



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN,**  
**TELECOMUNICACIONES E INDUSTRIAL**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y**  
**COMUNICACIONES**

TEMA:

---

**“RED DE CONTROLADORES PARA LA DOSIFICACIÓN  
AUTOMÁTICA DE AGUA DEL RESERVORIO TUNGA EN  
EL CASERÍO EL ROSAL DE MOCHA”**

---

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

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Comunicaciones Inalámbricas.

**AUTOR:** Dario Javier Plasencia Lema

**TUTOR:** Ing. Paulina Ayala Mg.

Ambato-Ecuador

**Agosto 2019**

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Trabajo de Investigación sobre el tema: *“Red de Controladores para la Dosificación Automática de Agua del Reservorio Tunga en el Caserío El Rosal de Mocha”*, del señor Dario Javier Plasencia Lema, estudiante de la Carrera de Ingeniería en **ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**, de la Facultad de Tecnologías de la Información, Telecomunicaciones e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato Agosto, 2019

EL TUTOR



---

Ing. Paulina Ayala Mg.

## AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: *Red de Controladores para la Dosificación Automática de Agua del Reservorio Tunga en el Caserío El Rosal de Mocha*, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato Agosto, 2019



Dario Javier Plasencia Lema

CC: 050364547-5

## DERECHOS DE AUTOR

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

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato Agosto, 2019



Dario Javier Plasencia Lema

CC: 050364547-5

## APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Patricio Córdova, Mg. e Ing. Carlos Gordón PhD, revisó y aprobó el Informe *Final del Proyecto de Investigación* titulado *“Red de Controladores para la Dosificación Automática de Agua del Reservorio Tunga en el Caserío El Rosal de Mocha”* presentado por el señor Dario Javier Plasencia Lema, de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la Aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Mg. Elsa Pilar Urrutia Urrutia  
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL



Ing. Patricio Córdova Mg.  
DOCENTE CALIFICADOR



Ing. Carlos Gordón PhD  
DOCENTE CALIFICADOR

## **DEDICATORIA**

*Este presente proyecto se lo dedico a mis  
padres Holguer y Rosita que me han  
apoyado a cumplir mi meta, me han  
enseñado que la mejor herencia que te pueden  
dar es el estudio , enseñándome que el  
camino difícil siempre sera la mejor opcion y  
aunque hoy en día mi padre se a ido de este  
mundo eh cumplido con la promesa que te  
hize de culminar mis estudios con la ayuda  
de mi madre que estuvo conmigo en mis  
peores momentos apoyándome, ustedes son  
mi fortaleza de cada día*

*Dario Plasencia*

## *AGRADECIMIENTO*

*A Dios por permitirme nacer en este bello mundo y poder disfrutar de lo hermoso que es la vida*

*A mis padres Holguer y Rosita que han sido los pilares en mi vida estudiantil guiadome por el buen camino enseñadome a ser un buen ser humano respetuoso y honesto*

*A mis hermanos Freddy, Jenny y Neyser que siempre han estado conmigo apoyandome en los buenos y malos momentos de nuestra vida*

*A mi tutora la Ingeniera Paulina Ayala por tenerme paciencia y guiarme desde el inicio hasta la culminacion de mi proyecto de titulacion*

*Dario Plasencia*

## ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	2
AUTORÍA.....	3
DERECHOS DE AUTOR.....	4
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA.....	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO.....	7
RESUMEN.....	15
ABSTRACT.....	16
INTRODUCCIÓN.....	17
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA.....	1
1.1 TEMA.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3 DELIMITACIÓN.....	4
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.5 OBJETIVOS.....	5
1.5.1 Objetivo General.....	5
1.5.2 Objetivos Específicos.....	5
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	7
2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	11
2.2.1 Sistemas de Control.....	11
2.2.2 Sistemas de Comunicaciones Inalámbricos.....	11
2.2.3 Redes Inalámbricas.....	12
a) Redes Mesh.....	12
b) Redes de Sensores Inalámbricos (WSN).....	13
c) Redes Punto-Multipunto.....	13



d) ESP-MESH.....	14
2.2.4 Redes de Sensores.....	15
2.2.5 MQTT.....	16
2.2.6 Sistema de Energía Fotovoltaica.....	16
a) Paneles Solares.....	17
b) Reguladores de Carga.....	17
c) Acumulador Electro-químico.....	17
2.2.7 Sistemas Embebidas de Control.....	18
a) Electroválvulas.....	18
b) Caudalímetros.....	18
2.2.8 Sistemas de Riego Agrícola.....	18
a) Riego por gravedad o a pie.....	19
b) Riego por aspersión.....	19
c) Riego localizado.....	19
2.2.10 Control de Riego.....	20
2.3 PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	20
CAPÍTULO III.....	21
METODOLOGÍA.....	21
3.1 MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
3.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	22
3.3 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	22
3.4 DESARROLLO DEL PROYECTO.....	23
CAPÍTULO IV.....	25
PROPUESTA.....	25
4.1 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....	26
4.1.1 Factibilidad Técnica.....	26
4.1.2 Factibilidad Económica.....	26
4.1.3 Factibilidad Bibliográfica.....	26
4.2 SITUACIÓN ACTUAL DE RIEGO EN EL ROSAL.....	27
4.3 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DEL SISTEMA.....	30

4.4 DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA.....	31
4.4.1 Estructura General del Sistema.....	31
4.5 RED DE CONTROLADORES.....	33
4.5.1 Selección del Transceiver.....	34
4.5.2 Red Mesh Universal.....	35
4.5.3 Nodo Controlador.....	37
a) Selección de Dispositivo Actuador.....	38
b) Selección de Medidor de Flujo.....	39
4.5.4 Nodo Sensor.....	40
4.5.5 NODO RAÍZ O GATEWAY.....	42
4.6 ENLACE DE DATOS.....	45
4.6.1 Selección de Equipo de Radio-enlace.....	46
4.7 SERVIDORES DEL SISTEMA.....	49
4.7.1 Estructura del Servidor.....	52
a) Demonio MQTT.....	53
b) Demonio Node Red – Interfaz de Usuario.....	55
c) Base de Datos.....	59
4.7.2 Servidor de Controladores.....	62
4.7.3 Servidor de Sensores.....	63
4.8 MÓDULO UNIVERSAL.....	64
4.8.1 Hardware del Módulo Universal.....	64
4.8.2 Software del Módulo Universal.....	70
4.9 SISTEMA AUTÓNOMO DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA.....	73
4.10 ANÁLISIS DE PRESUPUESTO.....	75
4.10.1 Costo del Sistema de Autónomo de Energía Fotovoltaica.....	75
4.10.2 Costo del Servidor Local y Enlace de Datos.....	75
4.10.3 Costo del Nodo Controlador.....	76
4.10.4 Costo del Nodo de Sensorización.....	78
4.11 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	79
4.11.1 Perfil de Administración.....	79

4.11.2 Perfil de Usuario.....	81
CAPÍTULO V.....	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
5.1 CONCLUSIONES.....	85
5.2 RECOMENDACIONES.....	86
ANEXOS.....	90
<i>Anexo 1: Datasheet Raspberry Pi 3.....</i>	<i>90</i>
.....	90
Anexo 2: Diagrama de Pines ESP32.....	93
Anexo 3: Datasheet DHT22.....	95
Anexo 4: Prototipo.....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2. 1: Estructura de una red malla.....	12
Fig.2. 2: Estructura del protocolo ESP-MESH[13].....	15
Fig.4. 1: Extensión territorial de El Rosal de Mocha.....	27
Fig.4. 2: Diagrama de bloques del sistema general. (a) Servidor Local, (b) Enlace de datos, (c) Red de actuadores, (d)Red de sensores.....	31
Fig.4. 3: Diseño general del sistema de la red de <i>controladores para la dosificación automática de agua</i> .....	33
Fig.4. 4: Diseño de la red Mesh Universal, utilizada para controladores y sensores.	36
Fig.4. 5: Diagrama de bloques del nodo controlador.....	38
.....	41
Fig.4. 6: Diagrama de bloques del nodo sensor.....	41
Fig.4. 7: Diagrama de bloques del nodo Raíz.....	43
.....	43
Fig.4. 8: Conversión de tramas para el intercambio de datos entre mesh y MQTT. .	44
Fig.4. 9: División por zonas del caserío el Rosal. Simulación de radio-enlace en air-link.....	46
Fig.4. 10: Simulación de radioenlace entre AP_PRIMARIO y Estación_C.....	48
Fig.4. 11: Patron de radiación de los puntos de acceso secundarios.....	49
Fig.4. 12: Estructura de conexión de los servidores de las redes de sensores y controladores.....	50
Fig.4. 13: Diagrama general del sistema.....	51
Fig.4. 14: Estructura general del servidor.....	52
Fig.4. 15: Flujograma del software del Demonio MQTT.....	54
Fig.4. 16: Flujograma del software del demonio Node-Red.....	57
.....	57
Fig.4. 17: Partes de la interfaz de usuario creada en aplicación web.....	59
Fig.4. 18: Esquema electrónico del hardware del módulo universal.....	65
Fig.4. 19: Diagrama PCB del módulo universal.....	67

Fig.4. 20: Diagrama PCB del módulo universal.....	69
Fig.4. 21: Diagrama de bloques del software del módulo universal.....	71
Fig.4. 22: Interfaz de programación del módulo universal.....	72
Fig.4. 23: Diagrama de bloques del sistema autónomo de energía fotovoltaica.....	73
Fig.4. 24: Interfaz gráfica de inicio de sesión.....	79
Fig.4. 25: Ingreso de registros de Usuarios y Válvulas.....	80
Fig.4. 26: Consulta y eliminación de registros.....	81
Fig.4. 27: Interfaz de inicio de sesión para usuarios genéricos.....	81
Fig.4. 28: Panel de selección de nodos controladores.....	82
Fig.4. 29: Interfaz de control de los nodos actuadores.....	83
Fig.4. 30: Interfaz de monitoreo de sensores.....	84

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla4. 1: Características técnicas de transceivers para el diseño de una red Mesh...	34
Tabla4. 2: Características técnicas de electroválvulas semi-industriales.....	39
Tabla4. 3: Características técnicas de sensores de flujo.....	40
Tabla4. 4: Características técnicas de los sensores de humedad y temperatura.....	42
Tabla4. 5: Características técnicas de los equipos de radiocomunicación.....	47
Tabla4. 6: Comandos para la instalación de programas de Node Packet Manager.....	55
Tabla4. 7: Campos de las tablas de la base de datos alojada en el servidor de control. .....	60
Tabla4. 8: Campos de las tablas de la base de datos alojada en el servidor de sensores .....	62
Tabla4. 9: Características recomendadas para la instalación del servidor de controladores.....	62
Tabla4. 10: Características técnicas de computadores de placa reducida.....	63
Tabla4. 11: Consumo de corriente de la tarjeta electrónica del módulo universal.....	68
Tabla4. 12: Temperatura de operación de los dispositivos del nodo universal.....	69
Tabla4. 13: Potencia diaria requerida por el módulo universal.....	74
Tabla4. 14: Costo del sistema autónomo de energía fotovoltaica.....	75
Tabla4. 15: Costo de implementación del enlace de datos con servidor.....	76
Tabla4. 16: Costo del nodo controlador.....	77
Tabla4. 17: Costo del nodo sensorización.....	78

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación trata sobre el diseño de una red de controladores para la dosificación automática de agua del reservorio Tunga en el caserío el Rosal de Mocha, es un proyecto que permite entregar un sistema electrónico que faculta a los agricultores ejecutar operaciones de apertura y cierre de válvulas de forma remota, por medio de una red de actuadores y sensores, que controlan la distribución de agua; éste proyecto se desarrolla como soporte al proyecto propuesto por la prefectura de Tungurahua para la tecnificación de riego en las zonas rurales de la provincia; sustentado en los reglamentos establecidos por la junta de aguas Mocha-Huachi.

El sistema permite a los usuarios tener un conocimiento de la cantidad de agua asignada por periodo de riego, migrando del sistema actual basado por tiempo de riego. Al realizar el cambio mencionado, el usuario utiliza el agua de acuerdo a las necesidades de sus cultivos y con la certeza de una distribución equitativa y justa. Además el sistema entrega valores de monitoreo del consumo de agua y variables de estado de las condiciones climáticas como humedad y temperatura mismas que permiten a los ingenieros agrónomos realizar investigaciones.

**Palabras claves:** Red de controladores, automática, sensores de humedad, nodo sensor, sistema

## **ABSTRACT**

This research project is about the design of a network of controllers for the automatic dosing of water from the Tunga reservoir in the El Rosal de Mocha farmhouse, a project that allows the delivery of an electronic system that empowers farmers to carry out opening and closing valves remotely, through a network of actuators and sensors, which control the distribution of water; This project is developed in support of the project proposed by the Tungurahua Prefecture for irrigation technification in the rural areas of the province; based on the regulations established by the Mocha-Huachi water board.

The system allows users to have an understanding of the amount of water allocated per irrigation period, migrating from the current system based on irrigation time. When making the aforementioned change, the user uses water according to the needs of their crops and with the certainty of an equitable and fair distribution. In addition, the system provides monitoring values of water consumption and state variables of climatic conditions such as humidity and temperature that allow agronomists to carry out research.

**Keywords:** Controller network, automatic, humidity sensors, sensor node, system



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el Ecuador el sector agrícola representa un 60% del margen de empleo según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Gran parte de sus habitantes se dedican a la agricultura, la mayoría de ellos cuenta con sistemas de riego implementados hace 20 años atrás, por lo que hoy en día sus sistemas ya obsoletos, por ende no les brinda una adecuada distribución del agua. Ésto ocurre en la provincia de Tungurahua, ciudad Ambato, cantón Mocha, según la junta de aguas Mocha-Huachi.

El presente proyecto es un diseño de una red de controladores para la dosificación automática de agua, del reservorio Tunga en el caserío el Rosal de Mocha. El sistema permite a los usuarios tener un conocimiento de la cantidad de agua asignada por periodo de riego, migrando del sistema actual basado por tiempo de riego. Al realizar el cambio mencionado, el usuario utiliza el agua de acuerdo a las necesidades de sus cultivos y con la certeza de una distribución equitativa y justa. Además el sistema entrega valores de monitoreo del consumo de agua y variables de estado de las condiciones climáticas como humedad y temperatura, mismas que permiten a los ingenieros agrónomos realizar investigaciones

El desarrollo de este proyecto consta de 5 capítulos los cuales se describen a continuación:

El primer capítulo detalla el problema que se presenta en el sector agrícola del Caserío El Rosal de Mocha; al no disponer de un sistema adecuado y con tecnología actualizada dentro de su territorio, para la distribución adecuada de agua de riego. Se

establece la solución al problema presentando los objetivos a cumplirse al con el desarrollo del proyecto, así como la duración y el lugar donde se realiza la investigación.

El segundo capítulo expone los antecedentes investigativos sobre el tema a desarrollarse y los fundamentos teóricos referentes al desarrollo del proyecto.

El tercer capítulo presenta la modalidad de investigación, los tipos de investigación utilizados, las herramientas de proceso y análisis de datos y los pasos para el desarrollo del proyecto

El cuarto capítulo presenta el desarrollo de la propuesta de solución del problema planteado según las necesidades del caserío El Rosal de Mocha y de los lineamientos establecidos por las junta de aguas Mocha Huachi, para la distribución del agua de riego, mismos que determinan los parámetros técnicos del sistema. Se diseña el prototipo seleccionando el hardware y software requerido para la red de controladores, se realiza pruebas de funcionamiento determinando la validez del diseño y se determina el presupuesto para la implementación del sistema.

El quinto capítulo contiene las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto de investigación.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1 TEMA**

***“Red de Controladores para la Dosificación Automática de Agua del Reservorio Tunga en el Caserío El Rosal de Mocha”***

#### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La producción mundial de alimentos depende de la disponibilidad de agua, un recurso precioso pero finito. En la actualidad la agricultura bajo riego se aplica en el 20% de las cosechas, siendo responsable del uso del 70% de agua en el mundo, y un porcentaje mayor se usará en el futuro, debido a que la producción mundial de alimentos aumenta continuamente para atender una demanda creciente [1] [2].

A nivel de Latinoamérica la actividad agrícola se manifiesta como la más importante, en referencia al consumo de agua, el promedio es similar al mundial, presentando ligeras variaciones entre países y regiones; por ejemplo, en México la cifra llega fácilmente al 90%. El área total regada de América Latina, calculada a fines de la década de 1980 es de alrededor de 13 millones de hectáreas, que extraían anualmente 70 kilómetros cúbicos de agua. El mayor problema ambiental y económico, asociado con el riego en América Latina es su uso ineficiente, drenajes inadecuados y mala gestión, provocando un proceso acelerado de salinización de tierras [1].

En el Ecuador el sector agrícola es el que genera un mayor margen de empleo, teniendo así 2,8 millones de personas, es decir, al 28% de la población económicamente activa, mayores de 15 años [3]. En el país hay tres millones de hectáreas con potencial productivo, de las que el 50% cuenta con infraestructura hidráulica, sin embargo la mayor parte de ellas se encuentra en malas condiciones, debido a que son sistemas de riego construidos hace 60 o 70 años. Los principales problemas que enfrentan el sistema de riego en el país es la contaminación de los cauces superficiales y las aguas subterráneas, inexistencia de una red de obras de almacenamiento, y sobreestimación de los caudales disponibles al momento de diseñar los sistemas de riego; todas éstas situaciones se producen debido a que la metodología aplicada en el país, en referencia a la agricultura, se rige a la aplicación de técnicas de ingeniería agrícola y de transporte de fluidos, pero con deficiente apoyo de tecnologías electrónicas, de ingeniería de software o de comunicaciones[3].

El bajo nivel de tecnificación, evidente en la baja eficiencia del uso del agua, empieza desde la construcción de los sistemas de riego, operación y mantenimiento; lo cual genera la aplicación del agua de manera inadecuada dentro de una parcela, sin aprovechar el verdadero potencial del suelo y del líquido vital. Por esta razón, los problemas que enfrentan los regantes son: la escasa disponibilidad de agua en fosas o reservorios y el acceso socialmente inequitativo. Existen otros problemas de tipo institucionales y estatales para el desarrollo del riego y dificultades organizativas en la administración de los sistemas que implican un bajo control en la distribución equitativa entre usuarios de un canal de riego [3].

El riego por gravedad tiene una eficiencia entre el 30% y 70% si el canal se encuentra revestido o es de tierra; éste tipo de irrigación produce pérdidas de nutrientes del suelo, por lavado y arrastre, además no se controla perfectamente la dosis de agua aplicada. Esto provoca un déficit de agua en la distribución, el 30% es aprovechado por las plantas mientras el 70% se pierde por escurrimiento o percolación [4].

El 45% de los usuarios de la toma de agua Tunga de la acequia Mocha-Huachi pertenecen al caserío San Pedro de Cevallos, ellos utiliza un reservorio comunitario, implementado por la prefectura provincial en el año 2015, como proyecto piloto de la tecnificación de riego para zonas rurales de Tungurahua, en el reservorio se almacenan alrededor de 20000 metros cúbicos de agua para distribuir a 400 usuarios, dueños de alrededor de 300 hectáreas de terreno; los usuarios que utilizan el reservorio tienen implementado un sistema de canalización común para riego por aspersión.

El 55% restante tienen sus cultivos en terrenos del caserío EL Rosal de Mocha, en donde se utiliza el método de riego por inundación aprovechando la gravedad. Éstos usuarios presentaron negativas a la tecnificación de riego en la implementación del proyecto piloto, debido a que no se garantizaba una distribución equitativa y justa del líquido vital de acuerdo a las normativas vigentes de la asociación, además los terrenos de éstos usuarios se encuentran en una zona elevada en referencia a la ubicación del reservorio, por lo que para tecnificar la irrigación en el área, se requiere de un nuevo estudio de ingeniería agronómica que se está llevando a cabo con la implementación de equipos de bombeo de alta potencia.

La población del caserío El Rosal considera al sistema de distribución de agua diseñado por la prefectura de Tungurahua como inadecuado, debido a que no existe en control de cierre de válvulas, y los usuarios están limitados a regirse a un horario de riego. Como referencia los horarios de riego de la población vecina están establecidos en varias horas continuas por semana, produciendo pérdidas o deficiencias en la calidad de cultivo, por la inestabilidad climática; es decir, por ejemplo, en épocas de verano las plantas requieren de un riego continuo, y al regirse a horarios, el usuario no puede decidir cuando regar sus cultivos. Por otra parte el usuario puede alterar la cantidad de agua que está designado para su uso, debido a que no existe un control adecuado sobre la apertura de válvulas que dan acceso al líquido vital.

### **1.3 DELIMITACIÓN**

**Área:** Hardware y Redes

**Línea de investigación:** Tecnologías de la Información de la Comunicación.

**Sublínea de investigación:** Comunicaciones Inalámbricas.

#### **Delimitación Espacial:**

La investigación se desarrolló en el área de terrenos pertenecientes a los usuarios que utilizan el sistema de riego del canal secundario del óvalo Tunga en caserío El Rosal de Mocha.

#### **Delimitación Temporal:**

El proyecto de investigación se desarrolló en el periodo Marzo 2019 – Agosto 2019 de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Graduación para Obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

La población del caserío El Rosal de Mocha requiere un procedimiento técnico para controlar y supervisar la distribución de agua del reservorio colectivo para agricultores, además la automatización y monitoreo del riego tecnificado se convierte en una necesidad para mejorar el estilo de vida de las personas de los sectores rurales y la calidad de un sistema de producción agrícola. Con la elaboración del presente proyecto, se entrega la estructura lógica de un sistema de monitoreo y control para riego tecnificado; que puede ser utilizado por cualquier institución pública o sector privado para implementar una nueva tecnología de control de riego agrícola.

El proyecto beneficia de forma directa a la comunidad del caserío El Rosal de Mocha y San Pedro de Cevallos, obteniendo el esquema de un sistema de riego automatizado que puede ser monitoreado y manipulado en tiempo real, para dosificar el agua del reservorio Tunga. El diseño entrega las características técnicas para la implementación del sistema, que tiene por finalidad incrementar la efectividad de un sistema de riego, entregando a un cultivo la cantidad de agua justa requerida; de esta

manera se beneficia de forma indirecta a las comunidades aledañas debido a que al optimizar el riego agrícola se reduce el desperdicio de agua. Mediante la elaboración de un prototipo del sistema se tiene una línea para la evaluación de la efectividad del sistema en la solución de la problemática, llegando a tener estadísticas que permiten analizar el consumo de agua en sistemas de riego.

Es importante un sistema automatizado para riego tecnificado, que permita, una manipulación y dosificación eficiente del agua de riego almacenada en el reservorio Tunga del caserío el Rosal, identificando a los usuarios y la cantidad de agua que consumen y permitiéndoles monitorear el riego de cultivos de forma remota. El sistema permite tener un control para la distribución equitativa y supervisada, verificando que se cumplen las normativas internas establecidas por el directorio del canal de riego.

Los recursos materiales y dispositivos requeridos para el diseño del proyecto son de fácil adquisición, permitiendo el desarrollo del sistema en un tiempo aceptable. El sistema es diseñado bajo Software y Hardware libre, teniendo una amplia apertura para idear nuevas aplicaciones y futuras evoluciones. El uso de software y hardware libre permite un rápido acceso a información de diseños existentes que servirán como base para el desarrollo del presente proyecto.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo General**

Diseñar una red de controladores para la dosificación automática de agua del reservorio Tunga en el caserío El Rosal de Mocha.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

Analizar la situación actual del sistema de riego comunitario utilizado en el sector rural del caserío El Rosal de Mocha.

Diseñar un sistema electrónico basado en una red de controladores para la distribución de agua del reservorio Tunga del caserío el Rosal de Mocha.

Implementar un prototipo del sistema de riego automatizado con red de controladores para la dosificación de agua.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Alrededor del mundo se han desarrollado numerosas investigaciones referentes a sistemas de riego tecnificado, utilizando metodologías basadas en energía solar, impulso por gravedad o mediante bombas eléctricas o de combustible y según el avance tecnológico en el que se encuentre cada país, se alcanzan niveles de tele-agricultura y sistemas de agricultura de precisión, que facilitan el control adecuado de un cultivo, e incrementan la eficacia del consumo de agua en la irrigación agrícola. Así se encuentran proyectos con sistemas fiables, escalables, robustos y confiables de los que se puede obtener un punto de partida para el desarrollo de la presente investigación y que se detallan a continuación.

En Agosto de 2013 en la revista Journal de Ciencia e Ingeniería, se publica un artículo de investigación de Ingeniería Electrónica con el tema “*Redes de Sensores Inalámbricos Aplicadas a Optimización en Agricultura de Precisión para Cultivos de Café en Colombia*”. En el trabajo de investigación se presenta el diseño una red de sensores inalámbricos para agricultura de precisión en cultivos de café en Colombia usando protocolo de comunicaciones Zigbee, cuyo diseño está basado en la estructura indicada en la [5].

El sistema funciona mediante una arquitectura que incluye tres nodos, los que utilizan sensores de humedad y temperatura del suelo, radiación solar, temperatura

de las hojas, y flujo fotosintético para lo que se emplea un módulo XBee 802.15.4. Los nodos de sensores se comunican con un servidor central por medio del nodo coordinador en una topología estrella, el que posee una estación también una estación climatológica y envía la información por medio de un módem GSM. En los resultados de la investigación se evaluó el diseño de la red de sensores, identificando la existencia de problemas técnicos en las transmisión de datos, a pesar del uso de módulos de comunicaciones de buenas características; se determina que la pérdida de información se debe a las condiciones a las que los módulos de comunicación fueron expuestos, en consecuencia se sugiere replantear la topología de la red WSN y el protocolo de transmisión de datos utilizado[5].

