



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE:**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES**

**TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL  
AUTOMÁTICO DE RIEGO PARA INVERNADEROS MEDIANTE TECNOLOGÍA  
LORA CON ESP32**

**AUTOR: Haro Vilaña Ivan Vinicio**

**TUTOR: Mg. Morales Arévalo Flavio David**

**QUITO- ECUADOR**

**AÑO: 2019**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de estudiar y tener el apoyo de las personas que más aprecio, por darme salud y fuerzas para seguir adelante aun cuando se me presentaron dificultades en el transcurso de la carrera.

A mis padres que, a pesar de todo, siempre me inculcaron al camino del bien, que con su esfuerzo y dedicación me apoyaron para seguir adelante en el camino del bien y seguir estudiando a pesar que fue complicado me seguían apoyando he inculcándome al camino del bien aun cuando parecía imposible.

A mis hermanos que me dieron ánimo para seguir adelante durante toda mi carrera estudiantil, día a día estuvieron ahí para darme palabras de apoyo.

## **DEDICATORIA**

Dedico de manera muy especial la culminación de este proyecto a Dios por brindarme salud y vida durante este periodo de estudio, considerando que en el trascurso de este tiempo de estudio he cruzado obstáculos.

A mis padres María y Juan por estar a mi lado en las buenas y en las malas brindándome su apoyo incondicional, dándome consejos y ánimos para seguir adelante y poder culminar mi carrera.

A Soledad, ya que con su amor y cariño ella fue la principal persona que estuvo a mi lado dándome ánimos para salir adelante de los obstáculos que se me presentaban a diario en mis estudios.

A mis hermanos que me apoyaron en diferentes formas para no dejar de estudiar y culminar mis estudios.

A todos mis amigos que he encontrado en el trascurso de mis estudios ya que con ellos he compartido momentos buenos y malos, gracias por formar parte de mi vida.

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL AUTOMÁTICO DE RIEGO PARA INVERNADEROS MEDIANTE TECNOLOGÍA LORA CON ESP32”**, presentado por el Sr. Ivan Vinicio Haro Vilaña, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito, 06 de septiembre de 2019

TUTOR

.....

Mg. Morales Arévalo Flavio David

## **DECLARACIÓN**

Yo, Ivan Vinicio Haro Vilaña, declaro que el presente proyecto de titulación aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido presentado para ningún grado anterior y he tomado en cuenta los lineamientos dados en la fecha actual, dando información verídica, actualizada y debidamente comprobada, consultando referencias bibliográficas que se presentan en este documento. La Universidad Tecnológica Israel puede hacer uso de este trabajo según los reglamentos y normativas Institucionales establecidas en vigencia.

Quito, 06 de septiembre de 2019

.....

Ivan Vinicio Haro Vilaña

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Proyecto de aprobación de acuerdo con el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ingeniería Digital y Telecomunicaciones de la universidad Tecnológica Israel.

Quito, .....

Para constancia firman:

### **TRIBUNAL DE GRADO**

**F** .....

**PRESIDENTE**

**F** .....

**VOCAL**

**F** .....

**VOCAL**

## TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iv
DECLARACIÓN .....	v
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	vi
TABLA DE CONTENIDO .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	xii
LISTA DE TABLAS .....	xiv
LISTA DE ECUACIONES.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	17
Antecedentes de la situación objeto de estudio.....	17
Planteamiento del problema.....	20
Justificación.....	20
Objetivo general.....	21
Objetivos específicos .....	21
Alcance.....	21
Descripción de los capítulos .....	22
CAPITULO 1 .....	24
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	24
1.1 Sistema de riego .....	24
1.2 Tipos de sistema de riego .....	24
1.2.1 Sistema de riego superficial .....	24
1.2.2 Sistema de riego por aspersión.....	25

1.2.3 Sistema de riego por goteo .....	26
1.3 Electroválvula .....	28
1.3.1 Funcionamiento .....	28
1.3.2 Tipos.....	28
1.4 Bomba de agua centrífuga.....	30
1.4.1 Definición.....	30
1.4.2 Aplicación .....	31
1.4.3 Especificaciones técnicas .....	31
1.5 Sensores .....	32
1.5.1 Sensor de nivel de agua.....	32
1.5.2 Sensor de humedad absoluta .....	34
1.5.3 Sensor de humedad relativa .....	35
1.5.4 Sensor de temperatura .....	36
1.6 Microchip technology RN2483 módulo transceptor LoRa.....	38
1.6.1 Definición.....	38
1.6.2 Características .....	40
1.7 Microcontrolador ESP32.....	40
1.7.1 Definición.....	40
1.7.2 Especificaciones técnicas .....	41
1.7.3 Diagrama de bloques de funciones .....	43
1.8 Batería de polímero de litio.....	44
1.8.1 Características .....	45
1.9 Alarma auditiva.....	45
1.9.1 Definición.....	45
1.9.2 Características .....	46
1.10 Energía solar.....	46
1.10.1 Tipos de energía solar .....	46

1.10.2 Energía solar pasiva .....	47
1.10.3 Energía solar térmica .....	47
1.10.4 Energía solar fotovoltaica .....	47
1.11 Panel solar .....	48
1.11.1 Funcionamiento.....	48
1.12 Sistema HMI .....	49
1.12.1 Definición.....	49
1.12.2 Funcionamiento.....	49
1.13 Nextion 3.2.....	50
1.13.1 Definición.....	50
1.13.2 Características .....	50
1.14 Software Proteus Professional versión 8.8.....	51
1.15 Software de programación Arduino .....	51
CAPITULO 2 .....	54
MARCO METODOLÓGICO .....	54
2.1 Métodos utilizados .....	54
2.1.1 Fundamentación teórica .....	55
2.1.2 Marco metodológico .....	55
2.1.3 Propuesta.....	56
2.1.4 Implementación.....	56
CAPITULO 3 .....	57
PROPUESTA.....	57
3.1 Gráfico de funcionamiento del sistema.....	57
3.2 Módulos que conforman el funcionamiento del sistema.....	58
3.2.1 Unidad de control.....	58
3.2.2 Sensores .....	58
3.2.3 Dispositivos a controlar .....	59

3.3 Etapas que constituyen el funcionamiento del sistema .....	59
3.4 Descripción de las etapas del sistema .....	60
3.4.1 Monitoreo .....	60
3.4.2 Control .....	61
3.5 Diseño de circuitos electrónicos.....	62
3.5.1 Circuito de fuente de alimentación .....	62
3.5.2 Circuito de conexión USB .....	64
3.5.3 Circuito de conexión del microcontrolador ESP32.....	64
3.5.4 Circuito de conexión del RN2483.....	66
3.5.5 Circuito de activación de actuadores eléctricos .....	66
3.6 Programación del microcontrolador.....	67
3.6.1 Diagrama de flujo de la programación.....	68
3.7 Diseño de la placa de circuito impreso .....	69
3.8 Diseño de la aplicación Nextion .....	70
3.9 Análisis del costo .....	71
3.9.1 Proformas de costos .....	71
3.9.2 Materiales electrónicos.....	72
3.9.3 Materiales mecánicos .....	76
3.9.4 Mano de obra.....	77
3.9.5 Costos totales .....	77
3.10 Análisis del tiempo.....	78
3.11 Ventajas del sistema.....	79
<b>CAPITULO 4 .....</b>	<b>80</b>
<b>IMPLEMENTACIÓN.....</b>	<b>80</b>
4.1 Desarrollo.....	80
4.1.1 Construcción de la unidad de control.....	80
4.1.2 Software para la pantalla HMI .....	83

4.1.3 Software para módulos LoRa.....	84
4.2 Implementación.....	85
4.2.1 Sistema de riego .....	85
4.2.2 Módulos esclavos .....	87
4.2.3 Módulo máster .....	91
4.3 Pruebas de funcionamiento .....	94
4.4 Análisis de resultados.....	98
CONCLUSIONES .....	100
RECOMENDACIONES .....	101
BIBLIOGRAFÍA .....	102
ANEXOS .....	105

## LISTA DE FIGURAS

Figura. 1.1. Sistema de riego superficial.....	25
Figura. 1.2. Sistema de riego por aspersión .....	26
Figura. 1.3. Sistema de riego por goteo .....	27
Figura. 1.4. Electroválvula normalmente cerrado.....	29
Figura. 1.5. Bomba de agua centrífuga modelo cpm 62 .....	31
Figura. 1.6. Sensor capacitivo modelo XKC-Y25-T12V.....	33
Figura. 1.7. Sensor capacitivo de humedad de suelo .....	34
Figura. 1.8. Sensor resistivo de humedad absoluta .....	35
Figura. 1.9. Sensor de temperatura DHT11 .....	38
Figura. 1.10. MICROCHIP RN2483 .....	39
Figura. 1.11. ESPRESSIF ESP32-WROOM-32D .....	41
Figura. 1.12. Diagrama de bloques de funciones del ESP32 .....	43
Figura. 1.13. Batería recargable de polímetro de litio.....	44
Figura. 1.14. Alarma auditiva .....	45
Figura. 1.15. Panel solar.....	48
Figura. 1.16. Pantalla HMI Nextion 3.2.....	50
Figura. 1.17. Software Proteus Professional versión 8.8 .....	51
Figura. 1.18. Software Arduino.....	52
Figura. 1.19. Lenguaje de programación C++ .....	53
Figura. 3.1. Diagrama de bloques del funcionamiento .....	58
Figura. 3.2. Áreas de coberturas.....	60
Figura. 3.3. Diseño sistema de control .....	61
Figura. 3.4. Circuito de alimentación de 3.3 voltios .....	62
Figura. 3.5. Circuito de carga.....	63
Figura. 3.6. Circuito de conexión USB .....	64
Figura. 3.7. Circuito de conexión del microcontrolador ESP32 .....	65
Figura. 3.8. Circuito de conexión del RN2483 .....	66
Figura. 3.9. Circuito de activación de actuador eléctrico.....	67
Figura. 3.10. Flujograma de programación del módulo máster .....	68
Figura. 3.11. Flujograma de programación del módulo esclavo.....	69
Figura. 3.12. Diseño de la placa de circuito impreso .....	70

Figura. 3.13. Diseño de pantalla HMI.....	71
Figura. 4.1. Diseño de la PCB en Proteus .....	80
Figura. 4.2. PCB de la unidad de control .....	81
Figura. 4.3. Placa de control con sus elementos .....	82
Figura. 4.4. Verificación de soldadura.....	82
Figura. 4.5. Módulos terminados con sus respectivos elementos .....	83
Figura. 4.6. Diseño del software de la pantalla HMI .....	84
Figura. 4.7. Conexión de plomería.....	86
Figura. 4.8. Conexión de la electroválvula .....	86
Figura. 4.9. Instalación del sistema de riego por goteo.....	87
Figura. 4.10. Conexión del sensor del nivel de agua .....	87
Figura. 4.11. Cables de sensores aislados .....	88
Figura. 4.12. Conexión de los módulos esclavos .....	89
Figura. 4.13. Sensor en proceso de pruebas .....	89
Figura. 4.14. Configuración del sensor .....	90
Figura. 4.15. Sensor de humedad absoluta instalado .....	91
Figura. 4.16. Módulo esclavo instalado .....	91
Figura. 4.17. Sensor ultrasónico de nivel de agua .....	92
Figura. 4.18. Conexión de elementos a controlar.....	92
Figura. 4.19. Conexión de fuente de alimentación.....	93
Figura. 4.20. Conexión de módulo máster .....	94
Figura. 4.21. Conexión de pantalla HMI.....	95
Figura. 4.22. Pantalla HMI en forma automática.....	96
Figura. 4.23. Pantalla HMI en forma manual.....	97
Figura. 4.24. Datos de monitoreo receptados.....	97

## LISTA DE TABLAS

Tabla. 1.1. Características de la electroválvula.....	29
Tabla. 3.1. Comparación de proveedores.....	71
Tabla. 3.2. Capacitores.....	72
Tabla. 3.3. Resistencias.....	73
Tabla. 3.4. Circuitos integrados.....	73
Tabla. 3.5. Transistores.....	74
Tabla. 3.6. Diodos.....	74
Tabla. 3.7. Accesorios de plomería.....	75
Tabla. 3.8. Varios, especificaciones.....	75
Tabla. 3.9. Materiales mecánicos.....	76
Tabla. 3.10. Detalles de la mano de obra.....	77
Tabla. 3.11. Presupuesto del proyecto.....	77
Tabla. 4.1. Pruebas de funcionamiento.....	94
Tabla. 4.2. Análisis de resultados.....	99

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación. 3.1. Tensión para la batería.....	63
Ecuación. 3.2. Limitador de corriente para LED del microcontrolador.....	65
Ecuación. 3.3. Resistencias que conforman el circuito actuador.....	67
Ecuación. 4.1. Valores a mostrar en pantalla HMI.....	98

## **RESUMEN**

El presente proyecto trata sobre el desarrollo de un sistema de monitoreo y control automático de riego para diferentes tipos de invernaderos, implementando tecnología inalámbrica LoRa, el cual facilita la comunicación de largo alcance a través de antenas de 433MHz y bajo consumo de energía eléctrica. La implementación del proyecto ayuda a que el trabajo de riego de un invernadero se lo haga de forma automática, optimizando mano de obra y recursos.

El proyecto cuenta con cuatro módulos de transmisión, un módulo máster o dispositivo receptor, este cuenta con un sensor ultrasónico el cual emite una señal para desactivar el sistema y activa una sirena auditiva al momento que el agua se encuentre en el nivel bajo del tanque de reserva. Dicho módulo dispone además de una pantalla HMI para poder visualizar todos los parámetros que se presenta el sistema; además de contar con la opción para controlar el sistema manualmente activando y desactivando la bomba de agua y las electroválvulas.

Y cuando el sistema se encuentre en forma automática espera estar dentro de los parámetros de programación para realizar acciones.

Los tres módulos consiguientes son esclavos o dispositivos transmisores, cada uno de estos cuentan con sensores de humedad absoluta, relativa y temperatura ambiente los cuales realizan el censado cada media hora.

## **ABSTRACT**

This project is about the development of an automatic irrigation monitoring and control system for different types of greenhouses, implementing LoRa wireless technology, which facilitates long-range communication through 433MHz antennas and low power consumption. The implementation of the project helps the irrigation work of a greenhouse be done automatically, optimizing labor and resources.

The project has four transmission modules, a master module or receiving device, this has an ultrasonic sensor which emits a signal to deactivate the system and activates an audible siren when the water is at the low level of the tank. reservation. This module also has an HMI screen to display all the parameters presented by the system; In addition to having the option to control the system manually by activating and deactivating the water pump and solenoid valves.

And when the system is automatically expected to be within the programming parameters to perform actions.

The three consequent modules are slaves or transmitting devices, each of these have sensors of absolute, relative humidity and ambient temperature which perform the censorship every half hour.

# INTRODUCCIÓN

## **Antecedentes de la situación objeto de estudio**

Los agricultores a través de los años han tenido que hacer ajustes en los sistemas de producción y ponerse a la vanguardia de los avances tecnológicos, debido a los cambios en los mercados y a las nuevas tecnologías que mejoran su producción.

