voltímetro.

```
169 vin = analogRead(portPin);
170 vout = ((vin*5.0)/4095.0)+0.2;
171 //vout = vin/(R2/(R1+R2));
172 if (vout<0.5){
173     vout = 0.0;
174 }
175 voltB = String(vout);
176
177 vin2 = analogRead(portPin2);
178 vout2 = ((vin2*9.0)/4095.0)+0.2;
179 if (vout2<0.5){
180     vout2 = 0.0;
181 }
182 voltP = String(vout2);
183 }
```

Para la transmisión de datos LoRa se establece una función denominada “enviarlora” en las cuales se establece variables: “destino”, “remitente”, “paqueteID”, paquete, las cuales forman en mensaje a enviar, así mismo se utiliza el comando “LoRa.beginPacket” para iniciar el paquete y se define las escritura Lora que se enviaran, y por último se finaliza el mensaje con el comando “LoRa.endPacket”, a continuación en las “Figuras 58 y 59” una parte de la programación y un diagrama de flujo del proceso de la adquisición de datos.

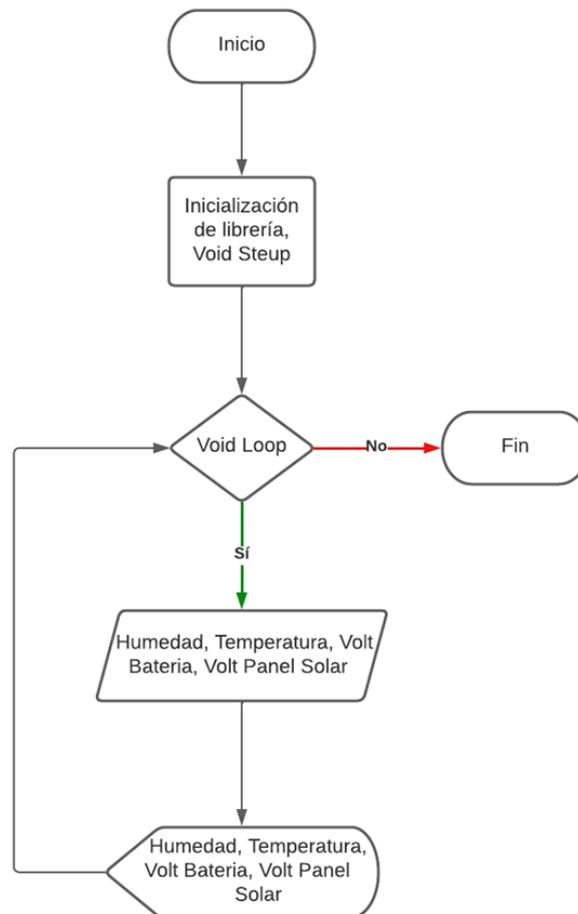
Figura 58. Transmisión de paquetes LoRa.

```

133 void enviarlora(byte destino, byte remite,
134                byte paqueteID, String paquete){
135     // espera que el radio esté listo
136     // para enviar un paquete
137     while (LoRa.beginPacket() == 0){
138         if (serial_msg==true){
139             Serial.println("Esperando radio disponible...");
140         }
141         yield(); // procesa wifi
142         delay(100);
143     }
144     // envío del mensaje LoRa
145     LoRa.beginPacket();
146     LoRa.write(destino);
147     LoRa.write(remite);
148     LoRa.write(paqueteID);
149     LoRa.write(paquete.length());
150     LoRa.print(paquete);
151     LoRa.endPacket();
152 }

```

Figura 59. Diagrama de flujo de Nodos finales LoRa.



XII-A2. PROGRAMACIÓN GATEWAY LORA: Para la programación del Gateway LoRa, el cual se encarga de recibir los datos enviados a través de la comunicación LoRa en forma de paquete, cabe destacar que se utilizó la librería “heltec.h” y sus configuraciones, la cual se mencionó en el apartado anterior (programación nodos LoRa), por otro lado se utilizó la librería “Wifi.h”, la cual es la encargada de conectar a la red y al Broker MQTT (servidor MQTT) mediante Wifi, la librería “separador.h” se utilizó para separar el mensaje recibido mediante LoRa, dado

que el dato recibido está estructurado de manera matricial.

Figura 60. Inicialización de librerías.

```
LoRa_Gateway$ config_wifi recibirlora reconnect sensorflujo
1 /*Universidad Politécnica Salesiana
2  * Ingeniería Mecatrónica
3  * Proyecto de Titulación
4  * Derick Guambo
5  * Dave Ordoñez
6 */
7 #include <WiFi.h>
8 #include <PubSubClient.h>
9 #include <Separador.h>
10 #include "heltec.h"
11 //Banda LoRa 433Mhz - ISM en Región
12 #define BAND 915E6 // 433E6,868E6,915E6
13
```

Para la conexión WiFi se establecieron variables denominadas “ssid” y “password”, en las cuales se colocaron el nombre de la red y su contraseña a la cual se conectará el Gateway Lora, por otro lado se coloca la dirección IP el cual se encuentra nuestro servidor MQTT, a continuación en la “Figura 61” se muestra el código para las conexiones.

Figura 61. Parámetros para conexión WiFi.

```
14 const char* ssid = "Netlife-KrisCal";
15 const char* password = "#8*D713C@";
16 const char* mqtt_server = "192.168.1.8";
17
```

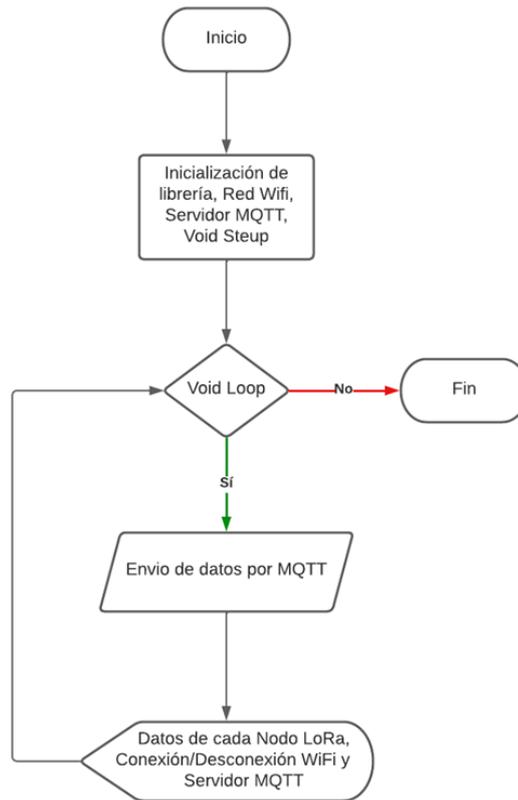
Por último para lectura del sensor de flujo YF-S403 seleccionado en la etapa de selección de materiales, se estableció una función llamada “sensorflujo”, se colocó un factor de conversión igual 7, en la cual mediante la obtención de la frecuencia de los pulsos en Hz se calcula el caudal en L/min.

Figura 62. Programación para sensor de flujo.

```
1 void sensorflujo(){
2   if (Serial.available()) {
3     if(Serial.read()=='r')volumen=0;//restablecemos el volumen si recibimos 'r'
4   }
5   float frecuencia=ObtenerFrecuencia(); //obtenemos la frecuencia de los pulsos en Hz
6   float caudal_L_m=frecuencia/factor_conversion; //calculamos el caudal en L/m
7   sf = caudal_L_m;
8 }
```

En la “Figura 63” se muestra un diagrama de flujo en el cual se presenta el funcionamiento del Gateway LoRa.

Figura 63. Diagrama de flujo de Nodo Gateway.



XII-B. ENSAMBLE DE NODOS LORA

Para el ensamble de cada uno de los nodos LoRa para las zonas de trabajo, se optó por utilizar una caja plástica con dimensiones 15 cm de altura y 11 cm de ancho, con una profundidad 7.4 cm, este tipo de caja cuenta con una protección IP55, la cual es ideal para la protección de los componentes electrónicos utilizados para la transmisión de datos, ya que dada su ubicación necesita estar protegido del polvo y del agua, así mismo se colocó una estructura metálica para el soporte de la caja mencionada anteriormente y para la ubicación de cada panel solar, se estableció una inclinación de 45° para una mejor optimización de los rayos solares, a continuación se muestra el ensamble terminado de cada nodo LoRa.

Figura 64. Ensamble de nodos LoRa.



XII-C. INSTALACIÓN DE PROGRAMAS EN RASPBERRY PI

Para iniciar el funcionamiento de la Raspberry Pi se procedió a la instalación del sistema operativo Raspbian el cual es utilizado en las placas Raspberry Pi, el sistema operativo puede ser descargado desde internet de forma gratuita y ejecutado mediante una tarjeta microSD.

Para la instalación de Node-RED, se utilizó una plataforma llamada Docker, la cual permite la instalación de los programas como contenedores dentro de la Raspberry, los cuales son de manera similar a una máquina virtual, esto se realizó para tener un menor procesamiento en la CPU de la Raspberry, así mismo se definió el puerto 1880, en donde Node-RED se ejecutará, además al momento de instalar se colocó una línea de código la cual permitirá que dicho programa se ejecute automáticamente, cuando el sistema sea reiniciado.

Figura 65. Instalación de Node-RED en Docker.

```
derick@raspberrypi ~
Last login: Wed Jul 27 23:43:50 2022
derick@raspberrypi:~$ docker run --name nodered -itd --restart=always
Unable to find image 'nodered/node-red:latest' locally
latest: Pulling from nodered/node-red
a6b45ace95f4: Pull complete
066c13198918: Pull complete
54984460d888: Pull complete
2561f28a38d0: Pull complete
ee2a6203a6b7: Pull complete
dddfe32ecacd: Pull complete
7a1ff5906b6b: Pull complete
4f4fb700ef54: Pull complete
e38265382631: Pull complete
18bac7e692ae: Pull complete
```

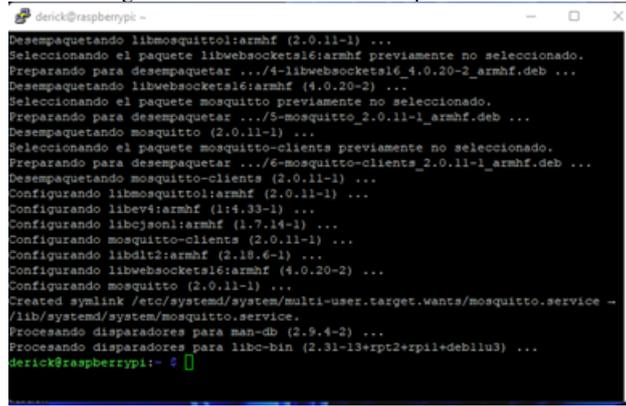
En la “Figura 66” se puede visualizar la programación con la que trabaja Node-RED, así mismo se muestra la dirección IP y puerto con la que se ingresó al programa, puede apreciar las diferentes funciones con las que cuenta.

Figura 66. Inicio de Node-RED.



Así mismo se procedió a instalar el Broker Mosquitto como contenedor, el cual tendrá como finalidad ser un servidor, en donde recibirá los datos obtenidos por los nodos finales LoRa mediante el protocolo de comunicación MQTT, al finalizar la instalación de dicho programa, su funcionamiento será a través del puerto 1883 en la Raspberry Pi. Además se estableció una línea de código que permitirá que el Broker se ejecute de manera automática cuando el sistema sea reiniciado, a continuación se muestra en la “Figura 67” las líneas de código utilizadas para la instalación.

Figura 67. Instalacion de Mosquitto Broker.



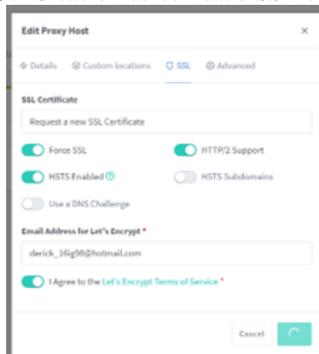
Por otra parte con la instalación del Broker Moquitto y Node-RED, se procedió a establecer la etapa de publicación de datos a través de internet, para lo cual en la red local donde se encuentra contactada la Raspberry Pi, se abrió puerto 1880 en el router junto con el protocolo TCP, esto permitirá que la dirección IP publica sea llamada a través de internet, para establecer la IP como una IP fija, se optó por usar un sistema de DNS gratuito denominado DuckDNS, el cual permitió crear un dominio al cual le dimos el nombre de “noderediot”, en la “Figura 68” se muestra la configuración del sistema DNS.

Figura 68. Creación de dominio DNS.