En el año 2015 en la Universidad de las Fuerzas Armadas de Ecuador se presenta una tesis de ingeniería en electrónica en instrumentación con el tema “*Diseño e Implementación de una Red WSN (Wireless Sensor Network) Basado en los Protocolos Zigbee, Wifi y Zigbee Mesh, para el Monitoreo de Variables Climáticas en el Invernadero Ubicado en el Barrio Rumipamba del Navas, Cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi*”. En el proyecto se implementa una red inalámbrica de sensores utilizando los protocolos ZigBee, WiFi y DigiMesh, con la finalidad de monitorear las variables climáticas en un cultivo de tomate riñón, dentro de un invernadero [6].

El hardware de la red se diseña mediante tecnología Wasp mote de la empresa Libelium, que fabrica dispositivos especializados para aplicaciones de agricultura de precisión. El sistema implementado obtiene las variables de temperatura, luminosidad, humedad relativa, humedad del suelo, radiación solar y CO<sub>2</sub>; mostrando los valores de las variables físicas en un HMI mediante el software LabVIEW. El HMI cuenta con alarmas para informar cambios bruscos en el clima que afecten al desarrollo del cultivo [6].

Al realizar el análisis de funcionamiento de la red de sensores con los tres protocolos implementados, se determinó que la red WiFi es la red más estable debido a que el tiempo de actualización es 3 veces mayor a las redes DigiMesh y ZigBee, además el

sistema implementado con la red Wifi tiene un menor consumo de corriente. La comunicación entre nodos y el coordinador se ve afectada por el tamaño de la planta, teniendo una afectación mayor en las redes WiFi y ZigBee; la red DigiMesh es menos susceptible debido a su topología malla. Las redes DigiMesh y ZigBee presentan un menor retardo en la transmisión, siendo ideales para medir variables rápidas como: luminosidad, velocidad y dirección del viento [6].

En marzo de 2016 se publica un artículo científico en la revista Research in Computing Science con el tema: “*Propuesta de un sistema para optimizar el riego en invernaderos de plantas heterogéneas usando WNS y algoritmos evolutivos*”. En el trabajo de investigación se presenta un sistema de control de riego, que tiene la finalidad de alcanzar el eficiente uso de agua en invernaderos con cultivos de plantas heterogéneas, sin sacrificar el estado de las mismas. El sistema propone el agrupamiento de las plantas en función a las necesidades de riego y el desarrollo de un algoritmo basado en la genética de la vegetación para establecer los tiempos óptimos de riego y de espera, permitiendo minimizar la cantidad de agua utilizada; al minimizar el tiempo de riego e incrementar los tiempos de espera entre cada irrigación [7].

La red, implementada con el estándar IEEE 802.15.4 (Zigbee) en una topología malla, tiene una arquitectura centralizada formada por nodos que realizan distintas funciones por medio de periféricos como: sensores que obtienen los datos de las variables de humedad y temperatura de la tierra y el ambiente, electroválvulas de solenoides para habilitar el suministro de agua a la vegetación, un nodo inteligente que ejecuta el algoritmo de optimización mediante el análisis de la información de los sensores. El sistema cuenta con un servidor donde se guarda los datos de sensorización y mediante una interfaz gráfica se accede a los mismos para la supervisión por parte del usuario [7].

En noviembre de 2018, en la revista pistas educativas se publica un artículo de investigación con el tema: “*Internet de las Cosas (Iot), una Alternativa para el Cuidado del Agua*”, en el que se implementa un sistema de irrigación utilizando

hardware y software libre, actuadores, sensores, servidores web y telefonía móvil. En el diseño se crea una plataforma para que el usuario tenga la factibilidad de monitorear y controlar el riego en un invernadero inteligente a través del Internet de las Cosas (IoT), ofreciendo un sistema de Agricultura de Precisión [8].

En los nodos se utilizaron los sensores temperatura DB18S20, humedad relativa DHT11 y humedad del suelo YL-69. La interfaz de control de los actuadores del sistema de riego es diseñada para trabajar con electro-válvulas de una tensión de 110V, por lo que se usa un relé conectado al pin de salida de un Arduino que se usa como controlador. En la implementación del prototipo con la tecnología del sistema propuesto, se optimizó el uso del agua, reduciendo la cantidad aplicada a un cultivo de tomate; obteniendo una reducción de los costos de producción y creando un enfoque hacia una agricultura con responsabilidad ambiental [8].

En diciembre de 2016 se publica un artículo científico en la revista de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño con el tema: *”Una red de sensores inalámbricos para la automatización y control del riego localizado”* En el proyecto de investigación se implementa una red de sensores inalámbricos que obtiene mediciones de la humedad del suelo en distintas zonas de una plantación de fresa. De acuerdo a los datos adquiridos se determina la zona y el tiempo de riego, empleando irrigación por goteo. Los nodos de la red se comunican por medio del protocolo ZigBee, en donde se utilizan coordinadores, sensores y actuadores; llevando a implementar un prototipo de encendido y apagado del sistema de riego por tiempos determinados [9].

El software del sistema fue desarrollado en Java y permite tener el control de encendido y apagado del nodo actuador, el mismo que es implementado para manejar una motobomba eléctrica, mediante el acoplamiento de señales de control a potencia, utilizando triacs. Los nodos de sensorización tienen electroválvulas de solenoide que funcionan con energía alterna para controlar el riego en su zona; la lectura de la medición de humedad se realiza con el sensor 10HS[9].

La implementación del sistema de control con la red de sensores incrementa la eficiencia en el uso de agua, además mejora la calidad de los frutos en comparación a los obtenidos con el método tradicional de riego; se evidencia la importancia del uso de herramientas tecnológicas para lograr una caracterización de humedad de suelo promedio, mucho más precisa que permite definir bajo criterios técnicos cuánto y cuándo regar en diferentes áreas del cultivo [9].

## **2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.**

### **2.2.1 Sistemas de Control**

Un sistema de control es un grupo de componentes enlazados que trabajan de forma conjunta para cumplir un mismo objetivo. En ingeniería, un sistema de control implica una acción correctiva autónoma con respecto a una variable medida por medio de retroalimentación [10].

### **2.2.2 Sistemas de Comunicaciones Inalámbricos.**

Un sistema de comunicaciones inalámbricas es el conjunto de equipos que permiten la conectividad entre dispositivos denominados terminales, sin dependencia de cables para la transmisión de información; en donde la difusión de datos entre terminales se dan por medio de ondas electromagnéticas [11].

Con la tecnología inalámbrica se obtiene libertad de localización de equipos terminales de una red, ya que los dispositivos se desplazan por un área determinada de cobertura, sin necesidad de mantener una conexión física mediante un cable. Sin embargo las tecnologías cableadas manejan mayor seguridad de información, mayor ancho de banda, y son menos susceptibles a interferencias[11].

El estándar o tecnología utilizada en una conexión inalámbrica depende del área a la que se desea dar cobertura, teniendo así distintos parámetros que marcan las como: ancho de banda y distancia entre nodos que caracterizan los distintos protocolos

utilizados, entre los que se puede mencionar: Wifi, Bluetooth, Zigbee, entre otros[11].

### 2.2.3 Redes Inalámbricas

Red inalámbrica es un término utilizado en informática para designar la conexión de dispositivos que se dan por medio de ondas electromagnéticas, sin la necesidad de una red cableada[11].

La tecnología de una conexión inalámbrica varía dependiendo del área en que se desea dar cobertura, teniendo así distintos parámetros que marcan las características bajo distintos estándares, a continuación se detalla algunas de las tecnologías más utilizadas para la comunicación inalámbrica en el área de sensorización [11].

#### a) Redes Mesh

En las redes inalámbricas malladas o redes mesh se mezclan las dos topologías de las redes inalámbricas, la topología Ad-hoc y la topología infraestructura. De forma básica son redes con topología de infraestructura que permiten a dispositivos unirse a la red, a pesar de estar fuera del rango de cobertura de los puntos de acceso principales; ésto gracias a que se encuentran dentro del rango de cobertura de alguna nodo integrante de la red, que directamente o indirectamente está dentro del rango de cobertura de un punto de acceso.

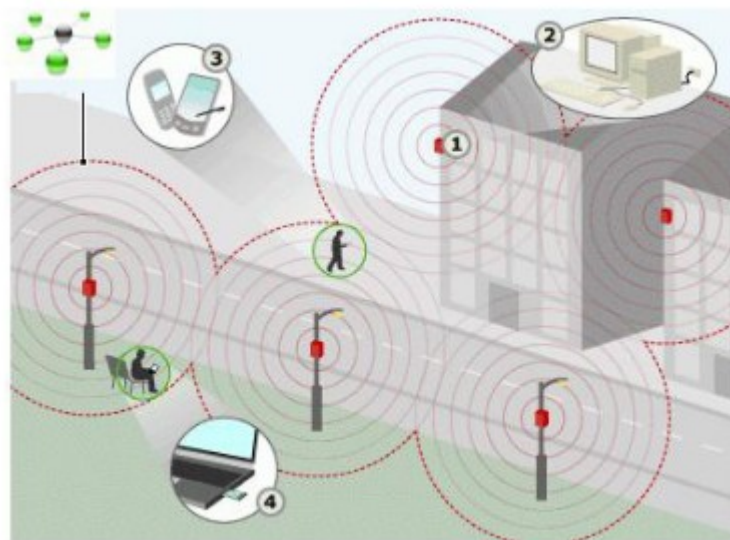


Fig.2. 1: Estructura de una red malla

Las redes mesh, ilustradas en la Fig.2. 1, permiten que las tarjetas de red se comuniquen entre sí, independientemente del punto de acceso, es decir que los dispositivos que actúan como tarjeta de red no mandan directamente los paquetes al punto de acceso, sino los transmiten a otras tarjetas de red para que lleguen a su destino.

En las redes mesh se presenta una cobertura de rango extendido y rutas alternativas, de tal forma que en caso de la falla de algún nodo de la red, otros nodos enrutan la información al destino. La desventaja que presenta son los retardos de información debido a los numerosos saltos que tiene que dar los paquetes para llegar a su destino, esto también provoca un incremento en la probabilidad de que se produzcan errores en la comunicación.

#### **b) Redes de Sensores Inalámbricos (WSN)**

Una red de sensores inalámbricos (WSN) es una red inalámbrica conformada por dispositivos distribuidos en el espacio que trabajan de forma autónoma, compuestos de sensores para adquirir datos del ambiente, un microcontrolador que procesa los datos adquiridos por los sensores, un transreceptor que proporciona comunicación bidireccional hacia otros elementos de la red, una memoria y una batería para proporcionar energía al nodo[12].

Las redes WSN se utilizan para monitorear condiciones físicas o ambientales. El protocolo inalámbrico que se selecciona depende de los requerimientos de la aplicación. Algunos de los protocolos disponibles incluyen radios de 2.4 GHz basados en los estándares IEEE 802.15.4 o IEEE 802.11 o radios propietarios, los cuales son regularmente de 900 Mhz[12]

#### **c) Redes Punto-Multipunto**

Las redes Punto-Multipunto son redes que vinculan la interconexión de dispositivos por medio de un nodo central, éstas redes presentan una cobertura de largo alcance a muy bajo costo y con una modesta instalación ideal para zonas de baja densidad de

dispositivos. La desventaja que presenta este sistema es que el equipo central es requiere de altas capacidades de procesamiento y cobertura para transmitir la información hacia todos los nodos[12].

#### **d) ESP-MESH**

ESP-MESH es un protocolo de red creado sobre el protocolo Wi-Fi, que permite a numerosos dispositivos (denominados nodos) distribuidos en una gran área física (tanto en interiores como en exteriores) interconectarse bajo una sola Red inalámbrica de área local. El protocolo ESP-MESH autoorganiza las conexiones de los nodos se crea de forma autónoma, lo que significa que la red se puede construir y mantener de forma por si sola[13].

Los nodos de una red ESP-MESH se conectan con nodos vecinos, cada nodo es mutuamente responsable de transmitir la información de los demás. Esto permite que una red ESP-MESH tenga un área de cobertura mucho mayor, ya que los nodos aún pueden lograr la interconectividad, sin necesidad de estar dentro del alcance del nodo central. Del mismo modo, ésta red es menos susceptible a la sobrecarga ya que el número de nodos permitidos en la red ya no está limitado por un solo nodo central [13].

ESP-MESH está construido sobre el protocolo de Wi-Fi y se considera como un protocolo de red que combina muchas redes Wi-Fi individuales en una sola WLAN. En Wi-Fi, las estaciones están limitadas a una única conexión con un AP (conexión ascendente) en cualquier momento, mientras que un AP puede conectarse simultáneamente a múltiples estaciones (conexiones descendentes). [13]

Sin embargo, ESP-MESH permite que los nodos actúen simultáneamente como una estación y un AP. Por lo tanto, un nodo en ESP-MESH puede tener múltiples conexiones en sentido descendente, mientras que simultáneamente tiene una única conexión en sentido ascendente utilizando su interfaz de estación. Esto naturalmente



da como resultado una topología de red de árbol con una jerarquía padre-hijo que consta de múltiples capas, de la forma indicada en la Fig.2. 2.[13]

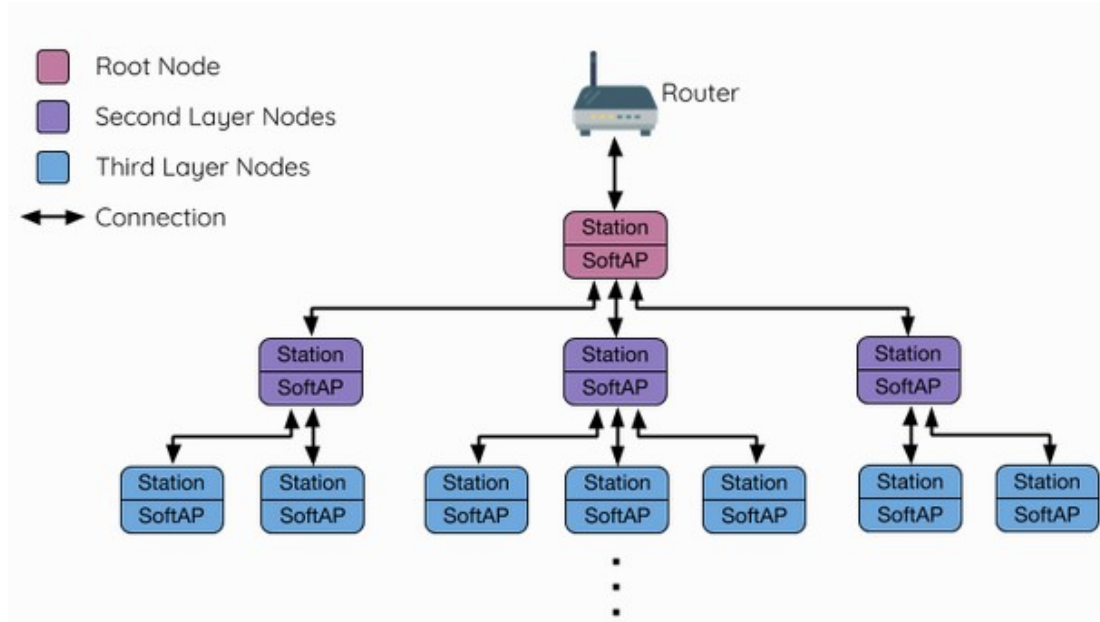


Fig.2. 2: Estructura del protocolo ESP-MESH[13]

#### 2.2.4 Redes de Sensores.

Una red de sensores inalámbricos (WSN) es una red inalámbrica conformada por terminales distribuidas en el espacio, las que funcionan de forma autónoma adquiriendo los datos del ambiente por medio de sensores, microcontroladores que procesan los datos adquiridos, transreceptores que establecen la comunicación entre elementos de la red, memorias y un módulo de energía. Se utilizan para monitorear condiciones físicas o ambientales [12].

Los sistema WSN incorporan un gateway de conectividad para establecer conexión entre la inalámbrica y una red cableada, cuando se requiere de acceso a los nodos distribuidos desde la misma. El protocolo inalámbrico depende de los requerimientos de la aplicación, teniendo algunos estándares disponibles que trabajan en bandas de frecuencia de 2.4 GHz como estándares IEEE 802.15.4 o IEEE 802.11 o radios

propietarios de distintos estándares, los cuales son regularmente operan a 900 Mhz[12].

### **2.2.5 MQTT**

MQTT es un protocolo de conectividad máquina a máquina (M2M) para el Internet de las cosas. Fue diseñado como sistema para el transporte de mensajes de en la arquitectura publicación / suscripción, es extremadamente ligero. Éste protocolo se usa en conexiones con ubicaciones remotas, donde no se dispone de un buen ancho de banda[14].

Por ejemplo, se ha utilizado en sensores que se comunican con un corredor a través de un enlace satelital, a través de conexiones de acceso telefónico ocasionales, con proveedores de atención médica y en una variedad de escenarios de automatización del hogar y dispositivos pequeños. También es ideal para aplicaciones móviles debido a su pequeño tamaño, bajo consumo de energía, paquetes de datos minimizados y distribución eficiente de información a uno o varios receptores[14].

MQTT se basa en el protocolo de transporte TCP. Por defecto, las conexiones TCP no usan una comunicación encriptada. Para cifrar toda la comunicación MQTT, muchos intermediarios MQTT (como HiveMQ) permiten el uso de TLS en lugar de TCP simple. Si utiliza los campos de nombre de usuario y contraseña del paquete MQTT CONNECT para los mecanismos de autenticación y autorización, debería considerar utilizar TLS[14].

El puerto 8883 está estandarizado para una conexión MQTT segura. El nombre estandarizado en IANA es "secure-mqtt". El puerto 8883 está reservado exclusivamente para MQTT sobre TLS[14].

### **2.2.6 Sistema de Energía Fotovoltaica**

Un sistema de energía fotovoltaico es el conjunto de dispositivos eléctricos y electrónicos que generan energía eléctrica partiendo de la radiación solar. El principal

componente de este sistema es el módulo fotovoltaico o panel solar, compuesto por células fabricadas de material semiconductor, capaces de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua[15].

#### **a) Paneles Solares**

Un panel solar o módulo fotovoltaico es una asociación de células solares agrupadas en serie y paralelo que convierten la energía de la radiación solar entregando tensión y corriente eléctrica. Las células están protegidas físicamente de la intemperie y eléctricamente aisladas del exterior, dando rigidez mecánica al conjunto [15].

#### **b) Reguladores de Carga**

Un regulador de carga es un equipo electrónico que evita la sobrecarga y la descarga excesiva de un acumulador (batería) cuando el sistema alcanza valores umbrales, determinados por la tensión en bornes de la batería. La protección frente a la sobrecarga se realiza desconectando al generador de la batería o desviando la corriente del generador hacia un circuito alternativo, como un cortocircuito o un disipador. En la segunda opción se incorpora un diodo de bloqueo entre el generador y la batería para evitar descargas de ésta sobre el camino alternativo que ofrece el regulador. La protección a la sobredescarga se realiza desconectando los equipos que consumen energía de la batería, para ello los reguladores de carga utilizan interruptores MOSFET's como dispositivos de conmutación[15].

#### **c) Acumulador Electro-químico**

Un acumulador electroquímico es una batería secundaria o recargable, que tiene la capacidad de almacenar energía eléctrica por medio de una transformación en energía electroquímica. Da autonomía al sistema fotovoltaico al entregar los requerimientos de consumo en cualquier momento, de forma independiente a la generación eléctrica. Además beneficia al sistema con un buen funcionamiento, aportando picos de intensidad superiores a los que suministra el generador fotovoltaico y evitando

fluctuaciones dañinas en los equipos de consumo al estabilizar el voltaje del sistema[15].

### **2.2.7 Sistemas Embebidas de Control**

Los sistemas embebidos de control son plataformas permiten realizar las operaciones básicas de un computador en dispositivos de tamaño reducido, en sí constituye un dispositivo electrónico que incluye un procesador programable de propósito específico [16] [17].

Los sistemas embebido contienen un microprocesador o microcontrolador cuya función principal no es computacional, pero es controlado por un computador integrado. La palabra embebido implica que se encuentra dentro del sistema general, oculto a la vista, y forma parte de un todo de mayores dimensiones[17].

#### **a) Electroválvulas.**

Una electroválvula o válvula solenoide es un mecanismo utilizado para permitir o bloquear el flujo de un líquido en un circuito o tubería. La apertura y cierre de la válvula se realiza por medio de un campo magnético, generado por una bobina que atrae un émbolo[18].

#### **b) Caudalímetros.**

Un caudalímetro es un instrumento que se usa para medir el caudal lineal, no lineal, de masa o volumétrico de un gas o líquido que circula en un punto, ya sea en grande o pequeñas cantidades o presiones. [19][20].

### **2.2.8 Sistemas de Riego Agrícola**

Los sistemas de riego son métodos utilizados mediante distintos mecanismos para abastecer de agua a los cultivos agrícolas, dentro de éstos sistemas se pueden diferenciar tres grandes categorías:

### **a) Riego por gravedad o a pie**

En el riego por gravedad la energía que distribuye el agua por la parcela es la derivada de su propio peso, al circular libremente por el terreno a favor de pendiente. Con este método de riego se suele mojar la totalidad del terreno y requiere el reparto del agua mediante modificaciones físicas del terreno como surcos, tablares, canteros o alcorques para controlar su distribución[21].

### **b) Riego por aspersión**

En el riego por aspersión el agua es conducida a presión y al llegar a los emisores produce gotas que mojan el terreno de forma similar a como lo hace la lluvia[21].

### **c) Riego localizado**

En el riego localizado se moja sólo la parte del suelo próxima a las plantas. El agua a baja presión llega mediante tuberías hasta las plantas[21].

## **2.2.9 Eficiencia de un Sistema de Riego**

La eficiencia de riego hace referencia al manejo adecuado del agua en el predio agrícola, es decir es el grado de habilidad que tiene el regante para manejar el agua. La eficiencia del riego se evalúa en función de las pérdidas o desperdicios de agua en un sistema de riego, estas pérdidas ocurren generalmente durante la aplicación del agua al suelo, pero también en la conducción, tanto en la red de riego externa como en la red interna de distribución del agua a la parcela[22].

En todos los sistemas de riego existen pérdidas de agua que no llegan a ser útiles para las plantas. Esto se expresa como eficiencias, que es la relación entre el agua disponible para la planta respecto del total de agua usada en un riego. Una menor eficiencia es producida por pérdidas de conducción, percolación o por desagües. La pérdida por conducción se refiere al agua que se pierde entre la toma o boca de pozo hasta el lote a regar. Las pérdidas por percolación constituye el agua que se pierde en profundidad, fuera del alcance de las raíces. Finalmente las pérdida por desagües es

el agua que sale del lote regado, pero que puede ser aprovechada en otros lotes o fincas [23].

### **2.2.10 Control de Riego**

El programa de riego debe ser controlado a través de mediciones en el suelo o en la planta. Esto permite conocer la disponibilidad de agua en forma cualitativa o cuantitativa, además de determinar la profundidad de riego, y evaluar si éste es excesivo o deficitario Independientemente del sistema de medición de humedad que se utilice, se debe tener en cuenta la variabilidad espacial de los suelos y de la distribución de humedad, para decidir el número y posición de los puntos de medición, de modo que éstos sean representativos [23].

El control de riego puede hacerse mediante instrumental apropiado, como tensiómetros, bloques de yeso o sondas de capacitancia. Los tensiómetros son instrumentos que miden la “fuerza” con que está retenida el agua del suelo, que está relacionada con su contenido de agua y será mayor mientras más seco esté el suelo[23].

Las mediciones son en unidades de presión, en una escala que va de 0 a 100 centibares (cb), en la cual el cero indica que el suelo está cerca de saturación; la lectura más alta que se puede alcanzar es de 85 cb, límite de operación del instrumento. Se recomienda su uso en suelos de texturas gruesas (arenosos), ya que a ese valor (85 cb) se está ya en el umbral de riego, mientras que en un suelo arcilloso a 85 cb todavía falta para volver a regar. Se deben ubicar en la zona de máxima concentración de raíces, asegurando un íntimo contacto con el suelo[23].

## **2.3 PROPUESTA DE SOLUCIÓN**

El diseño de una red de controladores para la dosificación automática de agua del reservorio Tunga en el caserío El Rosal de Mocha, permite monitorear y controlar de forma automática el consumo de agua utilizado en los cultivos de la región.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo de investigación se realizó bajo los conceptos de investigación aplicada ya que busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo. Se utilizarán los conocimientos adquiridos para dar solución a los problemas de distribución y automatización en sistemas de riego agrícola, creando un sistema autónomo controlable mediante los siguientes tipos de investigación:

La investigación bibliográfica documentada, para la adquisición de información sobre bases teóricas que facilite el diseño del sistema de riego automatizado en el reservorio Tunga para la optimización de la agricultura. La explicación científica de las bases del proyecto se tomaron de libros, artículos técnicos y proyectos desarrollados ya en otros países y en el Ecuador donde se realizaron estudios de: enlaces inalámbricos, redes de datos y sensores para sistemas de control, servidores web, programación, aplicaciones web, desarrollo de aplicaciones IOT y desarrollo de sistemas de riego tecnificado.

La investigación de campo con la que se realizó un estudio sistemático para determinar las características del sistema que requiere la institución. La recolección

de información y adquisición de datos se tomaron de forma directa en el sector rural del caserío El Rosal de Mocha.

Se utilizó la investigación experimental para la obtener los parámetros técnicos requeridos en la implementación de los elementos de control del prototipo, realizando pruebas de funcionamiento para validar el sistema a diseñado.

### **3.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

La información para el estudio y dimensionamiento de equipos y materiales se obtuvo de los datos de usuarios otorgados por la directiva del cabildo comunitario, utilizando fichas de observación; y de bibliotecas afines a la documentación teórica requerida, de la Universidad Técnica de Ambato.

La recolección de información se inició de forma previa a la presentación y reconocimiento del proyecto de investigación utilizando como recursos: tablas comparativas y fichas de observación.