Por este motivo actualmente y a lo largo de los años se han estado desarrollando proyectos tecnológicos enfocados a mejorar la producción agrícola, tal es el caso de los sistemas de riego automatizados que permiten optimizar el uso del agua a través de un mecanismo automatizado, y mediante sensores que permiten monitorear ya sea la humedad, temperatura del suelo, regando solamente cuando se necesite el agua. De esta manera reducir el desperdicio del agua, aumentar considerablemente la producción y a su vez generar ahorro en la mano de obra. A continuación, se mencionan diversos proyectos realizados a nivel nacional.

Los autores (Vásconez Cuzco & Chamba Tenemaza) (2013), presentaron una tesis titulada “Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y controlado de forma inalámbrica para una finca ubicada en el sector popular de Balerio Estacio”, (Tesis de pregrado) de la Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador. La metodología utilizada es de tipo experimental aplicada a través de la recolección de información de datos en tiempo real para la ejecución del sistema de riego automatizado. Este mismo autor indica que el sistema propuesto en su tesis puede funcionar de forma automática debido a que por medio de los sensores los datos son captados del suelo y adicional a eso el sistema puede trabajar de forma manual, de tal manera que le permite al usuario elegir la parte del terreno que desea regar.

En el año 2018, el autor (Triana Jordan & Rodríguez Ronald), presentaron una monografía titulada “Prototipo de solución IoT con tecnología LoRa en monitoreo de cultivos agrícolas”, (Proyecto de grado) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Colombia. La metodología de investigación utilizada en la tesis mencionada es experimental y utiliza distintos métodos teóricos, empíricos y estadísticos para poder determinar la certeza del problema y proponer una solución que se establece en el diseño de un prototipo de solución IoT para el monitoreo de cultivos agrícolas, realizando pruebas necesarias el prototipo en el cultivo genera alertas correspondientes a las variables físicas, lo cual permite que el cultivador determinara control sobre el mismo, obteniendo así un mejor rendimiento durante el proceso de cosecha empleado

Existen diferentes tipos de sistemas de riego, que se utilizan en los invernaderos, a continuación, se detallan:

### **Riego subterráneo utilizando difusores**

El riego en los invernaderos, donde se utiliza difusores, son similares a los sistemas de riego con aspersores y se utilizan para regar el agua en las zonas más pequeñas; casi siempre la presión del agua va a depender del paso que utiliza el sistema de riego mismo. Gracias a las actualizaciones de tecnología existen muchas formas para regular la presión, siendo la mayor parte de aquellos sistemas de gran utilidad, de esta manera, generan un ahorro para empresarios que se dedican día tras día a instalar.

En algunos invernaderos se implementa el riego subterráneo que es uno de los métodos más utilizados actualmente. Este sistema de riego está basado en realizar perforaciones en las tuberías que son colocadas bajo tierra a una determinada profundidad, se calcula a una distancia de 10 a 50 cm, esto depende si el suelo es más arcilloso o más arenoso también depende del lugar. Se tiene algunas ventajas de este sistema es que al no estar al aire libre es más seguro y estético, además genera menores pérdidas de agua. (Redacción Interempresas, 2010)

Por otro lado, el inconveniente más común de las instalaciones de los sistemas de riego en los invernaderos es que el suelo no adquiera la humedad correcta, se producen tapones en los huecos de salida de agua, especialmente por la cal. Otra dificultad que encontramos en este sistema es que a veces las raíces son maltratadas por las tuberías, lo que también taponan la salida del agua, aunque es fácilmente evitable utilizando cualquier tipo de herbicida. (Redacción Interempresas, 2010)

### **Los sistemas más usados**

El sistema de riego por goteo en los diferentes invernaderos se utiliza para que el agua se riegue en el sitio adecuado para las plantas. El riego se genera, por un sistema que cae gota a gota humedeciendo el suelo para la planta, obteniendo una humedad adecuada en el lugar de la planta, ese necesario para el crecimiento de nuestras plantas. Bajo este riego, se genera el suministro de agua para las plantas, también se brinda la fertilización adecuada para obtener plantas más saludables.

Este sistema de riego en invernadero tiene como ventaja el ahorro de grandes cantidades de agua y además mantiene un nivel de humedad constante en el suelo sin provocar estancamientos de agua. Mediante este sistema se puede utilizar la aplicación de fertilizantes disueltos que van directamente a la planta, pero el inconveniente típico que encontramos en este sistema de riego es que se atasca con mucha facilidad por lo que necesita un buen filtrado.

Por otro lado, no es muy recomendable para los invernaderos el sistema de riego con manguera, ya que es un sistema manual que requiere una gran cantidad de tiempo y tiene un nivel relativamente bajo de precisión. Nunca se consigue una uniformidad óptima, ya que el agua no se distribuye por igual, quedando algunos lugares más húmedos que otros. Cuando se utilice una manguera para regar siempre hay que tener en cuenta que sea de material que no se doblen con facilidad, ocasionando que el agua se interrumpa evitando el paso necesario y dificultando moverse con facilidad. (Redacción Interempresas, 2010)

## **Planteamiento del problema**

El principal problema que existe en los invernaderos de producción de hortalizas, legumbres, frutas entre otros productos se debe al sistema de riego.

La infraestructura del sistema de riego que poseen los invernaderos en su mayoría necesitan de la ejecución de varias actividades manuales para que estos puedan cumplir con su objetivo principal, el mantener el suelo húmedo. Una de las principales actividades que se realiza es el riego de agua por medio de llaves de paso, el cual se necesita de una persona encargada de abrir y cerrar, dicho proceso al realizarse manualmente genera mucho desperdicio de agua o a su vez causa daño al desarrollo del producto por exceso o falta de la misma.

Es importante recalcar que el sector agrícola es el mayor consumidor de agua y que a su vez genera mucho desperdicio. Por tal motivo se propone reemplazar el sistema de riego manual por un sistema de riego automatizado que permitirá distribuir el agua de una manera adecuada evitando el desperdicio y la mala administración en la producción del producto.

## **Justificación**

En la actualidad es importante que los invernaderos cuenten con un sistema de control y monitoreo para darse cuenta de las variables que se presenta en el desarrollo de las plantas tales como: La humedad relativa y humedad absoluta; entonces implementando tecnología de punta en el sistema de riego de agua se ayuda a garantizar el crecimiento de las plantas.

Al realizar un estudio sobre los posibles problemas que presenta un sistema de riego e implementando nuevas tecnologías para mejorar los procesos, se logra optimizar tiempo, dinero y la reducción de costos para el productor.

Con ayuda de equipos sofisticados como por ejemplo el ESP32 con tecnología LoRa, el cual se implementa en este tipo de sistemas de riego de agua, se logrará mantener

monitoreado desde grandes distancias, los diferentes problemas relacionados a la humedad del suelo.

### **Objetivo general**

Implementar un sistema de monitoreo y control automático de riego para invernaderos mediante Tecnología LoRa con ESP32.

### **Objetivos específicos**

- Analizar la necesidad de implementar un sistema de riego que sea monitoreado a una frecuencia de 433Mhz.
- Diseñar un sistema de riego compuesto por elementos electrónicos, eléctricos y de control.
- Desarrollar un HMI para la visualización de parámetros de variables a ser monitoreadas.
- Desarrollar los algoritmos de programación.
- Implementar el sistema diseñado.
- Validar funcionamiento.

### **Alcance**

El alcance del proyecto se da mediante una visita a diferentes invernaderos en distintos lugares de la parroquia de Tumbaco; se analiza los diferentes procesos que requiere un invernadero para alcanzar una buena producción, y se toma en consideración uno de los factores primordiales que es el agua, siendo su manejo y control del mismo de forma manual; teniendo como antecedente este tipo de proceso se tiene la necesidad de implementar un sistema de monitoreo y control automatizado de riego.

El sistema que se desarrollara es mediante tecnología LoRa con ESP32, se lo implementará en la Parroquia de Tumbaco en el Barrio La Esperanza para ello se diseñará el sistema con elementos electrónicos, eléctricos y de control. Las variables que se pretende

monitorear y controlar son la humedad relativa, absoluta además de la temperatura del ambiente.

Se cuenta con un sensor de nivel de agua el cual nos generará una alerta cuando el agua llegue a su nivel más bajo del tanque de reserva, enviando automáticamente una señal para que el motor se desactive.

Además, el sistema contará con 3 transmisores los cuales se encontrarán ubicados en el interno del invernadero, los cuales enviarán señales para que se active la bomba cuando sea necesario, se ubicarán a una cierta distancia dispondrán de paneles solares para su alimentación; también se tendrá un módulo máster el cual se encontrará ubicado a una distancia adecuada para que reciba las señales a monitorear dependiendo de la configuración que se le dé. Este mensaje se podrá visualizar en el sistema HMI, a más de visualizar los parámetros y variables a monitorear; en este orden de ideas se desarrollarán algoritmos de programación en Arduino. Logrando tener una planificación de la producción.

Posteriormente se procederá a implementar el sistema diseñado con todas las características mencionadas. Para concluir se validará el funcionamiento de todo el sistema.

### **Descripción de los capítulos**

En el capítulo I se analizan los conceptos, fundamentos teóricos, menciones técnicas, especificaciones y características de los componentes que serán utilizados para la realización de la implementación de monitoreo y control automático de riego para invernaderos mediante tecnología LoRa con ESP32, así mismo las fichas técnicas de ciertos elementos implementados para lograr el funcionamiento de los diferentes circuitos electrónicos que forman parte de la implementación del proyecto; también se muestra información sobre el *software* que sirve para desarrollar el diseño y simulación de estos.

En el capítulo II se presenta el marco metodológico, aquí se dan a conocer los diferentes métodos de investigación, aplicación e implementación a ser utilizados para

realizar la implementación de monitoreo y control automático de riego para invernaderos mediante tecnología LoRa con ESP32:

En el capítulo III se desarrolla el proceso de diseño del *hardware* y *software* de la comunicación entre los módulos de transmisión y módulo de recepción, configuración y calibración de sensores.

El capítulo IV describe la implementación del proyecto, donde se realiza el ensamblaje físico de los diseños electrónico, eléctrico y mecánico para la fabricación de la unidad de control, detector de humedad de suelo, humedad relativa y temperatura ambiente.

# **CAPITULO 1**

## **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **1.1 Sistema de riego**

Es el conjunto de algunas estructuras, que permite determinar que un área pueda ser cultivada aplicándole el agua necesaria a las plantas. Consta de algunos componentes y la unión de todos estos dependerá del riego superficial, por aspersión, o por goteo.

La reserva de agua no será necesario, con la existencia de agua en lugares cercanos tales como pueden ser los ríos o arroyos de los cuales se obtiene el agua y estos tienen una cantidad suficiente para todo el año sin tener inconvenientes. (Garay Rojo, 2013)

### **1.2 Tipos de sistema de riego**

#### **1.2.1 Sistema de riego superficial**

El riego por superficie es el método de riego más antiguo, se lo ha realizado desde hace más de 4.000 años. El riego por superficie es actualmente el más utilizado en el campo en nuestro país, es un sistema en donde el agua pasa por los sembríos por inclinación del terreno, utilizando el mismo suelo agrícola como parte del riego. La cantidad de agua disminuye a medida que el agua avanza por los sembríos, debido a que el suelo absorbe el agua mientras circula. (Faci Gonzales & Playan Jubillar, 2014)



**Figura. 1.1. Sistema de riego superficial**

**Fuente: (Agroalimentando, 2018)**

Para los riegos por superficie no hay necesidad de tener infraestructuras y tiene la ventaja de tener un mantenimiento fácil. No hay necesidad de mano de obra especializada, es escasa las necesidades de utilizar algún elemento especial, tiene un valor económico bajo a la puesta del sistema de riego y también nos ayuda a entender por qué otros con la existencia de varias opciones de riego no logran desplazarlo. (Sevilla, 2010)

### **1.2.2 Sistema de riego por aspersión**

Este sistema de riego es utilizado en grandes extensiones de terreno. Se trata de un sistema de riego por pivote central que tiene unos aspersores de material de aluminio o tubos largos de material de acero. Este sistema tiene ruedas para tener mayor movilidad en el terreno, tiene una característica visible desde la parte de arriba. En los rociadores se colocan unos tubos de material flexible para evitar y tener problemas al momento de regar el agua. (Garay Rojo, 2013)



**Figura. 1.2. Sistema de riego por aspersión**

**Fuente: (Idainature, 2015)**

Con la utilización de los aspersores al momento de regar tienen un alcance superior a 6 metro de largo, mientras más presión tenga el agua tendrá un mayor alcance a regar. Y también depende del tipo de boquilla.

A los aspersores se los dividimos en:

- Emergentes. Cuando se abre el sistema de riego se levantan del suelo y cuando se para vuelve a la normalidad.
- Móviles. Se coloca al extremo de una manguera frágil y se va moviendo de un lugar a otro.

### **1.2.3 Sistema de riego por goteo**

El sistema de riego por goteo utiliza una cinta con perforaciones con una distancia uniforme el agua es aplicada directamente en las raíces de los cultivos. De esta manera, el agua tiene un uso mejorado y no se tiene pérdidas de agua en el proceso de riego. Este tipo de riego es el más eficiente al momento de utilizar en invernaderos. (Ambientum, 2019)



**Figura. 1.3. Sistema de riego por goteo**

**Fuente: (Gardeneas, 2016)**

Este sistema de riego consiste en aportar el agua directamente en las raíces del cultivo.

#### **Algunas ventajas de tener un sistema de riego por goteo**

- No se desperdicia el agua.
- Mantienen una humedad constante, sin ocasionar charcos de agua.
- Se puede hacer circular aguas salinas, ya que la humedad mantiene las sales más disueltas.

Además, en el sistema por goteo se puede aplicar algunos químicos directamente a las tuberías de agua, para que llegue directamente a las raíces de las plantas. Mejorando el producto.

El inconveniente más común en el sistema por goteo es que los huecos se tapan fácilmente si no se tiene un buen filtrado. Es necesario utilizar elementos que dispongan de un buen filtrado y evitar que nuestro sembrío de malogre por falta de agua.

### **1.3 Electroválvula**

Las electroválvulas son elementos que se activan o desactivan con pulsos eléctricos. Cuando la corriente circula a través del solenoide activa o desactiva la electroválvula, de esta manera permite el paso de fluidos. Al momento de circular una corriente por solenoide se genera un campo magnético que atrae el núcleo y al desactivar el campo magnético el núcleo vuelve a su posición original, en la mayoría de elementos el núcleo regresa a su estado normal gracias a un resorte. (San Martín, 2013)

#### **1.3.1 Funcionamiento**

Las electroválvulas elementos fáciles de controlar utilizando *software* de programación. Es genial para trabajar en automatización industrial.

Las electroválvulas se utilizan en gran número en la industria permitiendo el paso de fluidos como es el agua, el aceite, aire y otros. Por lo general, las electroválvulas son instaladas en lugares de difícil acceso ya que pueden ser accionadas por medio de pulsos eléctricos. También se las utiliza para generar paso de altas presiones y también ha altas temperaturas. (San Martín, 2013)

#### **1.3.2 Tipos**

##### **Acción directa**

En este tipo de familia de electroválvulas, el flujo electromagnético de acción directa depende de un pulso eléctrico que actúa directamente en el émbolo que cierra o abre el orificio de la electroválvula permitiendo que el agua pase.