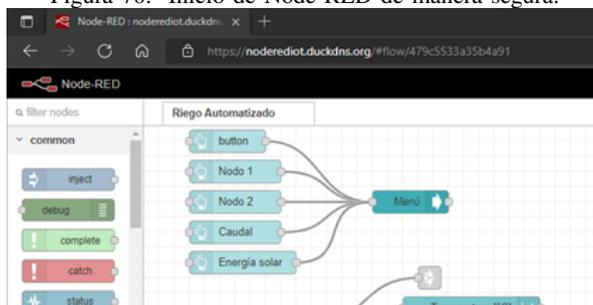
Se debe agregar que una vez creado el dominio en DuckDNS, se puede acceder a Node-RED colocando en cualquier navegador la siguiente dirección “noderediot.duckdns.org:1880”, pero esto se da de manera no segura ya que Node-RED no cuenta ninguna seguridad, para resolver este inconveniente se instaló un servidor web llamado NGINX, el cual nos permite crear un proxy Host, en el cual definimos el dominio creado anteriormente, así mismo el esquema que se usó “http” junto con la IP en la que se encuentra la Raspberry Pi, además se coloca el puerto con el que se ejecuta Node-RED, por otro lado para mejorar la seguridad, se creó un certificado SSL el cual NGINX permite usar por un determinado tiempo, a continuación se muestra la configuración para el certificado SSL.

Figura 69. Creación de certificado SSL en NGINX.



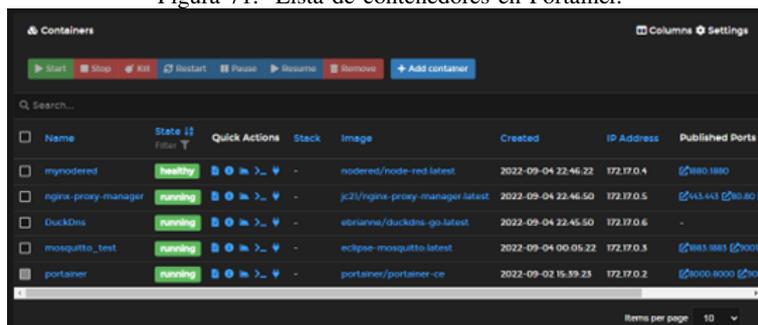
Luego de la creación del certificado SSL, se puede ingresar desde internet con el dominio establecido anteriormente, pero ahora con una mayor seguridad, en la “Figura 70” se muestra el ingreso a Node-RED con los cambios realizados.

Figura 70. Inicio de Node-RED de manera segura.



Para poder visualizar de manera ordenada los contenedores se instaló una interfaz gráfica llamada Portainer, la cual está gestionada para trabajar con los contenedores de Docker, además permite tener una administración de forma remota, el cual ayuda a poder trabajar con demás contenedores instalados en otros servidores, en la “Figura 71” se muestra los contenedores instalados dentro de la Raspberry Pi, con su respectiva dirección IP y los puertos con los que se estarán ejecutando cada uno de los contenedores.

Figura 71. Lista de contenedores en Portainer.

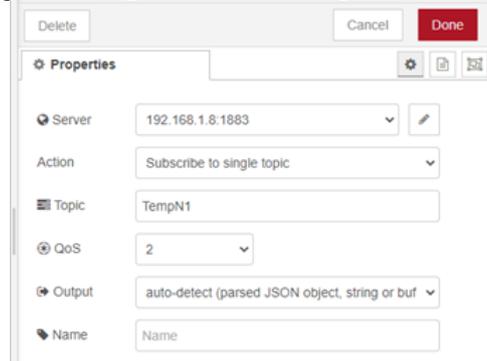


XII-D. PROGRAMACIÓN EN NODE-RED

Para iniciar la programación en Node-RED, se inicia colocando la dirección IP de la Raspberry Pi en cualquier dispositivo que cuente con un navegador, es necesario instalar dentro del programa nodos que servirán para mostrar, graficar y comunicar cada una de las procesos a analizar.

Los datos recibidos en el servidor son enviados por MQTT hacia la interfaz de programación de Node-RED, en la cual se hace uso de un nodo que puede recibir los mensajes a través del mismo protocolo mencionado, para la configuración de este nodo se debe establecer la dirección con la que cuenta el servidor (Broker Mosquitto), así mismo se coloca el tópico con el cual recibiremos los datos publicados en el servidor, esto se realizó para cada una de las variables como la temperatura, humedad, flujo, voltaje de batería y voltaje del panel solar en cada nodo LoRa.

Figura 72. Registro de servidor MQTT en Node-RED.



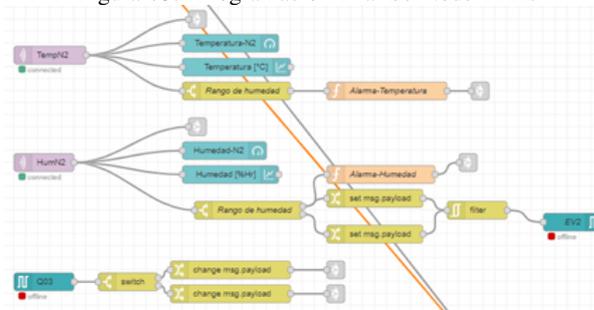
Por otro lado se usó el nodo switch para establecer los parámetros de la humedad relativa con el cual el plátano debe ser tratado, a continuación de muestra una tabla en la cual se presenta los rangos de humedad relativa establecidos.

Tabla XIX
RANGO DE HUMEDAD

Nodo Lora 1	Nodo Lora 2
Hum < 70 = Humedad baja	Hum < 60 = Humedad baja
Hum > 95 = Humedad normal	Hum > 80 = Humedad normal

Para establecer la comunicación con el PLC se usó el nodo S7 COMM, en la cual se definió la dirección IP a través del protocolo de comunicación TCP/IP con la que cuenta el PLC y el puerto con el que se trabaja en el protocolo de comunicación, el cual permite controlar las entradas y salidas del controlador, por otro lado cuando el valor de la humedad relativa presente en la plantación de plátano se encuentre por de debajo del 70 % esto enviara la señal para abrir la electroválvula 1 la cual está conectada en la salida Q2 para dar el paso del agua hacia los aspersores, así mismo cuando la humedad del plátano llegue al límite del 95 %, se enviara una señal que cerrara la electroválvula, cabe mencionar que esta misma lógica se realizó para controlar la salida Q3 y la apertura de la electroválvula 2 Así mismo se estableció un rango de temperatura para saber cuándo se presenta una elevación de temperatura en el suelo en los días soleados, siendo cuando la temperatura sea mayor a 30 grados se presenta una alerta la cual se podrá visualizar en el sistema general, además se establecieron alarmas cuando la humedad relativa se encuentren en los límites establecidos, a continuación en la “Figura 73” se muestra la programación realizada en Node-RED.

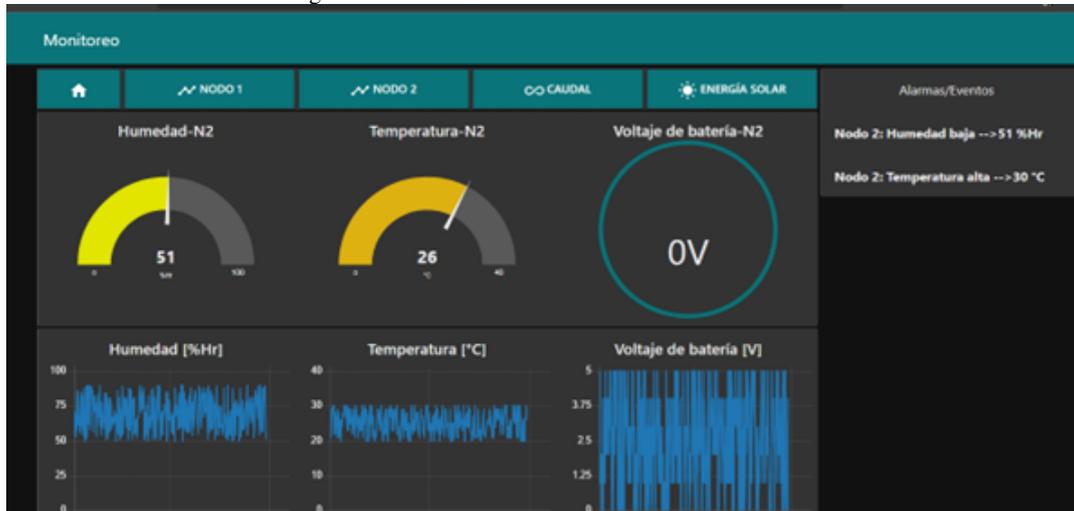
Figura 73. Programación final de Node-RED.



Para poder visualizar la graficas en tiempo real, de los datos recibidos por MQTT y las diferentes alarmas y

eventos, se instaló un nodo Dashboard, el cual está encargado graficar y mostrar de diferente manera los datos obtenidos, a continuación se muestra en la “Figura 74” el sistema de monitoreo. Para poder visualizar la graficas en tiempo real, de los datos recibidos por MQTT y las diferentes alarmas y eventos, se instaló un nodo Dashboard, el cual está encargado graficar y mostrar de diferente manera los datos obtenidos.

Figura 74. Visualización del sistema de monitoreo.



Para mostrar el proceso en general se diseñó un sistema gráfico, en el que se presenta visualmente el estado que se encuentra el proceso, dando los valores de los sensores de humedad y temperatura de cada Nodo final LoRa, así mismo muestra los valores del sensor de flujo y el estado de la bomba y las electroválvulas, en las “Figuras 75 y 76” se muestra la configuración y diseño final del sistema.

Figura 75. Programación para el diseño grafico del sistema de control.

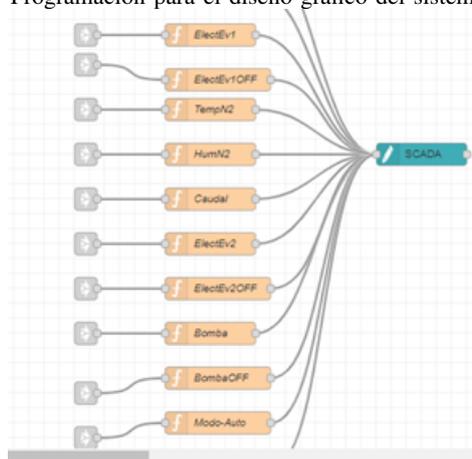
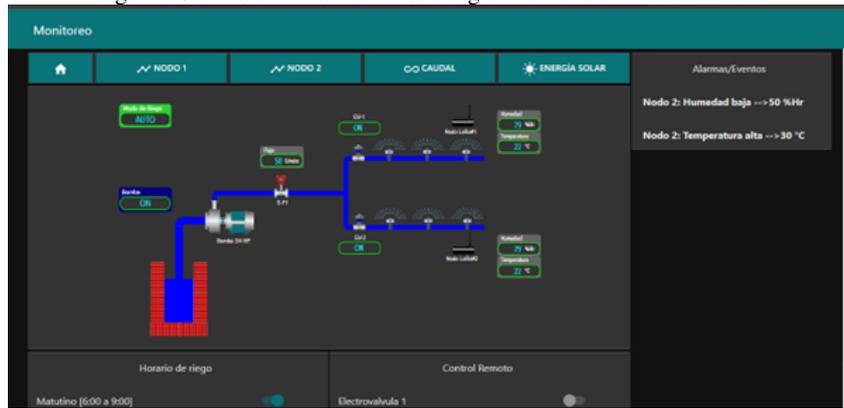


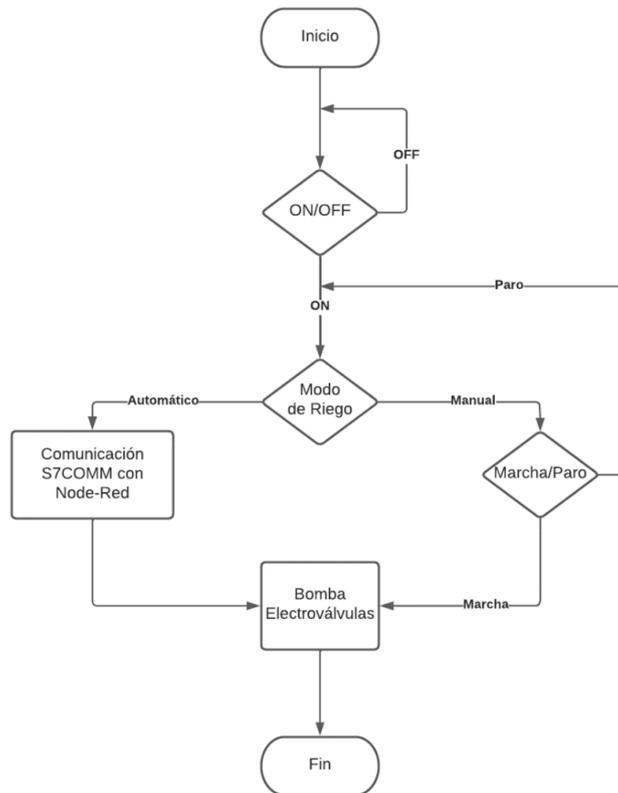
Figura 76. Visualización del diseño gráfico del sistema de control.