### **3.3 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

El procesamiento y análisis de datos se realizó mediante una clasificación de la documentación obtenida, presentando una descripción ordenada de los entornos a estudiarse en el proyecto. Se realizó un análisis crítico de los datos obtenidos durante la recolección de información, considerando los siguientes lineamientos:

- Se eliminó información de baja relevancia.
- Se obtuvo parámetros técnicos, específicos y concretos que determinen las características del sistema a ser diseñado.
- Se interpretó la información que permite plantear estrategias de solución al problema.



### **3.4 DESARROLLO DEL PROYECTO**

En el desarrollo e implementación de una red de controladores para la dosificación automática de agua del reservorio Tunga en el caserío El Rosal de Mocha, se procedió con la siguiente organización de actividades.

- Determinación de las características del sistema de riego empleado en la actualidad, utilizado en el sector rural de San Pedro de Cevallos.
- Análisis de las características que implican un sistema de riego eficiente.
- Evaluación de las principales vulnerabilidades del sistema de riego utilizado en la actualidad en el caserío San Pedro de Cevallos.
- Determinación de las normativas internas utilizadas para la distribución de agua a los usuarios del Reservorio Tunga.
- Diseño de un servidor central para el control del consumo de agua de los usuarios del reservorio Tunga.
- Creación de una base de datos para gestionar permisos de consumo e información de usuarios.
- Diseño de una red inalámbrica de controladores que gestione los permisos de activación de válvulas con la base de datos y el servidor central.
- Elaboración de un modelo de módulo controlador para la activación y desactivación remota de válvulas de riego con sensorización de consumo de agua.
- Programación de una interfaz HMI para el control y monitoreo del sistema con perfil de administración/usuarios
- Configuración de un servidor local con base de datos para el control del consumo de agua de los usuarios del reservorio Tunga.
- Elaboración del software de interfaz humano sistema con perfil de administración.
- Creación de una tarjeta controladora para la activación y desactivación remota de válvulas de riego con sensorización de consumo de agua mediante comunicación inalámbrica.
- Implementación de un sistema de alimentación eléctrica de energía solar para el funcionamiento del módulo de control.

- Elaboración de un módulo de control de prueba, con interfaz humano máquina y conexión inalámbrica al servidor.
- Evaluación del funcionamiento del prototipo.
- Corrección de errores
- Elaboración del informe final.

## **CAPÍTULO IV**

### **PROPUESTA**

El desarrollo de la tecnificación de riego en el caserío El Rosal del Cantón Mocha, se ha visto truncado por la alta resistencia de la población a recibir un cambio. Los habitantes del sector indican inconformidad y desconfianza de los proyectos propuestos por la prefectura de Tungurahua en distintas sesiones de la organización regularizadora del sistema de riego actual. La prefectura de Tungurahua ha indicado un proyecto de tecnificación de riego, en donde se utilizaría entre algunos pilotos al caserío El Rosal, en donde se prevé el cambio del sistema de riego por inundación por un sistema mixto de aspersión y goteo.

El empleo del sistema de riego por inundación tiene como consecuencia el desperdicio de agua que abastece el canal de riego Mocha-Huachi, mismo que tiene una red fluvial que nace desde las abras del volcán Chimborazo y llega hasta el cantón Ambato. Al implementarse un sistema de riego de alta eficiencia en todos los puntos de captación del canal de riego, el agua ahorrada sería empleada para el uso de las poblaciones mediante procesos de potabilización y ya no solo para fines agrícolas.

La red de controladores para la dosificación automática de agua del reservorio Tunga en el caserío el Rosal de Mocha, es un proyecto que permite entregar un sistema base que controla la distribución de agua sobre el proyecto propuesto por la prefectura de Tungurahua, sustentado en los reglamentos establecidos por la junta de aguas Mocha-Huachi. El sistema permite a los usuarios tener un conocimiento de la

cantidad de agua asignada por periodo de riego, migrando del sistema actual basado por tiempo de riego. Al realizar el cambio mencionado, el usuario utiliza el agua de acuerdo a las necesidades de sus cultivos y con la certeza de una distribución equitativa y justa. Además el sistema entrega valores de monitoreo del consumo de agua y variables de estado de las condiciones climáticas como humedad y temperatura mismas que permiten a los ingenieros agrónomos realizar investigaciones.

#### **4.1 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.**

El desarrollo del presente proyecto de investigación tuvo una factibilidad técnica, económica y bibliográfica de la forma detallada a continuación:

##### **4.1.1 Factibilidad Técnica**

La realización del presente proyecto tiene factibilidad técnica considerando que los dispositivos, sensores, actuadores y elementos electrónicos requeridos para la implementación del prototipo de la red de controladores para la dosificación automática de agua se encuentran en el mercado tecnológico del país y son de fácil adquisición; el software de control del sistema es desarrollado utilizando lenguajes de programación bajo entornos de licencias libres.

##### **4.1.2 Factibilidad Económica**

El proyecto de la red de controladores es económicamente factible debido a que la investigación es financiada con los recursos económicos del investigador, y los dispositivos empleados no requieren de altos gastos económicos.

##### **4.1.3 Factibilidad Bibliográfica**

La factibilidad bibliográfica del proyecto se indica como viable debido a que la información referente a sistemas de riego, sistemas de generación fotovoltaica, sistemas electrónicos de control y redes mesh, se encuentra en libros, tesis,

documentos científicos , revistas tecnológicas, documentos web y manuales de usuario de fabricantes.

#### **4.2 SITUACIÓN ACTUAL DE RIEGO EN EL ROSAL**

El caserío El Rosal indicado en el mapa de la Fig.4. 1, es un poblado rural perteneciente al cantón Mocha, provincia Tungurahua del Ecuador; está ubicado en la latitud -1.36667 y longitud -78.6333. El poblado emplea como principal actividad económica la agricultura, siendo ésta la fuente de ingresos del 94% de sus habitantes. El caserío tiene una extensión territorial de alrededor de 300 hectáreas, donde casi el 100% es destinado a cultivos agrícolas. La temperatura media del caserío es de 17 °C en donde aproximadamente el 20% de su territorio tiene cultivos de huertos frutícolas de manzana, durazno, fresa, mora entre otros, un 20% se destina a cultivos de hortalizas cereales y tubérculos mientras que el porcentaje restante es utilizado en pasto para la crianza de ganado bobino y especies menores [24].



*Fig.4. 1: Extensión territorial de El Rosal de Mocha*

En la actividad agrícola del caserío El Rosal se emplea el riego por inundación o gravedad, los habitantes de la zona utilizan un canal común de riego, el mismo que se conecta a la Sequia Mocha-Huachi, un canal primario de alto caudal que abastece de agua de riego a ciertos poblados de los cantones Mocha, Cevallos y Ambato.

Los propietarios de los terrenos del caserío el Rosal de Mocha hacen uso del líquido vital para sus cultivos por medio del óvalo Tunga, una toma de agua que entrega al canal secundario un promedio de 60 litros de agua por segundo. La Junta de Aguas Mocha-Huachi regulariza los estatutos para que los usuarios del óvalo Tunga dispongan del abastecimiento de agua por medio de horarios preestablecidos. De acuerdo a la cantidad de terreno que tiene cada usuario se le asigna un determinado tiempo de riego, que cumple un ciclo de 15 días. Por ejemplo, a un usuario X que tiene una hectárea de terreno se le asigna el horario de riego de 05H00 hasta 06H00 de los días lunes; el mismo podrá hacer uso del agua sólo en ese horario y una vez utilizado, debe esperar dos semanas para que se cumpla el ciclo y poder beneficiarse de nuevo del líquido vital asignado.

El óvalo Tunga es compartido por dos caseríos, el caserío El Rosal de Mocha y San Pedro de Cevallos. En el segundo caserío se aplicó un proyecto de tecnificación de riego, en el que todos los usuarios acordaron utilizar un reservorio general construido por la prefectura de Tungurahua, para almacenar el agua y luego desde éste distribuir hacia los terrenos, utilizando el método de riego de aspersión y goteo.

Para el caserío el Rosal se ha lanzado el estudio para implementar una tecnificación similar, sin embargo la población no se encuentra conforme y rehúsa recibir el apoyo del gobierno debido a que observan que la metodología utilizada en caserío vecino no resultó 100% efectivo; la técnica utilizada para la distribución de horarios de riego en el caserío San Pedro provoca en ciertas ocasiones daños a los cultivos debido a las siguientes causas:

- La distribución implica horas seguidas de riego por aspersión, creando brechas en la humedad del suelo; teniendo saturación de agua en la tierra

cuando se efectúa el riego y estados de humedad del suelo cercanos a la marchitez permanente (estado de humedad del suelo en donde las plantas ya no pueden absorber agua del mismo) en días posteriores.

- Los horarios de riego por aspersión no fueron creados considerando las horas del día que presentan una alta radiación solar, provocando que la irrigación por medio de ésta técnica sea de baja efectividad, debido a que las plantas son susceptibles a las plagas y enfermedades al recibir agua en sus hojas cuando la temperatura es elevada a causa de la energía solar; pues las condiciones de humedad y temperatura se convierten en adecuadas para el crecimiento de microorganismos.
- Los cultivos están obligados a recibir agua en un horario rígido y no cuando lo necesitan y con la medida requerida.
- El control y respeto de los horarios y cantidad de agua utilizada por cada usuario se basa de forma única por la moral de los propietarios.
- El sistema utilizado en la actualidad no tiene un control de la cantidad de agua utilizado por cada usuario, ni registra un control del uso de horarios de riego.

En función de las condiciones mencionadas, el proyecto de la red de controladores para la dosificación automática de agua del reservorio Tunga en el caserío El Rosal de Mocha, permitirá a los usuarios crear un sistema de distribución justo y equitativo. Con la aplicación diseñada es factible crear horarios de riego basados en tiempo o volumen de consumo, sin limitarse de forma estricta a horas determinadas en la semana, sino a la distribución de las horas de riego cuando el cultivo lo requiera. Los usuarios tienen la garantía de que la aplicación diseñada controla la apertura de válvulas, asegurando que cada agricultor recibe la cantidad de agua destinada por las normativas internas de la asociación.

Los ingenieros agrícolas del sector, así como los estudiantes de ingeniería agronómica del campus Quero-Chaca de la Universidad Técnica de Ambato, al ser usuario de éste canal de riego tienen la factibilidad de analizar resultados de consumo

de agua y condiciones metereológicas durante un ciclo de cultivo, impulsando la investigación en el área de agricultura de precisión.

### **4.3 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DEL SISTEMA**

En coordinación con el presidente del cabildo del caserío EL Rosal, se determinaron los requisitos y funciones que debe incluir el sistema de la red de controladores para la dosificación automática de agua diseñado, los mismos que se detallan a continuación:

- El sistema debe tener una interfaz con perfil de control para usuario y administración perfectamente diferenciados.
- El perfil de usuario debe incluir la visualización de los valores de los sensores instalados y asignados a cada usuario, la visualización del estado de consumo de agua y una interfaz gráfica para el control de apertura y cierre de electroválvulas.
- El perfil de administración debe incluir una interfaz gráfica que permita añadir, eliminar y editar datos referentes a usuarios y dispositivos del sistema.
- El sistema debe incluir una base de datos que permita almacenar la información de los usuarios y las válvulas o sensores que los mismos tienen asignados.
- El sistema diseñado debe tener la capacidad de medir el volumen de agua consumido por cada usuario en un ciclo de riego comprendido por 15 días calendario.
- El sistema debe garantizar que cada usuario no consuma más agua que la asignada por un perfil creado desde la interfaz de administración.
- El sistema debe garantizar la conectividad de todos los dispositivos que se requieran instalar en la red.
-



#### 4.4 DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA

El sistema general está diseñado de acuerdo al diagrama de bloques de la Fig.4. 2, en donde se destaca cuatro bloques de alta importancia: el servidor local, el enlace de datos, la red de actuadores y la red de sensores.

La red de actuadores es el nodo central del sistema, la misma contiene los dispositivos que permite a los usuarios automatizar el riego mediante los datos recibidos por la red de sensorización y con los permisos entregados por el servidor. Debido a que en la red de sensorización y en el servidor se manejan distintos protocolos de comunicación y éstos bloques se encuentran separados por varios hectómetros, se utiliza una etapa de enlace de datos como interfaz de comunicación.

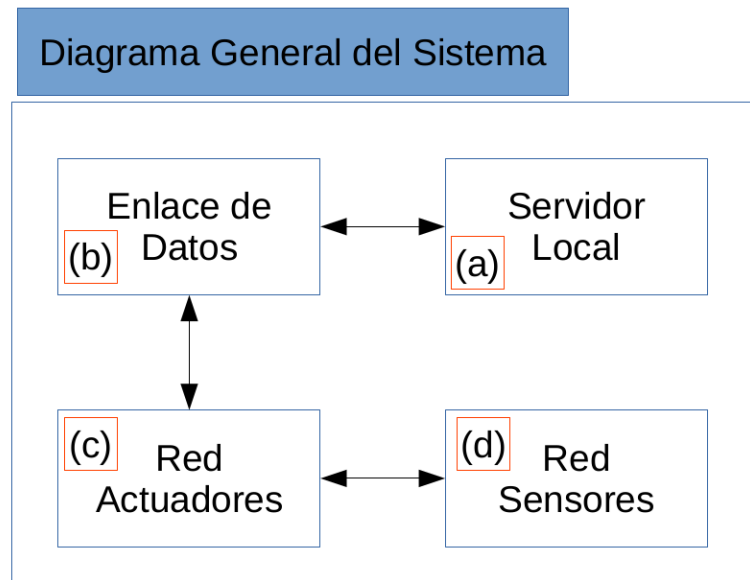


Fig.4. 2: Diagrama de bloques del sistema general. (a) Servidor Local, (b) Enlace de datos, (c) Red de actuadores, (d) Red de sensores

##### 4.4.1 Estructura General del Sistema

La estructura general del sistema indica la forma en que se interconectan las distintas etapas del sistema de riego autónomo, así como la composición de cada uno de ellos. La estructura del sistema, indicada en la Fig.4. 3, es diseñada partiendo de la red de

sensores por la complejidad de la misma. Pasando luego hacia el diseño de la red de controladores, que son los nodos de actuadores en conjunto con medidores de volumen de agua, para luego generar una metodología que permita transferir la información hacia el servidor local. Todos los nodos del sistema consideran la alimentación eléctrica basada en generación de energía eléctrica partiendo de energía fotovoltaica.

Las redes de sensores y actuadores, diseñados en una topología malla, requieren comunicarse con el servidor, para tal efecto se utiliza como interfaz un bloque de enlace de datos, mismo que convierte las señales del protocolo empleado en la red Mesh al protocolo 802.11 b, para luego transmitir la información al servidor mediante Ethernet. La red de actuadores, es una red Mesh que incluye nodos controladores, que se encargan de medir el volumen de agua utilizado por cada usuario, y de acuerdo a la intervención del agricultor y permisos del servidor, los nodos abren y cierran electro-válvulas de riego en el sistema.

La red de sensores está integrada por nodos con dispositivos de medición de humedad de suelo, humedad ambiental y temperatura ambiental; información que es enviada hacia el servidor para que el usuario tenga un monitoreo de las variables climáticas.

El servidor es diseñado en el conjunto de software LAMP: Linux, Apache, MariaDB y PHP, el mismo es el encargado de gestionar los permisos para la activación y desactivación de las válvulas de riego de cada usuario, esto en función de los reglamentos internos de distribución de agua de la institución, almacenados en una base de datos. En el servidor se configura todos los permisos de uso del sistema, por lo que se utiliza una interfaz humano-sistema (HSI) para que el administrador pueda modificar la configuración del mismo, de acuerdo a sus necesidades y las variaciones producidas por la compra, venta y arriendo de terrenos dados en el caserío.

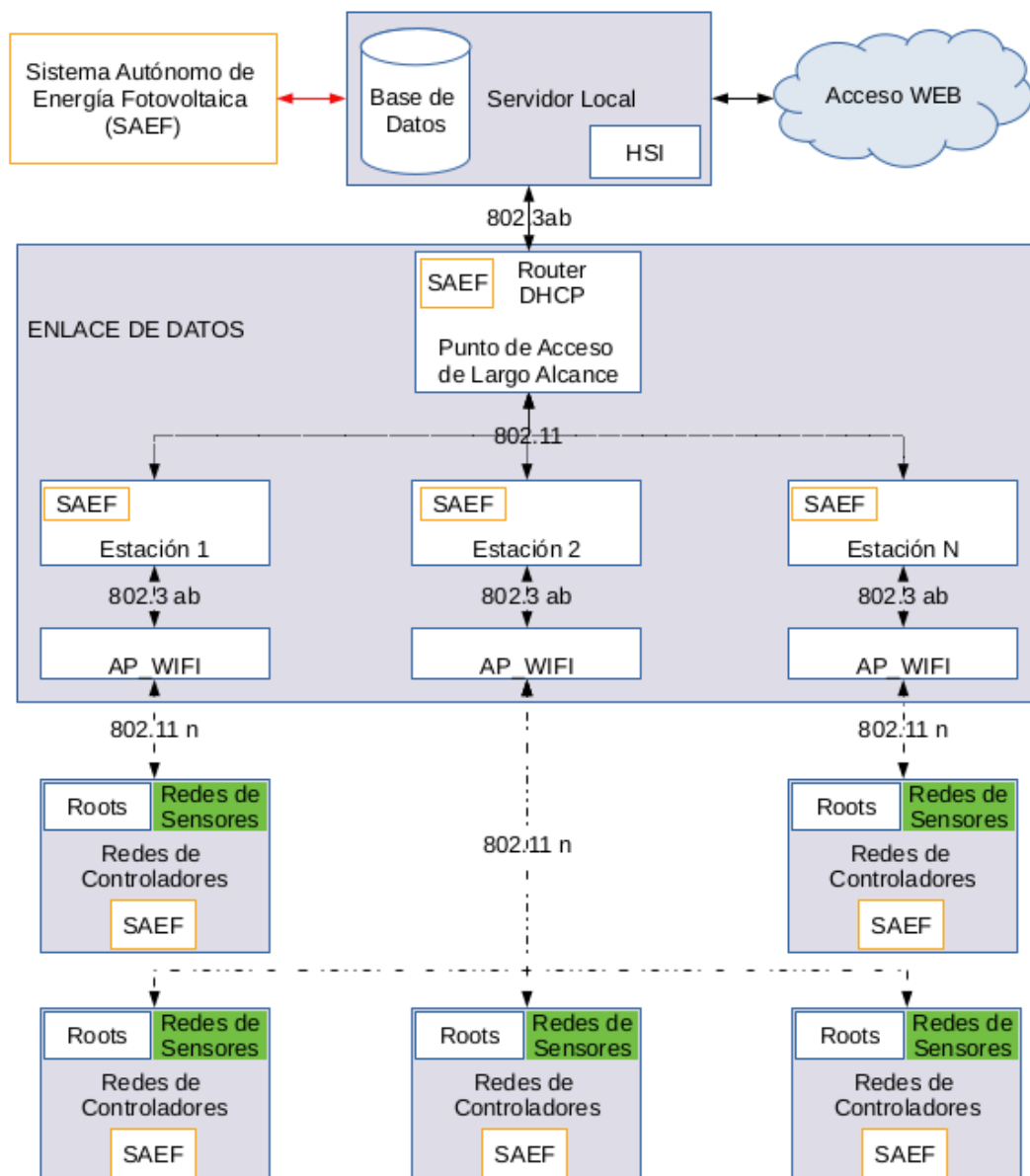


Fig.4. 3: Diseño general del sistema de la red de controladores para la dosificación automática de agua

#### 4.5 RED DE CONTROLADORES

La red de controladores es una red en donde se integran nodos de control que permiten medir el volumen de agua y en función del volumen consumido y el asignado, permite al usuario abrir y cerrar válvulas electrónicas que permiten irrigar los cultivos agrícolas.

El funcionamiento del sistema requiere del diseño de una red de dispositivos controladores, que se comuniquen con un nodo central que hace de servidor, el mismo que establecerá las funciones y permisos a ejecutarse en cada uno de los nodos. Los dispositivos controladores se integran mediante una red Mesh, tecnología utilizada de forma común en las redes de sensores.

#### 4.5.1 Selección del Transceiver

La creación de una red Mesh basa su funcionamiento en distintas metodologías y protocolos, dependiendo de la tecnología de comunicaciones implementada y del fabricante del los transceivers. En la Tabla4. 1 se observan algunos dispositivos de distintos fabricantes, mismos que permiten diseñar redes Mesh.

Tabla4. 1: Características técnicas de transceivers para el diseño de una red Mesh.

<b>DISPOSITIVO / CARACTERÍSTICA</b>	<b>ESP32</b>	<b>NRF24L01</b>	<b>Digi Xbee3</b>
Protocolos de comunicación	TCP, Wifi, MDF, UDP, MQTT	–	Zigbee
Requiere microcontrolador	Microcontrolador incluido 240 Mhz dual core	Requiere microcontrolador externo	Requiere microcontrolador externo
Frecuencias de operación	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz
Número de nodos	300 Nodos por IP	65535	65535
Tipo de comunicación	Duplex	Half Duplex	Duplex
Velocidades de transmisión	1 – 11 Mbps en 802.11 b/r	250Kbps, 1Mbps, 2Mbps	250Kbps
Voltaje de operación	3.3 Vdc	3.3 Vdc	3.3 Vdc
Consumo de corriente	500mA	25 mA	135mA
Potencia de Transmisión	20dBm	-18dBm	18dBm
Umbral de recepción	-98 dBm	-94 dBm,	-100 dBm

El módulo ESP32 de la empresa Esspresif, tiene características superiores en referencia al manejo de protocolos de comunicación, orientados a conexión y corrección de errores e incluye un microcontrolador de alto rendimiento que permite manejar periféricos de forma directa. Las características de transmisión, recepción de datos del ESP32 son equiparables al modulo Xbee y superior en comparación al módulo NRF24l01. El consumo de potencia es superior al de los otros dispositivos, sin embargo la situación se compensa al no requerir de un microcontrolador externo.

La desventaja del módulo ESP32 es la cantidad de nodos que el dispositivo maneja en una red mesh, siendo únicamente de 300, en comparación a las otras tecnologías que manejan hasta 65535; sin embargo el dispositivo permite la expansión sencilla creando de subredes integradas a una red IP. En el caso de la creación de subredes, el número de nodos depende de la máscara de la red IP, facilitando la creación de 300 nodos por subred; así en una red IP de máscara 255.255.255.0 la cantidad de nodos supera los 70000 dispositivos, añadiendo la ventaja de obtener una organización de dispositivos.

Por las características indicadas, se determina que el mejor dispositivo para la el diseño de la red de controladores es el ESP32, el mismo que es programado con la herramienta de desarrollo ESP-MDF(ESP- Mesh Development Framework), interfaz de programación diseñado por el fabricante y basado en FreeRTOS.

#### **4.5.2 Red Mesh Universal**

La red mesh universal es una red malla creada con el dispositivo ESP32 y basada en el protocolo ESP-MDF, para ser utilizada de forma independiente en una red de sensorización o una red de controladores. En el diseño de la Fig.4. 3 se propone crear una red de sensores por cada controlador o grupo de controladores, en consecuencia requieren independencia. Debido a que la red controladores y la red de sensores son redes mesh, se elabora un diseño universal que las dos redes intercambien información de forma bidireccional con una red IP, teniendo la factibilidad de llegar hasta la nube.

El protocolo ESP-MDF permite crear redes mesh de hasta 25 capas con una estructura ramificada de padres e hijos, pudiendo cada padre dar conexión hasta a 10 hijos pero con una conexión máxima de 300 nodos por red. En la Fig.4. 4 se observa el diseño propuesto para la red mesh universal, que será utilizada para conectar nodos sensores o controladores.

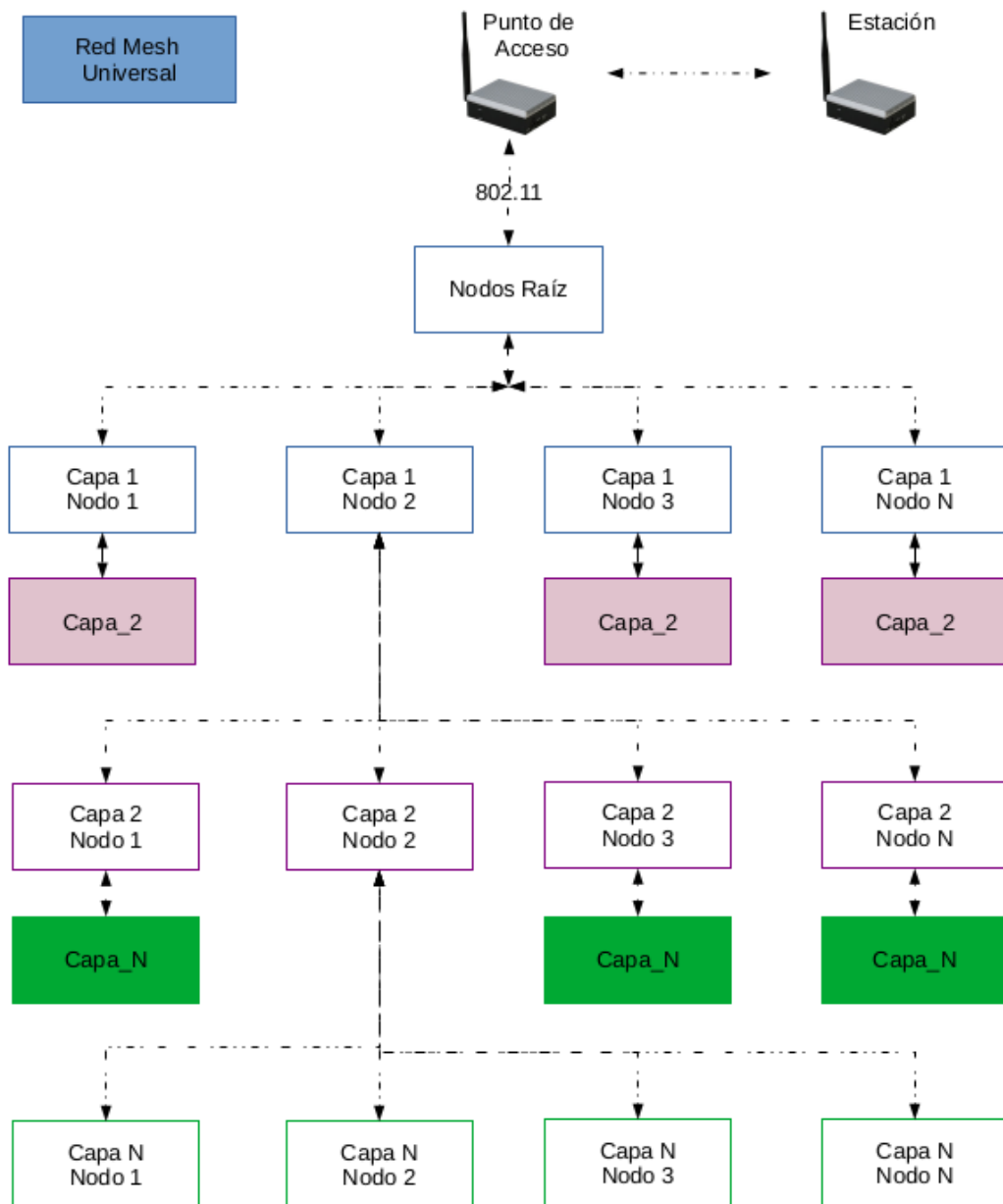


Fig.4. 4: Diseño de la red Mesh Universal, utilizada para controladores y sensores.