**Figura. 1.4. Electroválvula normalmente cerrado**

**Fuente: (Cepex, 2019)**

### **Características:**

**Tabla. 1.1. Características de la electroválvula**

<b>Detalles</b>	<b>Característica</b>
APLICACIÓN	Residencial, comercial, agrícola
MEDIDAS	3/4", 1", 1½", 2", 3" BSP hembra
OPCIONES	24 VAC / 9 V latch
CAUDAL MÍNIMO	0,5 m <sup>3</sup> /h
PRESIÓN DE TRABAJO	0,7 - 10 bar

**Fuente: (Cepex, 2019)**

### **Acción indirecta**

La principal característica de la electroválvula de acción indirecta es que en el momento que recibe el pulso eléctrico, acciona al émbolo el cual permite a la misma vez una segunda acción, o acción indirecta. Es cuando el diafragma primordial se abre o se cierra, en una acción evasiva. Este tipo de electroválvulas necesitan de una presión mínima para activar correctamente. (Altec, 2018)

## **Acción mixta**

La electroválvula de acción combinada tiene una característica principal que no requiere de una presión mínima como son las electroválvulas de acción indirecta. Estas electroválvulas son iguales que las de acción indirecta que necesitan dos tiempos para activar, en primer lugar, se desocupa la presión superior del diafragma grande, luego en segundo lugar, la presión de la parte baja del diafragma lo estimula para que se abra.

## **1.4 Bomba de agua centrífuga**

### **1.4.1 Definición**

Es una máquina que convierte energía, al momento de aplicarlo para mover el agua. Este movimiento, normalmente es ascendente. Estas pueden ser de 2 tipos “volumétricas” y “turbo-bombas”. Todas tienen un orificio por donde entrada y el otro orificio es por donde sale. Las de tipo volumétricas menean el agua por la variación normal de un volumen.

Las turbo bombas tienen un elemento que se mueve, generando así el transporte del agua. Este elemento “rotor” tiene una forma de paletas o una rueda con hélices. Las bombas de agua reciben la energía de varias fuentes. Desde muchos años atrás se ha venido usado la energía eólica la cual gracias al viento se puede obtener esta energía, con el movimiento dicha energía es transmitida a una bomba que extrae el agua de un hueco realizado en el suelo llamado pozo. Cuando la bomba de agua recibe la energía generada por un motor que se encuentra acoplado, a dicho conjunto se le conoce como moto-bomba. El motor se puede encontrar separado de la bomba. Por ese motivo se necesita algún elemento que genere ese movimiento. (Elkan, 2017)



**Figura. 1.5. Bomba de agua centrífuga modelo cpm 62**

**Fuente: (Germantec, 2018)**

### **1.4.2 Aplicación**

Se aplican en diferentes sectores, especialmente para la distribución del agua en diferentes espacios como pueden ser: Tanques de reversa en llenado y vaciado del mismo, se los utiliza para el riego de pequeños jardines y huertos. (German, 2019)

### **1.4.3 Especificaciones técnicas**

#### **Bomba de agua centrífuga modelo: CPm 620**

- Caudal de trabajo: 10 a 100 l/min
- Altura de descarga máxima: 34 m
- Potencia: 1 hp
- Voltaje: 110V y 220V
- Amperaje: 12A a 110V y 6A a 220V
- Tipo: Agua limpia
- Uso doméstico.
- Usos de abastecimiento, sistemas de presión.
- Son para Superficies

## **1.5 Sensores**

Es un elemento electrónico que se encuentra diseñado especialmente para detectar acciones o estímulos externos y responder en consecuencia. Permite captar la información del medio físico que nos rodea. Se encarga de medir las magnitudes físicas y transformarlas en señales eléctricas capaces de ser entendidas por un microcontrolador.

### **1.5.1 Sensor de nivel de agua**

Los sensores de nivel son dispositivos electrónicos que detectan la altura, especialmente de líquidos y son colocadas en el interior de tanques o recipientes.

Es utilizado para el control de procesos en diferentes industrias y están divididas en dos grandes grupos. El sensor de nivel de punto es utilizado para detectar una altura de un líquido y determinar un nivel específico. Especialmente, este grupo de sensores funciona para generar una alarma, indicando un sobre llenado cuando el nivel determinado ha sido adquirido, o al contrario una alerta de nivel bajo. (Valencia & Jiménez, 2019)

### **Sensor de nivel capacitivo**

Es un sensor de proximidad no invasivo de tipo capacitivo, detecta la presencia o ausencia del líquido al nivel que está instalado. No necesita estar en contacto con el líquido ya que mide su presencia desde afuera del envase, esto es útil cuando no se puede interferir con la sustancia por seguridad o para mantener la integridad del envase. (Trujillo & Villavicencio Velastegui, 2016)



**Figura. 1.6. Sensor capacitivo modelo XKC-Y25-T12V**

**Fuente: (BricoGeek, 2017)**

Cuando el líquido pasa al nivel del sensor, su capacitancia parásita se acopla al campo eléctrico generado por el sensor, esto es detectado por el sensor capacitivo y procesado como presencia de líquido. Se puede ajustar la sensibilidad retirando la tapa trasera y ajustando el potenciómetro con un destornillador, girar en sentido horario para disminuir la sensibilidad y en sentido anti horario para aumentar la sensibilidad.

El contenedor del líquido no debe ser de material metálico para no bloquear el campo eléctrico detectable, lo recomendable es utilizar envase plástico o vidrio. Para facilitar la adherencia del sensor al envase.

### **Especificaciones técnicas**

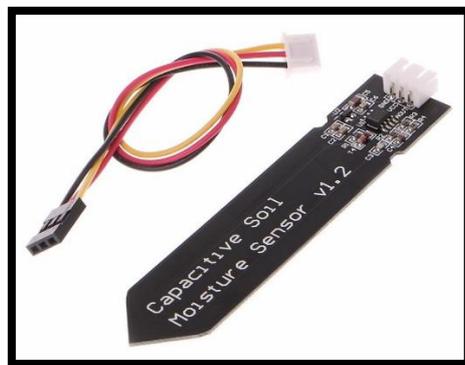
- Voltaje de operación: 5-24VDC
- Consumo de corriente: 5mA
- Voltaje de salida: 0 – Vcc
- Corriente de salida: 1-50mA
- Tiempo de respuesta: 500ms
- Temperatura de funcionamiento: 0 - 100°C
- Rango de censado: 0 - 15mm
- Humedad de funcionamiento: 5% - 100%
- Material externo: Plástico ABS

- Dimensiones: D28 x L16.9mm
- Protección: IP67
- Conexiones:
  - Marrón: Positivo (5-24VDC)
  - Amarillo: Out (salida de señal)
  - Negro: Sentido de salida. Conectar a Vcc o deje sin conectar para salida "Vcc" cuando detecte líquido, conectar a Tierra ó 0V para salida "Gnd" cuando detecte líquido.
  - Azul: GND (Tierra, 0V)

### 1.5.2 Sensor de humedad absoluta

#### Capacitivo

Este tipo de sensor capacitivo calcula el nivel de humedad del suelo, está elaborado en un material invulnerable a la corrosión, lo que admite un moderado largo tiempo de vida del producto.



**Figura. 1.7. Sensor capacitivo de humedad de suelo**

**Fuente: (MaxElectrónica, 2017)**

Incluye un regulador de voltaje con rango (3.3-5) V lo que le permite usarse con microcontroladores con niveles lógicos de 3.3V y 5V tipo Arduino.

- Voltaje operativo: 3.3 - 5.5V DC
- Voltaje de salida: 0 - 3V DC
- Dimensiones: 98x23mm
- Peso: 15g

### Resistivo

Este tipo de sensor de humedad se utiliza para identificar la humedad del suelo o si existe agua en torno al sensor, basta con incrustar en el suelo y el sensor comenzará a medir. Maneja las dos sondas para transitar corriente a través del suelo, y luego se lee la tenacidad para obtener el nivel de humedad. Más agua hace que el suelo transfiera la electricidad con mayor facilidad (menos resistencia), mientras que el suelo áspero es un mal director de la electricidad (más resistencia). (Neiva, 2018)

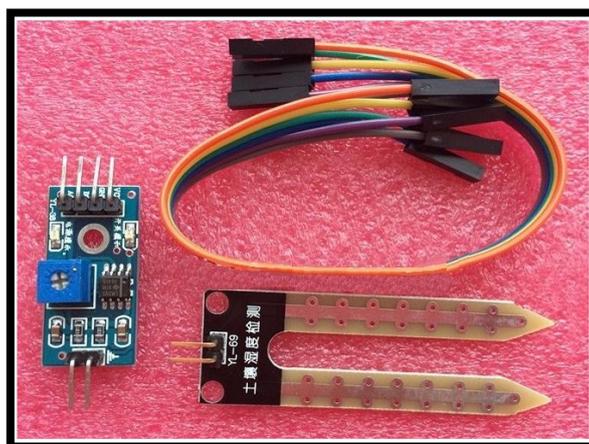


Figura. 1.8. Sensor resistivo de humedad absoluta

Fuente: (Sensorstecnics, 2018)

### 1.5.3 Sensor de humedad relativa

Un sensor de humedad es un conector que mide la saturación relativa en un área dada. el sensor de humedad puede ser manejado en interiores y en exteriores. Los sensores de humedad están utilizables en diferentes representaciones como son analógicas y digitales. (Neiva, 2018)

## **Analógicos**

El sensor analógico de humedad calcula la humedad del aire relativo utilizando un sistema establecido en un elemento llamado condensador. El mencionado sensor está elaborado de una película ordinariamente de vidrio o de material cerámico. Este material tipo aislante tienen como objetivo absorber el agua, está diseñado de un material llamado polímero que toma y libera el agua tomando como base la humedad relativa de la zona establecida. De esta manera cambia el nivel de carga en el elemento capacitivo del circuito eléctrico. (Guaño Costales, 2011)

## **Digitales**

Este sensor digital funciona a mediante dos micro-sensores que miden la saturación referente de la línea dada. Se convierten pronto en el formato digital mediante un proceso de evolución analógico a la digital que se elabora mediante un chip colocado sobre el propio circuito.

### **1.5.4 Sensor de temperatura**

El sensor de temperatura es un dispositivo que se encarga de recoger la temperatura y la humedad exterior y transforma en una señal digital o electrónica que remite a una placa electrónica o a una placa Arduino. Concurren diferentes tipologías de sensores y para diferentes ámbitos. Poseemos desde sensores de temperatura para estudiantes los cuales se pueden conseguir a un precio cómodo hasta sensores de temperatura competitivos que tienen un precio muy elevado. (Banzi, 2018)

### **Tipos de sensores compatibles con Arduino**

Algunos de estos sensores son famosos y conocidos que se los puede encontrar disponibles en diferentes electrónicas o también se las puede encontrar en tiendas online por un cómodo precio. Este tipo de sensores no son los únicos pero sí que son los más conocidos

por la plataforma Arduino, lo que garantiza tener amplio sustentáculo de cada uno de estos sensor de temperatura. (Garcia, 2019)

### **Sensor de temperatura MLX90614ESF**

Este sensor de temperatura utiliza la luz infrarroja para medir la temperatura. Este tipo de sensor necesita tener un campo de visión de 90°, la temperatura media que tome lo transmitirá a través de una indicación de 10 bits a la placa Arduino. (Garcia, 2019)

### **Sensor Thermocouple Type-k**

Es un sensor para uso profesional que soporta altas temperaturas. Su constitución es muy sencilla ya que solo son un par de cables de material metálico que han sido soldados a un convertidor en el cual emite la señal al módulo Arduino. El sistema hace que el Sensor pueda soportar temperaturas de entre -200° C y 1350°C aproximadamente, el sensor diseñado para proyectos altamente profesionales como son las calderas. (Garcia, 2019)

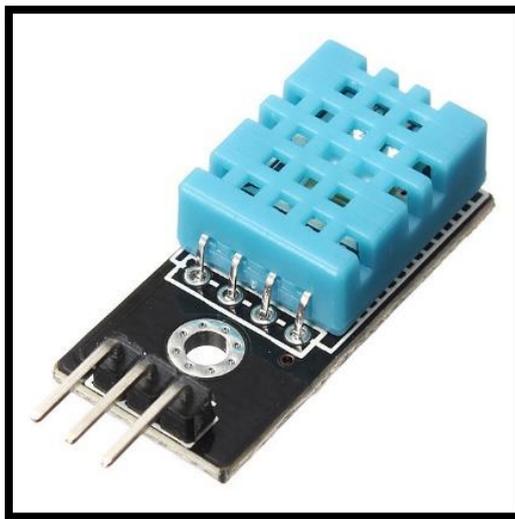
### **Sensor temperatura Arduino DHT11**

Es un sensor de temperatura y humedad relativa y tiene un bajo costo. Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, muestra los datos a través de una señal digital que envía el pin de datos. Es muy fácil de usar, pero necesita una sincronización muy cuidadosa para receptar estos datos. El inconveniente del sensor es que cada 2 segundos puede tomar nuevos datos, las lecturas se pueden realizar mínimo cada 2 segundos.

#### **Características**

- Precisión de medición de temperatura:  $\pm 2.0$  °C .
- Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH.
- Tiempo de sensado: 1 seg.

- Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C
- Resolución Humedad: 1% RH
- Resolución Temperatura: 0.1°C
- Alimentación:  $3Vdc \leq Vcc \leq 5Vdc$
- Precisión de medición de humedad: 4% RH.



**Figura. 1.9. Sensor de temperatura DHT11**

**Fuente: (Megatrónica, 2019)**

## **1.6 Microchip technology RN2483 módulo transceptor LoRa**

### **1.6.1 Definición**

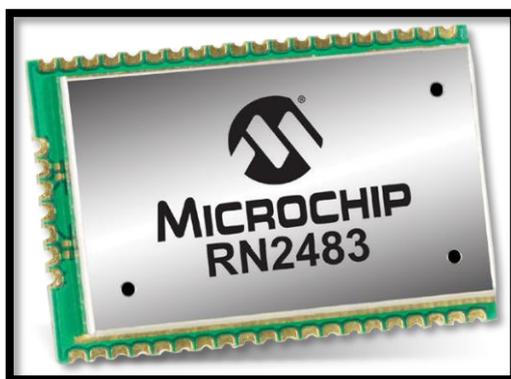
El módulo proporciona una solución fácil de usar y de baja potencia para la transmisión inalámbrica de datos de largo alcance. El RN2483 es un módulo totalmente certificado de 433MHz / 868MHz basado en la tecnología inalámbrica LoRaWAN™. El módulo RN2483 utiliza una modulación de espectro ensanchado único dentro de las bandas de sub-GHz para permitir un largo alcance, baja potencia y alta capacidad de red. (Microchip, 2019)

## Espectro ensanchado

Es una técnica utilizada para transmitir señales de radio o telecomunicaciones. El término se refiere a la práctica de extender la señal transmitida para ocupar el espectro de frecuencia disponible para la transmisión.

Las ventajas del espectro ensanchado incluyen la reducción del ruido, la seguridad y la resistencia a interferencias e interceptaciones.

Una forma en la que se implementa el espectro ensanchado es a través de saltos de frecuencia, una técnica en la que una señal se transmite en ráfagas cortas o saltos entre frecuencias en una secuencia pseudoaleatoria. Tanto el dispositivo transmisor como el receptor deben conocer la secuencia de frecuencias.