XII-E. PROGRAMACIÓN DE PLC LOGO! 8

El desarrollo del programa de control se estableció dando lugar a la comodidad del usuario, el cual es el encargado de operar el sistema de riego, en la “Figura 77” se muestra un diagrama de flujo en el cual presenta el funcionamiento del controlador lógico programable.

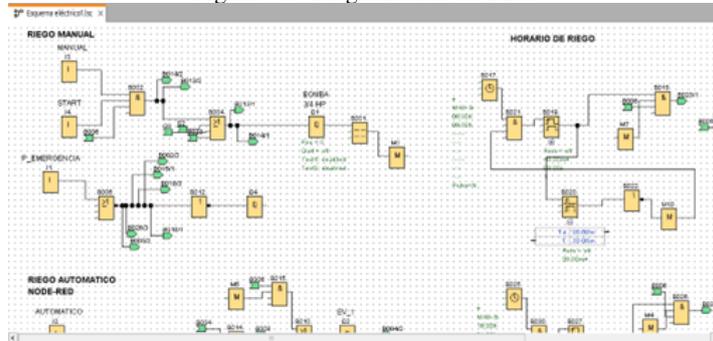
Figura 77. Diagrama de flujo de la programación del PLC.



Con el proceso establecido en el diagrama de flujo, se procede a seleccionar las compuertas lógicas con las que traja el PLC Logo! 8, se inició por establecer las entradas digitales, con las que se definió un modo de riego automático o manual y un horario de riego, además se colocó un paro de emergencia para la protección del usuario

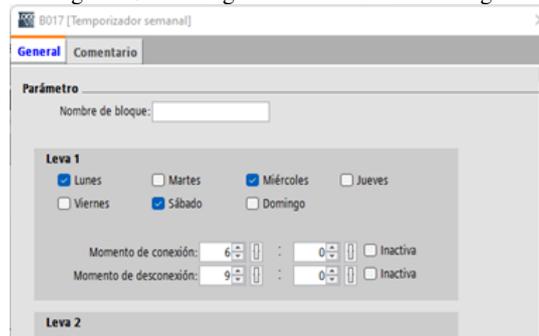
y de los dispositivos eléctricos, cuando se selecciona el método de riego manual, este de marcha a la bomba y en simultaneo activa las electroválvulas para dar el paso al flujo de agua en las tuberías. Así mismo cuando se selecciona el modo de riego automático, este recibe la información de Node-RED a través del protocolo de comunicación S7COMM, en donde dependiendo de los rango de humedad y temperatura se encenderá la bomba y de manera individual las electroválvulas que están ubicadas en las dos zonas de trabajo.

Figura 78. Programación de PLC.



Por otro lado con el horario de riego, se estableció los días en los cuales en los que se regara, se utilizó un temporizador semanal, en el cual se establecieron los horarios encendido y apagado, los cuales se dividieron en un horario matutino y un horario nocturno, esto se estableció con la finalidad de poder evitar el exceso de transpiración en el cultivo lo cual podría llegar a producir hongos y enfermedades.

Figura 79. Configuración de horario de riego.



Una vez finalizado la programación, se establecieron los parámetros de ajustes para la comunicación S7COMM y la dirección IP del PLC

Figura 80. Activación de protocolo S7COMM.



XII-F. CONSTRUCCIÓN DE TABLERO ELÉCTRICO

Para la construcción del tablero de control eléctrico, se realizó un diseño en base a los circuitos de fuerza y control presentados en el capítulo de diseño, una vez establecido la ubicación de los componentes, se dio paso a la construcción del tablero eléctrico con los materiales seleccionados, a continuación en la “Figura 81” se muestra el diseño realizado.

Figura 81. Diseño esquemático de tablero eléctrico

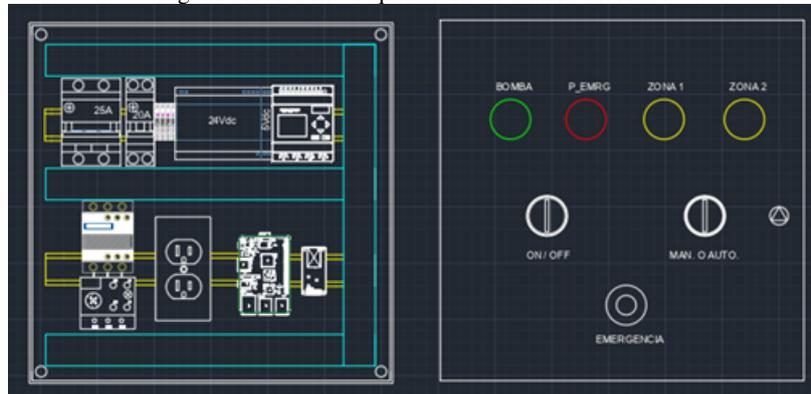


Figura 82. Construcción de tablero eléctrico



XII-F1. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA HIDRÁULICO: Para la implementación del sistema hidráulico, se utilizó una tubería de PE para succión de 1 pulgada por su mayor resistencia y flexibilidad que las tuberías de PVC, esta tubería es la que estará ubicada en el pozo, por otro lado se colocó una tubería primaria en la cual será de descarga, en donde estarán instalados dispositivos encargados del censado del caudal y presión, así mismo el filtrado de las impurezas para asegurar el correcto funcionamiento de los aspersores, para la tubería secundaria contara con una tubería PE de 1/2 pulgada, en donde se colocaran las electroválvulas para cortar el flujo en cada zona de trabajo, además se colocó una llave de paso general, la cual es manual y sirve para cortar el flujo de agua en todo el sistema hidráulico. En la “Figura 83” se presenta la ubicación de los componentes.

Figura 83. Colocación de bomba y componentes



Figura 84. Colocación de tubería de succión



Para la colocación de los aspersores se utilizó una tubería PE de 1/2 pulgada la cual contara con 3 aspersores con una distancia de 10 metros entre sí, cabe aclarar que esta configuración se realizó en las dos zonas de trabajo. En la “Figura 84” se presenta la ubicación de los aspersores y la tubería secundaria y terciaria.

XII-G. FRECUENCIA DE RIEGO

Se tomo en cuenta los parámetros del suelo usando una tabla en la que se muestra la capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), el suelo en el que se realizara este cálculo se trata de un suelo Franco arcilloso, el cual cuenta con una capacidad de campo de 27 %, y punto de marchitez de 13 %. A continuación en la “Tabla XX” se muestra los parámetros.

Tabla XX
TABLA DE PARÁMETROS DEL SUELO

Textura	Capacidad de campo (CC)	Punto de marchitez permanente (PMP)	Humedad aprovechable (cm/m)
Arenoso	9	4	8
Franco arenoso	14	6	12
Franco	22	10	17
Franco arcilloso	27	13	19
Arcilloso arenoso	31	15	21
Arcilloso	35	17	23

Teniendo en cuenta los valores de CC y PMP, se procede a calcular la evapotranspiración con la siguientes ecuación.

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (24)$$

$$ET_c = 83 \times 0.15 \quad (25)$$

$$ET_c = 12[mm/mes] \quad (26)$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

ET_0 = Evapotranspiración de referencia (mm/día).

K_c = Constante de las plantas.

Con el cálculo de la evapotranspiración se procede a realizar el cálculo de la humedad aprovechable con la siguiente formula:

$$Ha = \frac{CC\% - PMP\%}{100} \times Porf \times (1 - pred) \quad (27)$$

Se toman los valores de CC y PMP presentados en la tabla anterior, así mismo se toma la profundidad de riego con un valor de 30 cm.

$$Ha = \frac{27\% - 13\%}{100} \times 30 [cm] \times (1 - 0)$$

$$Ha = 4.2 [cm] \quad (28)$$

Con el este dato se procede a realizar el cálculo de la humedad de déficit tomando en cuenta la siguiente tabla en la que presenta el umbral de riego.

Tabla XXI
UMBRAL DE RIEGO

Textura	Riego Tradicional (%)	Riego Tecnificado (%)
Arenoso	20 - 40	20 - 30
Franco arcilloso	40 - 60	30 - 50
Franco	30 - 60	30 - 40

$$Hd = Ha \times UR \quad (29)$$

$$Hd = 4.2 [cm] \times \frac{40}{100} \quad (30)$$

$$Hd = 1.68 [cm] \times 10 \quad (31)$$

$$Hd = 16.8 [mm] \quad (32)$$

En donde:

Ha = humedad aprovechable.

UR = umbral de riego.

Para calcular la frecuencia de riego, se necesita el dato calculado anteriormente del ET_c (mm/mes):

$$FR = \frac{ET_c}{Hd} \quad (33)$$

$$FR = \frac{12.45 [mm/mes]}{16.8 [mm]} \quad (34)$$

$$FR = 0.74 [mes] \quad (35)$$

$$FR = 3.21 [semanas] \quad (36)$$

Por último para calcular el tiempo de riego, en el cual se debe tomar en cuenta la eficiencia del sistema de riego es del 85 %.

$$TR = \frac{ET_c}{pp \times Ef} \quad (37)$$

$$TR = \frac{12.45 [mm/mes]}{36 [mm/h] \times 0.85} \quad (38)$$

$$TR = 0.4 [horas/semana] \quad (39)$$

Con el resultado de la frecuencia de riego se establece que 3 veces por semana se debe realizar el riego con un total de 40 minutos lo cual lograría humedecer el suelo en donde se encuentra el cultivo.

XIII. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En este apartado se muestran las pruebas realizadas en el sistema de riego, tanto eléctricas, electrónicas, hidráulicas y de comunicación que se utilizaron en la etapa de implementación del sistema de riego automatizado por aspersión mediante comunicación IoT.

XIII-A. PRUEBAS DE SENSORES

La primera parte con la cual se comenzó a realizar las pruebas fueron los sensores, ya que con estos se comienza la adquisición de datos, el primer sensor que se utilizó fue el sensor de temperatura DS18B20, se conectó a la computadora junto con el microcontrolador y comenzó a mostrar las lecturas correctamente y se comprueba que el sensor cumple con los resultados esperados, las lecturas se realizaron mediante el IDE de Arduino.

Como parte del proceso de toma de datos del suelo se utilizó el sensor de humedad SHT10, el cual al momento de conectarlo y poner en funcionamiento mostraba errores al presentar la humedad, como solución a este problema se procedió a corregir la programación incluyendo una actualización en la librería ideal para el microcontrolador con ESP32, así mismo cambiando el tiempo entre lecturas del sensor, el cambio solucionó el problema con el sensor el cual funcionó correctamente dando con precisión la humedad, por otro lado la ubicación de los sensores al momento de estar en las zonas de trabajo fue de una distancia de 10 cm de la planta de plátano, así mismo se colocó el sensor a una profundidad de 20 cm para poder obtener una mejor muestra de la humedad del suelo.

Figura 85. Prueba de sensores



Del mismo modo, el sensor de flujo YF-S403, estuvo sometido a pruebas y al momento de conectarlo no presentó ningún problema de funcionamiento, lo que se realizó fue la calibración del sensor para poder tener una mejor exactitud al momento de realizar la medición, esto se logró cambiando los parámetros del factor de conversión que nos presenta el fabricante.

Así mismo los divisores de voltajes que se realizaron en la etapa de diseño electrónico, los cuales miden el voltaje de la batería y el panel solar, no presentaron ningún tipo de problema al momento de realizar la medición, estos respondían con las diferentes pruebas con respecto al voltaje, lo cual se logró correctamente, dando los valores exactos del voltaje.

Como parte final de esta etapa de prueba con los sensores, se considera que cada uno funciona correctamente junto con la programación realizada, estas pruebas se pueden realizar de manera general, lo que precisamente se

realizó en este apartado y la cual es muy importante para el avance del proyecto.

XIII-B. PRUEBAS DE PROGRAMACIÓN

Para las pruebas de programación se comenzó principalmente con la inclusión de las librerías para cada uno de los sensores y la transmisión de los datos que se utilizaron en el prototipo, las librerías utilizadas funcionaron de manera correcta, con una excepción, la cual fue la librería para el sensor de humedad SHT10 donde la respuesta que se quería obtener de esta librería no era correcta, la librería tuvo que actualizarse a una versión en la que el chip ESP32 es compatible, porque luego se utilizó la librería “SHT1x.h” pero con cambios para poder utilizarse con el chip mencionado anteriormente, cabe mencionar que estas librerías se utilizaron para cada uno de los microcontroladores que cumplen la función de nodo final LoRa.

Para el microcontrolador que funciona como gateway se establecieron unas librerías extras la cuales ayudaron a la conexión con la red wifi y a la comunicación con el Broker MQTT, al momento de escribir la programación para enviar los datos por MQTT, se colocaron los tópicos para cada una de las variables de humedad, temperatura y los voltajes de las baterías y paneles solares, los cuales se publicaran los datos a Node-RED, cabe recalcar que estos tópicos deben ser iguales para que funcionen de manera correcta, para la programación de la comunicación LoRa multipunto se establecieron identificadores (ID) a cada nodo final LoRa, esto con la finalidad de que el gateway pueda preguntar le ID a los nodos finales y estos cuando su identificador sea correcto enviara el paquete hacia el receptor, como parte final de esta pruebas se considera que cada uno de las programaciones realizadas funcionan correctamente junto con los sensores.