Para que la red mesh pueda salir hacia una conexión IP requiere de un nodo raíz, el mismo que es programado en un módulo ESP32, éstos módulos tienen varias

interfaces inalámbricas, cada una asignada a una MAC, entre ellas una interfaz de estación y una de punto de acceso. En calidad de estación el dispositivo raíz se conecta a un router mediante el protocolo 802.11, y con la interfaz de punto de acceso se crea un AP-Mesh para que los nodos hijos se conecten mediante el protocolo de red mesh-wifi, que es una aplicación del ESP-MDF.

La red mesh es programada mediante una gestión automática, es decir los dispositivos gestionan de forma autónoma la conexión de los mismos, seleccionando como root al dispositivo más cercano al router y cada nodo de la red selecciona como padre al nodo con mejor señal de enlace de datos.

Los nodos en la red Mesh Universal hacen referencia a los módulos ESP32, a los cuales se conectan actuadores para el caso de la red de controladores y sensores ambientales en el caso de la red de sensorización.

En las redes de sensorización la estación es un servidor programado en una computadora de placa reducida, mientras que en las redes de controladores la estación hace referencia a la conexión mediante un radio-enlace hacia el Servidor Local del sistema. En esta configuración, cada usuario que requiera la implementación de la red de sensores, tiene un computador de placa reducida, generando un sistema clúster de servidores y repartiendo el proceso y almacenamiento de la información entre distintos servidores. La red de controladores por el contrario está gestionada de forma global desde el Servidor Local.

### **4.5.3      Nodo Controlador**

El nodo controlador es un dispositivo autónomo que tiene la capacidad de encender y apagar periféricos actuadores e identificar dispositivos de características similares para crear una conexión inalámbrica que permita el intercambio de información en una red de controladores. En la Fig.4. 5 se observa el diagrama de bloques del diseño propuesto para el nodo controlador, el dispositivo diseñado tiene como núcleo al módulo ESP32, el mismo incluye un microcontrolador y la interfaz del transceiver que utiliza el protocolo 802.11 para crear una estación y un punto de acceso.

El microcontrolador del ESP32 soporta la programación de tareas, simulando una ejecución de ciclos infinitos en paralelo. En el ESP32 se desarrolla el software para crear un servidor TCP y un cliente TCP, el servidor monitorea los datos que provienen desde el nodo raíz para verificar el permiso de apertura de válvulas, por otro lado el cliente gestiona la lectura de datos del sensor de flujo para transmitirlos hacia el nodo raíz.

La alimentación eléctrica de los dispositivos de módulo controlador se realiza mediante un sistema autónomo de energía fotovoltaica. El controlador de válvula es un circuito de acondicionamiento de señal que permite la activación de la electro-válvula mediante una señal de 3.3Vdc que entrega el microcontrolador.

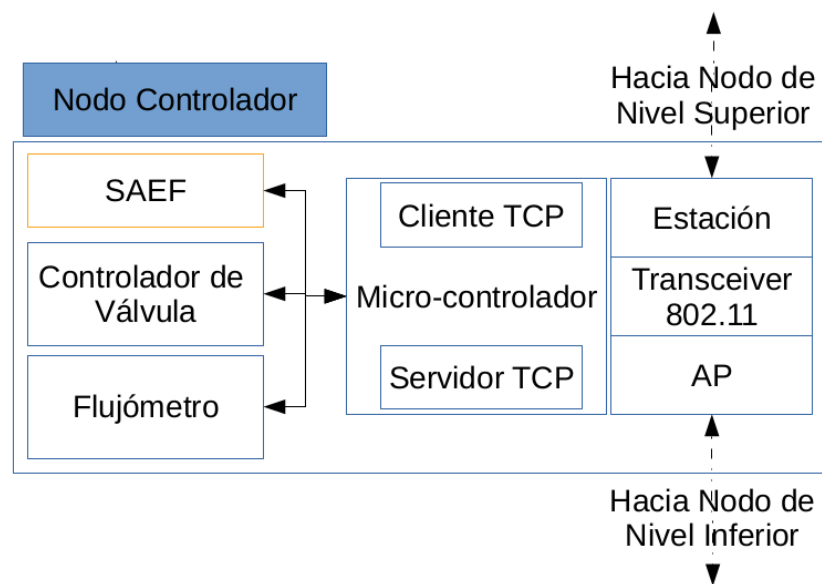


Fig.4. 5: Diagrama de bloques del nodo controlador

#### a) Selección de Dispositivo Actuador

El actuador utilizado para efectuar el riego en los cultivos es una electro-válvula, dispositivo electromecánico que permite o bloquea el paso de un fluido, para el caso del presente proyecto del agua.



En la Tabla4. 2 se tiene algunos modelos de electro-válvulas de características industriales disponibles en el mercado nacional, de entre ellas se destaca la SmartSolu modelo 2W15P que opera a un voltaje nominal de 12Vdc, a diferencia de las comparadas que trabajan a 24Vdc y 120Vac.

En adición el consumo de corriente de la 2W15P es inferior a la de los dispositivos Swisessor y 2W160P, permitiendo tener una mayor autonomía en el funcionamiento con energía solar.

*Tabla4. 2: Características técnicas de electroválvulas semi-industriales.*

<b>DISPOSITIVO / CARACTERÍSTICA</b>	<b>SmartSolu 2W15P</b>	<b>Swisessor</b>	<b>SmartSolu 2W160P</b>
Voltaje de operación	12Vdc	24Vdc	120Vac
Consumo de corriente	1500mA	1800mA	500mA
Presión	0-8bar	6 bar	10 bar
Normas de protección	IP 00/65	IP 00/65	IP 00/65
Diámetro	½ in	½ in	½ in

Las normas de protección son las mismas para los dispositivos comparados al igual que el diámetro, la única desventaja que presenta es la presión que soporta en comparación al modelo 2W160P que resulta ser inferior en 2 bares, sin embargo el dispositivo que soporta mayor presión requiere de 120 Vac, que no es óptimo en el diseño propuesto. En consecuencia de lo analizado se determina que el equipo que más se adapta para el sistema es el solenoide SmartSolu 2W15P.

#### **b) Selección de Medidor de Flujo**

El flujómetro es el sensor encargado de medir la cantidad de agua que pasa por la electro-válvula del nodo controlador en un tiempo dado, en sí la cantidad de agua que consume el usuario.

En la Tabla4. 3 se tienen algunos de los modelos de flujómetros disponibles en Ecuador, de entre ellos se descarta el Swisessor G2 debido al voltaje de operación, a pesar de que ese equipo dispone de una pantalla LCD indicadora.

Tabla4. 3: Características técnicas de sensores de flujo.

<b>DISPOSITIVO / CARACTERÍSTICA</b>	<b>YF- S201</b>	<b>Turbine Flow Meter DG001T</b>	<b>Swisessor Totalizador G2</b>
Voltaje de operación	5-18Vdc	3 a 24Vdc	110 – 220 Vac
Consumo de corriente	100mA	250mA	0.5A
Presión	< 175MPas	49MPas	0.8MPas
Normas de protección	IP 00/65	IP 00/65	IP 00/65
Diámetro	½ in	½ in	½ in
Rango de trabajo	1-30 lt/min	8-80 lt/min	5-300 lt/min
Precio	12 USD	224 USD	464 USD

Los sensores YF-S201 y el DG001T tienen características técnicas de baja variación, sin embargo el módulo YF-S201 es el adecuado para el nodo controlador debido a que presenta un menor consumo de corriente, soporta una mayor presión y el rango de trabajo permite medir desde flujos de bajo caudal.

#### **4.5.4      Nodo Sensor**

El nodo sensor es un dispositivo autónomo que tiene la capacidad tomar la lectura de varios sensores e identificar dispositivos de características similares para crear una conexión inalámbrica que permita el intercambio de información en una red de sensorización.

El diseño del nodo sensor, ilustrado en la Fig.4. 6 tiene la misma estructura que el nodo controlador, por tanto el Cliente TCP, Servidor TCP, la Estación y AP, cumplen las mismas funciones indicadas en el apartado anterior. La diferencia radica en que en el nodo de sensorización no se tiene una interfaz para el control de periféricos, éste nodo solo transmite los datos de los sensores de humedad ambiental, temperatura y humedad de suelo hacia el servidor.

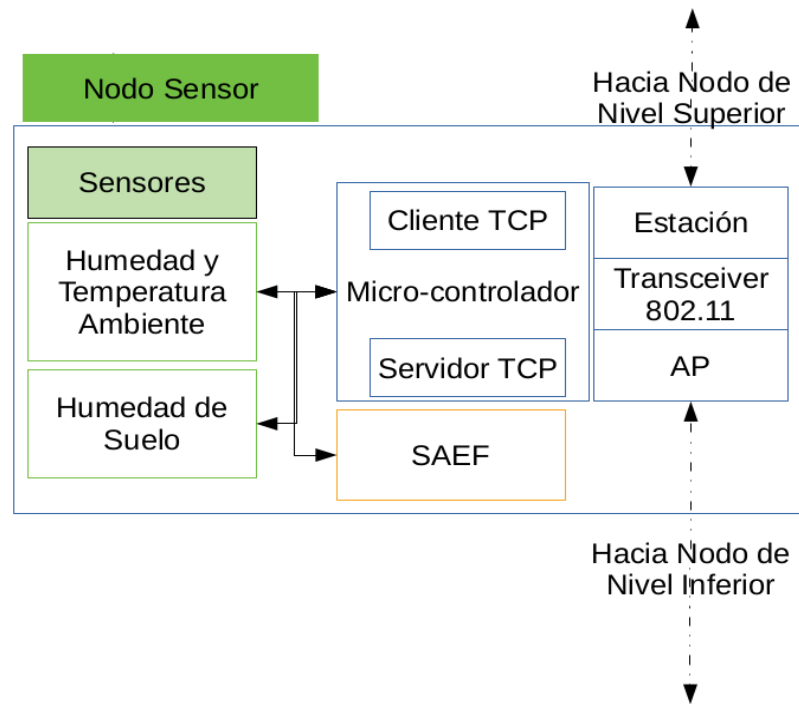


Fig.4. 6: Diagrama de bloques del nodo sensor.

El sensor de humedad de suelo consiste en un divisor de tensión genérico conectado a dos electrodos que se introducen en la tierra, que permite estimar la humedad del suelo debido a que el suelo tiene conductividad eléctrica que varía en función de la cantidad de agua que éste tiene. En el diseño del nodo de sensorización se utiliza un módulo genérico de división de tensión con electrodos incluidos elaborado para el uso de circuitos con Arduino, que al ser genérico tiene características comunes para el uso con microcontroladores.

Los sensores de humedad y temperatura ambiente que más se enmarcan en el diseño del nodo de sensorización, además que se dispone de drivers en el lenguaje de programación utilizado para el ESP32 son los indicados en la Tabla 4. 4.

Entre las características de los dispositivos indicados se observa que el voltaje mínimo de operación del LM35 es 0.5 Vdc superior a los otros dispositivos, pero ésta no se considera una desventaja.

Tabla4. 4: Características técnicas de los sensores de humedad y temperatura.

<b>DISPOSITIVO / CARACTERÍSTICA</b>	<b>DHT22</b>	<b>LM35</b>	<b>DHT11</b>
Voltaje de operación	3.3 – 6 Vdc	4-20 Vdc	3.3 – 5 Vdc
Rango de operación	Humedad 0-100%RH; Temperatura -40~80 °C	Temperatura 0 – 100 °C	Humedad 20-90%RH; Temperatura 0~50 °C
Tipo	Digital	Analógico	Digital
Resolución	Humedad 0.1%RH; Temperatura 0.1 °C	Temperatura 0.1 °C	Humedad 1%RH; Temperatura 0.1 °C

El sensor DHT22 tiene parámetros técnicos de mejor calidad en referencia a la resolución de la lectura y al rango de operación en comparación al módulo DHT11 y en comparación al LM35 presenta la ventaja de entregar lecturas de temperatura y humedad. Los atributos indicados del DHT22 determinan que éste es la mejor opción a utilizarse en el nodo de sensorización

#### **4.5.5 NODO RAÍZ O GATEWAY**

El nodo raíz o gateway es un programa genérico compilado en todos los nodos de sensorización o control, con la finalidad de que cada dispositivo de la red pueda tomar las funciones del nodo raíz. El gateway tiene la capacidad de recibir toda la información de los nodos que componen la red y retransmitir la misma hacia un nuevo dispositivo, por medio de un protocolo de comunicación diferente; como por ejemplo rs232, SPI, WiFi, o Bluetooth.

El diseño del nodo raíz se puede observar en el diagrama de bloques de la Fig.4. 7, en donde se tiene un programa que permite recibir toda la información proveniente

de los nodos de la red mesh, por medio de una interfaz que utiliza el transceiver de punto de acceso del ESP32, con el protocolo 802.11 lr.

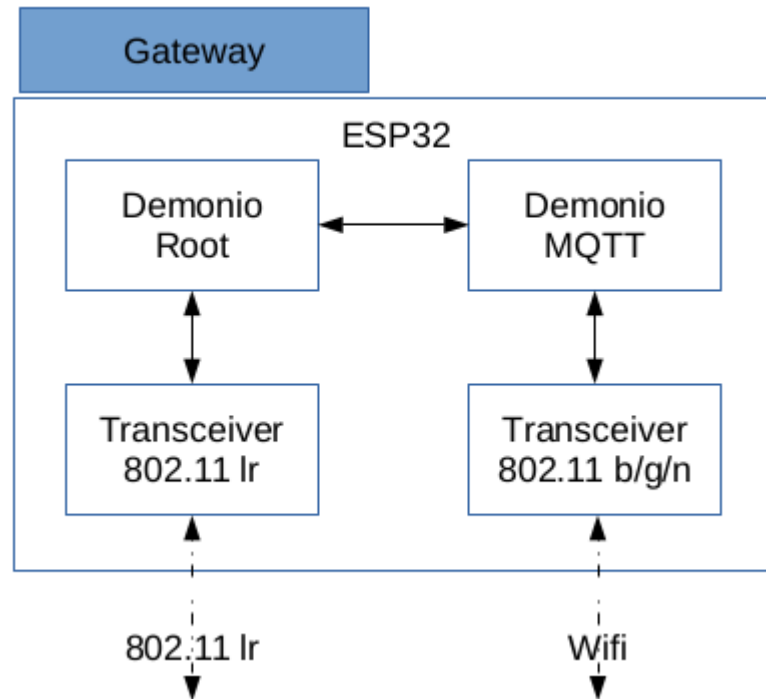


Fig.4. 7: Diagrama de bloques del nodo Raíz.

El Demonio Root, es el programa que permite recibir toda la información de los nodos raíz, mediante una tarea que escanea la red mesh en la espera de los paquetes de datos provenientes de los nodos. Cuando el demonio recibe una trama de la red mesh, la misma es desarmada y re-ensamblada en una nueva trama que es enviada por medio del protocolo MQTT, hacia un broker utilizando una comunicación basada en el protocolo TCP/IP en una comunicación WiFi.

Las tramas de envío y recepción de datos para el intercambio de información entre la red mesh y la red wifi se observan en la Fig.4. 8. En la red Wifi se utiliza el protocolo de comunicación MQTT, para el efecto el nodo raíz integra funciones de publicador y suscriptor.

La trama de transmisión de datos en una red mesh está compuesta por el ID del dispositivo y el bloque de datos. El ID está compuesto de un nombre dado por el

programador y la dirección MAC del dispositivo mientras que el bloque de datos, es una nueva trama que inicia con un salto de línea seguido del identificador del sensor con sus respectivo valor, en el caso del envío de datos de múltiples sensores, cada valor es separado por un salto de línea.

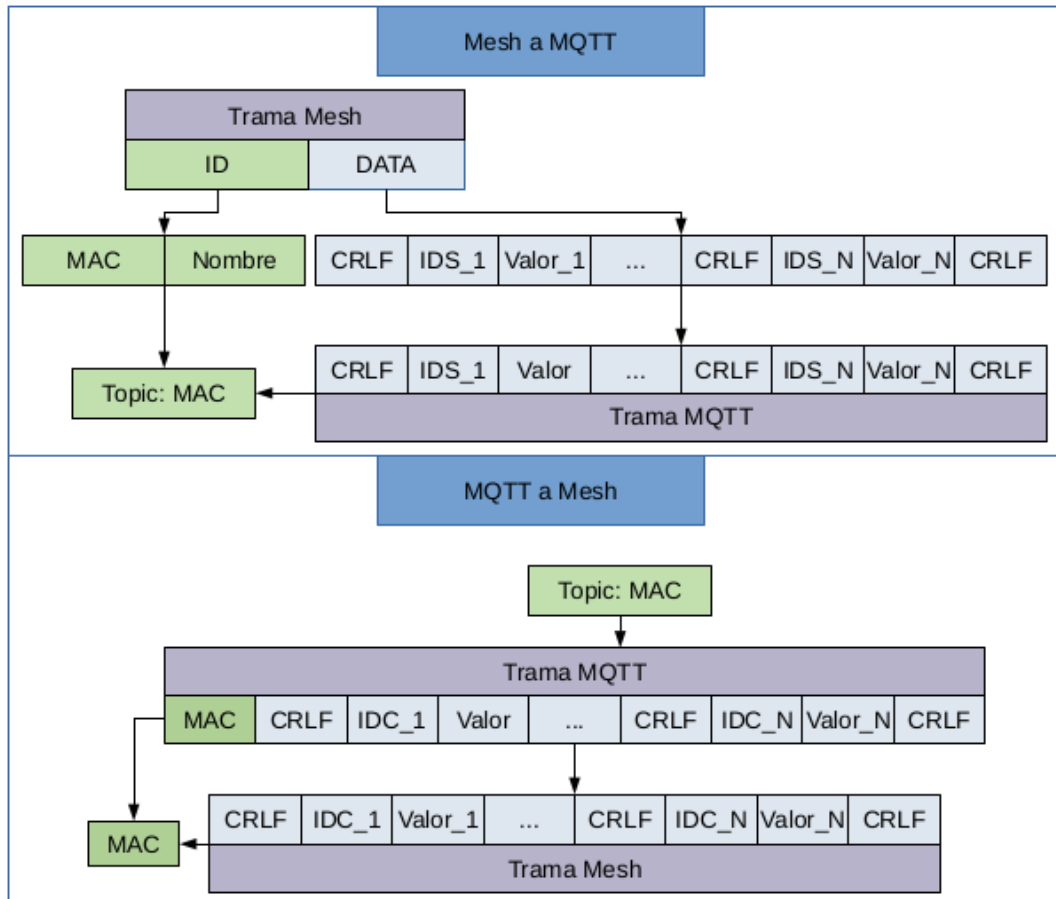


Fig.4. 8: Conversión de tramas para el intercambio de datos entre mesh y MQTT

La transmisión de datos desde el nodo raíz hacia el servidor, se realiza por medio de un broker MQTT. Para enviar la información desde el nodo raíz hacia el broker se requiere de una publicación, la misma que utiliza un “topic” o tema, que identifica el origen de los datos. El gateway toma la trama proveniente de los nodos hijos de la red mesh y separa el ID de los datos, con los datos forma una trama MQTT y con la dirección MAC crea un topic de publicación, hacia donde envía los datos. El Nombre del dispositivo no es utilizado en este contexto.

En el sentido contrario, para la transmisión de datos desde el broker al nodo raíz, en el nodo se programa una suscripción al topic con la dirección MAC de cada dispositivo de la red mesh. El gateway recibirá toda la información que el servidor publica con los topics creados con las direcciones MAC, registradas en una base de datos.

La trama de datos que envía el servidor por medio de MQTT hacia el nodo raíz, está compuesta del topic que contiene la MAC del dispositivo y una cadena de datos que inicia con un salto de línea y se conforma por un identificador de control seguido su valor. Un identificador de control es un dato que envía el servidor hacia los nodos, con la finalidad de que éstos tomen decisiones en la apertura y cierre de válvulas. En el caso de que se requiere el envío de varios valores de control, los mismos se separan en la trama de datos por saltos de línea.

Para direccionar la información en una red mesh, los dispositivos utilizan un protocolo de enrutamiento, basado en el reconocimiento de sus direcciones MAC; así, para enviar un dato a un nodo específico, solo se requiere de ésta dirección. En el gateway al recibir los datos provenientes del servidor por medio de un topic que indica la MAC del dispositivo hacia el que se dirige la información; se obtiene la MAC separando la trama y se crea una función que toma los datos provenientes del servidor para crear la trama mesh y pasar la misma hacia el nodo indicado por medio de la dirección MAC obtenida.

#### **4.6 ENLACE DE DATOS**

El enlace de datos es un arreglo de radio-enlaces que permiten transmitir la información desde los gateways de control hacia el servidor. Los módulos ESP32 soportan redes Mesh de hasta 300 dispositivos por root, debido a que el sistema debe diseñarse con proyección a crecer y soportar más de 400 usuarios, se ha creado una división del área territorial de acuerdo a la gráfica de la Fig.4. 9.

En la división propuesta se crean 4 zonas: Zona A, Zona B, Zona C y Zona D. En la Zona A, a 500m del reservorio se tiene uno de los puntos del territorio con mayor elevación. En éste lugar se instala el AP\_PRIMARIO, que es un punto de acceso de largo alcance que utiliza el protocolo 802.11.

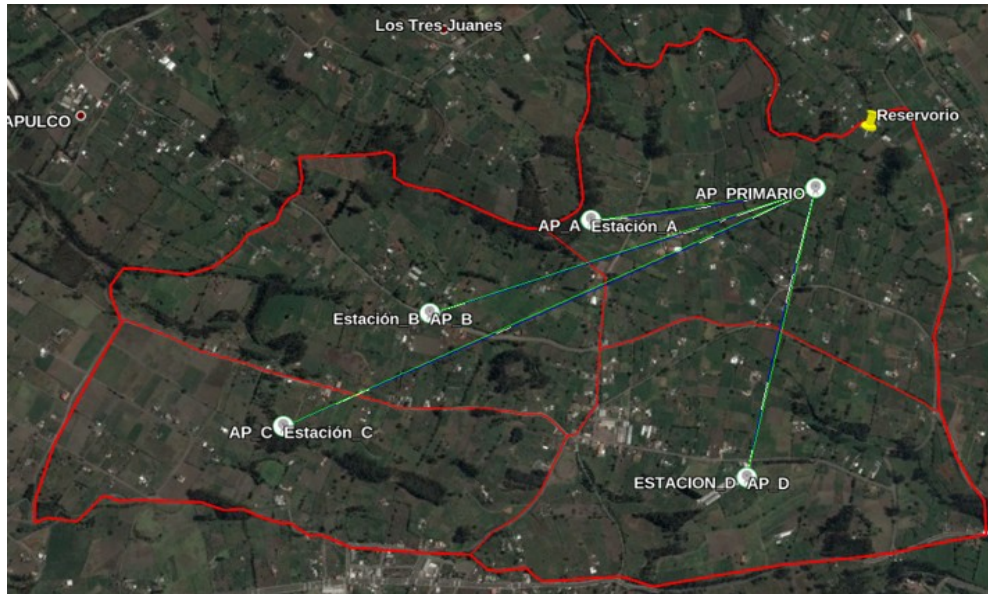


Fig.4. 9: División por zonas del caserío el Rosal. Simulación de radio-enlace en air-link.

En cada una de las zonas se instala un par de equipos: estación y punto de acceso, con la finalidad de crear repetidoras activas que se conectan al AP\_PRIMARIO, donde se requiere una conexión de una distancia máxima entre nodos de 2km.

#### 4.6.1 Selección de Equipo de Radio-enlace

En la Tabla 4. 5 se tiene las características técnicas de distintos equipos de radiocomunicación, comparando las mismas se observa que los tres dispositivos de mejores atributos en referencia al balance del sistema son la Ubiquiti Picostation M2HP, el TP-Link TL-WR841HP y la radio Rocket M2. Al equiparar los valores de potencia de transmisión entre la Rocket M2 y el TP-Link se determina que el segundo es superior en 3dBm sin embargo el umbral de recepción del Rocket mejora en 5dBm y la ganancia de la antena en 4dBm por lo que se determina que el Rocket tiene mejores características.



Tabla 4. 5: Características técnicas de los equipos de radiocomunicación.