**Figura. 1.10. MICROCHIP RN2483**

**Fuente: (MICROCHIP, 2017)**

El protocolo LoRaWAN Clase A integrado del módulo RN2483 permite una conectividad perfecta a cualquier infraestructura de red compatible con LoRaWAN, ya sea pública o privada. El módulo está diseñado específicamente para facilitar su uso, lo que acorta el tiempo de desarrollo y acelera el tiempo de comercialización. La tecnología LoRa es ideal para sensores que funcionan con baterías y aplicaciones de baja potencia como Internet de las cosas (IoT), máquina a máquina (M2M), ciudad inteligente, redes de sensores, automatización industrial y más. El módulo transceptor LoRa RN2483 está certificado según

la especificación LoRaWAN 1.0, lo que garantiza que los diseñadores puedan integrar rápida y fácilmente sus dispositivos finales en cualquier red LoRaWAN. (Microchip, 2019)

### 1.6.2 Características

- Pila de protocolos LoRaWAN Clase A integrada
- Opera en bandas de 433MHz y 868MHz
- El interfaz de comando ASCII sobre UART
- Factor de forma compacto de 17.8 mm x 26.7 mm x 3 mm
- Protocolo integrado LoRaWAN Clase A
- Almohadillas SMT con casquillo para un montaje en PCB fácil y confiable
- Actualización del firmware del dispositivo (DFU) sobre UART
- 14 GPIO para control, estado y ADC
- Los módulos integrados incluyen:
  - MCU
  - Cristal
  - EEPROM serial de identidad de nodo EUI-64
  - Transceptor de radio con un frontal analógico
- Son respetuoso con el medio ambiente, cumple con RoHS
- Directiva Europea de R & TTE Módulo de Radio Evaluado

## 1.7 Microcontrolador ESP32

### 1.7.1 Definición

El ESP-WROOM-32 es un potente módulo que integra Wi-Fi y Bluetooth, ideal para desarrollar productos de IoT. La integración de Bluetooth, Bluetooth LE y Wi-Fi permite una amplia gama de aplicaciones, el uso de Wi-Fi permite una comunicación de mediano alcance y conectarse a una red LAN y a través de un Router conexión a Internet, mientras que el Bluetooth nos permite conectarse directamente a otro dispositivo como un celular. (Trujillo & Villavicencio Velastegui, 2016)

La corriente de reposo del chip ESP32 es inferior a 5  $\mu\text{A}$ , por lo que es adecuado para aplicaciones de electrónica portátiles con batería.

En el núcleo de este módulo está el chip ESP32-D0WDQ6. El chip integrado está diseñado para ser escalable y adaptado. Hay dos núcleos de CPU que se pueden controlar individualmente, y la frecuencia del reloj es ajustable de 80 MHz a 240 MHz. El usuario también puede apagar el CPU y utilizar el co-procesador de baja potencia para supervisar constantemente los periféricos para detectar cambios de estado. (Trujillo & Villavicencio Velastegui, 2016)

ESP32 integra un amplio conjunto de periféricos como sensores táctiles capacitivos, sensores Hall, amplificadores de bajo nivel de ruido, interfaz para SD, Ethernet, SPI, UART, I2S e I2C



Figura. 1.11. ESPRESSIF ESP32-WROOM-32D

Fuente: (PDAControl, 2019)

### 1.7.2 Especificaciones técnicas

- Voltaje de Alimentación: 3.3V DC (2.7~ 3.6V)
- Corriente de Operación: ~80mA (fuente superior a 500mA)
- Voltaje lógico (Entradas/Salidas): 3.3V

- 
- SoC: ESP32 (ESP32-D0WDQ6)
  - CPU: Dual core Tensilica LX6 (32 bit)
  - Frecuencia de Reloj: 240MHz
  - SRAM: 520KB
  - Memoria Flash Externa: 4MB
  - Pines Digitales GPIO: 34 (incluyendo todos los periféricos)
  - UART: 2
  - SPI:3
  - I2C:2
  - Capacitive touch sensors: 10
  - interfaz SD
  - Timers: 3 (16-bit)
  - PWM Led:16 canales independientes (16-bits)
  - ADC: 2 (12-bit)
  - DAC: 2 (8-bit)
  - Wi-Fi, Protocolo 802.11 b/g/n/e/i (802.11n up to 150 Mbps)
  - Wi-Fi, certificación RF: FCC/CE/IC/TELEC/KCC/SRRC/NCC
  - Wi-Fi, rango de Frecuencia: 2.4 ~ 2.5 GHz
  - Wi-Fi mode Station/SoftAP/SoftAP+Station/P2P
  - Wi-Fi Security WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS
  - Network protocols IPv4, IPv6, SSL, TCP/UDP/HTTP/FTP/MQTT
  - Bluetooth, Protocolos: V4.2 BR/EDR and BLE specification
  - Bluetooth, Radios: NZIF receiver with -97 dBm sensitivity, Class-1, class-2 and class-3 transmitter, AFH
  - Bluetooth, Audio: CVSD and SBC
  - Stack de Protocolo TCP/IP integrado
  - Tamaño  $18\pm 0.2$  mm x  $25.5\pm 0.2$  mm x  $3.1\pm 0.15$  mm

### 1.7.3 Diagrama de bloques de funciones

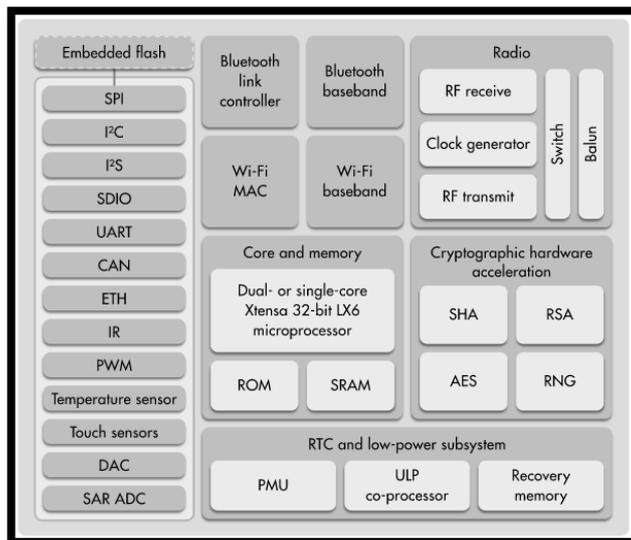


Figura. 1.12. Diagrama de bloques de funciones del ESP32

Fuente: (PDAControl, 2019)

### Diseño resistente

El ESP32 funciona de manera más confiable en el área industrial, con una temperatura de trabajo que oscila desde  $-40^{\circ}\text{C}$  y  $+125^{\circ}\text{C}$ . Es alimentado por algunos circuitos avanzados de alimentación, el ESP32 puede eliminar activamente las fallas de los circuitos externos y se adaptan a los cambios en contextos externamente. (PDAControl, 2017)

### Consumo de energía ultra bajo

Es diseñado especialmente para módulos móviles, y también para dispositivos electrónicos los cuales son portables y para aplicaciones IoT, el ESP32 consigue un consumo bajo de energía con una composición de algunos tipos de *software* patentados. El ESP32 incluye diferentes tipologías de vanguardia, tales como la activación de reloj, también cuenta con varios modales de fuerza y escala de potencia dinámica. (Marzal Felici, 2016)

## Tiene un alto nivel de integración

El ESP32 está altamente integrado con varios interruptores de antena asociados, balun RF, un amplificador de potencia, amplificador para recepción de con bajas interferencias, tiene filtros y módulos para administrar la energía. El ESP32 tiene funcionalidad invaluable y ligereza a sus aplicaciones con algunos requisitos pequeños para la placa de circuito impreso. (Cuevas Jimenez, 2019)

## Wi-Fi híbrido y chip Bluetooth

ESP32 puede funcionar como un sistema independiente completo o como un dispositivo esclavo, reduciendo la sobrecarga de la pila de comunicación en el procesador de la aplicación principal. ESP32 puede interactuar con otros sistemas para proporcionar funcionalidad Wi-Fi y Bluetooth a través de sus interfaces; SPI / SDIO o I2C / UART. (Arduino, 2016)

## 1.8 Batería de polímero de litio

Como tercera generación de batería de polímero de litio. Estas baterías utilizan una capa mejorada de embalaje al vacío de papel de aluminio, buen rendimiento de sellado, no se puede dañar la deformación de flexión adecuada.



Figura. 1.13. Batería recargable de polímetro de litio

Fuente: (Global Source, 2019)

### 1.8.1 Características

- Tamaño de la batería: 27mm de largo 70mm de ancho 4mm de espesor
- Voltaje estándar 3.7V
- Temperatura de almacenamiento (-20~35)
- Peso aproximado: 6g
- Temperatura de carga (0~45)
- Capacidad estándar: 900miliamperios
- Temperatura de descarga (-20~60)

## 1.9 Alarma auditiva

### 1.9.1 Definición

Es un dispositivo de seguridad utilizado para alertar la presencia de cualquier situación de riesgo o peligro que se produzca en una vivienda o negocio a través de un sonido, en ocasiones sirve para alertar a la policía, bomberos o asistencia médica, según sea la emergencia ocasional.



**Figura. 1.14. Alarma auditiva**

**Fuente: (Makerlab Electronics, 2015)**

### 1.9.2 Características

- Diámetro despertador: 29 mm / 1.14"
- Altura despertadora: 15 mm / 0.59"
- 2 agujeros de 40 mm / 1.57"
- 2 alambres de 105 mm / 4.13"
- Tensión nominal: 12v
- Voltaje de operaciones: 3-24v
- Corriente calculada (máximo): 20ma
- Salida sana de un minuto en 10 cm: 95 db
- Frecuencia resonante:  $3100 \pm 500$
- Temperatura de funcionamiento:  $-20 \sim +80$  °C
- Sonido intermitente
- Orificios de montaje

### 1.10 Energía solar

La energía solar se basa en el aprovechamiento de la radiación que proviene del Sol. La energía solar es un tipo de energía cambiante. La energía del sol es tan abundante que se considera inagotable. El Sol tiene más de 5 mil millones de años de existencia presentando radiación solar y se dice que un no ha llegado al 50% de su presencia. (Hypernet, 2019)

Además de ser inagotable es abundante: el conjunto de energía que tiene el Sol vertiendo todos los días sobre el planeta Tierra es 10 mil veces más grande que lo que normalmente se consume en el día en todo el mundo. Los rayos recibidos se distribuyen de una manera no tan uniforme sobre todo el planeta tierra, lo que disminuye aprovechar al máximo la energía solar. (Muñoz Vizhñay, 2013)

#### 1.10.1 Tipos de energía solar

Actualmente existen fundamentalmente 3 maneras para receptar la energía solar.

### **1.10.2 Energía solar pasiva**

La energía solar pasiva consiste en aprovechar el aporte directo de la radiación solar. Aplicada en el caso de un hogar que es lo que nos interesa hoy implica un diseño arquitectónico especial para maximizar el aprovechamiento energético. (Roigsat, 2018)

Los elementos más importantes son: fachadas dobles, orientación hacia el sur y superficies vidriadas, entre otros. Se obtiene iluminación y calefacción de forma sostenible y generando un importante ahorro energético. La energía solar pasiva o bioclimática no utiliza elementos mecánicos extras para su producción (como podrían ser los paneles solares), sino que se basa en el diseño, en los materiales de la construcción, y en el aprovechamiento de los recursos naturales (energía solar, viento). (Herrera, 2015)

### **1.10.3 Energía solar térmica**

La energía térmica solar consiste en el aprovechamiento de la energía solar para producir con calor. Una vez que tenemos el calor, ya podemos aprovecharlo para todo lo que nos pueda interesar. Por ejemplo, se puede usar para cocinar, producir agua caliente o calefacción. Incluso es posible transformar este calor en energía mecánica y a través de esto obtener energía eléctrica. (Juarez, 2019)

En definitiva, tiene una variedad de usos que permiten el ahorro de una cantidad de recursos y que a su vez se tiene en cuenta que es una energía que no produce contaminación.

### **1.10.4 Energía solar fotovoltaica**

Consiste en la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica. Este tipo de energía, también se la denomina directamente energía fotovoltaica.

Esta transformación en energía eléctrica se consigue aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores mediante las células fotovoltaicas. El material base para la fabricación de paneles fotovoltaicos suele ser el silicio. Cuando la luz del Sol incide en una

de las caras de la célula solar genera una corriente. Esta electricidad generada se puede aprovechar como fuente de energía (Losniger, 2017)

### 1.11 Panel solar

Los paneles solares o módulos solares son dispositivos diseñados para captar la radiación electromagnética proveniente del Sol, para su posterior aprovechamiento y transformación en diversas formas de energía útil, como son la energía térmica (obtenida a través de colectores solares) y la energía eléctrica (obtenida a través de paneles fotovoltaicos). (Hypernet, 2019)



**Figura. 1.15. Panel solar**

**Fuente: (MrWatt, 2019)**

#### 1.11.1 Funcionamiento

Los paneles solares absorben la radiación del Sol gracias al conjunto de cristales de material semiconductor que las componen: silicio cristalino o arseniuro de galio, y que al estar conectados responden al efecto fotovoltaico, según el cual cierta materia puede emitir electrones al ser bombardeada con radiación electromagnética (generalmente luz visible o luz ultravioleta).

Estos materiales reciben la luz solar y generan un campo eléctrico, que luego es reconducido a través de cables y transmisores hasta dispositivos de almacenamiento. Así,

las estructuras de los paneles de metal inoxidable se hallan constantemente expuestas a la luz solar, captando constantemente la energía térmica y/o lumínica de la radiación solar.

## **1.12 Sistema HMI**

### **1.12.1 Definición**

Es conocida como una Interfaz Humano Máquina, la abreviatura de este se debe a su nombre que en inglés: Human-Machine Interface.

Se dice que es una interfaz entre el proceso y los operarios en una industria, en una línea de fabricación, en una empresa o en cualquier lugar donde se necesite ser operada por un humano. Es un panel donde el operario puede manipular y controlar el proceso.

Es una herramienta principal que manejan los obreros y supervisores para realizar trabajos coordinados y también para controlar el proceso de fabricación. El HMI convierte variables de un proceso complejo a una información más fácil y manejable. (Mier, 2019)

### **1.12.2 Funcionamiento**

La principal función de las pantallas HMI es mostrar información en tiempo real, proporciona gráficos visuales y asimilables donde aportan un significado y un detalle sobre el estado de la maquinaria, los elementos que la conforman son: Válvulas, nivel de líquidos y otros parámetros de un proceso.

Se dice que suministran la información operativa de un proceso y permiten monitorear y controlar los productos y también generan información del proceso. En palabras más cortas el sistema HMI es: operar y observar.

La conquista de este producto depende de varios elementos, por ejemplo: precio de comercialización, confiabilidad y el tiempo de vida. Asimismo, depende de la capacidad de manipulación y facilidad para ser usado, es decir, mientras más fácil para operar, mucho

mejor. Sería bueno que la HMI se puede expresar automáticamente por sí misma sin tener la necesidad de capacitar al obrero. (Mier, 2019)

## 1.13 Nextion 3.2

### 1.13.1 Definición

La pantalla Nextion es una interacción de interfaz hombre-máquina (HMI) que genera una interfaz de control y monitoreo entre un humano y el proceso en acción. La pantalla Nextion se utiliza principalmente a IoT o al campo de la electrónica.