XIII-C. PRUEBAS ELÉCTRICAS

Las pruebas eléctricas que se realizaron son las más importantes, ya que el tablero eléctrico es el que suministra la energía eléctrica a todo el sistema, las pruebas que se realizaron fueron pruebas de medición de voltaje para comprobar que no exista alguna subida de tensión la cual pueda dañar a los equipos, así mismo se comprobó el correcto funcionamiento y conexión de cada uno de los interruptores termomagnéticos, pulsadores, paro de emergencia y fuentes de voltaje, así mismo se realizó las pruebas de funcionamiento de las electroválvulas para el control del paso del agua al momento de accionar de manera manual, automática y remota.

Figura 86. Prueba de tablero eléctrico



XIII-D. PRUEBAS HIDRÁULICAS

Para las pruebas hidráulicas en el sistema de riego, primero se realizó una prueba manual junto con la tubería de succión en la que se colocó una válvula check de cámara vertical la cual cuenta con un filtro de acero inoxidable para la succión de agua del pozo y así llenar la tubería para no forzar a la bomba al momento de succionar el agua, una vez realizado esta prueba se obtuvo un buen resultado y se procedió a cebar la bomba para poder encenderla y comenzar con la parte de succión del agua, así mismo se colocó las tuberías primarias, secundaria y las tuberías porta aspersores, el flujo de agua a través de las tuberías fue correcto lo que llevo al correcto funcionamiento de los aspersores a una presión constante con la cual trabajan y poder llevar el agua a las plantaciones de plátano.

Figura 87. Conexiones de tuberías



XIII-E. PRUEBAS COMUNICACIÓN

Para el apartado de la pruebas de comunicación se conectó el sistema completo para la comunicación, lo primero fueron los nodos finales LoRa los cuales mediante los sensores mencionados anteriormente enviaron la información en forma de paquete al gateway LoRa, esta comunicación que se estableció fue una comunicación multipunto en la que no solo un nodo envía la información, si no que ambos nodos pueden enviar al mismo tiempo los paquetes, pero con identificadores (ID) los cuales se establecieron en la programación, en la “Figura 88” se muestra los mensajes recibidos a través de LoRa.

Figura 88. Prueba de comunicación LoRa

```
COM3
17:07:58.604 -> 0.00
17:08:00.292 -> Mensaje Nodo1: 66.55|28.81|4.03|4.76
17:08:00.292 -> RSSI: -52dBm
17:08:00.292 -> Snr: 14dB
17:08:00.292 ->
17:08:00.854 -> Mensaje Nodo2: 65.94|28.69|3.81|4.60
17:08:00.854 -> RSSI: -59dBm
17:08:00.854 -> Snr: 14dB
17:08:00.854 ->
17:08:02.782 -> 0.00
17:08:05.596 -> Mensaje Nodo2: 65.97|28.69|3.81|4.63
17:08:05.596 -> RSSI: -57dBm
17:08:05.596 -> Snr: 16dB
```

Con los datos recibidos, el gateway se encarga de conectarse a internet y así mismo conectarse al Broker MQTT enviado los datos obtenidos de los sensor, pero separándolos por los tópicos que se definieron en la programación

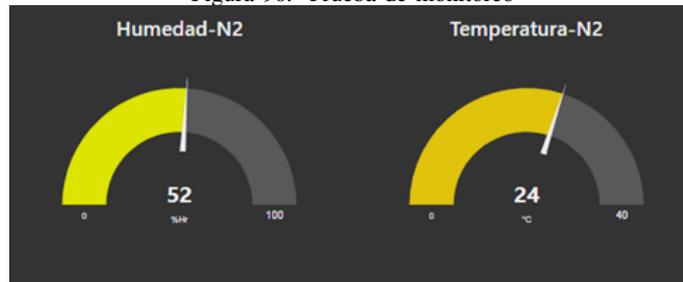
del gateway, en la “Figura 89” se muestra la terminal en donde se muestran los mensajes del Broker Mosquitto.

Figura 89. Prueba de conexión con Mosquitto

```
1662518999: Client H32LoRa closed its connection.
1662519007: New connection from 157.100.198.73:46484 on port 1883.
1662519007: New client connected from 157.100.198.73:46484 as H32LoRa (p2, c1, k15).
1662519810: Client nodered_7afeefbe5d8ac235 has exceeded timeout, disconnecting.
1662519826: New connection from 45.236.171.163:47754 on port 1883.
1662519826: New client connected from 45.236.171.163:47754 as nodered_7afeefbe5d8ac235 (p2, c1, k60).
1662520272: Client nodered_96baf3c8a67017da has exceeded timeout, disconnecting.
1662520641: New connection from 172.17.0.1:53832 on port 1883.
1662520641: New client connected from 172.17.0.1:53832 as nodered_3d52ce6537c58815 (p2, c1, k60).
```

Por otro lado en Node-RED se configuró los tópicos establecidos en la programación del microcontrolador y se obtuvo una conexión exitosa a través de internet, dado que se enviaron los datos de los sensores de temperatura y humedad.

Figura 90. Prueba de monitoreo



Para finalizar esta prueba de comunicación, se realizó el control del PLC Logo!8 para poder activar la bomba y las electroválvulas de manera remota, esto se realizó a través del protocolo S7COMM con el que cuenta el controlador, teniendo así mismo una prueba exitosa al momento de establecer la comunicación.

XIII-F. PRUEBAS DEL SISTEMA COMPLETO

De manera general, el sistema completo no presento ninguna falla al iniciar, cada nodo final LoRa con sus respectivos sensores funcionaron de manera óptima, el tiempo de envío de datos fue de manera casi inmediata, debido a la comunicación LoRa, cabe mencionar que al momento de colocar los sensores de humedad y temperatura el suelo del cultivo se encontraba en condiciones de baja humedad, con estos datos que obtuvieron los sensores se probó el funcionamiento de la programación de las alarmas cuando la humedad sea menor al valor establecido y así mismo cuando la temperatura exceda el valor establecido se mostró la alarma en la pantalla principal del sistema de control, dando lugar que la bomba se encendiera y las electroválvulas también den apertura para iniciar el riego junto con los aspersores, con esto se probó la comunicación y el control de las salidas del PLC de manera remota, con el suelo un vez humedecido, los sensores captan el cambio de la humedad y manda la señal para terminar el riego, así mismo se probó el riego de manera manual, el cual está presente en el tablero de control eléctrico, el sistema de manera manual, logro funcionar sin ningún problema, por otro lado se hizo la medición de flujo que pasa a través de la tubería, con la finalidad de tener información en tiempo real del caudal que está pasando por dicha tubería y el consumo de agua, esta prueba funciono de manera idónea dando lugar a poder visualizar de manera remota los datos presentes en el cultivo en una interfaz gráfica.

Para el riego por horario se realizó la prueba poniendo en marcha que el riego se de en el horario matutino establecido en la programación del PLC, al realizar esta prueba no se tuvo ningún inconveniente y logro cumplir con el horario establecido, como parte final de estas pruebas se considera que cada una de las partes del sistema de riego funcionan de manera correcta dando los resultado esperados.

XIV. RESULTADOS

XIV-A. RESULTADOS DE SENSORES

Los sensores de humedad y temperatura funcionaron de manera eficaz durante todo el proceso, dado que uno de los objetivos de este proyecto se poder controlar la dosificación del agua y obtener las variables que influyen en el cultivo, por lo tanto la lectura de los sensores debe configurarse de tal manera que el suelo cuente con la humedad y temperatura necesaria. El tiempo de respuesta de todos los dispositivos fueron satisfactorios para el sistema de riego automatizado, así mismo la comunicación mediante LoRa fue óptima y la transmisión de los datos no tuvo ningún problema así cumpliendo con el objetivo de implementar la comunicación IoT, en las “Tablas XXII y Tabla XXIII” se muestra los datos obtenidos sin el sistema de riego incorporado y luego con el sistema de riego automatizado ya instalado.

Tabla XXII
DATOS SIN SISTEMA DE RIEGO

Nodo LoRa 1		
Humedad	Temperatura	Fecha
65.9	27.85	20/8/2022 16:14
65.9	27.90	20/8/2022 16:24
65.8	27.82	20/8/2022 16:34
65.9	27.8	20/8/2022 16:49
65.9	27.82	20/8/2022 16:59
65.9	27.85	20/8/2022 17:10
65.10	27.84	20/8/2022 17:20
65.9	27.84	20/8/2022 17:35
65.9	27.84	20/8/2022 17:45
65.9	27.84	20/8/2022 17:55
65.9	26.40	20/8/2022 18:00
65.9	26.40	20/8/2022 18:10
65.9	26.50	20/8/2022 18:25
65.10	28.3	20/8/2022 18:35
65.9	27.40	20/8/2022 18:45
65.9	27.40	20/8/2022 18:55

Tabla XXIII
DATOS CON SISTEMA DE RIEGO

Nodo LoRa 1		
Humedad	Temperatura	Fecha
91.70	25.90	24/8/2022 13:35
91.73	25.90	24/8/2022 13:45
91.73	25.93	24/8/2022 13:55
91.73	25.88	24/8/2022 14:05
91.74	25.85	24/8/2022 14:15
91.74	25.70	24/8/2022 14:25
92.1	24.84	24/8/2022 14:34
92.34	24.84	24/8/2022 14:44
92.36	24.84	24/8/2022 14:54
93.10	24.84	24/8/2022 15:04
93.25	24.40	24/8/2022 15:15
93.50	26.45	24/8/2022 15:25
94.45	26.34	24/8/2022 15:36
94.46	26.34	24/8/2022 15:46
94.45	26.40	24/8/2022 15:56
94.45	26.40	24/8/2022 16:06

XIV-B. RESULTADOS DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

Los elementos eléctricos y electrónicos a lo largo de las pruebas de funcionamiento no mostraron ningún problema, cada uno de los dispositivos funcionaron correctamente y trabajando en conjunto con los dispositivos electrónicos los cuales envían los datos al Gateway y este con la ayuda de Node-RED controlaba los equipos de fuerza en el sistema, se establece que el proceso concluyo de manera ordenada y correcta.

XIV-C. RESULTADOS DE LOS ELEMENTOS HIDRÁULICOS

Los elementos hidráulicos presentes en el sistema funcionaron correctamente durante el proceso en general, mostrando ningún error o falla, así mismo al momento de regar con los aspersores se obtuvo el resultado esperado, ya que el sistema hidráulico en conjunto con los aspersores logró abastecer correctamente el riego en las zonas de trabajo con la presión y caudal necesarios, estos resultados se puede visualizar en el Anexo E.

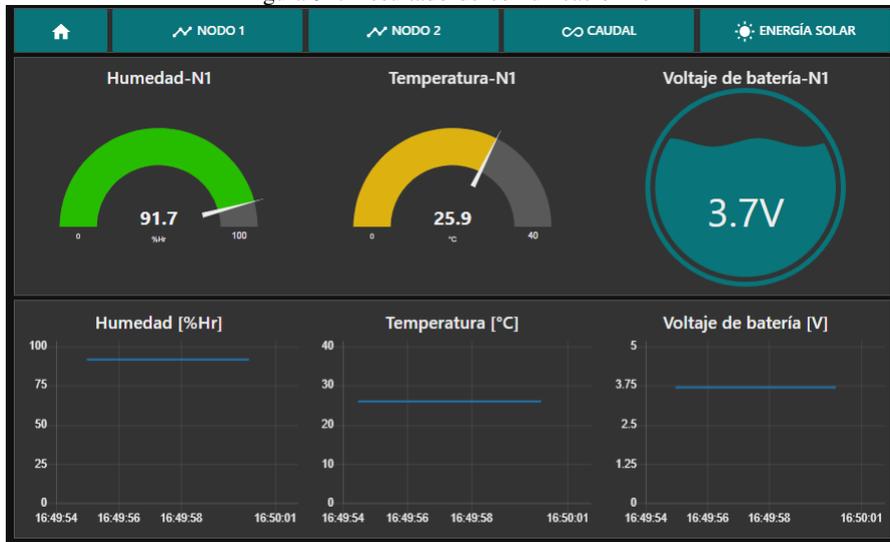
XIV-D. RESULTADOS DE LA COMUNICACIÓN

El resultado de la comunicación del sistema fue satisfactorio, dado que la implementación del IoT y la comunicación LoRa tuvo un gran aporte, dando lugar a poder tener un control local y remoto del proceso.

Cada nodo LoRa envió correctamente el paquete de datos de los sensores con los que cuenta, así mismo el Gateway gracias a la correcta programación pudo funcionar con un receptor multipunto, para que ambos nodos logaran enviar la información al mismo tiempo.