<b>EQUIPO</b>	<b>POTENCIA TX UMBRAL RX</b>	<b>GANANCIA DE LA ANTENA</b>	<b>ESTÁNDARES</b>
MikrotikGroove 52HPn	27 dBm -93 dBm	Antena no incluida	802.11 b/g/n POE (mimo 2x2)
Ubiquiti Nanostation Loco M2	23 dBm -83 dB	m8.5dBi Direccional (30°-60°)	802.11b/g POE (mimo 2x2)
TP-Link TL- WR841HP	30 dBm - 91 dBm	9dBi Omnidireccional	802.11 b/g/n
Ubiquiti PicostationM2- HP	28dBm -97dBm	5dBi Omnidireccional	802.11 b/g/n POE (mimo 2x2)
TP-Link TL- WA5210G	27 dBm - 90 dBm	12 dBi Direccional (30°-60°)	802.11 b/g POE
Rocket M2	27 dBm - 96 dBm	13 dBi Omnidireccional	802.11 b/g/n POE (mimo 2x2)

Al comparar el Rocket M2 con el radio PicostationM2-HP, haciendo el balance general del sistema para cada radio, considerando la potencia de transmisión, umbral de recepción y ganancia de la antena se determina que la Rocket M2 entrega un nivel de señal final superior en 6 dBm. En consecuencia el equipo ideal para realizar los radio-enlaces requeridos resulta ser la radio Ubiquiti Rocket M2.

El análisis de cobertura se realiza mediante una simulación de radio-enlace elaborada en air-link, software utilizado debido a que permite realizar simulaciones directas sobre google maps, permitiendo obtener un mejor análisis de resultados. Para la simulación del radio enlace, se utilizan las estaciones A, B, C y D indicadas en la Fig.4. 9, y como datos del sistemas las características técnicas de la Rcket M2, detalladas a continuación:

- Potencia de transmisión de 27dBm
- Altura de instalación del AP\_PRIMARIO de 10m y de las estaciones 5m

- Ancho de canal de 20MHz
- Antena omnidireccional de transmisión y recepción con ganancia de 13dBi
- Umbral de recepción de -94 dBm

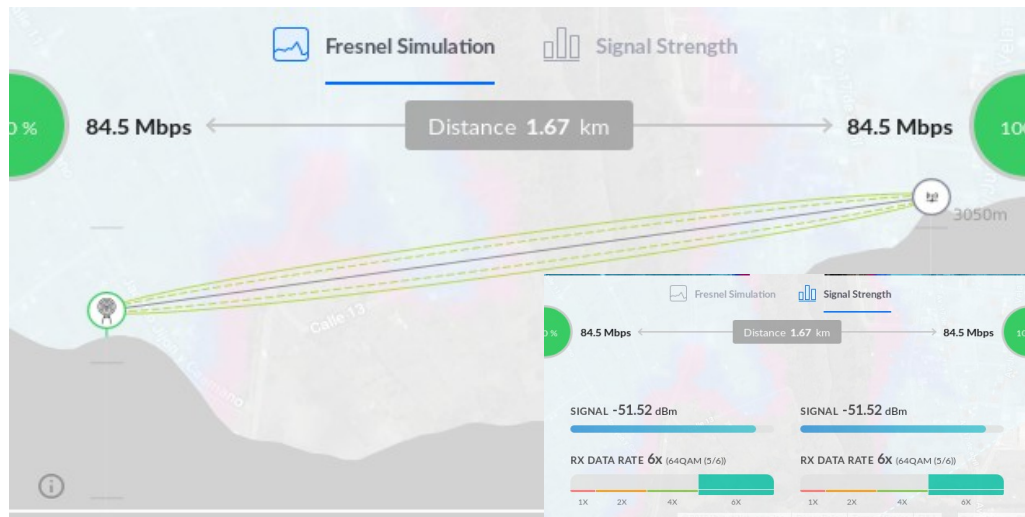
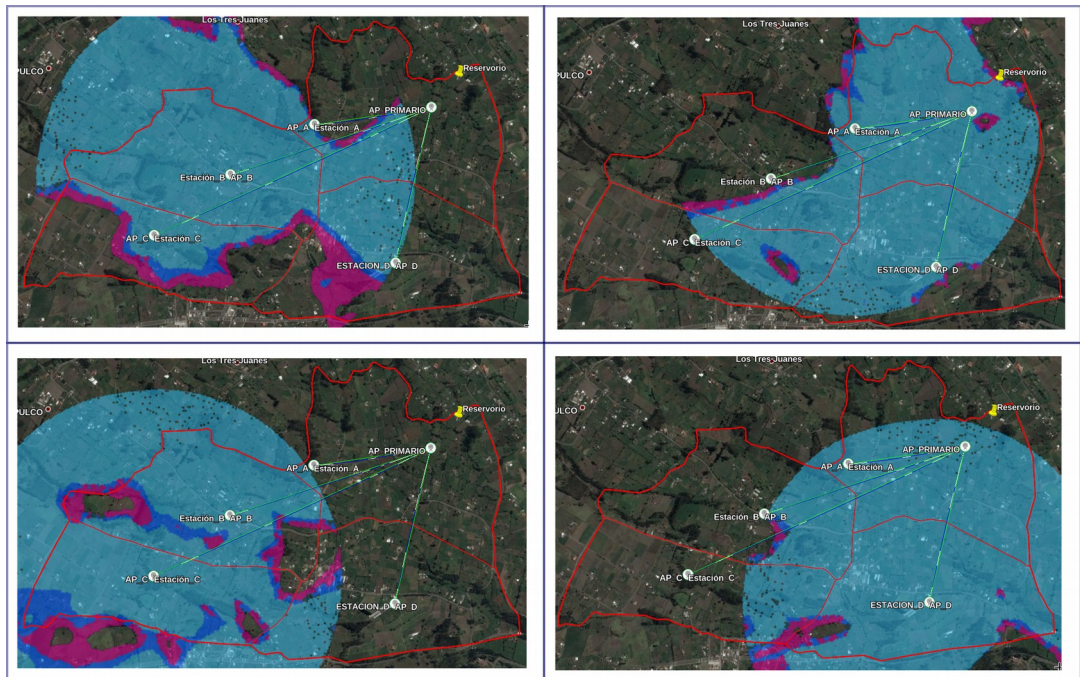


Fig.4. 10: Simulación de radioenlace entre AP\_PRIMARIO y Estación\_C

En la Fig.4. 10 se observa la simulación realizada entre el AP\_PRIMARIO y la Estación\_C, que es la estación más lejana, ubicada a 1.67km. De acuerdo a la simulación se determina que el radio-enlace establece una conectividad con un nivel de señal de -51.52 dBm para el equipo más lejano; siendo el umbral de recepción de -94 dBm, el radio-enlace se considera adecuado.

El objetivo de realizar el radio-enlace es crear una repetidora de la señal, que permita a los usuarios del área instalar nuevos puntos de acceso (puntos de acceso ternarios) que se conectarán directamente a los nodos raíz, servidores y dispositivos móviles de los agricultores. Para este fin se instalan puntos de acceso secundarios (AP\_A, AP\_B, AP\_C y AP\_D) conectados por medio del protocolo 802.3 ab (Ethernet) hacia las estaciones A, B, C y D. Los nodos controladores tienen la facultad de conectarse a cualquier AP, ya sea al primario, secundarios, o ternarios, dependiendo de que AP le entregue un mejor indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI).



*Fig.4. 11: Patrón de radiación de los puntos de acceso secundarios.*

En la Fig.4. 11 se observa el patrón de radiación de la simulación realizada para cada uno de los puntos de acceso secundarios. En color celeste se indica las zonas con cobertura superior a los -55dBm, cada estación irradia la señal en un distinto canal de radiofrecuencia, con la finalidad de evitar interferencias. En la figura se indica que el 90% el territorio tiene cobertura para la instalación de un punto de acceso ternario.

#### **4.7 SERVIDORES DEL SISTEMA**

Los servidores del sistema son un grupo de componentes de hardware y software integrados, que tienen la finalidad de almacenar la información de los usuarios y dispositivos, generando servicios para que los componentes del sistema de la red de controladores intercambien información.

Los nodos y agricultores dependen de la información almacenada y programada en los servidores, para que los mismos accedan de forma privada y con autenticación a la información que les permite monitorear los sensores y controlar sus válvulas asignadas.

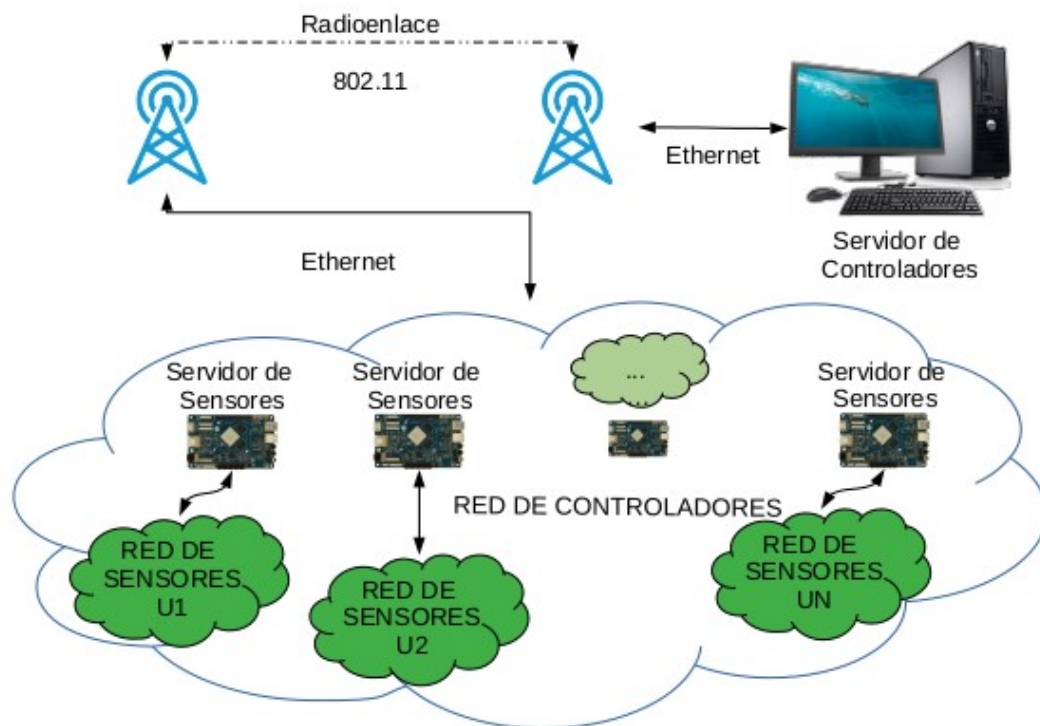


Fig.4. 12: Estructura de conexión de los servidores de las redes de sensores y controladores

La cantidad de sensores utilizados por cada usuario es variable, y la misma depende del área del terreno y de las necesidades especificadas de los agricultores. En ésta consideración, se determina que para la cantidad de sensores controladores y usuarios previstos para el uso del sistema, se utilice la estructura de servidores configurados en un clúster mostrado en la Fig.4. 12.

La estructura propuesta indica la instalación de un servidor en una computadora de tarjeta reducida para la red de sensores de cada usuario; mientras que para la red general de controladores se utiliza un computador de escritorio convencional pero de altas características de procesamiento, memoria RAM e interfaz de red.

El diseño propuesto entrega al sistema una independencia en el almacenamiento y procesamiento de la información entre los sensores de cada usuario y la red de controladores. Un administrador del sistema tiene altos privilegios en la configuración de accesos, los mismos que le permiten acceder a cualquier servidor de

sensores en la red creada; por otro lado los agricultores solo pueden acceder a la información local.

De forma más específica, en la Fig.4. 13 se observa el diagrama general del sistema propuesto, en donde se identifica de manera más clara las conexiones requeridas para el diseño. La energía eléctrica de los nodos controladores es tomada desde un panel solar, almacenando la misma en una batería. A los nodos se conectan directamente los sensores de flujo, humedad y temperatura, también la electro-válvula.

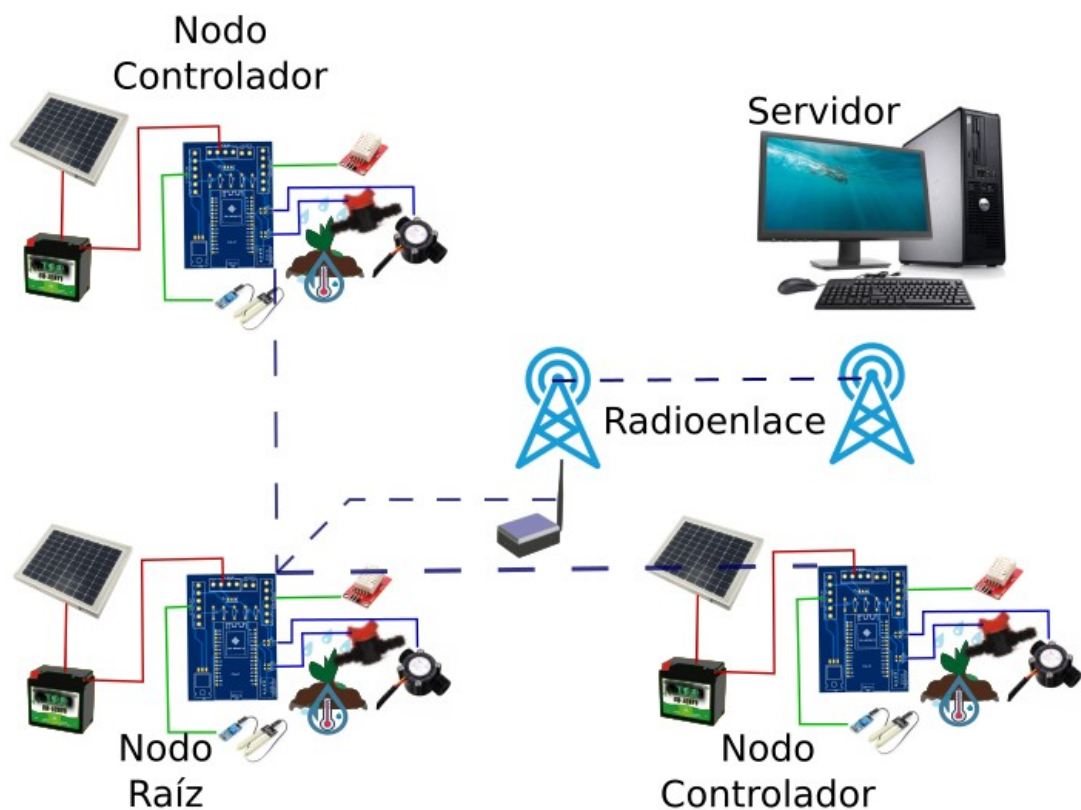


Fig.4. 13: Diagrama general del sistema

Los nodos se comunican de forma inalámbrica entre ellos, seleccionando un nodo raíz, que es el encargado de intercambiar la información entre el servidor y los nodos de la red, todo por medio de un enlace de datos. Entre el enlace de datos y la red de controladores se encuentra un punto de acceso wifi, que hace de interfaz para que el nodo raíz tenga conexión con las dos redes: la red mesh y la red IP.

### 4.7.1 Estructura del Servidor

La estructura del servidor es una referencia de la programación, configuración interna y software utilizado en los servidores de control y sensorización. El sistema operativo utilizado en los servidores es Linux, debido al soporte tecnológico que presta la plataforma y a la factibilidad que permite las licencias de software libre de manipular el código base para beneficio del sistema a instalarse.

La estructura general del servidor utilizado para las redes de sensores y controladores es el indicado en la Fig.4. 14, en donde se tiene tres bloques principales: el Demonio MQTT, el Demonio Node-Red, y la Base de Datos. Los demonios son programas creados en lenguajes de javascript y bash, que se ejecutan de forma infinita al encender el computador.

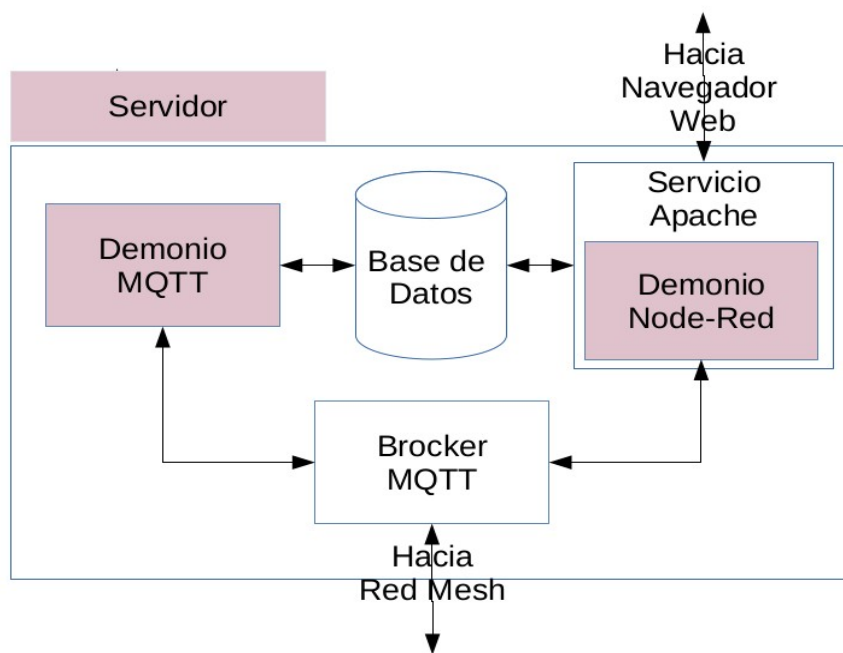


Fig.4. 14: Estructura general del servidor

El servicio de apache y el Broker MQTT son un grupo de paquetes de software que se instalan directamente de los repositorios de la distribución Linux, los mismos que después de una configuración base y habilitación de permisos de firewall quedan operativos. Para que el servidor funcione de acuerdo a la estructura propuesta,

requiere de la instalación de Apache 2, MariaDB y del broker MQTT de mosquitto; teniendo así una configuración LAMP completa.

### **a) Demonio MQTT**

El demonio MQTT es un software programado en lenguaje bash de Linux cuya función es gestionar la comunicación entre los nodos y la base de datos. En la Fig.4.15 se observa el diagrama del software programado en un script de `#!/bin/bash`, que se ejecuta de forma infinita en un terminal Linux escondido.

El programa inicia con la creación de una suscripción al topic `"/riegoTunga/#"`, que permite recibir los datos provenientes de cualquier nodo de la red de controladores, en donde `#` hace referencia a que se recibirá la suscripción de todas las direcciones MAC registradas.

Luego de crear la suscripción se empieza a leer los datos provenientes del broker, cuando se recibe información, se desempaqueta la trama de datos, separando y obteniendo: la MAC de origen, el ID de la válvula y el valor del volumen consumido. A continuación el programa se conecta con la base de datos Riego Tunga.

Al resultado de una conexión exitosa, se utiliza la dirección MAC para obtener el valor de consumo permitido y consumo realizado por cada usuario. En el registro de la base de datos, se realiza una actualización del consumo realizado, acumulando el valor consultado en la base de datos con el valor de volumen que envía el sensor de flujo. Luego de la actualización, el programa compara el volumen consumido con el permitido y si el segundo es menor, se devuelve un valor de permiso concedido al nodo de control, caso contrario, se retorna un valor de permiso denegado; el retorno del valor hacia el nodo se realiza mediante una publicación MQTT.

El programa se finaliza cuando el usuario detiene los procesos del sistema Linux, ligados a la ejecución del script `#!/bin/bash`, llamado `Server.sh`, o a su vez cuando el equipo de cómputo se apaga.



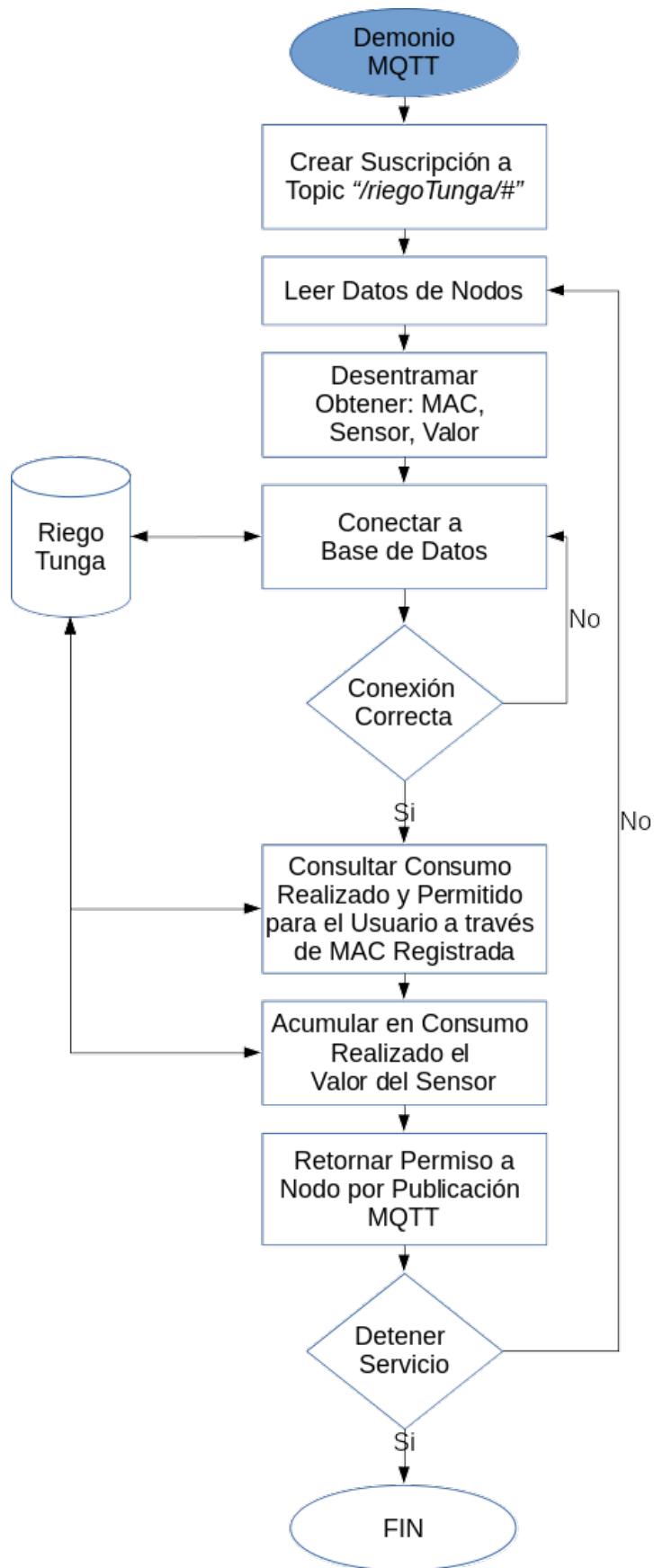


Fig.4. 15: Flujograma del software del Demonio MQTT



## b) Demonio Node Red – Interfaz de Usuario

El demonio Node Red es un software programado en lenguaje Java gráfico, consiste de un script `#!/bin/bash` que ejecuta un programa en background mediante el gestor de paquetes de Node Packet Manager de nodejs (npm). El demonio permite crear una interfaz gráfica para controlar e indicar en una pantalla prediseñada de un navegador web, el estado de los sensores o los botones de control de los actuadores del sistema.

Tabla4. 6: Comandos para la instalación de programas de Node Packet Manager.

PAQUETE	COMANDO
Nodejs	<code>#dnf install nodejs</code>
Node-Red	<code>#sudo npm install -g --unsafe-perm node-red</code>
Node-Red-Dashboard	<code>#npm i node-red-dashboard</code>
Node-Red-Mysql	<code>#npm install node-red-node-mysql</code>

Al instalar Node-Red en Linux, se requieren paquetes adicionales para la administración de la base de datos y la creación de la interfaz gráfica; así se requiere la instalación de los siguientes paquetes en Linux mediante los comandos indicados en la Tabla4. 6.

El programa del demonio Node-Red es creado mediante una intefaz web, utilizando el puerto 1880 y el localhost del servidor. El software creado está basado en el diagrama de la Fig.4. 16.

Al iniciar el servicio se crea la suscripción a las direcciones MAC de los nodos de todos los sensores de la red que se desea monitorear, para luego leer los datos provenientes de dichas suscripciones.

Al obtener información, la cadena de datos es desentramada y en tiempo real se envía los datos de los sensores a un chart de Node-Red Dashboard para que el mismo empiece a generar una gráfica en función del tiempo del estado de los sensores.