La pantalla inteligente táctil LCD 3.2" Nextion NX4024T032 es la mejor solución para reemplazar el LCD tradicional. Parte de *hardware* es de la serie de placas de TFT y parte de *software* de Nextion. Utiliza un único puerto serie para hacer la comunicación. Le permiten deshacerse de los problemas de cableado. Es fácil de adaptar a proyectos existentes. Es un operador poderoso de 3.2". (Electronics Ipower, 2019)

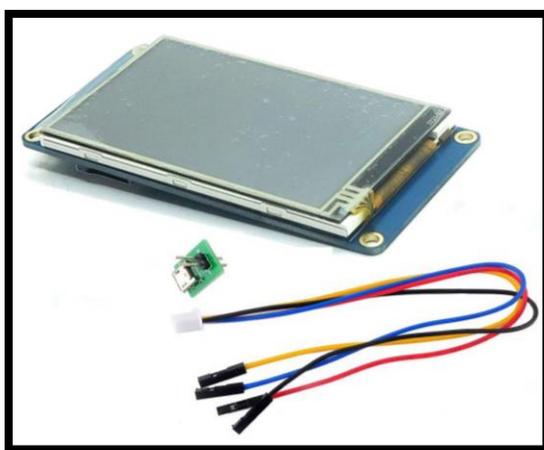


Figura. 1.16. Pantalla HMI Nextion 3.2

Fuente: (Nextion, 2019)

### 1.13.2 Características

- Resolución 400 x 240
- Pantalla TFT con panel táctil resistivo integrado de 4 hilos

- Interfaz fácil de 4 pines para cualquier host serie TTL
- Memoria Flash 4M para Código de Aplicación de Usuario y Datos
- Tarjeta micro-SD a bordo para actualización de firmware
- Área visual: 69.60 mm (L) × 41.76 mm (W)
- Brillo ajustable: 0 ~ 230 nit, el intervalo de ajuste es 1%
- RGB 65K fiel a los colores de la vida
- 5 voltios 85ma consumo de energía

### 1.14 Software Proteus Professional versión 8.8

Proteus Professional es una aplicación de *software* para el diseño automático de los circuitos electrónicos. simulación de circuitos Proteus de un sistema basado en el modelo de los componentes eléctricos. Mientras que una de las características distintivas de Proteus permite el modelado de dispositivos programables tales como microcontroladores, microprocesadores, DSP y otros. Sin embargo el programa incluye modelos especializados de la mayoría de componentes electrónicos para la simulación. (Salazar Espinosa, 2019)



Figura. 1.17. Software Proteus Professional versión 8.8

Fuente: (Supermavster, 2019)

### 1.15 Software de programación Arduino

Es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en *hardware* y *software* libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores.

Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso. (Varas, 2018)

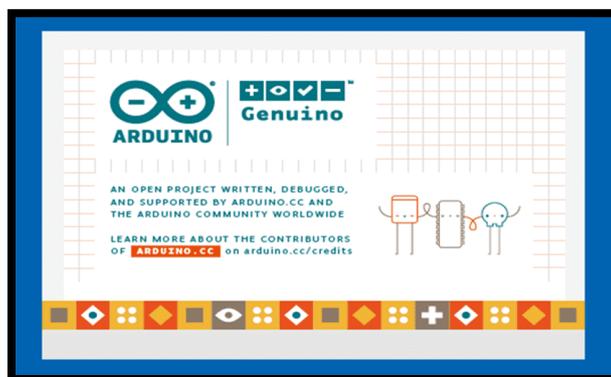


Figura. 1.18. Software Arduino

Fuente: (El autor)

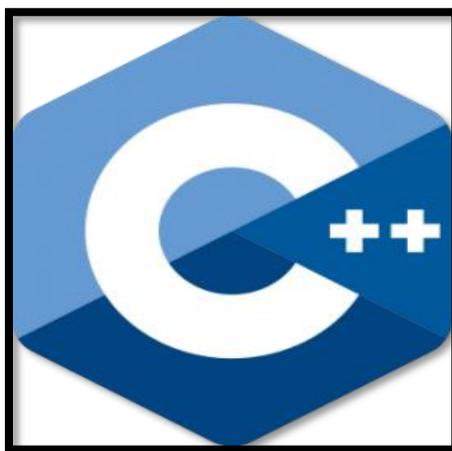
El entorno de desarrollo integrado también llamado IDE (sigla en inglés de Integrated Development Environment), es un programa informático compuesto por un conjunto de herramientas de programación. Puede dedicarse en exclusiva a un solo lenguaje de programación o bien puede utilizarse para varios lenguajes. (Monzon Abarca, 2017)

Un IDE es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación; es decir, que consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI). Además, en el caso de Arduino incorpora las herramientas para cargar el programa ya compilado en la memoria flash del *hardware*. (Monzon Abarca, 2017)

### 1.16 Lenguaje de programación “C++”

El lenguaje de programación basado en C++ es muy fácil comprenderlo porque consiente en una entrada sencilla a los programadores que inician en este mundo de la programación y a su vez con una capacidad súper grande, los programadores con más experiencia pueden dar un buen uso a su gran potencial del lenguaje y acoplarlo a diferentes situaciones.

Hoy en día, C++ es un lenguaje variable, potente y usual. Su gran acogida de los programadores le ha generado un primer lugar como instrumento de desarrollo de aplicaciones, como puede ser en Windows o también Linux. (Blanchard, 2013)



**Figura. 1.19. Lenguaje de programación C++**

**Fuente: (Bjarne Stroustrup, 1979)**

El lenguaje C++ de programación está diseñado a entre los años 80 por Bjarne Stroustrup. El propósito de sus inicios fue el extender el lenguaje de programación C con algunos mecanismos que nos permita manipular las cosas. En un sentido, desde un punto de vista de algunos lenguajes orientados a cosas, el lenguaje C++ es híbrido. Subsiguientemente se agregaron facilidades para programar, luego se sumó a los otros 2 paradigmas que ya se encontraban admitidos. Por consecuencia se puede decir que el lenguaje C++ es una programación multiparadigma. (Blanchard, 2013).

## **CAPITULO 2**

### **MARCO METODOLÓGICO**

En este capítulo se trazan los aspectos metodológicos y prácticos que se utilizaron tanto en la implementación de un sistema de monitoreo y control automático de riego para invernaderos mediante tecnología LoRa con ESP32. Haciendo uso de tecnología LoRa para la comunicación.

#### **2.1 Métodos utilizados**

De acuerdo con Velázquez (Velázquez, 2016), “la investigación es aquella que selecciona y analiza aquellos escritos que contienen datos de interés relacionados con el estudio, utilizada en encontrar mecanismos y estrategias que permitan el cumplimiento del objetivo”.

También menciona Hernández (Hernández, 2014), menciona “la revisión bibliográfica es el método donde se selecciona el diseño de investigación adecuado, realizando un buen análisis el cual representa una herramienta que permite hacer inferencias significativas respecto de los resultados obtenidos y por último, llegar a conclusiones objetivas”, por lo que para el desarrollo del proyecto fue necesario buscar información en distintas fuentes que permitieron conocer aspectos técnicos e información general de los diferentes elementos utilizados, comprendiendo la problemática actual.

Al desarrollar la parte escrita del proyecto, se utilizaron técnicas de revisión de texto, analizando el uso frecuente de palabras para una mejor redacción.

### **2.1.1 Fundamentación teórica**

Lo define Hurtado (Hurtado, 2008), menciona toda investigación, independientemente de su tipo, requiere de una fundamentación que permita hacer explícitas sus bases teóricas y conceptuales. La fundamentación teórico conceptual implica el desarrollo organizado y sistemático del conjunto de ideas, conceptos, antecedentes y teorías que permiten sustentar la investigación y comprender la perspectiva o enfoque desde el cual el investigador parte, y a través del cual interpreta sus resultados.

Se emplea la técnica de revisión bibliográfica y por internet, con el objetivo de entender el trabajo de cada uno de los elementos a utilizar en el presente proyecto.

### **2.1.2 Marco metodológico**

Según la definición Arias (Arias, 2006) menciona que el marco metodológico es el “Conjunto de gestiones, técnicas e instrucciones que se emplean para formular y solucionar dificultades”. El método normalmente se basa en la formulación de la hipótesis las cuales logran ser demostradas o descartadas por algunos medios de exploraciones coherentes al problema.

Tamayo (Tamayo, 2003) menciona que el marco metodológico es “Un asunto que, a través del método científico, encamina obtener información notable para deducir, verificar, corregir y también aplicar el conocimiento”, mencionado conocimiento es adquirido para pertenecer con las hipótesis mostradas ante los problemas definidos.

En este capítulo se utilizó el método empírico de revisión de documentos, consultando conceptos y criterios de varias fuentes bibliográficas. Además, se usó el método de recolección al clasificar la información más útil para el desarrollo del proyecto.

### 2.1.3 Propuesta

Francis Bacon (Bacon, 1561-1626) fue uno de los primeros que trazó un nuevo método para obtener instrucciones; afirma que los pensadores no debían esclavizarse aceptando como verdades absolutas las premisas dadas por las autoridades en la materia. En opinión, el estudioso tenía que establecer conclusiones generales, establecer en hechos reales recopilados a través del análisis directa. Bacon sugiere observar directamente a la naturaleza, apartar los prejuicios e opiniones adquiridas que se denominan ídolos. Según Bacon, para conseguir conocimiento es necesario visualizar la naturaleza, conseguir datos particulares y hacer divulgaciones a partir de ellos.

Se usó el método de investigación inductivo para determinar el funcionamiento y factibilidad de utilización de los dispositivos electrónicos que integran el sistema de sistema de monitoreo y control automático de riego para invernaderos mediante tecnología LoRa con ESP32, por medio del análisis de los recursos, costos y tiempo.

### 2.1.4 Implementación

Se utiliza el método experimental, al construir el *hardware* que contendrá la parte electrónica, que juntamente con el *software* programado, proveerá el funcionamiento del sistema de monitoreo y control automático de riego para invernaderos propuesto. Después de analizar el área interna del invernadero se procede con la instalación de los módulos esclavos, cada uno de ellos con los sensores respectivos y también con su propia fuente de alimentación que a través de los rayos solares receptados permite cargar a la batería, la cual tiene una autonomía de 20 horas sin recibir los rayos solares. A diferencia de los módulos esclavos el módulo máster depende de una fuente de alimentación y es el delegado de recibir las señales, las interpreta y realiza el proceso de acuerdo a la programación, envía activar la bomba y las electroválvulas en caso de ser necesario y que se encuentre dentro de los parámetros programados, caso contrario no realiza ninguna acción.

## **CAPITULO 3**

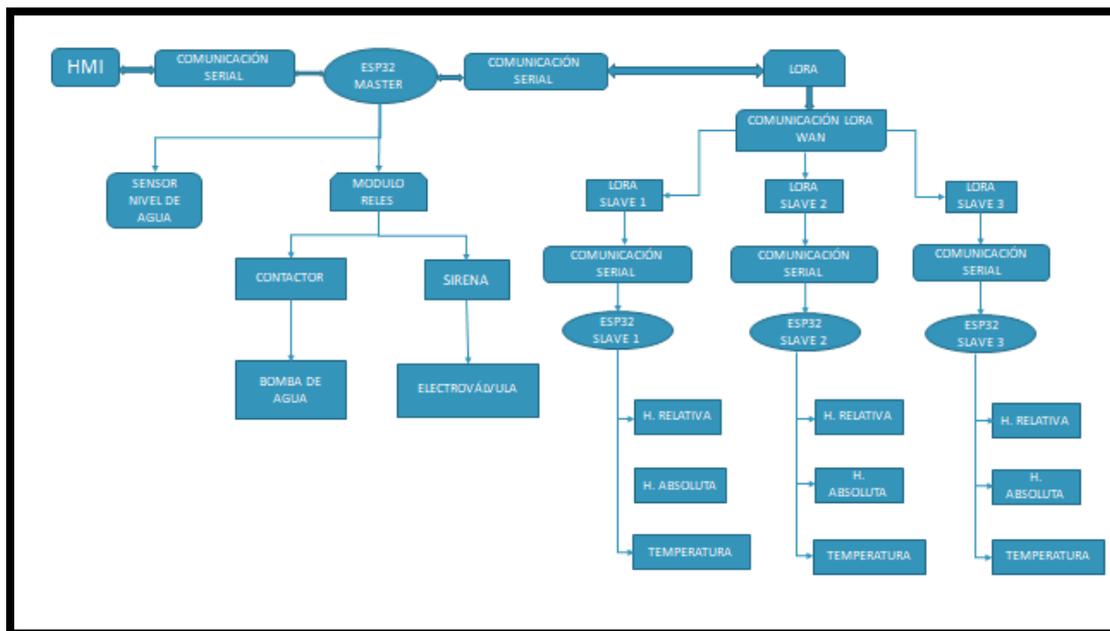
### **PROPUESTA**

Este capítulo hace referencia a la propuesta de desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo y control automático de riego para invernaderos; mediante tecnología LoRa con ESP32; utilizando un sensor de humedad de suelo que permite monitorear y detectar la humedad del suelo interno del invernadero, un sensor para detectar la humedad del ambiente el mismo que nos detecta la temperatura, nos ayuda para monitorear el ambiente interno del invernadero, un sensor de nivel de agua el objetivo es detectar cuando el nivel este por debajo de los límites y evitar que la bomba se active y trabaje sin agua, la tecnología LoRa envía datos desde los módulos transmisores al módulo máster el cual es el encargado de controlar la bomba de agua y las electroválvulas, un sistema HMI para visualizar y monitorear el proceso.

Partiendo de una propuesta de funcionamiento donde se da a conocer la operación, los componentes que conforman el sistema a implementar en conjunto con las etapas de diseño electrónico, programación y pruebas que permitan verificar tanto el funcionamiento como el cumplimiento de los objetivos establecidos para este proyecto.

#### **3.1 Gráfico de funcionamiento del sistema**

Para comprender el funcionamiento del sistema planteado se realiza el diagrama de bloques de funcionamiento que se muestra en la Figura. 3.1, el cual presenta cada uno de los procesos diseñados.



**Figura. 3.1. Diagrama de bloques del funcionamiento**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

### 3.2 Módulos que conforman el funcionamiento del sistema

Para su funcionamiento el sistema cuenta con tres módulos principales los cuales son:

#### 3.2.1 Unidad de control

Está constituida por una placa electrónica que contiene un microcontrolador ESP32 el que realiza la función de cerebro dentro del sistema, una pantalla HMI en la cual se podrá monitorear y controlar el proceso del sistema de riego.

#### 3.2.2 Sensores

El sistema tiene incorporado cuatro tipos de sensores:

Cada módulo esclavo contará con tres tipos de sensores los cuales son: temperatura, humedad relativa y absoluta los mismos que se instalarán adentro del invernadero.

Sensor de humedad absoluta; es el encargado de controlar la humedad del suelo, cada media hora realizará un barrido para monitorear el estado del suelo. Si se encuentra seco, se activará la bomba y las electroválvulas, en caso que el suelo tenga una humedad deseada no realizará ninguna acción.

Sensor de humedad relativa y temperatura; en este caso el mismo sensor realiza las dos funciones a la vez, la información receptada se separa en el microcontrolador, podemos monitorear la temperatura en el interior del invernadero al mismo tiempo estaremos monitoreando la humedad del ambiente.

Sensor de nivel de agua el cual detecta el conjunto de agua mínima para realizar el proceso, en el caso de tener un nivel por debajo de lo necesario no realizará ninguna acción.