Por otro lado se obtuvo un resultado optimo al momento de visualizar el proceso vía internet y así mismo poder controlarlo remotamente, siendo así un sistema en cual el usuario puede estar ubicado desde cualquier parte y tener un control del sistema de riego.

Figura 91. resultado de comunicación IoT



XV. CRONOGRAMA Y ACTIVIDADES

Sede:		Autor 1:		Autor 2:																				
Guayaquil		Derek Israel Guamba Alvarado		Dave Christian Oulanic Pilly																				
Campus:		Mecatrónica		Mecatrónica																				
Carrera:		2022.2 - 2022		2022.2 - 2022																				
Período:		Desarrollo de un sistema de riego automatizado por inspección mediante comunicación IoT		Desarrollo de un sistema de riego automatizado por inspección mediante comunicación IoT																				
Tema de trabajo de titulación:		Ing. Nino Vega		Ing. Nino Vega																				
Tutor de trabajo de titulación:																								
N°	Actividades	Fecha inicial	Fecha final	Estado	Mes / Semana																			
					Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre									
					1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Búsqueda de tema	4/11/2021	10/11/2021	Completado																				
2	Definición de tema	17/11/2021	19/11/2021	Completado																				
3	Confirmación de tema	18/11/2021	19/11/2021	Completado																				
Inicio del desarrollo																								
4	Estado del arte	18/11/2021	19/11/2021	Completado																				
5	Base de datos - Artículos	18/11/2021	19/11/2021	Completado																				
6	Arbol del problema	18/11/2021	19/11/2021	Completado																				
7	Planteamiento del problema	19/11/2021	26/11/2021	Completado																				
8	Métodos para citas bibliográficas	29/11/2021	3/12/2021	Completado																				
9	Justificación	6/12/2021	16/12/2021	Completado																				
10	Objetivos	17/12/2021	24/12/2021	Completado																				
11	Elaboración de Marco Teórico	17/12/2021	24/12/2021	Completado																				
12	Elaboración de Marco Metodológico	17/12/2021	24/12/2021	Completado																				
13	Hipótesis	27/12/2021	30/12/2021	Completado																				
14	Bibliografía	31/2022	7/1/2022	Completado																				
Trabajo terminado																								
15	Cronograma de actividades	10/1/2022	14/1/2022	Completado																				
16	Análisis de presupuesto	11/1/2022	14/1/2022	Completado																				
17	Presupuesto	11/1/2022	21/1/2022	Completado																				
18	Revisión de Tema	22/1/2022	27/1/2022	Completado																				
19	Búsqueda de información	10/2/2022	21/3/2022	Completado																				
20	Diseño electrónico	30/3/2022	20/4/2022	Completado																				
21	Diseño hidrónico	20/4/2022	16/6/2022	Completado																				
22	Primera revisión	18/4/2022	18/5/2022	Completado																				
23	Compra de equipos	14/6/2022	14/6/2022	Completado																				
24	Elaboración de albero eléctrico	22/6/2022	24/6/2022	Completado																				
25	Ensamble de componentes electrónicos	27/6/2022	6/7/2022	Completado																				
26	Segunda revisión	28/6/2022	11/7/2022	Completado																				
27	Colocación de tuberías	4/7/2022	4/7/2022	Completado																				
28	Colocación de aspersores	11/7/2022	25/7/2022	Completado																				
29	Ensamble del prototipo	13/7/2022	25/7/2022	Completado																				
30	Análisis de los resultados	28/7/2022	29/7/2022	Completado																				
31	Conclusiones y recomendaciones	2/8/2022	30/8/2022	Completado																				
32	Presentación del proyecto	9/9/2022	12/9/2022	Completado																				

XVI. PRESUPUESTO

En esta sección se detalla el presupuesto que se utilizó a partir de los diseños, cálculos y datos obtenidos para el desarrollo del sistema de riego automatizado por aspersión mediante comunicación IoT, el cual esta ubicado en el cantón Marcelino Maridueña, Ecuador.

Tabla XXIV
CUADRO DE PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO

DESCRIPCION	MARCA	CANTIDAD	P.V.P	PRECIO
Fuente de alimentación conmutada 5V DR-15 15W	MeanWell	1	\$ 9,87	\$ 9,87
Fuente de alimentación conmutada 24 V DR-60 24V	Das Pioneer	1	\$ 6,20	\$ 6,20
Módulo convertidor Step up de 3.7 a 12 V	Borui	2	\$ 1,95	\$ 3,90
433MHz Antenna LORA LORAWANMale Connector	GrandWisdom	3	\$ 4,24	\$ 12,72
cargador de polímero de litio MCP73871	Comimark	2	\$ 8,99	\$ 17,98
Válvula solenoide eléctrica de latón 1/2" 24V (N/C)	Beduan	2	\$ 21,99	\$ 43,98
Panel Solar 2W 6V 330mA	SunnyTech	2	\$ 7,99	\$ 15,98
Sensor de flujo de agua de 3/4 pulgadas	Gredia	1	\$ 10,99	\$ 10,99
Clip Holder Case SMD batería 18650 (pack de 4)	Luorng	1	\$ 7,99	\$ 7,99
Sensor humedad del suelo FS200-SHT10-03	Tyenaza	2	\$ 14,99	\$ 29,98
Sensor de temperatura DS18B20		2	\$ 4,70	\$ 9,40
PLC Logo! 8 12/24 RCE	Siemes	1	\$ 110,00	\$ 110,00
Módulo Heltec wifi LoRa 32	Heltec	3	\$ 30,00	\$ 90,00
Soporte de montaje en riel DIN para Raspberry Pi	Chanzon	2	\$ 18,99	\$ 37,98
Kit de resistencia 1/4 W, 300 unidades	HCDC	1	\$ 10,99	\$ 10,99
Regulador de voltaje Step up/Step Down 5V 1A	Pololu	2	\$ 6,95	\$ 13,90
Raspberry Pi 4 Model B Starter Kit	Raspberry Pi	1	\$ 60,00	\$ 60,00
Fabricación de PCB		2	\$ 20,00	\$ 40,00
Tablero metálico 40x40x20Cm	CGC	1	\$ 39,10	\$ 39,10
Pulsador metálico 22mm-Hongo rojo	CGC	1	\$ 2,90	\$ 2,90
Selector plástico 22mm-2 posiciones	CGC	1	\$ 2,00	\$ 2,00
Luz piloto 22mm Led rojo 110V	CGC	1	\$ 1,54	\$ 1,54
Luz piloto 22mm Led verde 110V	CGC	1	\$ 1,54	\$ 1,54
Prensa estopa plastico PG9		9	\$ 0,60	\$ 5,40
Aspersores		6	\$ 1,50	\$ 9,00
Accesorios/tuberias		1	\$ 80,00	\$ 80,00
Kit de bomba periférica 3/4 con tanque de presion	Pedrollo/Metalfesa	1	\$ 250,00	\$ 250,00
Tranporte general		1	\$ 50,00	\$ 50,00
Sueldos		2	\$ 400,00	\$ 800,00
Gastos de envio		1	\$ 102,68	\$ 102,68
Alimentación		1	\$ 20,00	\$ 20,00
Gastos de oficina		1	\$ 20,00	\$ 20,00
Total				\$ 1.916,02

XVII. CONCLUSIONES

Con el desarrollo del presente proyecto de investigación, se tiene información necesaria y suficiente que permite llegar a las siguientes conclusiones:

- Se llegó a la conclusión que existen dos variables de suma importancia que influyen en el consumo del recurso hídrico al momento de la irrigación, estas son, temperatura la misma que se determinó por el motivo del aumento de esta en el suelo la cual da como resultado una mayor evaporación del agua; así mismo por la desvanecimiento del agua se reduce la otra variable que es la humedad la cual está presente en el suelo.
- En conclusión se desarrolló el sistema mecatrónico para la dosificación de agua en un sistema de riego por aspersión, aplicando nuevas tecnologías de comunicación y transmisión de datos, que ayudaron al mejoramiento del cultivo, estas son, LoRa, la misma que transmite los datos con un rango máximo de hasta ocho kilómetros; Node-RED, es una plataforma IoT, esta se encarga de recibir los datos que son enviados por el protocolo MQTT y al recibirlos los muestra en una interfaz gráfica mediante un Dashboard.
- Se concluyó que a través de la comunicación LoRa la cual envía datos a un servidor (MQTT) en conjunto con el programa Node-RED nos permite monitorizar las variables físicas y químicas que se obtienen de los sensores, así también permite el control de los equipos de fuerza presentes en el sistema.
- Se analizó que el consumo del agua antes de la aplicación del sistema de riego automatizado por aspersión era muy elevado ya que no se contaba con un registro de la humedad presente en el suelo, por la cual el desperdicio del agua era mucho mayor, ahora mediante la aplicación del sistema automatizado se concluye que dependiendo de la humedad y temperatura presentes en el suelo, el riego se realizará sólo cuando estas variables alcancen sus valores establecidos, es decir cuando la humedad esté por debajo del rango de 70 %, se dará la apertura para el flujo del agua, así mismo cuando la humedad alcance su valor nominal de 90 % se suspenderá el riego.

XVIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener en cuenta los factores que afectan al cultivo con cual se realizará el riego, para que al momento de realizar la automatización se pueda obtener una mejor gestión de los recursos.
- Se recomienda implementar en otros cultivos diferentes al del plátano el sistema de riego por aspersión y verificar la versatilidad para el agricultor de acuerdo con el tipo de cultivo y fuente de agua, así mismo proporcionarle información de qué bomba es adecuada para el sistema que se requiera.
- El sistema de riego puede tener una compatibilidad con otras plataformas para el servicio para la transmisión y monitorización de los datos como ThingSpeak, Ubidots, Grafana entre otros.
- Se recomienda realizar futuras investigaciones para la implementación de la comunicación mediante IoT y LoRa, ya que estas presentan grandes avances no solo para sistemas de riego y agricultura, sino también para diversas áreas en general.