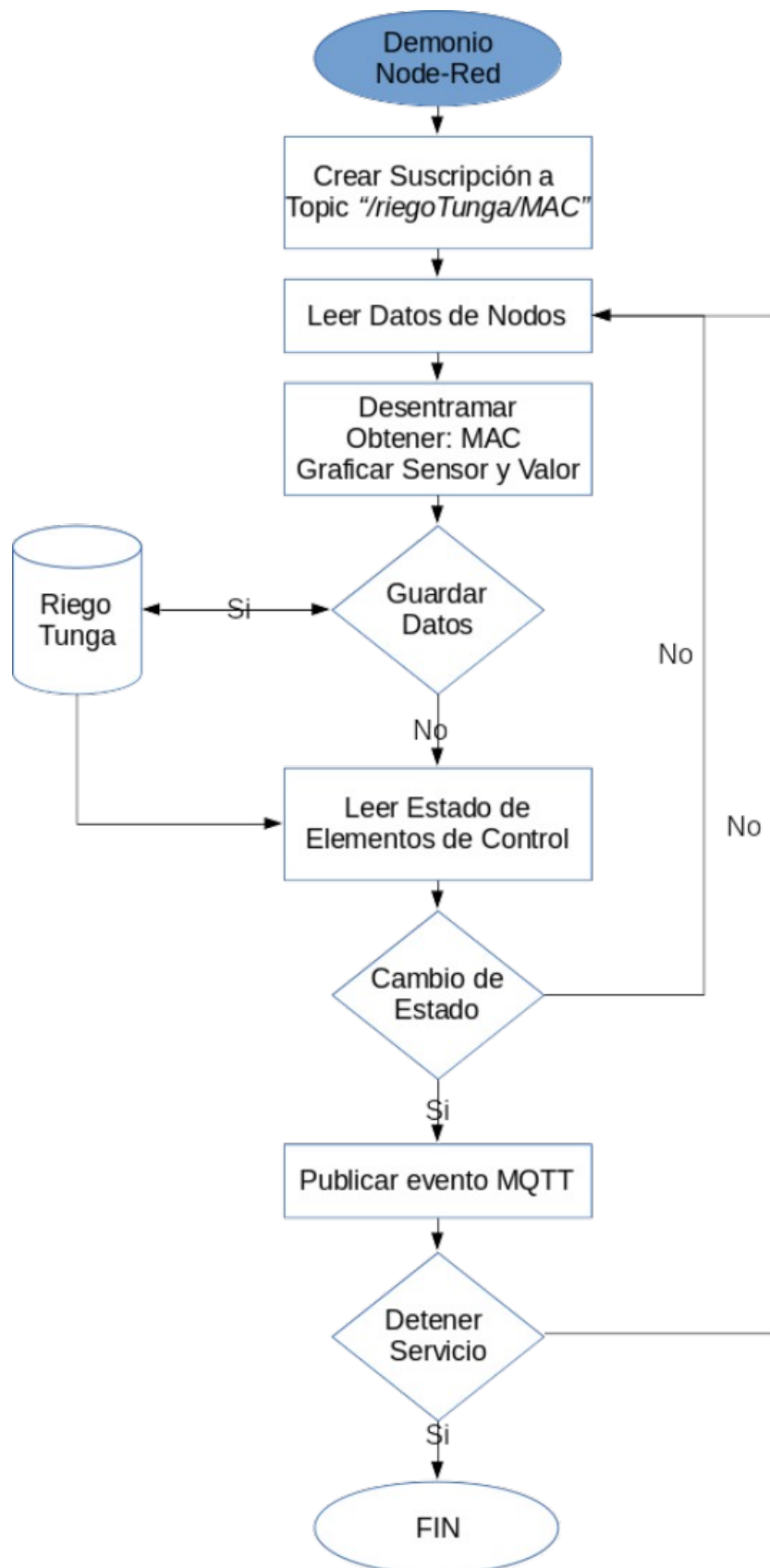


Fig.4. 16: Flujograma del software del demonio Node-Red

El almacenamiento de la información de los sensores es condicional, si el usuario activa la opción desde el perfil de configuración, de forma cíclica se guardará los datos de los valores promedios de los distintos sensores en la base de datos del servidor de sensorización. Luego de guardar los registros (en el caso dado), se detecta los eventos provenientes de los elementos de control de la interfaz como botones y pulsadores; cuando se detecta un evento, se genera una publicación por medio de MQTT, enviando la información del evento, que solicita al nodo controlador la apertura y cierre de válvulas o el control de humedad de suelo.

El programa finaliza cuando el usuario detiene los procesos asociados al servicio de Node-Red o cuando el equipo se apaga.

La interfaz de usuario creada cumple con las normas NUREG- 0700 Rev. 2 que indican las características adecuadas para el desarrollo de interfaces Humano Sistema (HSI). El usuario accede al sistema por medio de una autenticación, en la que se le solicita un id y una contraseña, información que se encuentra grabada en la base de datos del servidor de controladores.

Al acceder al sistema, el usuarios se encuentra con la interfaz mostrada en la Fig.4. 17, en donde se observa 4 partes importantes. El botón de selección de nodo controlador despliega una lista de los dispositivos que el usuario tiene instalados, al seleccionar cualquiera de ellos se crea un panel de monitoreo y control con elementos específicos de un nodo controlador, considerando que la red de sensores es un elemento más del nodo controlador, pues para cada válvula se agrega una serie de sensores.

El panel de control tiene dos sectores, el sector derecho contiene un indicador de estado del dispositivo junto a cuatro botones que facultan controlar la apertura de válvulas de forma manual o automática y debajo presenta los indicadores de caudal de la válvula y volumen asignado al usuario.



Fig.4. 17: Partes de la interfaz de usuario creada en aplicación web

El sector izquierdo del panel contiene un slider que permite al usuario seleccionar el porcentaje de humedad que desea conservar en el suelo del cultivo, cuando el modo de trabajo es automático y dos indicadores que muestran en porcentaje la cantidad de agua consumida, en referencia al volumen asignado.

El panel de monitoreo general contiene dos gráficas en función del tiempo que indica el promedio del estado de las variables de humedad y temperatura de todos los sensores asignados a un nodo controlador. En el panel de monitoreo específico, en cambio se observa en tiempo real el valor de cada uno de los sensores de humedad y temperatura.

### c) Base de Datos

La base de datos es el gestor de almacenamiento de información de los elementos que intervienen en el sistema de la red de controladores como: usuarios, válvulas y sensores. El motor de base de datos utilizado es MariaDB, que es de código abierto y es instalado en los terminales Linux.

Los registros de la base de datos se encuentran distribuidos en dos partes: en el servidor de controladores se almacena la información referente a los nodos actuadores y usuarios, mientras que los datos de las redes de sensorización, son almacenados en las computadoras de tarjeta reducida correspondientes a cada usuario.

En la Tabla4. 7 se observa la estructura de la base de datos de los controladores, en donde la información se divide en dos tablas: Usuarios y Válvulas. En la tabla usuarios se registra los datos personales del usuario como el nombre, apellido y número de cédula, utilizando éste último como clave primaria, ya que no puede repetirse.

*Tabla4. 7: Campos de las tablas de la base de datos alojada en el servidor de control.*

<b>TABLA</b>	<b>CAMPO</b>	<b>TIPO</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
Usuarios	Cédula	Int(10)	Clave primaria
	Contraseña	Varchar	
	Nombres	Varchar	
	Apellidos	Varchar	
	Consumo Permitido	Double	Volumen en litros
	Consumo Total	Double	Consumo de todas las válvulas
Válvulas	ID	Varchar	Clave primaria
	IP	Varchar	Dirección IP
	MAC	Varchar	Dirección MAC
	Consumo Total	Double	Consumo de válvula
	Consumo Parcial	Double	Consumo de periodo de riego
	Dueño	Int(10)	Indexado a número de cédula
	Latitud	Varchar	Ubicación geográfica del nodo.
	Longitud	Varchar	

Para cada usuario se almacena información referente al sistema de riego como: el consumo permitido, que es el volumen de agua asignado al usuario para su

utilización y el consumo total, que es la cantidad de agua que han consumido todas las válvulas que utiliza el usuario.

La tabla Válvulas tiene 9 campos para registrar la información característica de los nodos controladores. El ID es un identificador único utilizado como clave primaria, en el sistema se recomienda utilizar los 4 últimos valores hexadecimales de la dirección MAC para crear ésta identificación, sin embargo también es factible utilizar un esquema de identificación por zonas o usuarios. La IP hace referencia a la dirección IP de la red a la que pertenece el nodo raíz, mientras que en el registro de MAC se almacena la dirección MAC completa.

En el valor de consumo total se almacena el volumen total de agua consumido por el nodo y en consumo parcial se guarda la información del volumen consumido por ciclo de riego, el mismo regresa a 0 cada 15 días. El campo dueño, es un campo indexado, es decir solo se pueden asignar valores de cédulas registradas en la tabla Usuarios, debido a que ésta tabla está relacionada con los registros de Válvulas. Finalmente en los campos de latitud y longitud se registra las coordenadas geográficas de la ubicación de los nodos.

En el servidor de sensores se crea una base de datos que permite registrar el valor promedio de los sensores en un periodo cíclico determinado, por default se registra el valor promedio de las medidas tomadas en un día. Los campos utilizados son los mostrados en la Tabla 4. 8 en donde: el ID es un valor auto-incrementable que se usa como clave primaria, la IP es la dirección IP de la red a la que pertenece el nodo raíz, en MAC se registra la dirección MAC del dispositivo.

En los campos de Temperatura, Humedad\_S y Humedad\_A se registran los valores de los sensores de temperatura, humedad de suelo y humedad ambiental respectivamente.

Tabla4. 8: Campos de las tablas de la base de datos alojada en el servidor de sensores

TABLA	CAMPO	TIPO	OBSERVACIÓN
Sensores	ID	Varchar	Clave primaria
	IP	Varchar	IP de red
	MAC	Varchar	Dirección MAC
	Temperatura	Double	Valores de los sensores
	Humedad_S	Double	
	Humedad_A	Double	
	Fecha	Time stamp	Fecha de registro
	Válvula	Varchar	Nodo controlador

En el campo fecha se almacena la fecha y hora en que se realiza el registro y en Válvula se crea un índice que hace referencia al nodo controlador que se encuentra más cercano del nodo sensor.

#### 4.7.2 Servidor de Controladores

El servidor de controladores es el equipo de cómputo en el que se configura el software indicado en el diagrama de la Fig.4. 14 en conjunto con la base de datos que contiene las tablas de registros indicadas en la Tabla4. 7. Éste dispositivo tiene que estar preparado para realizar procesos provenientes de alrededor de 400 usuarios, sin embargo los procesos realizados dentro del servidor no son alta complejidad por lo que se recomienda la instalación del software servidor en un equipo de cómputo de escritorio convencional, de las características indicadas en la Tabla4. 9.

Tabla4. 9: Características recomendadas para la instalación del servidor de controladores

ELEMENTO	CARACTERÍSTICA
Procesador	i7 Octava Generación
Memoria RAM	16 GB – 2200Mhz
Interfaz de Red	Gigabit Ethernet
Disco	Disco de estado sólido superior a 1TB
Sistemas Operativo	Linux [Fedora 30]

Se recomienda la instalación del sistema operativo Fedora 30 ya que el software fue desarrollado y probado en esa distribución, sin embargo las distribuciones de Debian y Redhat si soportan la instalación de los programas requeridos para el servidor.

#### 4.7.3 Servidor de Sensores

El servidor de sensores es un computador de tarjeta reducida, en el que se instala el paquete de software indicado en el diagrama de la Fig.4. 14. Éste servidor no requiere de altas características de procesamiento, su función es almacenar y crear una interfaz de monitoreo para un único usuario. El servidor solo gestiona la información proveniente de las redes de sensores del usuario propietario.

Tabla4. 10: Características técnicas de computadores de placa reducida

<b>COMPUTADOR/ PARÁMETRO</b>	<b>Raspberry PI 3</b>	<b>Orange Pi Zero</b>	<b>Pine 64</b>
<b>Procesador</b>	Broadcom BCM2837 CPU de 1.2GHz	H2+ Quad-core Cortex-A7	A64 Quad Core
<b>RAM</b>	1GB LPDDR2 SDRAM	512MB DDR3	2GB DDR3
<b>Almacenamiento Máximo</b>	32 GB SPI FLASH	32 GB SPI FLASH	32 GB SPI FLASH
<b>Conectividad</b>	10/100M Ethernet IEEE 802.11 b/g/n	10/100M Ethernet IEEE 802.11 b/g/n	Gigabit Ethernet
<b>Precio</b>	65 USD	30 USD	No disponible

El computador de placa reducido utilizado para el sistema es la Raspberry Pi 3, en la Tabla4. 10, se observan las características técnicas de distintos dispositivos, el mejor de ellos por propiedades de procesamiento y memoria es la tarjeta Pine 64, sin embargo no existe disponibilidad del equipo en el mercado ecuatoriano, situación que complica un mantenimiento del sistema; en consecuencia se seleccionó la Raspberry como servidor de sensorización ya que sus características de procesamiento y memoria RAM son superiores a la de la Orange Pi.



## **4.8 MÓDULO UNIVERSAL**

El módulo universal es una tarjeta electrónica desarrollada para que trabaje dentro de una red de control o sensorización, es decir, ejecuta las funciones de nodo controlador o nodo sensor, dependiendo de los periféricos conectados y el firmware que se cargue al dispositivo.

El diseño del módulo universal se divide en dos partes: hardware y software, las mismas que se detallan a continuación.

### **4.8.1 Hardware del Módulo Universal**

El hardware del módulo universal es una tarjeta electrónica de diseño general que permite conectar los dispositivos de sensorización o de control dependiendo de la necesidad del usuario. El diseño de la tarjeta es el mostrado en la Fig.4. 18, en donde se ubica los elementos de montaje PCB sobre la baquelita y se crean puertos de conexión para los dispositivos de conexión externa como por ejemplo para: los electrodos del sensor de humedad, la fuente de alimentación que se conecta de forma directa a la batería, el flujómetro y la electro-válvula.

El circuito es alimentado con el voltaje de la batería, que dependiendo de la carga de la misma varía entre 12 y 14 voltios. El módulo DOIT-ESP32, opera en un rango de voltajes que va desde los 5 a los 12Vdc, siendo recomendado por el fabricante trabajar a un voltaje de 7Vdc. Para acondicionar el voltaje de alimentación, se utiliza un regulador LM7808 conectado en paralelo a la batería, el mismo que entrega un voltaje regulado de salida de 8Vdc.

El sensor DHT22 y los sensores de humedad de suelo son alimentados con el voltaje mínimo de operación que es de 3.3 Vdc, entregados por el regulador integrado ASM1117 del módulo ESP32.

El voltaje de alimentación del flujómetro tiene un rango de operación que va desde los 5 a los 18 Vdc, por lo que se le alimenta con los 8Vdc de salida del LM7808. El

voltaje de la señal de pulsos del flujómetro es proporcional a la tensión de alimentación (8Vdc) y el ESP32 soporta voltajes de entrada de 3.Vdc, en consecuencia se requiere de divisores de tensión para atenuar la señal.

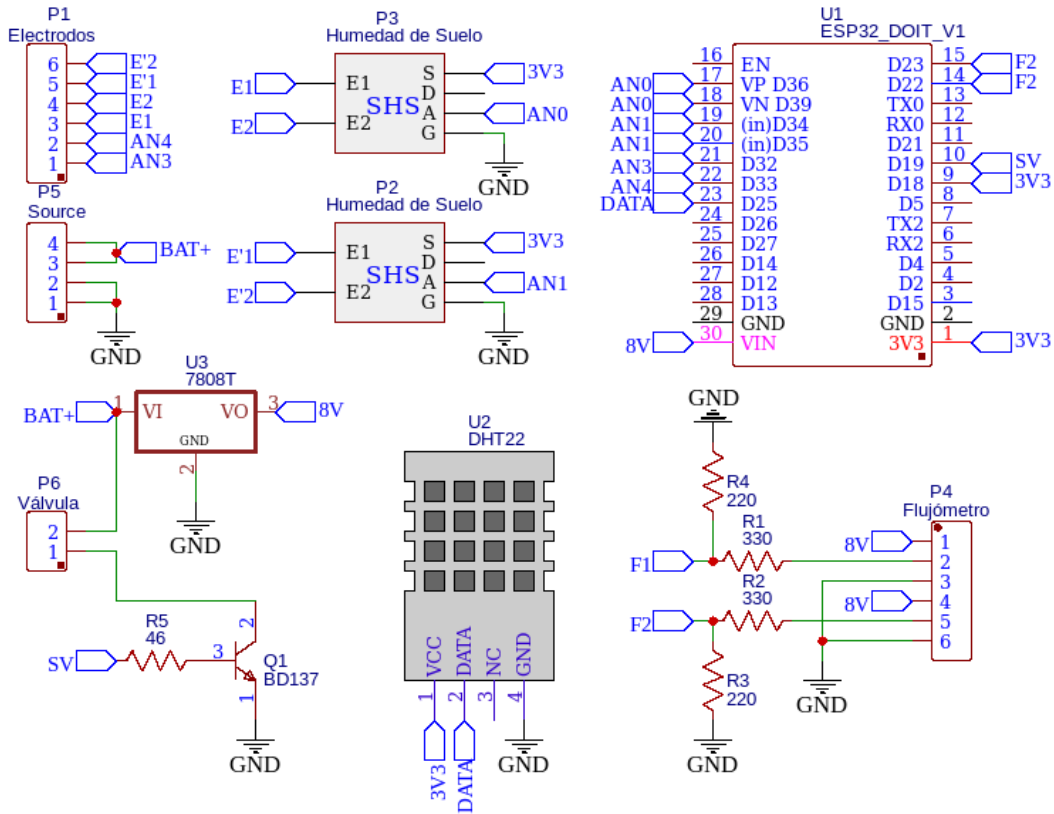


Fig.4. 18: Esquema electrónico del hardware del módulo universal

En la Ecuación4. 1 se obtiene la función que permite determinar el valor de la resistencia del divisor de tensión para el flujómetro. Conociendo que el flujómetro entrega pulsos de 8V, que el valor de la señal de uno lógico de entrada del ESP32 es de 2 a 3.3V ( $V_{R_4}$ ) y que por recomendación del fabricante se debe limitar la corriente de entrada del ESP32 con una resistencia de 330  $\Omega$  ( $R_1$ ); se estima el valor de la resistencia  $R_4$  con la Ecuación4. 2, en donde se observa la misma debe estar entre 141  $\Omega$  y 230  $\Omega$ . Para el diseño del circuito se ha seleccionado una resistencia de valor comercial de 220  $\Omega$ .

$$\text{Ecuación 4. 1} \quad V_{R4} = \frac{V_i * R4}{R1 + R4} = \frac{8V * R4}{330 + R4} \rightarrow R4 = \frac{V_{R4} * 330}{8V - V_{R4}}$$

$$2V \leq V_{R4} \leq 3.3V \rightarrow \frac{2 * 330}{8V - 2} \geq R4 \geq \frac{3.3 * 330}{8V - 3.3}$$

Ecuación 4. 2

$$\rightarrow 140.4 \Omega \geq R4 \geq 231.7 \Omega$$

La electro-válvula trabaja con una diferencia de potencial de 12Vdc y la señal entregada por el módulo ESP32 es de 3.3Vdc. En consecuencia se requiere de un transistor configurado para que trabaje en la zona de saturación, con la finalidad de que éste permita el paso de la corriente por la electro-válvula, activándola cuando recibe en la base 3.3Vdc o uno lógico y abriendo el circuito al recibir cero voltios.

El transistor seleccionado es el BD135, el mismo trabaja con una corriente de colector de 1.5 A, voltaje colector-emisor de 45 V, un voltaje base emisor de encendido de 1V y una tensión máxima de emisor base de 5Vdc, por lo que es adecuado como interfaz de encendido de la electro-válvula.

Para que el transistor trabaje en la región de saturación la resistencia de base  $R_5$  debe limitar la corriente de base, para evitar daños al transistor y garantizar la saturación del mismo. La corriente de base del transistor Q1 debe estar en el rango establecido por la Ecuación 4. 3, en donde la corriente de base máxima del transistor es de 500mA, la corriente de colector 1500 mA y la ganancia del transistor ( $\beta_{cd}$ ) es 25.

$$\text{Ecuación 4. 3} \quad 500 \text{ mA} \geq I_B \geq \frac{I_{Csat}}{\beta_{cd}}$$

$$500 \text{ mA} \geq I_B \geq \frac{1.5}{25} \rightarrow 500 \text{ mA} \geq I_B \geq 60 \text{ mA}$$

El valor de la resistencia de base se calcula con la ley de Ohm para el voltaje base-emisor aplicado por el DIOT-ESP32 a la resistencia de base del transistor, para el caso de corriente máxima y mínima, mostrado en la Ecuación 4. 4 Para evitar daños al transistor y garantizar que el mismo trabaje en la región de saturación, la

resistencia de base  $R_5$  tiene que ser mayor a 4,6 y menor a 35,7 ohmios, seleccionando para el diseño una resistencia de 33 ohmios.

Ecuación 4. 4

$$\frac{3.3V - V_{be}}{500mA} \leq R_b \leq \frac{3.3V - V_{be}}{60mA}$$

$$\frac{3.3-1}{500mA} \leq R_b \leq \frac{3.3-1}{60mA}$$

$$4,6\Omega \leq R_b \leq 35,7\Omega$$

El diseño PCB del circuito del módulo Universal es el mostrado en la Fig.4. 19, en donde se observan los puertos para la conexión de el sensor de temperatura, los electrodos de los sensores de humedad de suelo, el flujómetro, la electro-válvula y la fuente de poder. Los puertos del DHT22, de la fuente y del YF-S201 tiene polaridad y requieren de precaución en la conexión; los puertos complementarios no tienen polaridad.

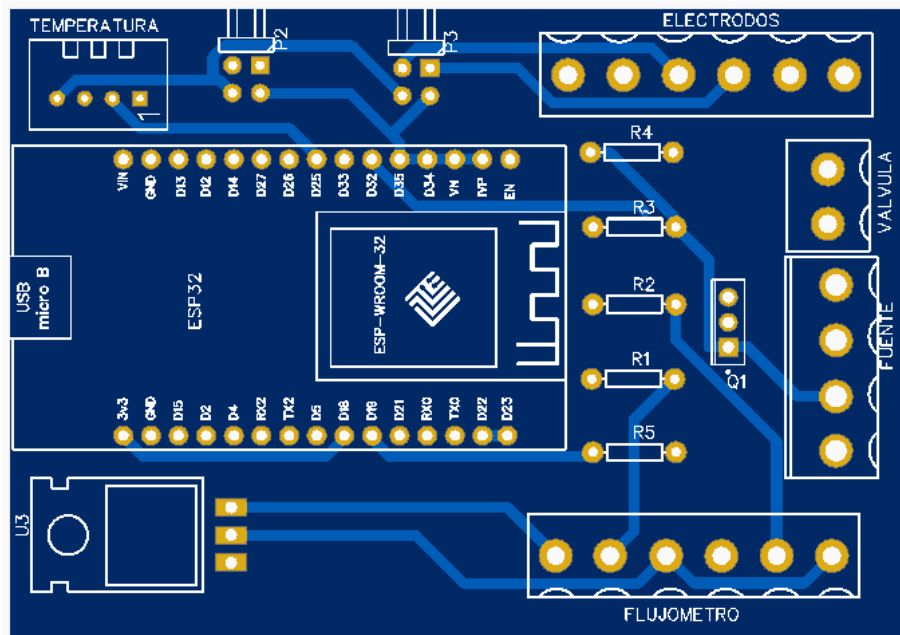


Fig.4. 19: Diagrama PCB del módulo universal

El máximo consumo de corriente de la tarjeta electrónica diseñada se determina en la Tabla 4. 11, en donde se especifica el consumo máximos de los elementos de un nodo, considerando que la electro-válvula se encuentra encendida. El módulo universal tiene una potencia de consumo de 21.37 vatios, el dispositivo que requiere de mayor

voltaje es la electro-válvula, misma que necesita de 12 Vdc para su normal operación. En consecuencia para alimentar el todo el circuito se requiere de una fuente de voltaje que supere los 12Vdc.

*Tabla4. 11: Consumo de corriente de la tarjeta electrónica del módulo universal*

<b>Elemento</b>	<b>Consumo de Corriente (mA)</b>	<b>Voltaje de Operación (V)</b>	<b>Potencia (W)</b>
Módulo ESP32	300	8	2.4
Electro-válvula	1500	12	18
Flujómetro	100	8	0.8
DHT22	50	3.3	0.17
<b>Total</b>	<b>1950</b>		<b>21.37</b>

La corriente de consumo de la tarjeta electrónica se determina por medio de la Ecuación4. 5, en donde se considera una fuente de 12Vdc y para generar la potencia de 21.37 se necesita una corriente superior a 1.78 amperios; se recomienda el uso de una fuente de 2 amperios.

*Ecuación4. 5*

$$I = \frac{P}{V} = \frac{21.37 \text{ w}}{12 \text{ V}} = 1.78 \text{ A}$$

En la Tabla4. 12 se detalla los valores de la temperatura que soportan los dispositivos que son conectados al módulo universal. Considerando que el nodo controlador comprende la electro-válvula el ESP32 y el flujómetro, al conectar solo estos elementos, el rango de temperatura de trabajo de la tarjeta electrónica es de -25 a 80 °C. Si se tienen nodos sensores sin elementos actuadores, el rango temperatura en el que funciona el nodo es mayor, va desde los -40 a 80 °C.

El diseño electrónico de la tarjeta es vulnerable a golpes y vibraciones, por lo que la misma debe ser instalada dentro de una caja metálica de protección, de doble fondo y que cumpla con normas de protección IP65, ante polvo y salpicaduras. Entregando

así seguridad ante ataques de vandalismos a todos los elementos del nodo, y protegiendo los mismos ante las condiciones climáticas.

Tabla4. 12: Temperatura de operación de los dispositivos del nodo universal

Elemento	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima
Módulo ESP32	-40	125
Electro-válvula	-40	150
Flujómetro	-25	80
DHT22	-40	80

En la Fig.4. 20 se observa la instalación de la tarjeta electrónica junto a el regulador de carga del panel solar y la batería de respaldo, que son los elementos vulnerables. La electro-válvula y el sensor de flujo cumplen normas de protección IP 00/65, por lo que las mismas pueden ser instaladas a la interperie.



Fig.4. 20: Diagrama PCB del módulo universal

#### **4.8.2 Software del Módulo Universal**

El software del módulo universal es el firmware creado en el lenguaje de programación ESP-MDF de Espressif que rige las funciones que debe ejecutar la tarjeta de control. El software está diseñado en una estructura de tareas, con un entorno de pre-programación que permite al administrador del sistema indicar si el módulo será programado como nodo sensor o nodo controlador o ambos. La finalidad de realizar ésta operación es eliminar procesos que el microcontrolador no requiera ejecutar, de esta forma se garantiza una mejor efectividad en la recepción lectura y transmisión de datos.