### **3.2.3 Dispositivos a controlar**

Tres componentes son activados a través de un actuador eléctrico (relé) desde el módulo máster el cual recibe la orden desde el módulo esclavo que se encuentra instalado en el interior del invernadero.

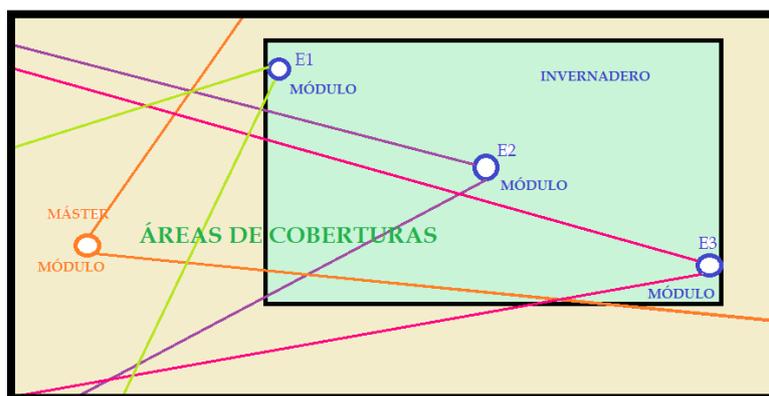
## **3.3 Etapas que constituyen el funcionamiento del sistema**

Dentro del sistema existen tres etapas a ser ejecutadas las cuales son:

- Etapa de censado
- Etapa de comunicación
- Etapa de control

La etapa censada; da lugar a la etapa de los sensores los cuales tienen diferentes funciones como: la de detectar la humedad absoluta, relativa y temperaturas, estos sensores están conectados a un módulo esclavo el cual recibe la señal la interpreta y da lugar a la siguiente etapa.

En la Figura. 3.2, se muestra el área de cobertura de cada módulo que permite la etapa de comunicación; es donde el módulo esclavo recibe e interpreta los valores enviados por los sensores y luego es enviado al módulo máster, la ventaja de la comunicación es la de tener un largo alcance y un bajo consumo el cual se encarga de recibir la información al igual lo interpreta de acuerdo a las configuraciones establecidas para dar lugar a la siguiente etapa.



**Figura. 3.2. Áreas de coberturas**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

La etapa de control actúa inmediatamente; activa la bomba de agua y las electroválvulas de acuerdo a las configuraciones establecidas no siempre va enviar la señal de encendido, dependiendo de qué sensor provenga la información se ejecutarán acciones programadas.

### **3.4 Descripción de las etapas del sistema**

A continuación, se detallan los componentes y procesos a seguir para la ejecución de las etapas que conforman el funcionamiento del sistema.

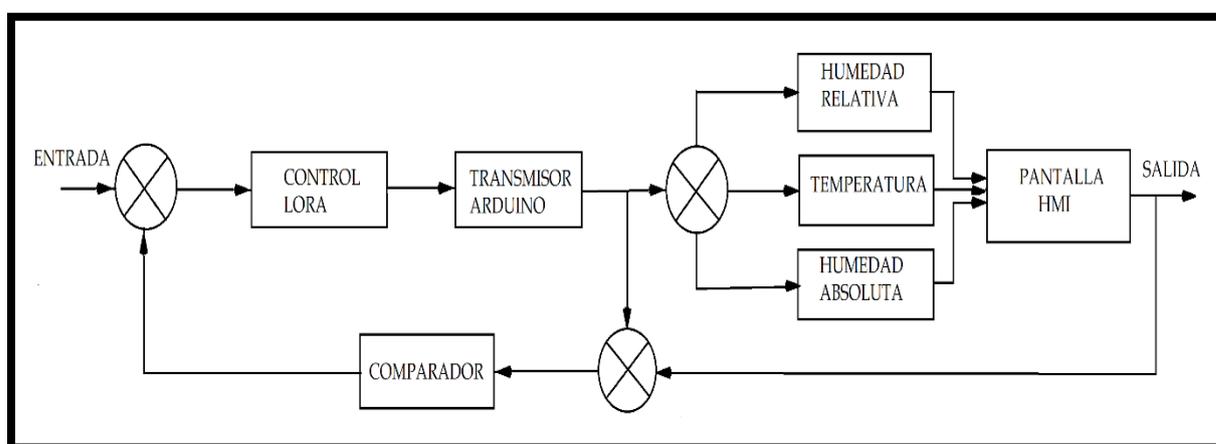
#### **3.4.1 Monitoreo**

El monitoreo del sistema se realiza mediante la lectura (barrido) de los sensores cada hora, cuyos datos son visualizados mediante la pantalla HMI incorporada en la unidad de

control, por medio de la cual también es posible visualizar el estado de cada uno de los sensores.

### 3.4.2 Control

La unidad de control realiza las acciones programadas para ser ejecutadas después de que algún sensor se active y envíe la señal de realización de una acción. En la Figura. 3.3, se observa el diseño del sistema de control.



**Figura. 3.3. Diseño sistema de control**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

En el caso de que se detecte la humedad por debajo de lo establecido, la unidad de control activa un relé en el cual se encuentra conectado la electroválvula y la bomba de agua, cuya función es encender a la bomba de agua y activar las electroválvulas dando paso a el agua, al mismo tiempo se puede observar en la pantalla HMI la acción en proceso.

### Módulo de actuadores

La función de este módulo es; activar dispositivos tales como una alarma auditiva, una alarma visual en la pantalla HMI, bomba de agua y dos electroválvulas.

### 3.5 Diseño de circuitos electrónicos

El sistema está compuesto de varios circuitos electrónicos; a continuación, se detalla el diseño de cada uno.

#### 3.5.1 Circuito de fuente de alimentación

En la Figura. 3.4, se puede ver el circuito de alimentación de 3.3 voltios este circuito es para los 4 módulos es el encargado de alimentar a los circuitos integrados.

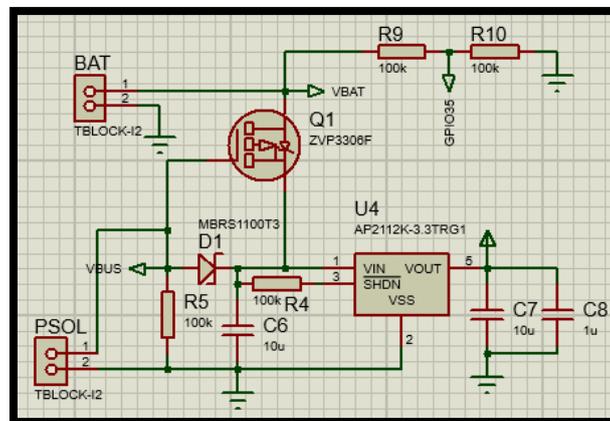


Figura. 3.4. Circuito de alimentación de 3.3 voltios

Fuente: (Elaborado por el autor)

Elementos electrónicos que conforman la fuente de alimentación de 3.3 voltios.

- AP2112K-3.3TRG1.- es un elemento de bajo ruido y de bajo consumo.
- ZVP3306F.- es un mósfet para conmutar si pasa el voltaje de la batería o del panel solar.
- R5.- polariza para el paso del panel solar.
- D1.- diodo rápido, conmuta muy rápido y no pierde energía el circuito.
- R4.- resistencia activo.
- C6.- filtro pasa bajo.
- C7-C8.- filtro de desacople que pide el fabricante.
- R9-R10.- división de tensión para la batería.

$$V_{out} = \frac{V_{BAT} \times R_{10}}{R_9 + R_{10}}$$

Ecuación. 3.1. Tensión para la batería

$$V_{out} = \frac{3.7V \times 100k\Omega}{100k\Omega + 100k\Omega}$$

$$V_{out} = \frac{370V}{200}$$

$$V_{out} = 1.85V$$

En la Figura. 3.5, se puede observar el circuito de carga, el cual es para los módulos esclavos que van en el interior del invernadero, que a través de la presencia de los rayos solares permite recargar a la batería, de esta manera lograr tener activo a todo el circuito de del módulo. El módulo máster no dispone de este circuito ya que va estar conectado siempre a una fuente de alimentación.

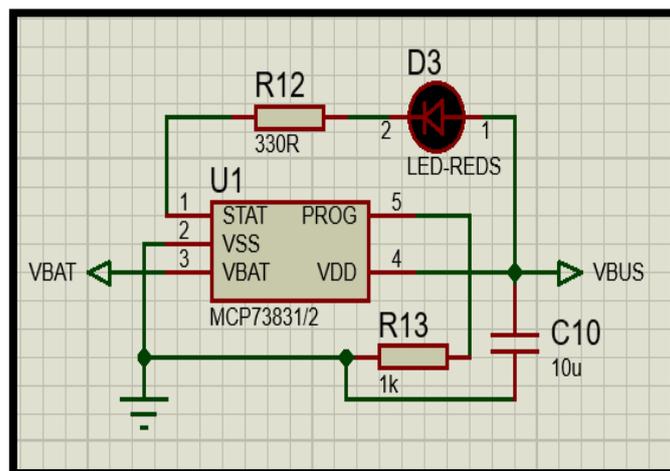


Figura. 3.5. Circuito de carga

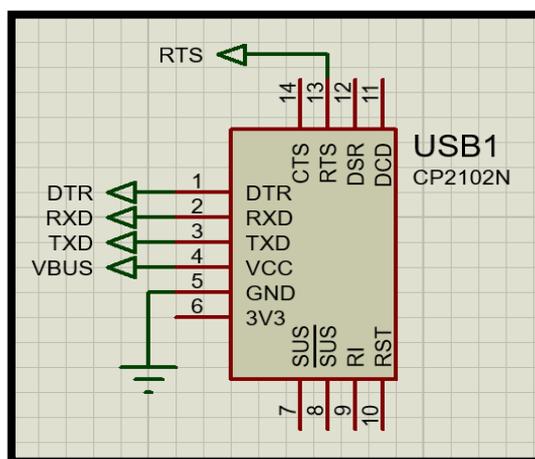
Fuente: (Elaborado por el autor)

El módulo máster tendrá dos tipos de fuentes: Una fuente de alimentación de entrada de 110V alterna y salida de 24V en continua, esta fuente se encarga de activar las electroválvulas mediante una señal enviada por el microcontrolador.

Además, se tendrá otra fuente de alimentación con entrada a 24V y salida de 5V en corriente continua el cual se encarga de mantener activo al módulo máster.

### 3.5.2 Circuito de conexión USB

El circuito mostrado en la Figura. 3.6, es necesario para gestionar la comunicación entre el microcontrolador y la PC, haciendo uso del chip de conversión de bus USB CP2102N para realizar conversiones de USB a interfaz serial. El circuito integrado CP2102N suministra la señal de enlace MODEM común, utilizada para ampliar la interfaz serial asíncrona de la computadora o actualizar el dispositivo serial común al bus USB directamente.



**Figura. 3.6. Circuito de conexión USB**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

### 3.5.3 Circuito de conexión del microcontrolador ESP32

En el diseño electrónico del microcontrolador, se encuentra el circuito integrado ESP32 como se puede apreciar en la Figura. 3.7 el cual está diseñado desarrollado para

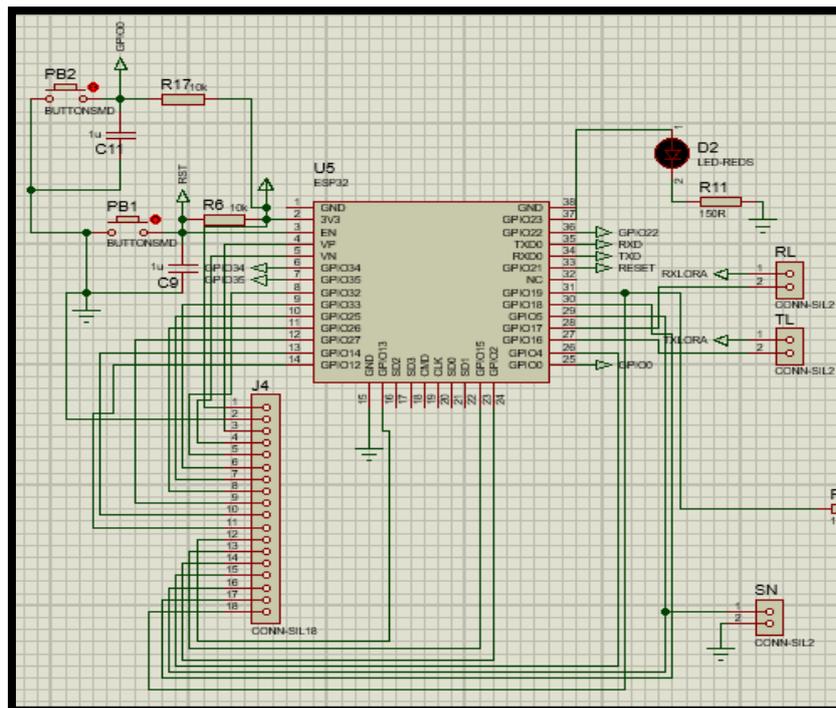
configuración de varias funciones en este caso solo será configurado para la comunicación LoRa.

$$R11 = \frac{(3.3 - 1.7)V}{10mA}$$

**Ecuación. 3.2. Limitador de corriente para LED del microcontrolador**

$$R11 = \frac{(1.6)V}{10mA}$$

$$R11 = 0.16 \approx \textit{normalizado } 150\Omega$$



**Figura. 3.7. Circuito de conexión del microcontrolador ESP32**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

### 3.5.4 Circuito de conexión del RN2483

En la Figura. 3.8, se puede observar la conexión del RN2483, se conecta algunos elementos los cuales son establecidos por el fabricante, se tiene C1 es un capacitor de desacople para evitar tener interferencias en las fuentes de alimentación, tiene que estar lo más cerca posible a la fuente VCC y a GND.

También se tiene una conexión para la antena de 433MHz, que va conectado en el pin 25 tiene identificado como RFL.

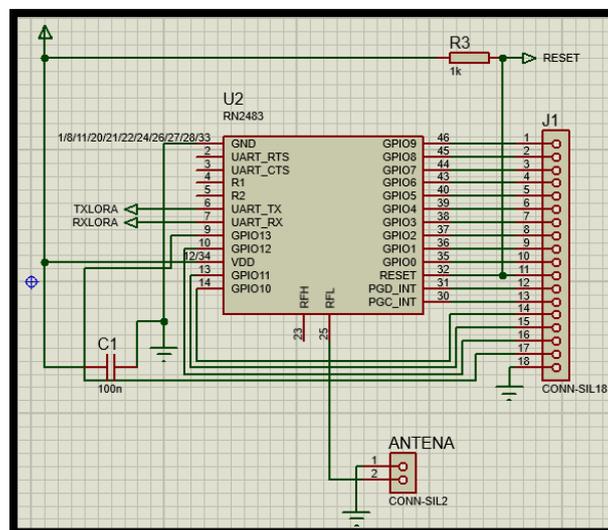
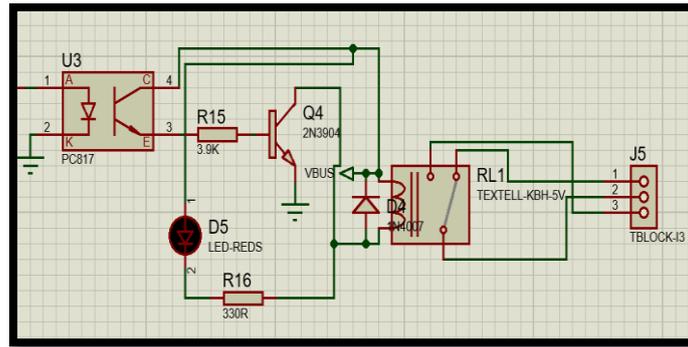


Figura. 3.8. Circuito de conexión del RN2483

Fuente: (Elaborado por el autor)

### 3.5.5 Circuito de activación de actuadores eléctricos

El diseño del circuito mostrado en la Figura. 3.9, está replicado para el relé que conforma el módulo actuador, en donde se utiliza un transistor 2N3904 para activar la bobina del relé, un diodo de protección que se encuentra conectado en paralelo a la bobina y un diodo LED que se enciende al momento en que se activa el relé.