REFERENCIAS

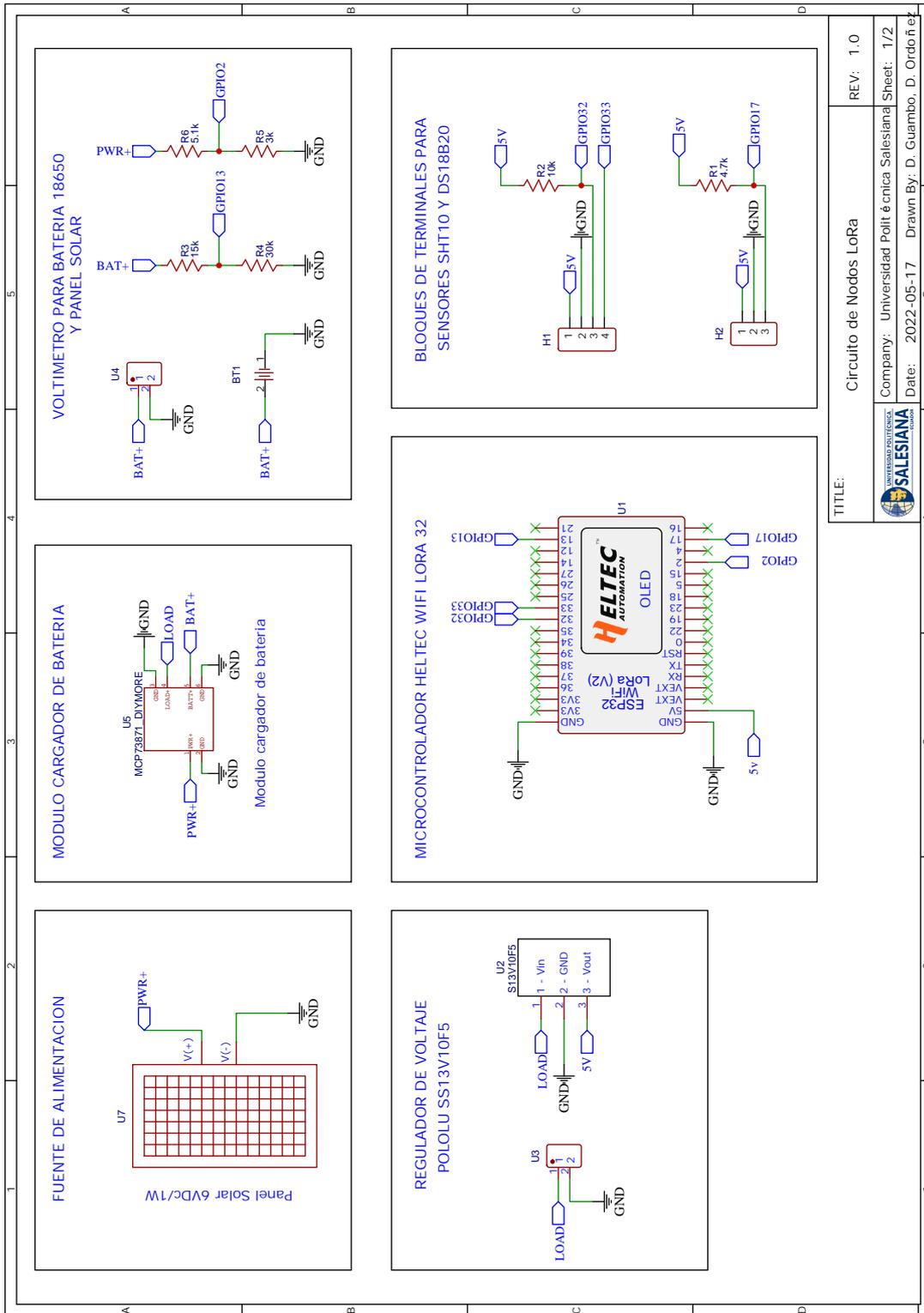
- [1] AGROCALIDAD, «BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS PARA BANANO,» *Syria Studies*, vol. 7, n.º 1, págs. 37-72, 2015, ISSN: 17549469. arXiv: arXiv:1011.1669v3. dirección: [https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/%5Csim\\$reynal/Civil%20wars_12December2010.pdf%0Ahttps://think-asia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625](https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/%5Csim$reynal/Civil%20wars_12December2010.pdf%0Ahttps://think-asia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625).
- [2] Aquae Fundación, *Efectos del cambio climático sobre el agua*, 2019. dirección: <https://www.fundacionaquae.org/agua-cambio-climatico-efectos/>.
- [3] AutoSolar, *¿Qué es un relé térmico?* 2017. dirección: <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-es-un-rele-termico>.
- [4] J. Beningo, *Cómo seleccionar y usar el módulo ESP32 con Wi-Fi/Bluetooth adecuado para una aplicación de IoT industrial*, 2020. dirección: <https://www.digikey.com/es/articles/how-to-select-and-use-the-right-esp32-wi-fi-bluetooth-module>.
- [5] E. Berner, *¿Qué es un PLC (Control Lógico Programable)*, 2012. dirección: <https://bricos.com/2012/08/que-es-un-plc-control-logico-programable/>.
- [6] P. Bruna y M. Ortega, «Introducción a la evapotranspiración del agua en las plantas cultivadas,» *Centro de transferencia Agroalimentaria*, pág. 8, 2018. dirección: https://www.aragon.es/documents/20127/674325/IT_269-18.pdf/9712441a-f8c1-e991-2831-5bc8dbded142.
- [7] G. Carballo, «La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica Por Gustavo Arencibia-Carballo,» *Redvet*, vol. 17, n.º 6, pág. 2, 2016. dirección: <https://www.redalyc.org/pdf/636/63647456002.pdf>.
- [8] B. Castillo, «6 tipos de métodos de investigación,» *GuiaUniversitaria*, 2020. dirección: <https://guiauniversitaria.mx/6-tipos-de-metodos-de-investigacion/>.
- [9] Catsensors, *Tecnología LoRa y LoRaWAN*, 2018. dirección: <https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan>.
- [10] G. César Saez De Arregui, J. M. Márquez, S. T. Marchisio et al., «Sensores remotos para el monitoreo de generación y uso de energía renovable,» págs. 103-110, 2019.
- [11] V. Cortes Cadavid y M. F. Vargas Garcia, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO Y MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES MEDIANTE IOT EN LOS CULTIVOS URBANOS DE LA FUNDACIÓN MUJERES EMPRESARIAS MARIE POUSSEPIN,» Tesis doct., 2020.
- [12] M. F. P. Deorsola y P. Morcelle del Valle, «Circuitos eléctricos,» *Circuitos eléctricos*, 2020. DOI: 10.35537/10915/61804.
- [13] Eclipse Mosquito, *Un broker MQTT de código abierto*, 2020. dirección: <https://mosquitto.org/>.
- [14] FAO, *¿Qué es el Suelo?* 2013. dirección: <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>.
- [15] Glouri, *MATERIALES DE RIEGO*, 2014. dirección: <http://glouri.com.mx/materiales-de-riego.html>.
- [16] T. banana growing, *EL CULTIVO DEL PLÁTANO*, 2020. dirección: https://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm.
- [17] D. Hattingh, *¿QUÉ ES UN ECOSISTEMA IOT? (5 COMPONENTES IMPORTANTES)*, 2020. dirección: <https://telecoms.adaptit.tech/es/blog/what-is-an-iot-ecosystem/>.
- [18] INTAGRI, «Los Sistemas de Riego Aptos para la Fertirrigación,» *Agua y Riego*, pág. 4, 2017. dirección: <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/los-sistemas-de-riego-aptos-para-la-fertirrigacion>.
- [19] C. Laura, «CAPACIDAD DE CAMPO Y PUNTO DE MARCHITEZ,» *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, vol. 7, n.º 1, págs. 1-33, 2019, ISSN: 1098-6596. arXiv: arXiv:1011.1669v3. dirección: https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/MT_Globalization_Report_2018.pdf%0Ahttp://eprints.lse.ac.uk/43447/1/India_globalisation%20%20society%20and%20inequalities%28Isero%29.pdf%0Ahttps://www.quora.com/What-is-the.
- [20] L. Llamas, *¿QUÉ ES MQTT? SU IMPORTANCIA COMO PROTOCOLO IOT*, 2019. dirección: <https://www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iot/>.

- [21] G. López y F. Gómez, «Propiedades funcionales del plátano,» *Revista Médica de la Universidad Veracruzana*, vol. 2, págs. 22-26, 2014. dirección: <https://www.medigraphic.com/pdfs/veracruzana/muv-2014/muv142d.pdf>.
- [22] Luis, *Riego del plátano : Cuando y como regar la planta de plátano*, 2019. dirección: <https://huertosymas.com/riego-del-platano-cuando-y-como-regar-la-planta-de-platano/>.
- [23] V. Luis, «Sistemas de control de lazo cerrado,» 2018. dirección: <https://makinandovelez.wordpress.com/author/veleztecnol/>.
- [24] MUNDORIEGO, *Qué es el riego por aspersión, cómo funciona y cuáles son sus ventajas*, 2022. dirección: <https://mundoriego.es/que-es-el-riego-por-aspersion-como-funciona-y-cuales-son-sus-ventajas/>.
- [25] D. Neill y L. Cortez, *Procesos y fundamentos de la iProcesos y fundamentos de la investigacion cientifican-vestigacion cientifica*. 2018, vol. 1, págs. 1689-1699. dirección: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12498/1/Procesos-y-FundamentosDeLainvestiagcionCientifica.pdf>.
- [26] Novagric, *Tubos de Riego*, 2016. dirección: <https://www.novagric.com/es/riego/materiales-de-riego/tubos-de-riego>.
- [27] Proain, *LA HUMEDAD DEL SUELO EN LA AGRICULTURA*, 2020. dirección: <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/la-humedad-del-suelo-en-la-agricultura>.
- [28] V. Quintero, «Baterías de Ion Litio : características y aplicaciones Lithium Ion Batteries : features and applications,» vol. 17, n.º 1, 2021. dirección: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/2907>.
- [29] Red Hat, *¿Qué es el Internet de las cosas (IoT)?* 2019. dirección: <https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot>.
- [30] Ripipsa, *AUTOMATIZACIÓN*, 2021. dirección: <https://ripipsacobots.com/automatizacion/>.
- [31] M. D. Rivera, «Manual Práctico para el Cultivo de plátano,» *FAO Fisheries and Aquaculture*, pág. 44, 2014. dirección: <http://www.fao.org/3/a-bc354s.pdf>.
- [32] W. Rodriguez, «Diseño e implementación de sistema de riego automatizado y controlado por una placa arduino para la finca "la lucia",» pág. 62, 2016.
- [33] Rudy Gereda Hidalgo, «¿Cómo seleccionar un interruptor termomagnético en baja tensión para proteger nuestros equipos?,» págs. 1-3, 2014. dirección: <http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/paper-interruptor-termomagnetico.pdf>.
- [34] Selind, «Conductores eléctricos,» *Providencia, Santiago de Chile*, pág. 21, 2011. dirección: http://ariadne.cti.espol.edu.ec/sidweb36/sidweb_2/3802/577093/inst_electricas_conductores.pdf.
- [35] O. Shumba, «Las opciones de los agricultores para reducir los riesgos de sequías,» *Leisa revista de Agroecología*, vol. 17, 2000. dirección: <https://leisa-al.org/web/index.php/volumen-17-numero-1/2326-las-opciones-de-los-agricultores-para-reducir-los-riesgos-de-sequias>.
- [36] Sinelec, *¿QUÉ ES NODE-RED Y PARA QUÉ SIRVE?* 2021. dirección: <https://blog.gruposinelec.com/actualidad/que-es-node-red-y-para-que-sirve/>.
- [37] A. Smit, «Qué es el sensor de humedad, qué utilidad tiene y aplicaciones,» 2021. dirección: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2021-08-17/que-es-sensor-de-humedad-utilidad-aplicaciones_3220448/.
- [38] R. Solé, *Raspberry Pi: Crea proyectos DIY por muy poco dinero*, 2021. dirección: <https://www.profesionalreview.com/2021/07/18/que-es-raspberry-pi/>.
- [39] Sresl, *Tipos de SENSORES de Temperatura y sus diferencias*, 2018. dirección: <https://srcsl.com/tipos-sensores-temperatura/>.
- [40] J. P. Tovar Soto, J. D. I. S. Solórzano Suárez, A. Badillo Rodríguez y G. O. Rodríguez Cainaba, «Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual,» *Lámpsakos*, n.º 22, págs. 86-105, 2019, ISSN: 2145-4086. DOI: 10.21501/21454086.3253.
- [41] A. Valdivielso, *¿Qué es la evaporación del agua?* 2020. dirección: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-evaporacion-agua#:~:text=La%20evaporaci%7B%5C'%7Bo%7D%7Dn%20del%20agua%20es,espacio%20se%20satura%20de%20vapor..>
- [42] R. Vargas, «Guía para la descripción de suelos.,» *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*, vol. 3, n.º 4, pág. 100, 2014. dirección: [file:///C:/Users/Alina%20Belen%20Ortiz/Downloads/a0541s00%20\(1\).pdf%0Ahttps://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf](file:///C:/Users/Alina%20Belen%20Ortiz/Downloads/a0541s00%20(1).pdf%0Ahttps://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf).

- [43] N. T. Vega Ureta y B. R. Romero Romero, «”DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADORES PID Y CONTROL ADAPTATIVO DE GANANCIAS PROGRAMADAS CON LAS VARIABLES NIVEL Y CAUDAL EVALUADOS SOBRE UN MÓDULO DIDÁCTICO”», Tesis doct., ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, 2016, pág. 326.
- [44] Viagua, «¿Aspersor o Difusor?¿Qué es lo más adecuado? Las diferencias entre Aspersor y Difusor,» 2019. dirección: <https://viagua.es/aspersores-vs-difusores/>.
- [45] Viagua, *Electroválvulas para riego. El control del agua que necesitan los sistemas automáticos de riego*, 2020. dirección: <https://viagua.es/electrovalvulas-de-riego/>.
- [46] G. Westreicher, «Diseño experimental,» *Economipedia.com*, 2021. dirección: <https://economipedia.com/definiciones/disenio-experimental.html>.
- [47] WIRESHARK, *S7 Communication (S7comm)*, 2020. dirección: <https://wiki.wireshark.org/S7comm>.