La estructura de tareas del firmware del módulo universal es el indicado en la Fig.4. 21. Al iniciar el programa el nodo verifica si el dispositivo ya pertenece a una red mesh, de no ser el caso espera la configuración de la misma por medio de una aplicación móvil facilitada por el fabricante (ESP-MESH). En la configuración se utiliza el protocolo Bluetooth para establecer la comunicación entre el módulo universal y un smartphone y de esa manera se envía los datos de la red a la que el nodo debe conectarse.

La configuración de red realizada por el nodo es almacenada en la memoria flash del mismo, de esta manera en un próximo encendido el nodo entra a configurar la red Mesh de forma directa. En la configuración de la red mesh, el nodo detecta si existe un root establecido, de no ser el caso se establece como nodo raíz; en el caso de tener un nodo raíz establecido busca el nodo padre con mejores características de conectividad para enlazarse a la red.

Al ejecutar la configuración de la red mesh el firmware del dispositivo se encuentra con tres perfiles: nodo root, nodo sensor y nodo controlador. Los perfiles de sensor o controlador se ejecutan solo si son habilitadas por el programador, caso contrario el código no es compilado. El caso del perfil de root depende de si el dispositivo fue asignado como tal en la red, mediante una autodetección del dispositivo se habilita o deshabilita la sección del código.

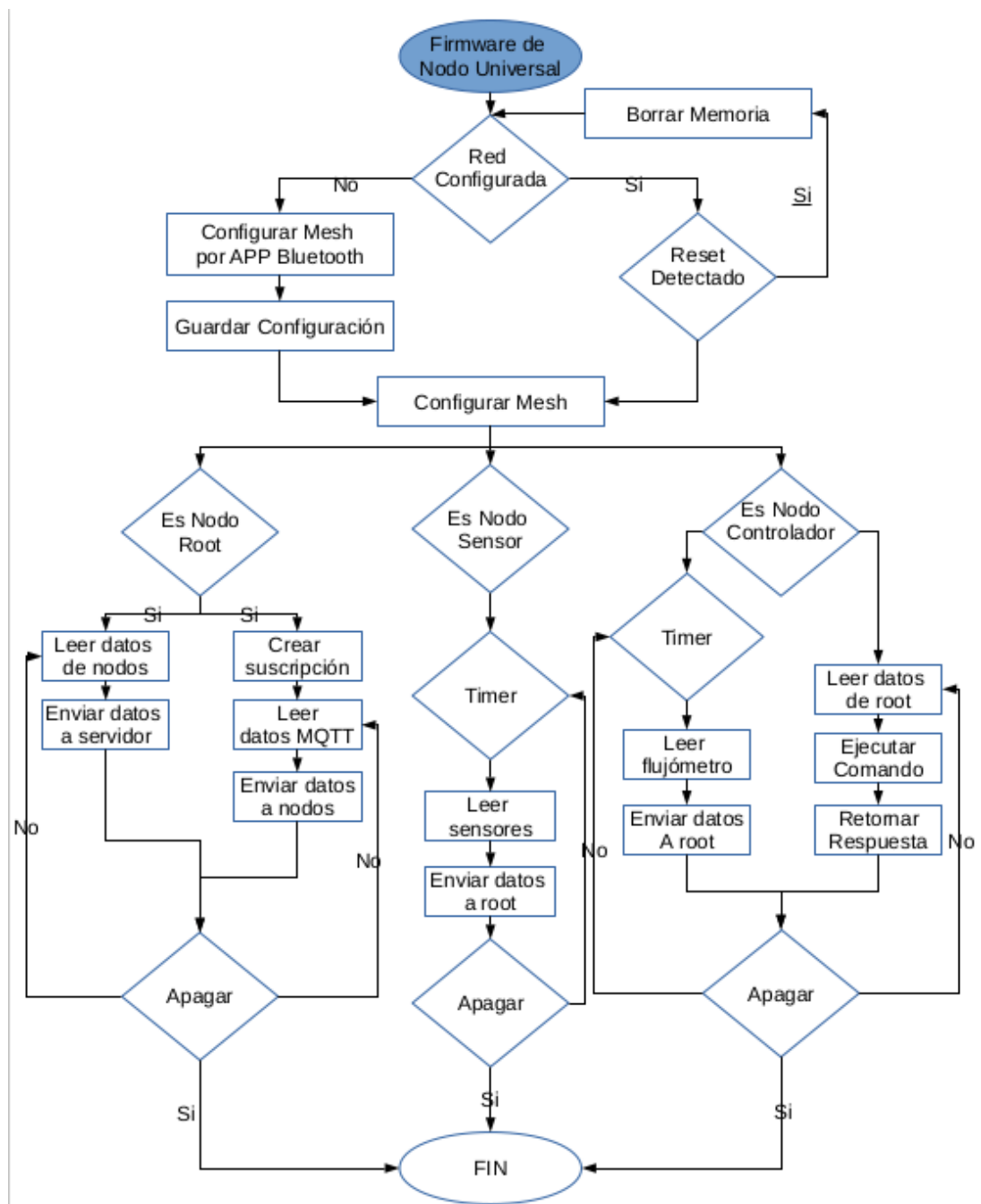


Fig.4. 21: Diagrama de bloques del software del módulo universal

Antes de cargar el programa al módulo, el compilador solicita al usuario que especifique algunos datos del sistema, que el dispositivo requiere para integrarse a la red. En la figura Fig.4. 22 se observa los parámetros variables que la interfaz de programación del módulo ESP32 permite modificar, entre ellos: la dirección de broker MQTT, la distribución de pines para los sensores y actuadores y el perfil, que



hace referencia a si el módulo será programado como sensor o controlador. Al seleccionar la opción de perfil, la interfaz de programación lanza una pantalla que permite activar o desactivar los modos sensor y controlador.

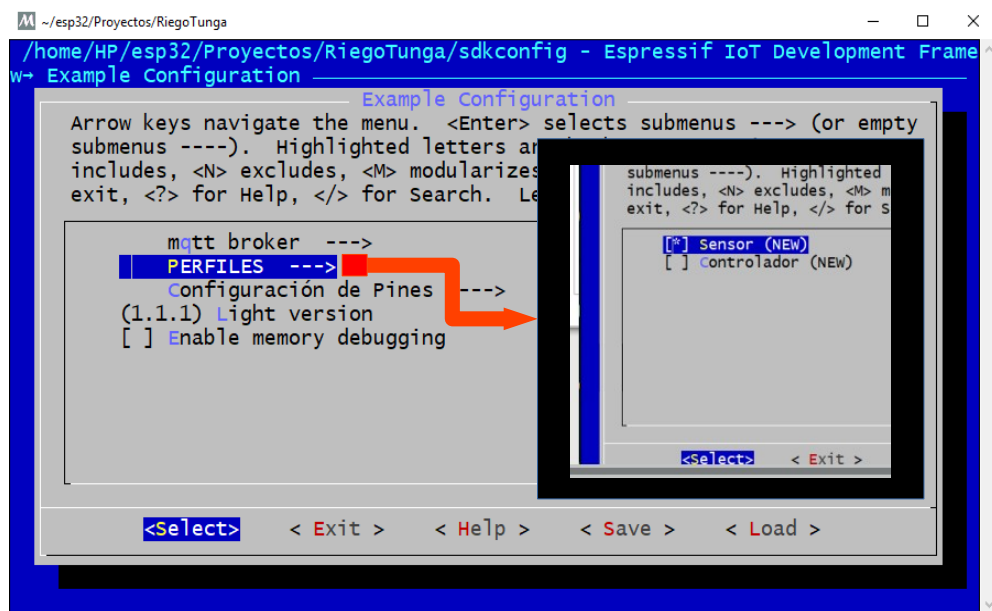


Fig.4. 22: Interfaz de programación del módulo universal.

En el perfil root se ejecutan dos tareas de forma paralela, la primera tarea espera el arribo de datos provenientes de los nodos de la red para retransmitir la misma hacia el servidor, mientras tanto la segunda tarea crea la suscripción MQTT para que cuando se obtenga datos por ese protocolo se retransmita hacia los nodos.

En el perfil de sensor se ejecuta una sola tarea que trabaja en un ciclo infinito controlado por un timer, cuando el valor se desborda se ejecuta la tarea que toma una lectura de los sensores conectados y transmite la información hacia el nodo raíz.

El perfil de nodo controlador ejecuta dos tareas de forma paralela, la primera es un ciclo infinito regulado por un timer, cada segundo se toma la lectura de la cantidad de pulsos que entrega el flujómetro para enviar el dato hacia el nodo raíz. La segunda tarea espera la llegada de datos provenientes del nodo raíz para ejecutar un comando, que en sí indica si se debe energizar o apagar la electro-válvula; devolviendo un valor que indica si la tarea fue ejecutada.

El programa finaliza de forma única en cualquier perfil cuando el dispositivo se apaga.

#### 4.9 SISTEMA AUTÓNOMO DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA

El sistema autónomo de energía fotovoltaica (SAEF) es un conjunto de componentes que permiten abastecer de energía eléctrica a los diferentes equipos y dispositivos de la red de controladores, red de sensores y enlace de datos. El diseño del SAEF es indicado en el diagrama de bloques de la Fig.4. 23, la función del sistema es convertir la energía térmica-luminosa de la radiación solar en energía eléctrica mediante, un módulo o panel solar y almacenar la misma en un acumulador de carga (Batería) para su uso posterior, en la noche o en horas de baja radiación solar.

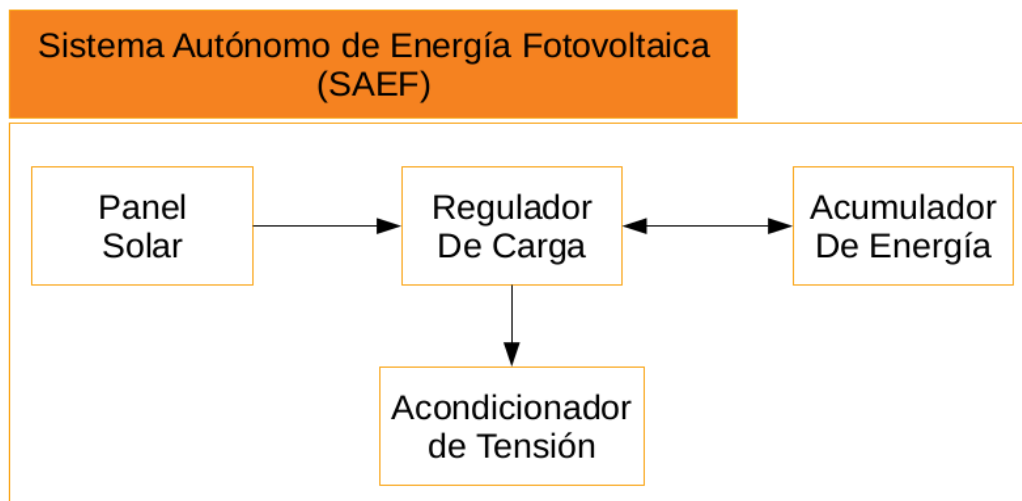


Fig.4. 23: Diagrama de bloques del sistema autónomo de energía fotovoltaica

La batería es protegida ante sobrecargas o sobre-descargas utilizando un regulador de carga. Éste dispositivo mide la diferencia de potencial de los polos de la batería, permitiendo desconectar la carga cuando se encuentra con bajos niveles de tensión o abre el circuito de carga con el panel, si la batería ya alcanza sus niveles de carga máxima.

El regulador de carga entrega un voltaje fijo determinado en los polos dedicados para la carga, por lo que es necesario utilizar una fase de acondicionamiento de tensión, en donde se transforma los valores de voltaje entregados por el regulador a valores de tensión y corriente adecuados para cada dispositivo que requiera conectar.

El dimensionamiento del panel requerido se realiza mediante un análisis del consumo de potencia que tiene el circuito, en función del tiempo diario que entra en funcionamiento los dispositivo de la forma indicada en la Tabla4. 13. Todos los elementos del nodo controlador son energizados las 24horas, a excepción de la electro-válvula, la misma que se limita a una operación de 6 horas diarias como máximo; considerando que el mejor tiempo para el riego son las tres horas de inicio y finalización del día.

*Tabla4. 13: Potencia diaria requerida por el módulo universal*

<b>Elemento</b>	<b>Consumo de Corriente (mA)</b>	<b>Voltaje de Operación (V)</b>	<b>Horas de Funcionamiento</b>	<b>Energía (Wh)</b>
Módulo ESP32	300	8	24	57.6
Electro-válvula	1500	12	6	108
Flujómetro	100	8	24	19.2
DHT22	50	3.3	24	3.96
<b>Total</b>	<b>1950</b>		<b>78</b>	<b>188.76</b>

De acuerdo a los datos de la Tabla4. 13 la energía diaria requerida para el nodo controlador es de 188.76 Wh. Considerando el uso de un panel solar de 30w, en un promedio de 12.06 horas de y una eficiencia promedio en las peores condiciones con 55%[25], el panel solar es capaz de almacenar 198,99 Wh; energía suficiente para garantizar la autonomía del sistema.

Para que el nodo funcione las 24 horas, se debe utilizar un acumulador de carga que opere en las horas que el panel no puede entregar la carga suficiente, siendo las 12 horas complementarias del día; así en ese tiempo el módulo universal consumiría un

promedio de 94.38 Wh. Con un acumulador de carga de 12Vdc y 9Ah se garantiza la entrega de 108 Wh, carga suficiente para el funcionamiento autónomo del nodo.

#### 4.10 ANÁLISIS DE PRESUPUESTO

El análisis del presupuesto hace referencia al costo de implementación del sistema de riego autónomo, el mismo que se divide en tres fases. La primera fase es de implementación obligatoria para el funcionamiento de la red de controladores, e incluye el Servidor Local y el enlace de datos. La segunda fase analiza el costo de producción del nodo controlador y la fase final determina el costo de producción del nodo de sensorización.

##### 4.10.1 Costo del Sistema de Autónomo de Energía Fotovoltaica.

El sistema autónomo de energía fotovoltaica (SAEF) es utilizado como parte de los nodo nodos sensores y de control, por lo tanto en Tabla4. 14 se detalla el costo de implementación del mismo. El sistema contiene un panel solar, un regulador de carga y una batería seca de 12 Vdc; el costo total es de 78.40 dólares.

Tabla4. 14: Costo del sistema autónomo de energía fotovoltaica.

<b>EQUIPOS</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Panel solar 30W 18Vdc	1	c/u	30	30
Regulador de carga solar 12Vdc	1	c/u	25	25
Batería seca 9AH	1	c/u	25	25
<b>Subtotal</b>				80
IVA 12%				9.6
<b>TOTAL</b>				89.6

##### 4.10.2 Costo del Servidor Local y Enlace de Datos

El costo del servidor local y enlace de datos refiere al valor económico que debe ser sustentado por la comunidad de forma colectiva para la implementación del

proyecto. Éstos elementos componen el esqueleto del sistema, y cualquier agricultor de la zona tiene la facilidad de acceder al servicio.

Tabla4. 15: Costo de implementación del enlace de datos con servidor

<b>EQUIPOS</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Computadora de escritorio procesador i7, 16GB de RAM, disco SSD 1TB	1	c/u	1569	1569
UPS de 3000VA 2700W 4 TOMAS 120V	1	c/u	720	720
Ubiquiti Rocket M2	5	c/u	493	2465
Router Gpon Huawei Hs8545m	4	c/u	85	340
Punto de Instalación	10	c/u	50	500
<b>Subtotal</b>				5594
IVA 12%				671.28
<b>TOTAL</b>				6265.28

En la Tabla4. 15 se detalla los elementos requeridos para la implementación de las etapas de servidor y enlace de datos. El valor económico de la instalación de éstas etapas es de 6265.28 dólares.

#### 4.10.3 Costo del Nodo Controlador

El presupuesto de la red controladores se determina de forma unitaria, calculando el precio de la implementación de cada nodo controlador. La instalación de la red hídrica está proyectada a un crecimiento ligero y se estima que cada usuario requiere en promedio de uno a tres nodos controladores. El número de nodos utilizados por usuario, depende de la necesidad, condición económica y expectativa de los agricultores, por tal motivo no es posible especificar la cantidad exacta de nodos.

En la Tabla4. 16 se detalla los elementos requeridos para la implementación de un nodo controlador, el mismo que debe incluir un SAEF. El precio total de la implementación de un nodo controlador es de 306.38 dólares.

Tabla4. 16: Costo del nodo controlador

<b>EQUIPOS</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Sistema Autónomo de Energía Fotovoltaica	1	c/u	89.6	89.6
Resistencia de 46 $\Omega$ 0.5w	1	c/u	0.10	0.1
BD137	1	c/u	0.5	0.5
Electro-válvula	1	c/u	49	49
Flujómetro YF-S201	1	c/u	15	15
Resistencia 220 $\Omega$ 0.5w	2	c/u	0.1	0.2
Resistencia 330 $\Omega$ 0.5w	2	c/u	0.1	0.2
ESP32	1	c/u	15	15
LM7808	1	c/u	0.80	0.8
Bornera 2 polos	1	c/u	0.25	0.25
Bornera 4 polos	1	c/u	0.50	0.5
Bornera 6 polos	1	c/u	0.75	0.75
Baquelita PCB	1	c/u	6.25	6.25
Soldadura	120	pires	0.12	14.4
Cable SFTP	5	metros	1.20	6
Poste galvanizado 3m	1	c/u	30	30
Caja de protección	1	c/u	25	25
Instalación	1	c/u	20	20
<b>Subtotal</b>				273.55
IVA 12%				32.83
<b>TOTAL</b>				306.38

El proyecto estima obtener el aval de una entidad gubernamental en la que se subsidie un nodo controlador por usuario o hectárea, si el agricultor solicita la instalación de más nodos, deberá asumir el costo del mismo.

#### 4.10.4 Costo del Nodo de Sensorización

La red de sensorización no es indispensable en el funcionamiento del sistema, ésta red es utilizada como un servicio adicional del sistema; se utilizaría para crear zonas controladas y generar investigaciones agrícolas.

En la Tabla4. 17 se detalla los dispositivos requeridos para la implementación de un nodo de sensorización. El costo total del nodo es de 197.82 dólares, el mismo que incluye la capacidad de conectar 4 sensores de humedad de suelo y uno de temperatura y humedad ambiente.

Tabla4. 17: Costo del nodo sensorización

<b>EQUIPOS</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Sistema Autónomo de Energía Fotovoltaica	1	c/u	89.6	89.6
DHT22	1	c/u	9.50	9.5
ESP32	1	c/u	15	15
LM7808	1	c/u	0.80	0.8
Sensor de Humedad de Suelo	1	c/u	2.25	2.25
Bornera 4 polos	1	c/u	0.50	0.5
Bornera 6 polos	1	c/u	0.75	0.75
Baquelita PCB	1	c/u	6.25	6.25
Soldadura	120	pires	0.12	14.4
Cable SFTP	2	metros	1.20	2.4
Poste galvanizado 1m	1	c/u	10	10
Caja de protección	1	c/u	25	25
<b>Subtotal</b>				176.45
IVA 12%				21.17
<b>TOTAL</b>				197.62

La relación costo beneficio de la instalación de una red de sensorización con alimentación eléctrica autónoma para un agricultor resulta elevada, por tal motivo se deja el campo abierto para áreas de investigación. Sin embargo de debe detallar que

en el nodo controlador se tiene, dos puertos de expansión que permiten tener conectados sensores de forma directa, sin necesidad de la red de sensores.

#### **4.11 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.**

El funcionamiento del sistema indica la forma en que los usuarios y administradores interactúan con la finalidad de acceder a las funciones creadas para la automatización del riego; así el funcionamiento del sistema se indica en dos perfiles: Administrador y Usuario.

##### **4.11.1 Perfil de Administración**

El perfil de administración es una interfaz gráfica desarrollada para que un usuario con permisos privilegiados, administre los datos de Usuarios y Válvulas pertenecientes al sistema, teniendo la facultad de crear, editar y eliminar registros de agricultores y nodos controladores.

El usuario con perfil de administrador accede al sistema por medio de una fase de autenticación ilustrada en la Fig.4. 24. El acceso a cualquier aplicativo del sistema requiere de autenticación, si el usuario no ha iniciado sesión, todo intento de ingreso al las páginas web del sistema, retornarán a la página login, para el caso de administradores AdminRIEGO.



*Fig.4. 24: Interfaz gráfica de inicio de sesión.*



El ingreso de nuevos registros se realiza mediante la interfaz de la Fig.4. 25, en la misma se detallan los datos que se deben ingresar para añadir al sistema a un usuarios o una válvula. Todas las válvulas se encuentran ligadas a un usuario específico, si el sistema registra de forma exitosa los datos, limpia las celdas de la columna valor, caso contrario redirige hacia una página de error.

CAMPO	VALOR	
Cédula	<input type="text"/>	
Nombres	<input type="text"/>	
Apellidos	<input type="text"/>	<b>AÑADIR</b>
Consumo Permitido	Valor en litros <input type="text"/>	
Consumo Total	Valor en litros <input type="text"/>	

(a)

CAMPO	VALOR	
ID	<input type="text"/>	
IP	<input type="text"/>	
MAC	<input type="text"/>	<b>AÑADIR</b>
Valvula	Referencia de válvula cercana <input type="text"/>	
Latitud	<input type="text"/>	
Longitud	<input type="text"/>	

(b)

Fig.4. 25: Ingreso de registros de Usuarios y Válvulas

La consulta de datos y eliminación de registros se realiza mediante otra página web, indicada en la Fig.4. 26, en donde se lista los registros de las tablas Usuarios y Válvulas en grupos de tablas. Al final de cada fila se dispone de un botón que permite al usuarios eliminar un registro específico.

Show  entries Search:

Cédula	Nombres	Apellidos	Consumo Permitido	Consumo Total
1804263973	Omar Alberto	Sánchez Bastidas	25000	129
1804326534	Darío Javier	Zurita Núñez	20000	345
1804372562	Agustín hernán	Sánchez Durán	32000	837
1804586542	Jorge Ramón	Montalvan Rodríguez	40000	7363

ID	IP	MAC	Consumo Total	Consumo Parcial	Dueño	Latitud	Longitud
AD-F3	10.0.0.100	255.255.255.0	632	635	1503645475	1°22'6.22"S	78°37'19.40"O
AD-F4	10.0.0.101	255.255.255.0	6242	7834	1807356289	1°22'6.22"S	78°37'19.40"O
AD-F5	10.0.0.102	255.255.255.0	9364	6243	1850241448	1°22'6.22"S	78°37'19.40"O
AD-F6	10.0.0.103	255.255.255.0	6352	635	1805732812	1°22'6.22"S	78°37'19.40"O
AD-F7	10.0.0.104	255.255.255.0	736	925	1800427983	1°22'6.22"S	78°37'19.40"O

Fig.4. 26: Consulta y eliminación de registros

#### 4.11.2 Perfil de Usuario

El perfil de usuario es una interfaz gráfica del sistema diseñada para la manipulación de los nodos de la red de controladores y la supervisión de los sensores. De forma similar el usuario debe autenticarse antes de ingresar al sistema, y solo puede acceder su propia información.

Fig.4. 27: Interfaz de inicio de sesión para usuarios genéricos.

En la Fig.4. 27, se indica la interfaz de usuario creada para que los usuarios genéricos del sistema (agricultores) accedan a la interfaz gráfica de control, mediante una página web, indicada en la Fig.4. 17.

Al iniciar sesión al usuario se le entrega un panel en donde se muestran los controles de las válvulas que tiene registradas a su nombre. Al dar click sobre el panel de selección, mostrado en la Fig.4. 28 por las tres líneas horizontales de la parte superior izquierda de la interfaz, el usuario observa un despliegue de los nombres de los nodos controladores, de ésta manera se cambia de nodo para observar las variables de los sensores y controlar las válvulas de cada dispositivo de la red.



*Fig.4. 28: Panel de selección de nodos controladores*

En la Fig.4. 29 se observa la parte de la interfaz de usuario correspondiente al panel de control de los nodos actuadores. Dependiendo del nodo seleccionado en el panel de la Fig.4. 28, es posible encender y apagar las electro-válvulas conectadas al mismo mediante los botones ON, OFF y AUTO. Cuando en el panel se selecciona la opción AUTO, los botones ON y OFF son desactivados, y entra en funcionamiento la lectura del slider que le indica al sistema el porcentaje de humedad que debe

mantener el suelo. Cuando el nivel de humedad promedio detectado en los sensores es inferior al establecido en el slider de control de humedad, el nodo controlador gestiona el encendido de las electro-válvulas para activar el riego, caso contrario mantiene las válvulas normalmente cerradas.

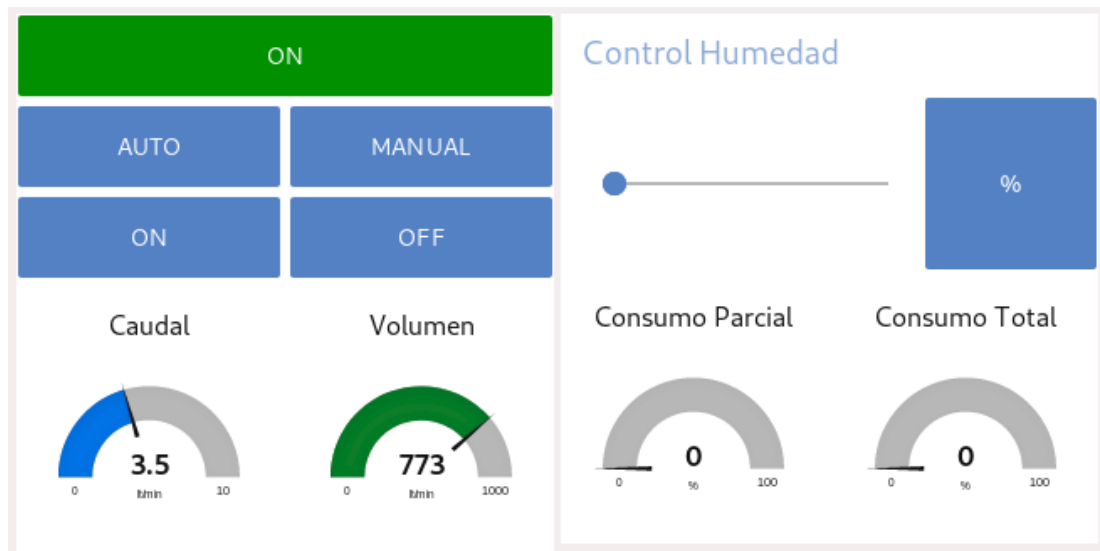


Fig.4. 29: Interfaz de control de los nodos actuadores

En el panel de control también se indica las variables de los sensores de caudal, mostrando el flujo de la válvula en tiempo real, el volumen restante que tiene el usuario disponible para el consumo, el consumo total que han realizado las válvulas en el periodo de riego y el consumo parcial, que es la cantidad de agua regada por la válvula seleccionada, en el periodo de riego.