**Figura. 3.9. Circuito de activación de actuador eléctrico**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

Cálculo de resistencias que conforman el circuito de actuadores eléctrico.

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{100mA}{100} = 1mA$$

$$R15 = \frac{(4.4 - 0.6)V}{I_B}$$

**Ecuación. 3.3. Resistencias que conforman el circuito actuador**

$$R15 = \frac{3.8V}{1mA}$$

$$R15 = 3.8k\Omega \approx \text{normalizado: } 3.9k\Omega$$

$$R14 = \frac{(3.3 - 3)V}{20mA} = \frac{0.3V}{20mA} = 15\Omega$$

$$R16 = \frac{(5 - 1.7)V}{10mA} = \frac{3.3V}{10mA} = 330\Omega$$

### 3.6 Programación del microcontrolador

Para la elaboración del código de programación es necesario realizar un diagrama de flujo, que le permiten al código principal ejecutar ciertas instrucciones.

### 3.6.1 Diagrama de flujo de la programación

#### Módulo máster

En la Figura. 3.10, se visualiza el diagrama de flujo del módulo máster que ilustra los procedimientos requeridos para el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo y control automático de riego.

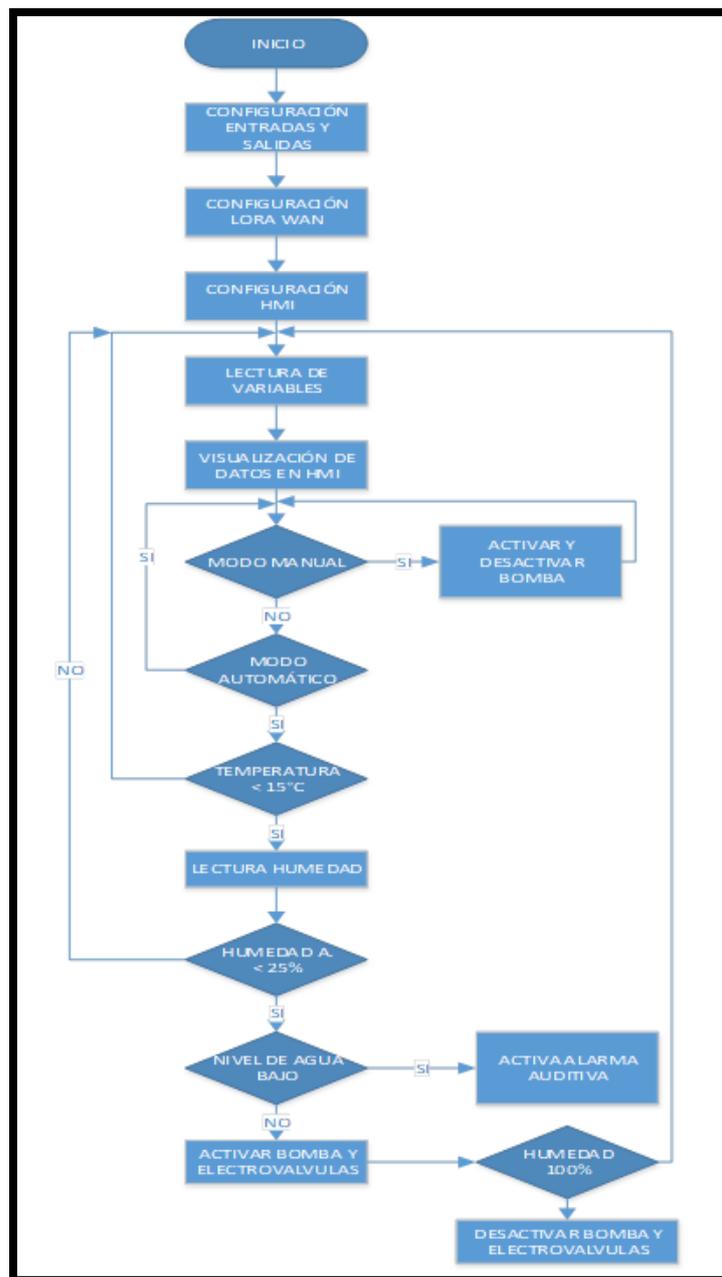


Figura. 3.10. Flujograma de programación del módulo máster

Fuente: (Elaborado por el autor)

## Módulo esclavo

En la figura 3.11, se muestra el diagrama de flujo del módulo esclavo que ilustra los procedimientos requeridos para el correcto funcionamiento.

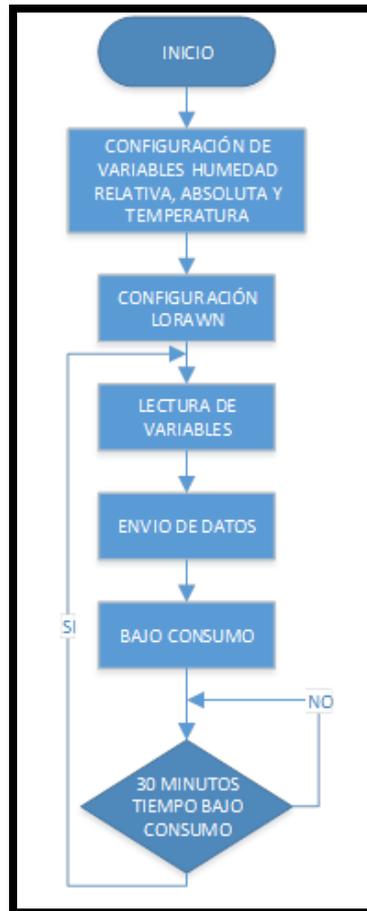


Figura. 3.11. Flujograma de programación del módulo esclavo

Fuente: (Elaborado por el autor)

### 3.7 Diseño de la placa de circuito impreso

En base a las especificaciones establecidas en los diseños de los circuitos electrónicos, del sistema de monitoreo del sistema de riego, se elabora una placa electrónica de control como se describe a continuación.

En la Figura. 3.12, se muestra el diseño del circuito impreso de la placa, la cual va instalada dentro de cada una de las cajas de control y está elaborada en base a los diferentes esquemas electrónicos desarrollados en el *software* PROTEUS con la herramienta ISIS, la cual está plenamente integrada con ARES. Para el diseño de la PCB, se requiere definir para cada uno de los elementos con una opción denominada FOOTPRINT, que es un punto de referencia entre el diseño esquemático y el diseño de circuito impreso.

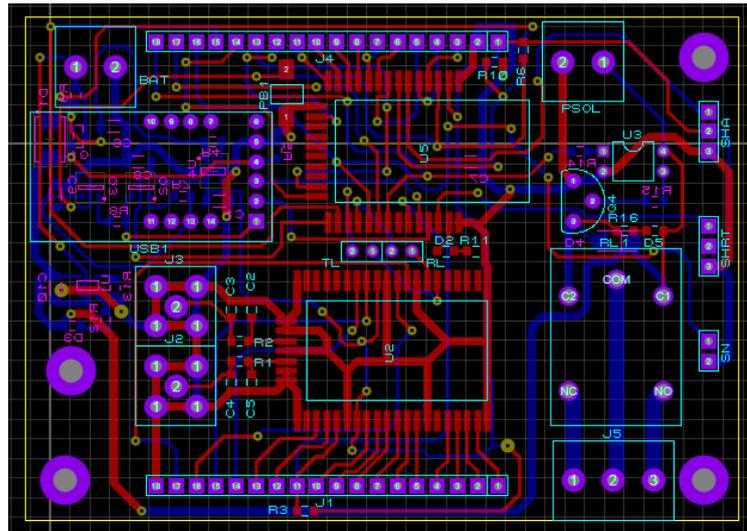


Figura. 3.12. Diseño de la placa de circuito impreso

Fuente: (Elaborado por el autor)

### 3.8 Diseño de la aplicación Nextion

Conjuntamente con el diseño del sistema electrónico elaborado se procede con el diseño de la aplicación para la pantalla HMI; utilizando el *software* Nextion Editor, que cuenta con una pantalla de presentación inicial como se muestra en la Figura 3.13, dispone de otras pantallas en las cuales se puede interactuar con el sistema electrónico.



**Figura. 3.13. Diseño de pantalla HMI**

Fuente: (Elaborado por el autor)

### 3.9 Análisis del costo

#### 3.9.1 Proformas de costos

Se realizaron proformas de materiales eléctricos, mecánicos, plomería y mano de obra, a diferentes proveedores que se detallan a continuación:

La selección de los proveedores se realizó en base a la variedad, precio, calidad y disponibilidad, como se muestra en la Tabla. 3.1.

**Tabla. 3.1. Comparación de proveedores**

	<b>Electrónica Nacional</b>	<b>ATR</b>	<b>Laboratorio Técnico</b>
<b>Materiales Electrónicos</b>	\$ 473, 85 dólares	\$ 449, 12 dólares	\$ 457, 32 dólares
	<b>Comercial Cano Lastra</b>	<b>Agrícola Baquero Agrobaquero</b>	

<b>Materiales mecánicos</b>	\$ 395,98 dólares	\$ 360,00 dólares	
	<b>Comercial Cano</b>	<b>Agrícola Baquero</b>	<b>Trujillo Duque</b>
	<b>Lastra</b>	<b>Agrobaquero</b>	
<b>Materiales de Plomería</b>	\$ 321,33 dólares	\$ 314,36 dólares	\$ 337,67 dólares
	<b>Electrónica Nacional</b>	<b>Ferretería Kywi</b>	<b>Laboratorio Técnico</b>
<b>Otros materiales</b>	\$ 89 dólares	\$ 92 dólares	\$ 87 dólares

Fuente: (Elaborado por el autor)

### 3.9.2 Materiales electrónicos

#### Capacitores

Los capacitores utilizados en el presente proyecto se muestran en la Tabla. 3.2, dando un total de 11 capacitores.

Tabla. 3.2. Capacitores

Cantidad	Referencia	Característica
4	C1	100nF/16V
12	C6-C7,C10	10uF/16V
12	C8-C9,C11	1uF/16V

Fuente: (Elaborado por el autor)

#### Resistencias

Para la elaboración de la placa electrónica se utilizaron 17 resistencias, cuyos valores se detallan en la Tabla. 3.3.

Tabla. 3.3. Resistencias

Cantidad	Referencia	Característica
8	R3,R13	1k $\Omega$ /1/4 W
16	R4-R5,R9-R10	100k $\Omega$ /1/4 W
8	R6,R17	10k $\Omega$ /1/4 W
4	R11	150 $\Omega$ /1/4 W
8	R12,R16	330 $\Omega$ /1/4 W
4	R14	15 $\Omega$ /1/4 W
4	R15	3.9k $\Omega$ /1/4 W

Fuente: (Elaborado por el autor)

### Circuitos Integrados

Se incorporaron en el desarrollo del proyecto 5 circuitos integrados los cuales se detallan en la Tabla. 3.4.

Tabla. 3.4. Circuitos integrados

Cantidad	Referencia	Característica
4	U1	MCP73831/2 (Controlador de gestión de carga)
4	U2	RN2483 (Tecnología inalámbrica LoRa)
4	U3	PC817 (Optoacoplador)
4	U4	AP2112K-3.3TRG1 (Regulador de voltaje)
4	U5	ESP32 (Microcontrolador de LoT)

Fuente: (Elaborado por el autor)

## Transistores

Se implementaron diferentes transistores, especificados en la Tabla. 3.5, con sus respectivas características.

**Tabla. 3.5. Transistores**

Cantidad	Referencia	Característica
4	Q1	ZVP33006F
8	Q2-Q3	MMBT2222
4	Q4	2N3904

Fuente: (Elaborado por el autor)

## Diodos

Se implementaron diferentes diodos, especificados en la Tabla. 3.6, con sus respectivas características.

**Tabla. 3.6. Diodos**

Cantidad	Referencia	Característica
4	D1	Schottky
12	D2-D3,D5	LED rojos
4	D4	1N4007

Fuente: (Elaborado por el autor)

## Elementos de plomería

Se implementaron diferentes elementos de plomería, especificados en la Tabla. 3.7, con sus respectivas características.

Tabla. 3.7. Accesorios de plomería

Cantidad	Referencia	Característica
1	Tanque de agua	1100 Litros
1	Llave de paso	Una pulgada
12	Codos	Una pulgada por 90
6	Neplos tipo macho	Una pulgada
2	Neplos	Pulgada x 6c
3	Universales	Una pulgada
2	Tapones	Una pulgada
1	Válvula pie filtro	Una pulgada
1	Tee polimex	Una pulgada
1	Tubo de agua plastigama	Una pulgada de 6 metros
20	Metros de manguera de agua	Una pulgada
4	Teflón	Amarillo ¾ x 15M
1	Sellante	Polimex 25cc
216	Metros de cinta	De goteo
12	Conectores simples	16mm
12	Conectores tapón	16mm
2	Adaptador tanque polimex de	Una pulgada

Fuente: (Elaborado por el autor)

### Otros componentes

Fue necesario el uso de otros materiales y componentes electrónicos no descritos anteriormente, como se muestra en la Tabla. 3.8.

Tabla. 3.8. Varios, especificaciones

Cantidad	Referencia	Característica
1	Pantalla HMI	Nextion 3.2
1	Caja plástica	25x30x12 cm

3	Caja plástica	20x10x8 cm
3	Panel Solar	SP-6V200mA
3	Batería recargable	
3	Sensor de humedad absoluta	SENSOR V1.2
3	Sensor de humedad relativa y temperatura	SHT11
1	Sensor de nivel de agua	XKC-Y25-PNP
1	Fuente de AC-DC 5V	2A
1	Fuente de AC-DC 24V	5A
1	Sirena	Sirena de vehículo
10	Cable UTP	Categoría 5
10	Manguera corrugada	10mm de diámetro
4	Antena	Conector hembra
8	BAT PSOL	Terminales 2 pines
8	J1,J4	Conector tipo macho
4	J5	Conector tipo hembra
8	PB1-PB2	Pulsadores
1	RL1	Relé de 5V

Fuente: (Elaborado por el autor)

### 3.9.3 Materiales mecánicos

La Tabla. 3.9, detalla la cantidad y características de los materiales utilizados para la activación de circulación y paso del agua.

Tabla. 3.9. Materiales mecánicos

Cantidad	Referencia	Característica
2	Electroválvula	Cepex modelo S390 24vac
1	Bomba de agua	Cpm620 220v 1HP

Fuente: (Elaborado por el autor)

### 3.9.4 Mano de obra

En la Tabla. 3.10, se detalla para que fue requerida la mano de obra externa.