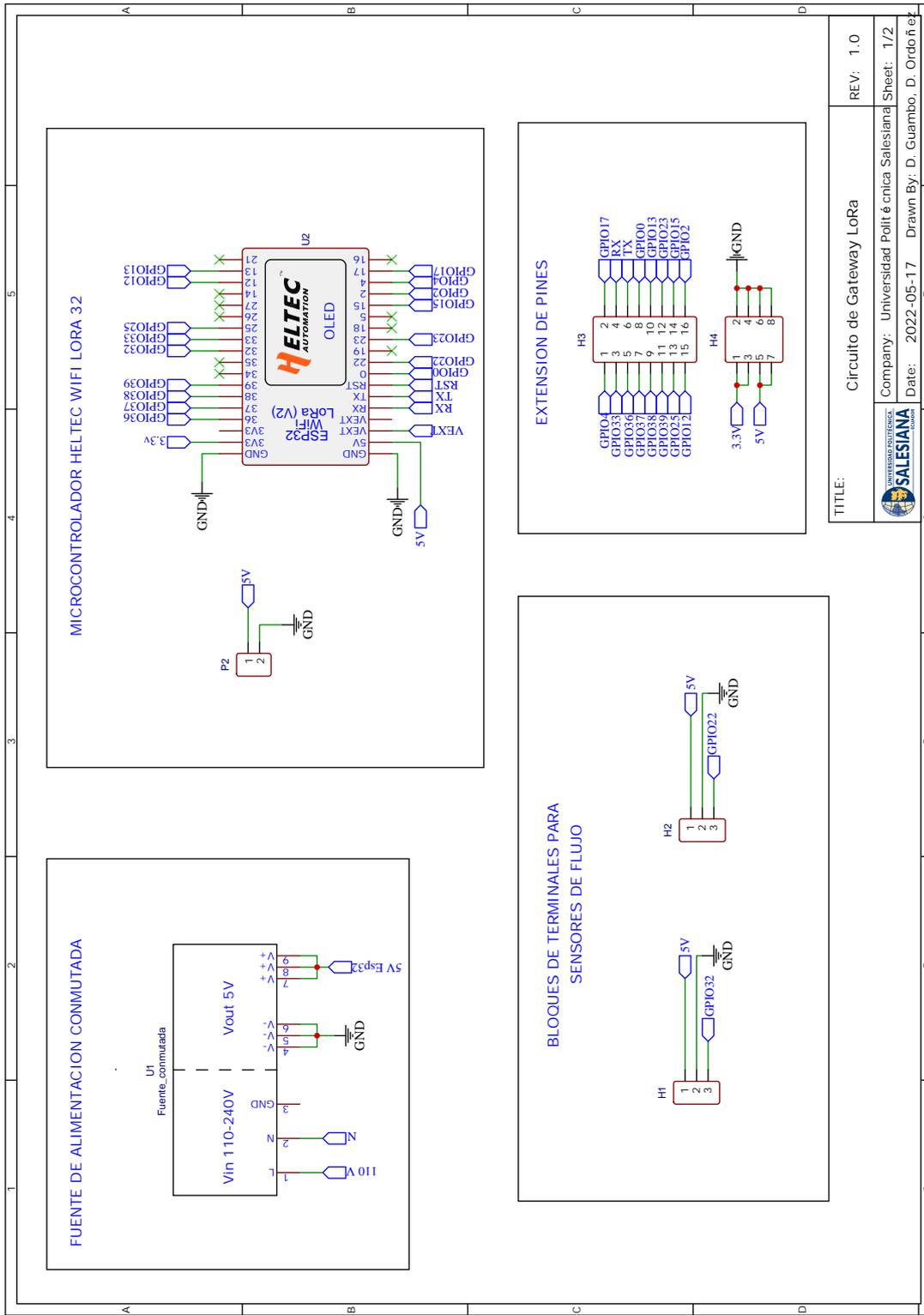
XIX. ANEXOS

XIX-A. CIRCUITOS ELECTRÓNICOS Y ELÉCTRICOS



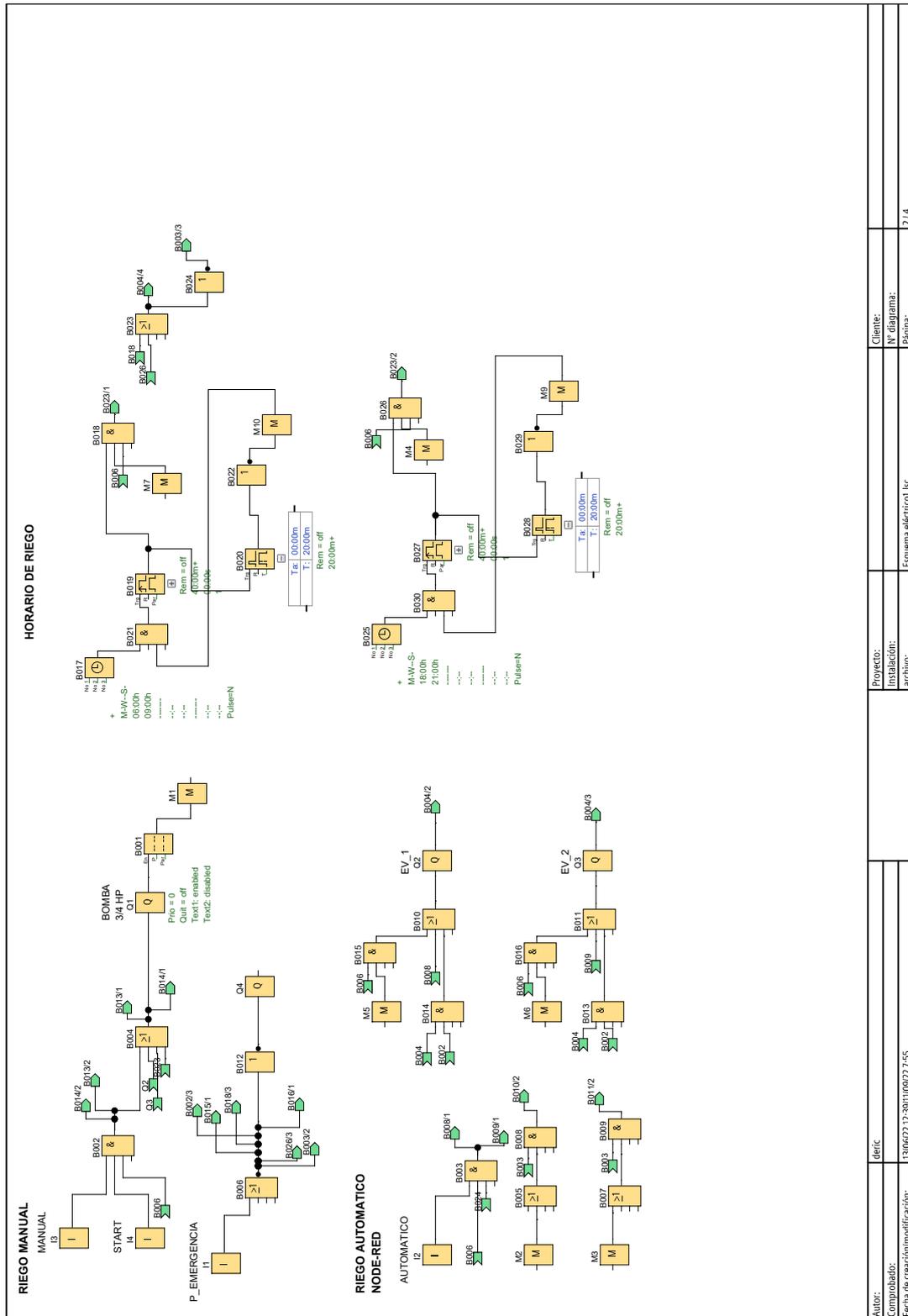
TITLE: Circuito de Nodos LoRa REV: 1.0
 Company: Universidad Politécnica Salesiana
 Date: 2022-05-17 Drawn By: D. Ordoñez





TITLE:	Circuito de Gateway LoRa	REV:	1.0
		Company:	Universidad Politécnica Salesiana
		Date:	2022-05-17
		Drawn By:	D. Guambo, D. Ordoñez
		Sheet:	1/2

XIX-B. PROGRAMACIÓN DE PLC LOGO!8



Autof:	Idetic	Proyecto:	Esquema eléctrico.lbc	Cliente:	
Comprobado:		Instalación:		Nº diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	13/06/22 12:39:11/09/22 7:55	archivo:		Página:	2 / 4

XIX-C. CONSTRUCCIÓN DE TABLERO ELÉCTRICO







XIX-D. ENSAMBLE DE NODOS LORA





XIX-E. ENSAMBLE DE EQUIPOS HIDRÁULICOS





XIX-F. PROGRAMACIÓN DE GATEWAY LORA

```
/*Universidad Politécnica Salesiana
 * Ingeniería Mecatrónica
 * Proyecto de Titulación
 * Derick Guambo
 * Dave Ordoñez
 */
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <Separador.h>
#include "heltec.h"
//Banda LoRa 433Mhz - ISM en Región
#define BAND 915E6// 433E6,868E6,915E6

const char* ssid = "Comunicacion-IoT";
const char* password = "nodered123456";
const char* mqtt_server = "159.223.172.38";

volatile int NumPulsos; //variable para la cantidad de pulsos recibidos
#define PinSensor 32 //Sensor conectado en el pin 2
float factor_conversion=7; //para convertir de frecuencia a caudal
float volumen=0;
long dt=0; //variación de tiempo por cada bucle
long t0=0; //millis() del bucle anterior

String sf = "";
char data_sf[12] = "";

char data_temp1[12] = "";
char data_humi1[12] = "";
char data_volt1[12] = "";
char data_psolar1[12] = "";
```

```

char data_temp2[12] = "";
char data_humi2[12] = "";
char data_volt2[12] = "";
char data_psolar2[12] = "";

byte spread_factor = 8;

Separador s;

// identificador de mensaje
byte msjContador = 0;
// tiempo entre lecturas
long t_anterior = 0;
int t_intervalo = 5000;

// Mensaje Recibido
byte dir_envio = 0xC1; // Concentrador 1
int dir_remite = 0xD0; // Inicia Remitente
String paqueteRcb = "";
byte paqrcbID = 0;
byte paqrcbEstado = 0;
// 0:vacio, 1: nuevo, 2:incompleto
// 3:otro destinatario, 4:Broadcast

// Mensajes por Puerto Serial
volatile boolean serial_msj = true;

WiFiClient Esp32LoRa;
PubSubClient client(Esp32LoRa);
long lastMsg = 0;

```

```

long tdhtx = 0;
char msg[50];
int value = 0;

/--Función que se ejecuta en interrupción-----
void ContarPulsos ()
{
    NumPulsos++; //incrementamos la variable de pulsos
}

/--Función para obtener frecuencia de los pulsos-----
int ObtenerFrecuencia()
{
    int frecuencia;
    NumPulsos = 0; //Ponemos a 0 el número de pulsos
    interrupts(); //Habilitamos las interrupciones
    delay(1000); //muestra de 1 segundo
    noInterrupts(); //Deshabilitamos las interrupciones
    frecuencia=NumPulsos; //Hz(pulsos por segundo)
    return frecuencia;
}

void setup(){
    Heltec.begin(false /*DisplayEnable Enable*/,true /*Heltec.Heltec.Heltec.LoRa
    Disable*/,serial_msg /*Serial Enable*/,true /*PABOOST Enable*/,BAND /*long BAND*/);
    // ranges from 6-12,default 7 see API docs
    LoRa.setSpreadingFactor(spread_factor);
    //LoRa.onReceive(cbk);
    LoRa.receive();
    config_wifi();
    client.setServer(mqtt_server,1883);
    pinMode(PinSensor, INPUT_PULLUP);
}

```

```

attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(PinSensor), ContarPulsos, FALLING);
}

void loop(){

    // parametros de recepción
    int rssi_lora = 0;
    int snr_lora = 0;
    long t_ahora = millis();
    long t_transcurrido = t_ahora - t_anterior;

    if (t_transcurrido >= t_intervalo){

        sensorflujo();
        float sflj = sf.toFloat();
        sprintf(data_sf, "%3.1f",sflj);
        client.publish("Caudal",data_sf);
        Serial.println(sf);

        // parametros de recepción
        rssi_lora = LoRa.packetRssi();
        snr_lora = LoRa.packetSnr();
        yield();

        t_anterior = millis();
        t_intervalo = 3000 + random(2000);

        // LED parpadea envio lora
        digitalWrite(LED, HIGH); delay(100);
        digitalWrite(LED, LOW); delay(100);
        yield(); // procesa wifi
    }
}

```

```

}

// Revisar mensajes LoRa entrantes
int msjRcbLoRa = LoRa.parsePacket();
if (msjRcbLoRa !=0){
  recibirlora(msjRcbLoRa);
  rssi_lora = LoRa.packetRssi();
  snr_lora = LoRa.packetSnr();

  if (!client.connected()){
    reconnect();
  }
  if (serial_msj==true){
    if (paqrcbEstado == 1){
      switch (dir_remite) {
        case OXD1:
          {

            Serial.println("Mensaje Nodo1: " + paqueteRcb);
            Serial.println("RSSI: " + String(rssi_lora)+"dBm");
            Serial.println("Snr: " + String(snr_lora)+"dB");
            Serial.println();

            String Humi1 = s.separa(String(paqueteRcb),'|',0);
            String Temp1 = s.separa(String(paqueteRcb),'|',1);
            String Volt1 = s.separa(String(paqueteRcb),'|',2);
            String Psolar1 = s.separa(String(paqueteRcb),'|',3);

            client.loop();
            long tiempo = millis();

```

```

if(tiempo - tdhtx > 500){

    tdhtx = tiempo;
    float temperatura1 = Temp1.toFloat();
    sprintf(data_temp1,"%3.1f",temperatura1);
    client.publish("TempN1",data_temp1);

    float humedad1 = Humi1.toFloat();
    sprintf(data_humi1,"%3.1f",humedad1);
    client.publish("HumN1",data_humi1);

    float voltmetro1 = Volt1.toFloat();
    sprintf(data_volt1,"%3.1f",voltmetro1);
    client.publish("VoltiN1",data_volt1);

    float panelsolar1 = Psolar1.toFloat();
    sprintf(data_psolar1,"%3.1f",panelsolar1);
    client.publish("PanelSolarN1",data_psolar1);
}
}
break;
case 0XD2:
{

Serial.println("Mensaje Nodo2: " + paqueteRcb);
Serial.println("RSSI: " + String(rssi_lora)+"dBm");
Serial.println("Snr: " + String(snr_lora)+"dB");
Serial.println();

String Humi2 = s.separa(String(paqueteRcb),'|',0);