En la Fig.4. 30 se indica la gráfica del estado de los sensores, la gráfica se realiza en dos partes: Una imagen indica el registro de los valores promedios de todos los sensores conectados al nodo controlador, también para cada sensor se tiene un gráfico de tiempo que muestra el registro de los valores medidos en el último día.

Las variables de los sensores que se indican en las gráficas de la interfaz de usuario, corresponden a la temperatura ambiental, humedad de suelo y humedad ambiental. De ésta forma se facilita al agricultor la detección de temperaturas bajas,

consideradas como “heladas”, para que el mismo realice riegos por aspersión en los cultivos delicados como método de protección.

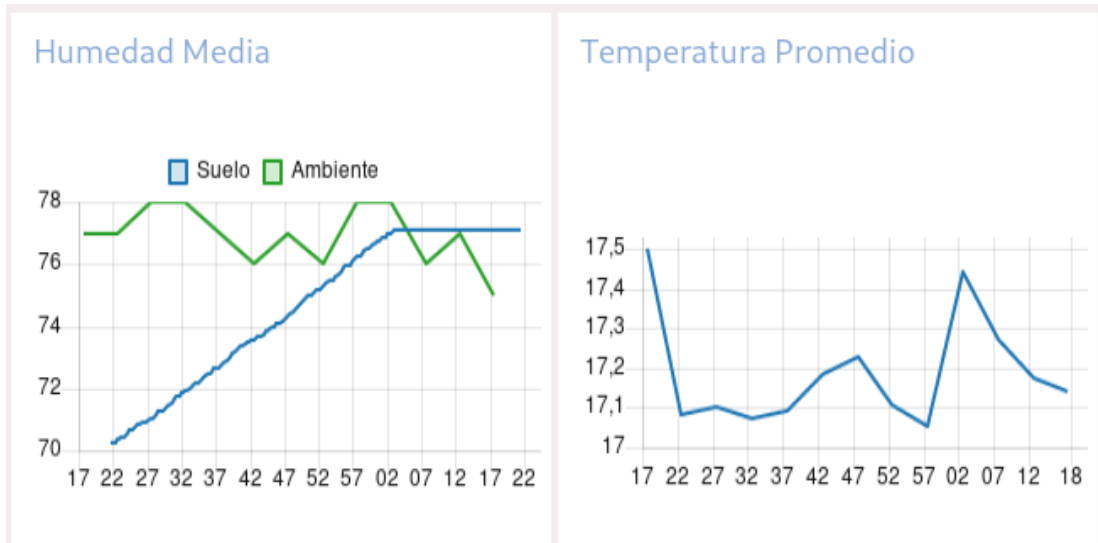


Fig.4. 30: Interfaz de monitoreo de sensores

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- El caserío el Rosal es un poblado rural que se encuentra en una fase de desarrollo en investigación de técnicas que impulsen el crecimiento agrícola. En el sector se tiene un sistema de irrigación de cultivos compartido, heterogéneo y en vías de tecnificación. La diseño de un sistema autónomo de riego en la zona es un piloto que permite obtener referencias de estudio de los beneficios de la implementación tecnológica en la agricultura.
- La creación de una red de controladores mediante la tecnología híbrida de protocolos Mesh con ESP-MDF y MQTT, genera un sistema que requiere de baja capacidad de ancho de banda para la transmisión de datos de múltiples dispositivos, teniendo tramas de tamaño inferior a 1Kb, se optimiza los recursos de red garantizando la correcta transmisión de datos con el uso del protocolo TCP.
- La transferencia de datos entre el servidor y los nodos de la red de controladores por medio de la traducción de protocolos ESP-MDF al protocolo MQTT y viceversa, facilitan la creación de múltiples subredes en donde todos los nodos de cada red están facultados a intercambiar información.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Ubicar las antenas de los nodos controladores a una altura de 2m en zonas de forraje y a más de 3m en las zonas de vegetación aglomerada como bosques y huertos frutales.
- Utilizar múltiples redes de controladores integradas mediante comunicación IP, para disminuir la carga de procesamiento del nodo raíz. Instalar los nodos raíz en lugares estratégicos y sin periféricos para obtener un tiempo de respuesta inferior en la conversión de protocolos.
- Realizar el envío de datos del consumo de agua en tiempos superiores a 500 ms, ya que a tiempos inferiores el dispositivo controlador obtiene errores en la lectura del sensor de flujo, debido a distribuye el tiempo de procedimiento en varias tareas.

## **Bibliografía**

- [1] Eurosur.org (2000) "El Riego en América Latina", 11-Jan-2019, Disponible:[http://www.eurosur.org/medio\\_ambiente/bif60.htm](http://www.eurosur.org/medio_ambiente/bif60.htm), Último Acceso:.
- [2] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, " ", ,2016,
- [3] EL UNIVERSO (2018) "El 68% de Tierras Productivas no Tiene un Riego Adecuado", 11-Jan-2019, Disponible:<https://www.eluniverso.com/noticias/2018/02/25/nota/6637873/68-tierras-productivas-no-tiene-riego-adecuado>, Último Acceso:.
- [4] José Nicolás Ortiz, Iouri Nikolskii Gavrilov, Oscar Palacios Vélez, Rafael Acosta Hernández, "Perdidas de Agua de Riego por Percolacion Profunda Durante el Proceso de Infiltracion ", Terra Número 17 Vol.2,1999,,[ONLINE], Disponible: <https://chapingo.mx/terra/contenido/17/2/art115-124.pdf>
- [5] Fernando Aparicio Urbano Molano, "Redes de Sensores Inalámbricos Aplicadas a Optimización en Agricultura de Precisión para Cultivos de Café en Colombia", Journal de Ciencia e Ingeniería, Vol.5, No.1, Agosto de 2013, pp. 46-52,2013,, [ONLINE], Disponible: <https://jci.uniautonoma.edu.co/2013/2013-8.pdf>
- [6] DARWIN E. CUJI COQUEDARÍO, XAVIER P. MORENO, MAYRA ERAZO, "Diseño e Implementación de una Red WSN (Wireless Sensor Network) Basado en los Protocolos Zigbee, Wifi y Zigbee Mesh, para el Monitoreo de Variables Climáticas en el Invernadero Ubicado en el Barrio Rumipamba del Navas, Cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi" , 14-Jan-2019, 2015. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/10067>, .
- [7] V. Ochoa López, C. Ramírez, R. Baltazar Flores, M. Casillas Araiza, V. ZamudioRodríguez, S. López Cervera, G. Méndez Zamora, "Propuesta de un sistema para optimizar el riego en invernaderos de plantas heterogéneas usando WNS y algoritmos evolutivos", Research in Computing Science 113, pp. 131–145,2016,, [ONLINE], Disponible: [http://www.rcs.cic.ipn.mx/rcs/2016\\_113/RCS\\_113\\_2016.pdf](http://www.rcs.cic.ipn.mx/rcs/2016_113/RCS_113_2016.pdf)
- [8] F. Ruiz Ortega, K. Esquivel Murillo, O. Rodríguez Martínez, E. Rodríguez Torres, R. Duarte Ramírez, "Internet de las Cosas (IoT), una Alternativa para el



- ciudad del Agua", Pistas Educativas Vol. 40 - ISSN: 2448-847X,2018,,[ONLINE], Disponible: <http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas>
- [9] N. Diana Castro C.; L. Eduardo Chamorro F. ; C. Andrés Viteri M., "Una Red de Sensores Inalámbricos para la Automatización y Control del Riego Localizado", REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Volumen 33(2):106-116,2016,,[ONLINE], Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a10.pdf>
- [10] H. GONZÁLES HERNANDEZ, " Sistemas de Control en Tiempo Continuo y Discreto", Editorial Digital,2006,
- [11] H. Velastehuí Izurieta, "Sistema de Activación de Alertas en Situaciones de Emergencia para el Departamento de Gestión de Riesgos en la Universidad Técnica de Ambato" , 29-Ene-2019, 2017. <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/26944>, .
- [12] F. NÚÑEZ NÚÑEZ, J. PALLO NOROÑA, "Sistema de Monitoreo y Control de Alumbrado Público Mediante una Red de Sensores RF" , 29-Ene-2019, 2017. [http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25693/4/Tesis\\_t1243ec.pdf](http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25693/4/Tesis_t1243ec.pdf), .
- [13] ESPRESSIF, "ESP-MESH", ,2018,,[ONLINE], Disponible: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/api-guides/mesh.html>
- [14] MQTT.org, "Seguridad TLS, MQTT", ,2019,,[ONLINE], Disponible: <http://mqtt.org/>
- [15] O. PERPIÑAN LAMIGUEIRO, "Energía Solar Fotovoltaica ", ResearchGate,2011,,[ONLINE], Disponible: [https://www.researchgate.net/profile/Oscar\\_Perpinan\\_Lamigueiro/publication/249012821\\_Energia\\_Solar\\_Fotovoltaica/links/02e7e51e80783f1d9f000000/Energia-Solar-Fotovoltaica.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Oscar_Perpinan_Lamigueiro/publication/249012821_Energia_Solar_Fotovoltaica/links/02e7e51e80783f1d9f000000/Energia-Solar-Fotovoltaica.pdf)
- [16] R. SÁNCHEZ VÍTOREZ, "Aplicaciones de los Sistemas Embebidos", Técnica Industrial Especial ELectricidad y Electrónica,2004,,[ONLINE], Disponible: <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/15/07/a07.pdf>
- [17] Life Learning, PAC , "Controladores Industriales de Diseño de Alto Nivel", ,2011,,[ONLINE], Disponible: [http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion\\_de\\_referencia\\_ISE5\\_3\\_1.pdf](http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE5_3_1.pdf)

- [18] ALTEC () "¿Qué son las Electroválvulas? ", 29-Ene-2019, Disponible:<https://www.altecdust.com/soporte-tecnico/que-son-las-electrovalvulas>, Último Acceso:.
- [19] OMEGA TM (2003) "Introducción a los Medidores de Flujo", 29-Ene-2019, Disponible:<https://cl.omega.com/prodinfo/medidores-de-flujo.html>, Último Acceso:.
- [20] E. CASTELLANOS CORT (2016) "Caudalímetro Flujómetro y Rotámetro", 29-Ene-2019, Disponible:<https://slideplayer.es/slide/5623869/>, Último Acceso:.
- [21] WWF España, "Manuales de Buenas Prácticas de Riego", Artes Gráficas Palermo,2009,,[ONLINE], Disponible:
- [22] FAO.ORG, "Diseño de Métodos de Riego, Eficiencia de Riego", ,,,[ONLINE], Disponible: [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/recnat/pdf/MR\\_cap3.PDF](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/recnat/pdf/MR_cap3.PDF)
- [23] GABINO REGINATO, "Producción de Duraznos para Industria, Riego", ,2009,, [ONLINE], Disponible: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120293/Riego.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- 24: CABILDO EL ROSAL MOCHA, LibreOffice, 2019
- [25] Datosmundial.com, "Amanecer y Atardecer en Ecuador", ,2019,,[ONLINE], Disponible: <https://www.datosmundial.com/america/ecuador/puesta-del-sol.php>

## ANEXOS

### Anexo 1: Datasheet Raspberry Pi 3

## Overview



The Raspberry Pi 3 Model B+ is the latest product in the Raspberry Pi 3 range, boasting a 64-bit quad core processor running at 1.4GHz, dual-band 2.4GHz and 5GHz wireless LAN, Bluetooth 4.2/BLE, faster Ethernet, and PoE capability via a separate PoE HAT

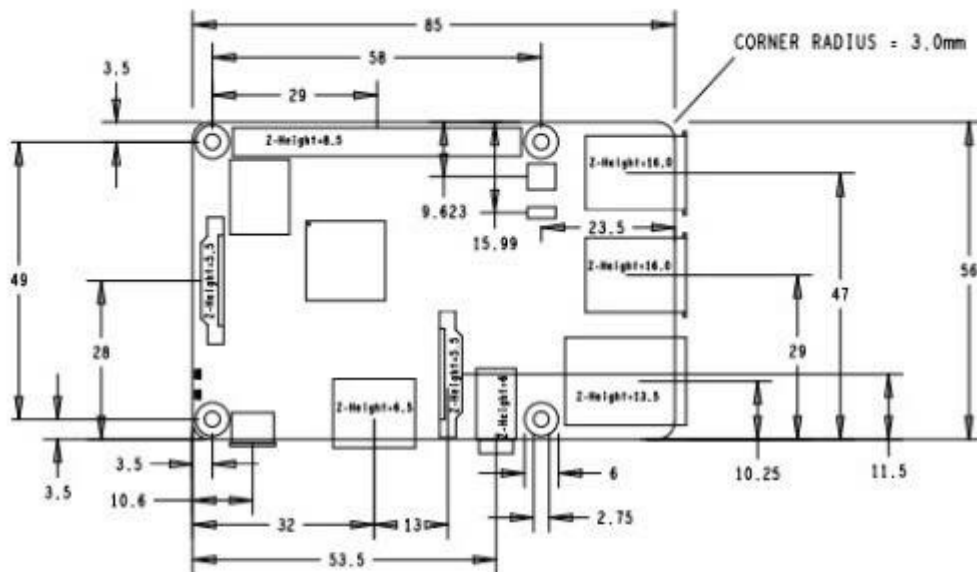
The dual-band wireless LAN comes with modular compliance certification, allowing the board to be designed into end products with significantly reduced wireless LAN compliance testing, improving both cost and time to market.

The Raspberry Pi 3 Model B+ maintains the same mechanical footprint as both the Raspberry Pi 2 Model B and the Raspberry Pi 3 Model B.

## Specifications

<b>Processor:</b>	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4GHz
<b>Memory:</b>	1GB LPDDR2 SDRAM
<b>Connectivity:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 2.4 GHz and 5 GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE</li><li>■ Gigabit Ethernet over USB 2.0 (maximum throughput 300Mbps)</li><li>■ 4 × USB 2.0 ports</li></ul>
<b>Access:</b>	Extended 40-pin GPIO header
<b>Video &amp; sound:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 1 × full size HDMI</li><li>■ MIPI DSI display port</li><li>■ MIPI CSI camera port</li><li>■ 4 pole stereo output and composite video port</li></ul>
<b>Multimedia:</b>	H.264, MPEG-4 decode (1080p30); H.264 encode (1080p30); OpenGL ES 1.1, 2.0 graphics
<b>SD card support:</b>	Micro SD format for loading operating system and data storage
<b>Input power:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 5V/2.5A DC via micro USB connector</li><li>■ 5V DC via GPIO header</li><li>■ Power over Ethernet (PoE)–enabled (requires separate PoE HAT)</li></ul>
<b>Environment:</b>	Operating temperature, 0–50 °C
<b>Compliance:</b>	For a full list of local and regional product approvals, please visit <a href="http://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b+">www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b+</a>
<b>Production lifetime:</b>	The Raspberry Pi 3 Model B+ will remain in production until at least January 2023.

## Physical specifications



### Warnings

- This product should only be connected to an external power supply rated at 5V/2.5A DC. Any external power supply used with the Raspberry Pi 3 Model B+ shall comply with relevant regulations and standards applicable in the country of intended use.
- This product should be operated in a well-ventilated environment and, if used inside a case, the case should not be covered.
- Whilst in use, this product should be placed on a stable, flat, non-conductive surface and should not be contacted by conductive items.
- The connection of incompatible devices to the GPIO connection may affect compliance, result in damage to the unit, and invalidate the warranty.
- All peripherals used with this product should comply with relevant standards for the country of use and be marked accordingly to ensure that safety and performance requirements are met. These articles include but are not limited to keyboards, monitors, and mice when used in conjunction with the Raspberry Pi.
- The cables and connectors of all peripherals used with this product must have adequate insulation so that relevant safety requirements are met.

## Anexo 2: Diagrama de Pines ESP32.

### 2. Pin Definitions

AP1 AP2 3DA  
 IAL\_P IAL\_N 3DA  
 P021 0TXD 0RXD  
 P022

### 2. Pin Definitions

Name	No.	Type	Function
VDIET_1	10	I	GPIO34, ADC1_CH6, RTC_GPIO4
VDIET_2	11	I	GPIO35, ADC1_CH7, RTC_GPIO6
32K_XP	12	I/O	GPIO32, ADC1_CH4, RTC_GPIO9, TOUCH9, 32K_XP (32.768 kHz crystal oscillator input)
32K_XN	13	I/O	GPIO33, ADC1_CH5, RTC_GPIO8, TOUCH8, 32K_XN (32.768 kHz crystal oscillator output)
GPIO25	14	I/O	GPIO25, ADC2_CH8, RTC_GPIO6, DAC_1, EMAC_RXD0
GPIO26	15	I/O	GPIO26, ADC2_CH9, RTC_GPIO7, DAC_2, EMAC_RXD1
GPIO27	16	I/O	GPIO27, ADC2_CH7, RTC_GPIO17, TOUCH7, EMAC_RX_DV
MTMS	17	I/O	GPIO14, ADC2_CH6, RTC_GPIO16, TOUCH6, EMAC_TXD2, HSPICLK, HS2_CLK, SD_CLK, MTMS
MTDI	18	I/O	GPIO12, ADC2_CH5, RTC_GPIO15, TOUCH5, EMAC_TXD3, HSPIO, HS2_DATA2, SD_DATA2, MTDI
VDD3P3_RTC	19	P	Input power supply for RTC IO (2.3 V – 3.6 V)
MTCK	20	I/O	GPIO13, ADC2_CH4, RTC_GPIO14, TOUCH4, EMAC_RX_ER, HSPID, HS2_DATA3, SD_DATA3, MTCK
MTDO	21	I/O	GPIO15, ADC2_CH3, RTC_GPIO13, TOUCH3, EMAC_RXD3, HSPICSD, HS2_CMD, SD_CMD, MTDO
GPIO2	22	I/O	GPIO2, ADC2_CH2, RTC_GPIO12, TOUCH2, HSRWP, HS2_DATA0, SD_DATA0
GPIO0	23	I/O	GPIO0, ADC2_CH1, RTC_GPIO11, TOUCH1, EMAC_TX_CLK, CLK_OUT1
GPIO4	24	I/O	GPIO4, ADC2_CH0, RTC_GPIO10, TOUCH0, EMAC_TX_ER, HSRPD, HS2_DATA1, SD_DATA1
VDD_SDI0			
GPIO16	25	I/O	GPIO16, HS1_DATA4, U2RXD, EMAC_CLK_OUT
VDD_SDI0	26	P	Output power supply: 1.8V or the same voltage as VDD3P3_RTC
GPIO17	27	I/O	GPIO17, HS1_DATA6, U2TXD, EMAC_CLK_OUT_180
SD_DATA_2	28	I/O	GPIO9, HS1_DATA2, U1RXD, SD_DATA2, SPIHD
SD_DATA_3	29	I/O	GPIO10, HS1_DATA3, U1TXD, SD_DATA3, SPWP
SD_CMD	30	I/O	GPIO11, HS1_CMD, U1RTS, SD_CMD, SPICSD
SD_CLK	31	I/O	GPIO6, HS1_CLK, U1CTS, SD_CLK, SPICLK
SD_DATA_0	32	I/O	GPIO7, HS1_DATA0, U2RTS, SD_DATA0, SPIQ
SD_DATA_1	33	I/O	GPIO8, HS1_DATA1, U2CTS, SD_DATA1, SPID
VDD3P3_CPU			
GPIO5	34	I/O	GPIO5, HS1_DATA6, VSPICSD, EMAC_RX_CLK
GPIO18	35	I/O	GPIO18, HS1_DATA7, VSPICLK
GPIO23	36	I/O	GPIO23, HS1_STROBE, VSPID
VDD3P3_CPU	37	P	Input power supply for CPU IO (1.8V – 3.6 V)
GPIO19	38	I/O	GPIO19, U0CTS, VSPIQ, EMAC_TXD0
GPIO22	39	I/O	GPIO22, U0RTS, VSPWP, EMAC_TXD1
U0RXD	40	I/O	GPIO3, U0RXD, CLK_OUT2
U0TXD	41	I/O	GPIO1, U0TXD, CLK_OUT3, EMAC_RXD2
GPIO21	42	I/O	GPIO21, VSPHD, EMAC_TX_EN
Analog			
VDDA	43	P	Analog power supply (2.3V – 3.6 V)
XTAL_N	44	O	External crystal output
XTAL_P	45	I	External crystal input
VDDA	46	P	Analog power supply (2.3V – 3.6 V)
CAP2	47	I	Connects to a 3 nF capacitor and 20 kΩ resistor in parallel to CAP1
CAP1	48	I	Connects to a 10 nF series capacitor to ground
GND	49	P	Ground

#### Note:

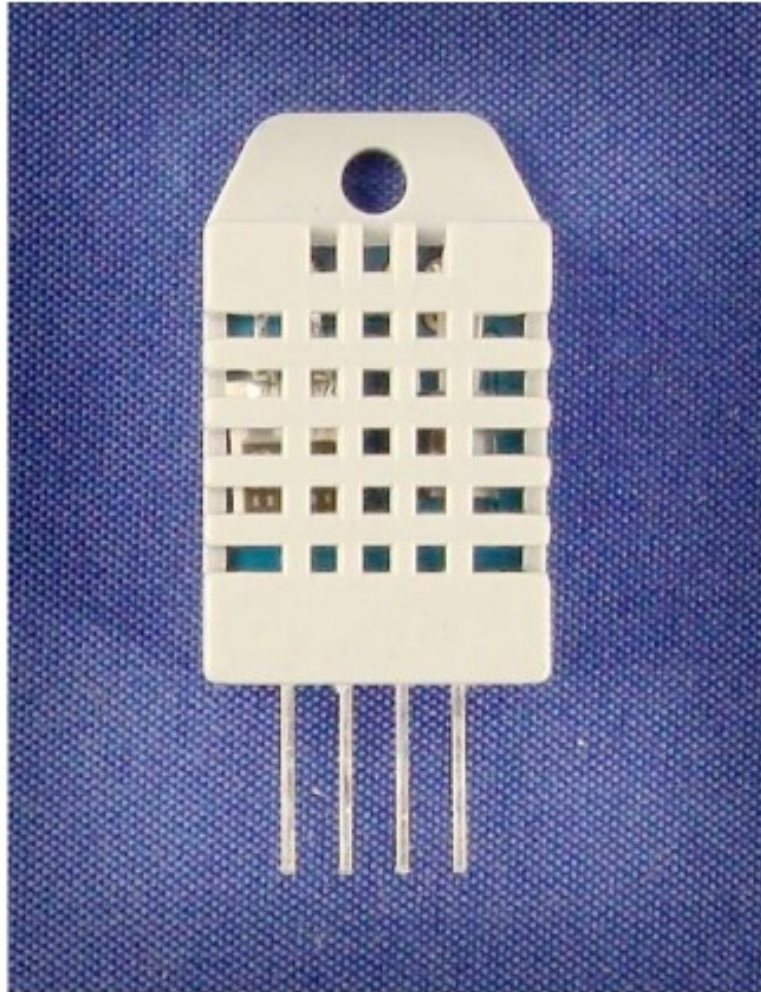
- The pin-pin mapping between ESP32-D2WD and the embedded flash is as follows: GPIO16 – CS#, GPIO17 – IO1/DO, SD\_CMD – IO3/HOLD#, SD\_CLK – CLK, SD\_DATA\_0 – IO2/WP#, SD\_DATA\_1 – IO0/DI. The pins used for embedded flash are not recommended for other uses.
- In most cases, the data port connection between ESP32 series of chips other than ESP32-D2WD and external flash is as follows: SD\_DATA0/SPIQ – IO1/DO, SD\_DATA1/SPID – IO0/DI, SD\_DATA2/SPIHD – IO3/HOLD#, SD\_DATA3/SPWP – IO2/WP#.
- For a quick reference guide to using the IQ\_MUX, Ethernet MAC, and GPIO Matrix pins of ESP32, please refer to [Appendix ESP32 Pin Lists](#).



## Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

### Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302)



Capacitive-type humidity and temperature module/sensor

Thomas Liu (Business Manager)

Email: [thomasliu198518@yahoo.com.cn](mailto:thomasliu198518@yahoo.com.cn)

# Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

## 1. Feature & Application:

- \* Full range temperature compensated
- \* Relative humidity and temperature measurement
- \* Calibrated digital signal
- \* Outstanding long-term stability
- \* Extra components not needed
- \* Long transmission distance
- \* Low power consumption
- \* 4 pins packaged and fully interchangeable

## 2. Description:

DHT22 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT22 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

## 3. Technical Specification:

Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40-80Celsius
Accuracy	humidity +/-2%RH(Max +/-5%RH); temperature <+/-0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +/-1%RH; temperature +/-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+/-0.3%RH
Long-term Stability	+/-0.5%RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

## 4. Dimensions: (unit---mm)

### 1) Small size dimensions: (unit---mm)

2

Thomas Liu (Business Manager)

Email: [thomasliu198518@yahoo.com.cn](mailto:thomasliu198518@yahoo.com.cn)



#### Anexo 4: Prototipo