```

```

String Temp2 = s.separa(String(paqueteRcb),'|',1);
String Volt2 = s.separa(String(paqueteRcb),'|',2);
String Psolar2 = s.separa(String(paqueteRcb),'|',3);

client.loop();
long tiempo = millis();

if(tiempo - tdhtx > 500){

    tdhtx = tiempo;
    float temperatura2 = Temp2.toFloat();
    sprintf(data_temp2,"%3.1f",temperatura2);
    client.publish("TempN2",data_temp2);

    float humedad2 = Humi2.toFloat();
    sprintf(data_humi2,"%3.1f",humedad2);
    client.publish("HumN2",data_humi2);

    float voltmetro2 = Volt2.toFloat();
    sprintf(data_volt2,"%3.1f",voltmetro2);
    client.publish("VoltiN2",data_volt2);

    float panelsolar2 = Psolar2.toFloat();
    sprintf(data_psolar2,"%3.1f",panelsolar2);
    client.publish("PanelSolarN2",data_psolar2);
}
}
break; //sale del switch

default:

```

```
        break; //sale del switch
    }

    }else{
        Serial.print("Paquete recibido Estado: ");
        Serial.println(paqrCbEstado);
    }
}

yield(); // procesa wifi
// LED parpadea Recibido Lora
digitalWrite(LED, HIGH); delay(50);
digitalWrite(LED, LOW); delay(50);
digitalWrite(LED, HIGH); delay(50);
digitalWrite(LED, LOW);
}
delay(100);
yield(); // procesa wifi
}
```

XIX-G. PROGRAMACIÓN DE NODO LORA 1

```
/*Universidad Politécnica Salesiana
 * Ingeniería Mecatrónica
 * Proyecto de Titulación
 * Derick Guambo
 * Dave Ordoñez
 */
#include <stdlib.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <SHT1x.h>
#include "heltec.h"

const int pinDatos = 17;
OneWire oneWireObjeto(pinDatos);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);

String temperatura = "";
String humedad = "";
String voltB = "";
String voltP = "";
// Sensor1 SHT10
#define dataPin 32
#define clockPin 33
SHT1x sht10(dataPin, clockPin);
float humR = 0;
float tempC = 0;
// Voltmetro batería 18650
int portPin = 13;
int vin = 0;
float vout = 0.0;
```

```

// Voltmetro bateria 18650

int portPin2 = 2;
int vin2 = 0;
float vout2 = 0.0;

//Banda LoRa 433Mhz - ISM en Región
#define BAND 915E6 // 433E6,868E6,915E6
// ranges from 6-12,default 7 see API docs
byte spread_factor = 8;

// Mensaje a enviar por direcciones
byte dir_local = 0xD1; // Dispositivo 1
byte dir_destino = 0xC1; // Concentrador 1
// identificador de mensaje
byte msjContador = 0;
// tiempo entre lecturas
long t_anterior = 0;
int t_intervalo = 5000;

unsigned long interval = 500;
unsigned long previousMillis = 0;
// Mensajes por Puerto Serial
volatile boolean serial_msj = true;

void setup(){
  sensorDS18B20.begin();

  Heltec.begin(true /*DisplayEnable Enable*/,true /*Heltec.Heltec.Heltec.LoRa
Disable*/,serial_msj /*Serial Enable*/,true /*PABOOST Enable*/,BAND /*long BAND*/);

  // ranges from 6-12,default 7 see API docs
  LoRa.setSpreadingFactor(spread_factor);

  //LoRa.onReceive(cbk);

```

```

LoRa.receive();
//inicializa sensores
pinMode(portPin, INPUT);
}

void loop(){
// Enviar mensajes entre intervalos

long t_ahora = millis();
long t_transcurrido = t_ahora - t_anterior;

// parametros de recepción
int rssi_lora = 0;
int snr_lora = 0;

if (t_transcurrido >= t_intervalo){
    sensores(); //actualiza estado del sensor

// Construye paquete a enviar
String paqueteEnv1 = "";
paqueteEnv1 = paqueteEnv1 + humedad;
paqueteEnv1 = paqueteEnv1 + "|";
paqueteEnv1 = paqueteEnv1 + temperatura;
paqueteEnv1 = paqueteEnv1 + "|";
paqueteEnv1 = paqueteEnv1 + voltB;
paqueteEnv1 = paqueteEnv1 + "|";
paqueteEnv1 = paqueteEnv1 + voltP;
enviarlora(dir_destino, dir_local,
           msjContador, paqueteEnv1);
msjContador = msjContador + 1;
}
}

```

```

// parametros de recepción
rssi_lora = LoRa.packetRssi();
snr_lora = LoRa.packetSnr();
yield();

// mensaje a serial
if (serial_msj==true){
  Serial.print(String(dir_destino,HEX));
  Serial.print(",");
  Serial.print(String(dir_local,HEX));
  Serial.print(",");
  Serial.print(msjContador);Serial.print(",");
  Serial.print(paqueteEnv1.length());Serial.print(":->");
  Serial.print(paqueteEnv1);Serial.print(",");
  Serial.print(rssi_lora);Serial.print(" dBm,");
  Serial.print(snr_lora);Serial.println(" dB");
}

t_anterior = millis();
t_intervalo = 3000 + random(2000);

// LED parpadea envio lora
digitalWrite(LED, HIGH); delay(100);
digitalWrite(LED, LOW); delay(100);
yield(); // procesa wifi
}

Heltec.display->clear();
Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);
Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);

```

```

Heltec.display->drawString(0, 0, "Enviando datos Nodo 1:");
Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_16);
Heltec.display->drawString(0, 20, "Temp: "+temperatura+" °C");
Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_16);
Heltec.display->drawString(0, 40, "Humi: "+humedad+" %");
Heltec.display->display();

```

```

}

```

```

void enviarlora(byte destino, byte remite,
                byte paqueteID, String paquete){
    // espera que el radio esté listo
    // para enviar un paquete
    while(LoRa.beginPacket() == 0){
        if (serial_msj==true){
            Serial.println("Esperando radio disponible...");
        }
        yield(); // procesa wifi
        delay(100);
    }
    // envio del mensaje LoRa
    LoRa.beginPacket();
    LoRa.write(destino);
    LoRa.write(remite);
    LoRa.write(paqueteID);
    LoRa.write(paquete.length());
    LoRa.print(paquete);
    LoRa.endPacket();
}

```

```

// Sensor lecturas

```

```

void sensores(){

    unsigned long currentMillis = millis();
    if ((currentMillis - previousMillis) >= (interval))
    {
        previousMillis = currentMillis;
        humR = sht10.readHumidity();
        humedad = String(humR);
    }

    sensorDS18B20.requestTemperatures();
    tempC= sensorDS18B20.getTempCByIndex(0);
    temperatura = String(tempC);

    vin = analogRead(portPin);
    vout = ((vin*5.0)/4095.0)+0.2;
    //vout = vin/(R2/(R1+R2));
    if (vout<0.5){
        vout = 0.0;
    }
    voltB = String(vout);

    vin2 = analogRead(portPin2);
    vout2 = ((vin2*9.0)/4095.0)+0.2;
    if (vout2<0.5){
        vout2 = 0.0;
    }
    voltP = String(vout2);
}

```

XIX-H. PROGRAMACIÓN DE NODO LORA 2

```
/*Universidad Politécnica Salesiana
 * Ingeniería Mecatrónica
 * Proyecto de Titulación
 * Derick Guambo
 * Dave Ordoñez
 */
#include <stdlib.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <SHT1x.h>
#include "heltec.h"

const int pinDatos = 17;
OneWire oneWireObjeto(pinDatos);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);

String temperatura = "";
String humedad = "";
String voltB = "";
String voltP = "";
// Sensor1 SHT10
#define dataPin 32
#define clockPin 33
SHT1x sht10(dataPin, clockPin);
float humR = 0;
float tempC = 0;
// Voltmetro batería 18650
int portPin = 13;
int vin = 0;
float vout = 0.0;
```

```

// Voltmetro bateria 18650
int portPin2 = 2;
int vin2 = 0;
float vout2 = 0.0;

//Banda LoRa 433Mhz - ISM en Región
#define BAND 915E6 // 433E6,868E6,915E6
// ranges from 6-12,default 7 see API docs
byte spread_factor = 8;

// Mensaje a enviar por direcciones
byte dir_local = 0xD2; // Dispositivo 2
byte dir_destino = 0xC1; // Concentrador 1
// identificador de mensaje
byte msjContador = 0;

// tiempo entre lecturas
long t_anterior = 0;
int t_intervalo = 5000;
unsigned long interval = 500;
unsigned long previousMillis = 0;
// Mensajes por Puerto Serial
volatile boolean serial_msj = true;

void setup(){
  sensorDS18B20.begin();
  Heltec.begin(true /*DisplayEnable Enable*/,true /*Heltec.Heltec.Heltec.LoRa
Disable*/,serial_msj /*Serial Enable*/,true /*PABOOST Enable*/,BAND /*long BAND*/);
  // ranges from 6-12,default 7 see API docs
  LoRa.setSpreadingFactor(spread_factor);
  //LoRa.onReceive(cbk);

```

```

LoRa.receive();
//inicializa sensores
pinMode(portPin, INPUT);
}

void loop(){
// Enviar mensajes entre intervalos

long t_ahora = millis();
long t_transcurrido = t_ahora - t_anterior;

// parametros de recepción
int rssi_lora = 0;
int snr_lora = 0;

if (t_transcurrido >= t_intervalo){
    sensores(); //actualiza estado del sensor

// Construye paquete a enviar
String paqueteEnv1 = "";
paqueteEnv1 = paqueteEnv1 + humedad;
paqueteEnv1 = paqueteEnv1 + "|";
paqueteEnv1 = paqueteEnv1 + temperatura;
paqueteEnv1 = paqueteEnv1 + "|";
paqueteEnv1 = paqueteEnv1 + voltB;
paqueteEnv1 = paqueteEnv1 + "|";
paqueteEnv1 = paqueteEnv1 + voltP;
enviarlora(dir_destino, dir_local,
           msjContador, paqueteEnv1);
msjContador = msjContador + 1;
}
}

```

```

// parametros de recepción
rssi_lora = LoRa.packetRssi();
snr_lora = LoRa.packetSnr();
yield();

// mensaje a serial
if (serial_msj==true){
  Serial.print(String(dir_destino,HEX));
  Serial.print(",");
  Serial.print(String(dir_local,HEX));
  Serial.print(",");
  Serial.print(msjContador);Serial.print(",");
  Serial.print(paqueteEnv1.length());Serial.print(":->");
  Serial.print(paqueteEnv1);Serial.print(",");
  Serial.print(rssi_lora);Serial.print(" dBm,");
  Serial.print(snr_lora);Serial.println(" dB");
}

t_anterior = millis();
t_intervalo = 3000 + random(2000);

// LED parpadea envio lora
digitalWrite(LED, HIGH); delay(100);
digitalWrite(LED, LOW); delay(100);
yield(); // procesa wifi
}

Heltec.display->clear();
Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);
Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);

```

```

Heltec.display->drawString(0, 0, "Enviando datos Nodo 2:");
Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_16);
Heltec.display->drawString(0, 20, "Temp: "+temperatura+" °C");
Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_16);
Heltec.display->drawString(0, 40, "Humi: "+humedad+" %");
Heltec.display->display();

```

```

}

```

```

void enviarlora(byte destino, byte remite,
                byte paquetelD, String paquete){
    // espera que el radio esté listo
    // para enviar un paquete
    while(LoRa.beginPacket() == 0){
        if (serial_msj==true){
            Serial.println("Esperando radio disponible...");
        }
        yield(); // procesa wifi
        delay(100);
    }
    // envio del mensaje LoRa
    LoRa.beginPacket();
    LoRa.write(destino);
    LoRa.write(remite);
    LoRa.write(paquetelD);
    LoRa.write(paquete.length());
    LoRa.print(paquete);
    LoRa.endPacket();
}

```

```

// Sensor lecturas

```

```

void sensores(){

    unsigned long currentMillis = millis();
    if ((currentMillis - previousMillis) >= (interval))
    {
        previousMillis = currentMillis;
        humR = sht10.readHumidity();
        humedad = humR;
    }

    sensorDS18B20.requestTemperatures();
    tempC= sensorDS18B20.getTempCByIndex(0);
    temperatura = tempC;

    vin = analogRead(portPin);
    vout = ((vin*5.0)/4095.0)+0.2;
    if (vout<0.5){
        vout = 0.0;
    }
    voltB = vout;

    vin2 = analogRead(portPin2);
    vout2 = ((vin2*9.0)/4095.0)+0.2;
    if (vout2<0.5){
        vout2 = 0.0;
    }
    voltP = vout2;
}

```