**Tabla. 3.10. Detalles de la mano de obra**

Mano de obra	Característica
Plomero	Para elaborar la conexión del sistema de riego
Cerrajero	Realización de algunos ajustes

Fuente: (Elaborado por el autor)

### 3.9.5 Costos totales

En la Tabla. 3.11, se detalla el costo, la cantidad, valor unitario y valor total de los elementos requeridos para el desarrollo de este proyecto.

**Tabla. 3.11. Presupuesto del proyecto**

Cantidad	Objeto	V. Unitario	V. Total
1	Caja plástica 25x30x12 cm	19,32	19,32
3	Caja plástica 20x10x8 cm	12,50	37,50
1	Bomba de agua para caudal	225	225
1	Tanque de agua de 1100 litros	175	175
1	Llave de paso de una pulgada	16,19	16,19
12	Codos de una pulgada x 90	2,18	25,16
6	Neplos tipo macho de una pulgada	0,52	3,12
2	Neplos de una pulgada x 6c	0,68	1,36
3	Universales de una pulgada	0,85	2,55
2	Tapones de una pulgada	0,72	1,44
1	Válvula pie filtro de una pulgada	9,46	9,46
1	Tee polimex una pulgada	1,75	1,75
1	Tubo de agua plastigama de una pulgada de 6 metros	18,60	18,60

Cantidad	Objeto	V. Unitario	V. Total
20	Metros de manguera de agua de una pulgada	0,89	17,80
4	Teflón	1,20	4,80
1	Sellante polimex 25cc	3,22	3,22
216	Metros de cinta de goteo	0,14	30,24
12	Conectores simples de 16mm	0,21	2,52
12	Conectores tapón de 16mm	0,18	2,16
2	Adaptador tanque polimex de una pulgada	4,96	9,92
1	Medio rollo de cable flexible	30	30
1	Sensor de nivel de agua	15	15
4	Módulos Arduino esp32	280	1.120
3	Sensores Arduino	120	360
1	Fuentes de poder	38	38
2	Electroválvula 1"	135	135
1	Contactador para bomba	35	35
1	Pantalla HMI	43,68	43,68
3	Panel Solar	16	48
3	Batería recargable	12	36
1	Sirena	15	15
10	Cable utp	3.20	32
10	Manguera corrugada	0,85	8,5
		<b>Total</b>	<b>\$ 2523,29</b>

Fuente: (Elaborado por el autor)

### 3.10 Análisis del tiempo

El presente proyecto tiene una duración de 6 meses, tiempo en el cual se realiza el diseño de los diferentes circuitos electrónicos a ser utilizados, las respectivas pruebas y determinar si los sensores son adecuados para el propósito requerido, la construcción de placa electrónica, el ensamblaje de los componentes, calibración de sensores, pruebas de funcionamiento y la elaboración de la documentación correspondiente. Para la revisión del

cronograma de actividades revisar el Anexo 1 que se encuentra en el final de la documentación.

### **3.11 Ventajas del sistema**

El sistema de riego automatizado ayuda a que se ahorre la mayor cantidad de agua posible, beneficiando a nuestro cultivo, así como a los agricultores, ya que este sistema de riego está programado para que se active la bomba de agua y las electroválvulas cuando sea necesario, sin la necesidad de que se realice manualmente, ahorrando tiempo y por supuesto agua.

El RN2483 es un módulo totalmente certificado que trabaja a una frecuencia de 433MHz, la comunicación inalámbrica da lugar a una red de área de baja potencia, utiliza una modulación de espectro ensanchado que permite una comunicación de largo alcance y bajo consumo, es ideal para sensores que funcionan con baterías y aplicaciones de baja potencia, redes de sensores, automatización industrial y más.

No hay necesidad de utilizar ningún tipo de cableado para la alimentación de los módulos, gracias al panel solar que mediante las radiaciones del sol permitirá cargar a una batería a través de un circuito diseñado en la placa electrónica, obteniendo el voltaje necesario para mantener activo a los módulos con sus respectivos sensores.

El sistema cuenta con un sensor de humedad de suelo, cuyo objetivo principal es que los cultivos no queden mojados más de lo necesario ya que el riego excesivo produce un encharcamiento en los cultivos y sus raíces se pudren, ya que por estar puertitas adentro el agua tarda más en evaporarse. Con un sistema monitoreado evitamos la aparición de hongos ya que por exceso de humedad son atraídos.

La Interfaz Hombre Máquina (HMI) permite interactuar directamente con el sistema, monitoreando los diferentes estados con animaciones en tiempo real de lo que está sucediendo en el interior del invernadero.

## CAPITULO 4

### IMPLEMENTACIÓN

#### 4.1 Desarrollo

##### 4.1.1 Construcción de la unidad de control

Para la elaboración de la placa de control se realiza con *software* Proteus 8 en el cual se realiza el diseño del circuito, en el Anexo 2, se puede observar el inicio de la construcción de la unidad de control.

Con el mismo *software* se tiene la opción PCB Layout y se obtendrá una imagen como se muestra en la Figura. 4.1, con la cual se obtiene el diseño circuito organizado y distribuido para la realización de la placa de circuito impreso.

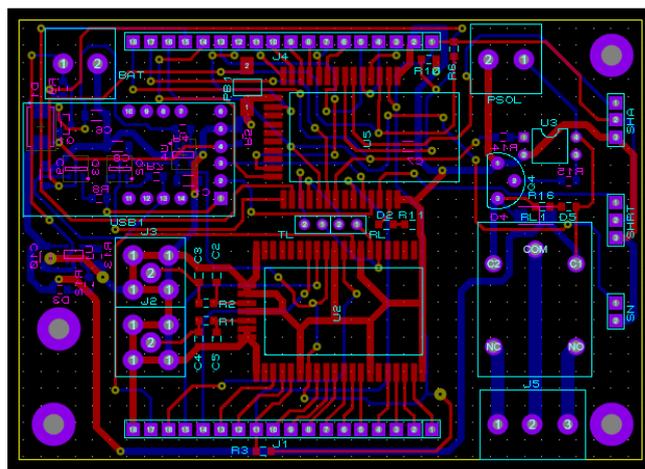
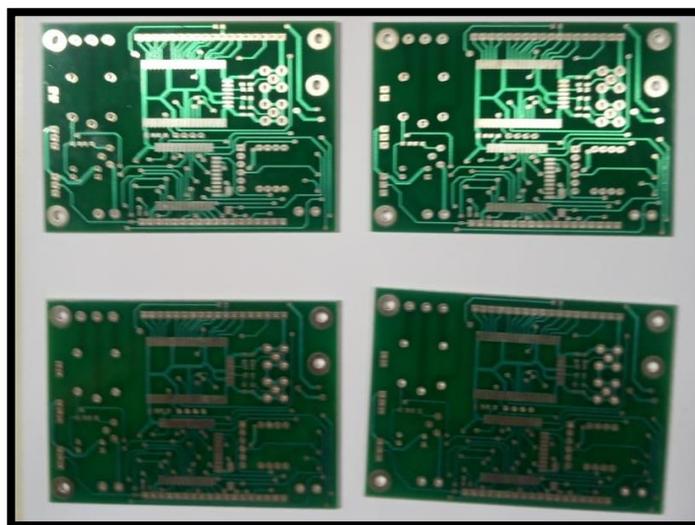


Figura. 4.1. Diseño de la PCB en Proteus

Fuente: (Elaborado por el autor)

Luego de obtener el diseño con el *software* Proteus se envía a la Empresa Alluc para que realice la placa de circuito impreso, en la Figura. 4.2, se puede observar las placas listas para colocar los elementos y posteriormente soldar cada uno de los elementos.



**Figura. 4.2. PCB de la unidad de control**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

### **Montaje y soldadura de los elementos electrónicos**

En la Figura. 4.3, se observa el proceso de soldadura de los elementos en cada una de las placas electrónicas utilizando; estaño y limpia contactos es agente químico de limpieza, tomando en cuenta lo siguiente:

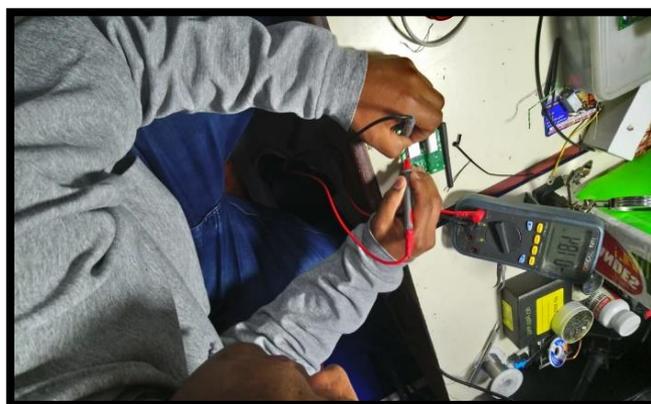
Para efectuar el proceso de soldadura se utilizó un cautín de 30 Vatios, con la finalidad de evitar que las pistas y los elementos SMD se malogren por un exceso de temperatura, se limpió la punta del cautín constantemente para realizar soldaduras uniformes y sin exceso de estaño para evitar los pines de los elementos se junten al momento de ser soldados a la placa.



**Figura. 4.3. Placa de control con sus elementos**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

Al finalizar la soldadura de cada componente se realiza una limpieza de cada una de las placas, realizando un chequeo visual de las sueldas en la Figura. 4.4, se puede observar el uso de multímetro digital, para verificar continuidad para estar seguros que la soldadura realizada en cada elemento se encuentra realizando un buen contacto.



**Figura. 4.4. Verificación de soldadura**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

En la Figura. 4.5, se visualiza que los módulos son casi parecidos con la diferencia que el módulo máster dispone de un relé el cual es el encargado de activar y desactivar los elementos a controlar.



**Figura. 4.5. Módulos terminados con sus respectivos elementos**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

Al finalizar con todo lo antes mencionado se realiza la programación de los módulos LoRa. Para programar los ESP32 se utilizó el *software* Arduino y para la pantalla HMI se utilizó Nextion Editor 0.53.

#### **4.1.2 Software para la pantalla HMI**

Para el desarrollo del *software* para la pantalla HMI se realizaron varios pasos a continuación se detallan:

Se abre el *software* Netxion Editor instalado; se comienza seleccionando las características del modelo de pantalla que se va a utilizar, también se selecciona en qué posición se va a utilizar la pantalla horizontal y vertical.

Se hace la selección de fotos y animaciones GIF los cuales van a formar parte del programa, cada foto y animación GIF seleccionada se abre con el programa Paint una a una y se hace la configuración de los pixeles a 240x400.

Se realiza una pantalla de inicio en la cual se tiene los datos del programador y el nombre de la Universidad. Para la segunda pantalla de menú se selecciona otra imagen de fondo y también se coloca dos botones uno para monitoreo y otro para control.

En la pantalla de monitoreo se colocan tres datos; los cuales son humedad relativa, absoluta y temperatura, también cuenta con una animación en donde los valores irán variando de acuerdo a los parámetros del invernadero.

En la pantalla de control se tiene una animación de nivel de agua y un botón donde se selecciona la forma en la que se va a trabajar, en forma manual o en forma automática, al seleccionar la forma manual se tiene un botón para encender y apagar los elementos a controlar.

Cada pantalla cuenta con un botón para regresar a la pantalla de menú. Luego de realizar todo el proceso de creación de pantallas se realiza la programación la cual funciona conjuntamente con el microcontrolador, el cual se encuentra programado en Arduino. En la Figura. 4.6, se muestra la pantalla Nextion realizando el proceso de carga de todo el programa realizado.



**Figura. 4.6. Diseño del software de la pantalla HMI**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

### **4.1.3 Software para módulos LoRa**

Para el proceso de desarrollo de programación para los módulos LoRa se realiza dos programas diferentes: un programa para el módulo máster y otro programa para los módulos esclavos. Para la programación de cada uno de los módulos, se utilizó con el *software*

Arduino. Los tres módulos esclavos disponen de una programación igual, ya que realizan las mismas funciones y cuentan con sensores de características iguales.

El módulo máster tiene una programación diferente, es el encargado de recibir las señales enviadas por los módulos esclavos e interpretarlas.

En el Anexo 7, se encuentra detallado los códigos de programación para cada uno de los módulos, con la utilización del *software* Arduino.

## **4.2 Implementación**

### **4.2.1 Sistema de riego**

En la Figura. 4.7, se muestra la realización de plomería en donde se observa un taque de reserva de agua con una capacidad de 1100 litros, el cual se encuentra ubicado en un lugar firme y seguro.

Se realizan perforaciones al tanque para realizar las respectivas conexiones, para esto se utiliza teflón y permatex para evitar fugas de agua, también se ubica la bomba de agua a una media altura del tanque, para que la bomba funcione correctamente.

En el interior del tanque se coloca una válvula pie de filtro esto evita que la basura pase y dañe las paletas de la bomba de agua.

También se instala una manguera en el interior del invernadero, es la encargada de repartir el agua a las cintas de goteo.



**Figura. 4.7. Conexión de plomería**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

En la Figura. 4.8, se puede observar la instalación de la electroválvula la cual se encuentra cerca de la bomba para permitir el paso de agua al momento de ser activadas.



**Figura. 4.8. Conexión de la electroválvula**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

En la Figura. 4.9, se puede observar la instalación de la cinta de goteo para nuestro sembrío de tomate de riñón para obtener el objetivo se realizó algunos procesos.

Ya con el área designada para el sembrío se realiza la instalación de las cintas de goteo, para ello a la manguera antes mencionada se le realiza perforaciones para conectar las cintas de goteo, para cada fila de sembrío de colocan dos cintas para obtener una mejor humedad del producto.

Esa acción se realiza en todos los guachos uno a uno para que la cinta de goteo que correctamente instalado.



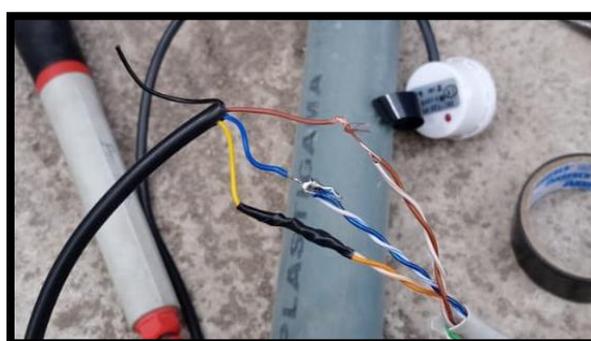
**Figura. 4.9. Instalación del sistema de riego por goteo**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

#### **4.2.2 Módulos esclavos**

Se dispone de tres módulos esclavos los cuales se instalan en la parte inicial, media y final del invernadero. Cuentan con sensores de humedad relativa, absoluta y temperatura.

Al tener el lugar específico de instalación se mide el cable UTP, se corta y se une con los respectivos sensores en la Figura. 4.10, se puede observar el modo como se realiza el empalme de los cables de los sensores. Para evitar pérdidas de señal o mala recepción de datos a cada una de las uniones se realiza una soldadura, y obtener un mejor contacto, luego se coloca cinta aislante. Esta acción se realiza con cada uno de los sensores.



**Figura. 4.10. Conexión del sensor del nivel de agua**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

Al culminar con los empalmes, utilizando manguera corrugada se realiza un recubrimiento al cable UTP, de esta manera evitamos que el cable sufra deterioraciones por el cambio climático. Con cinta aislante fijamos la manguera, antes de realizar esta acción al sensor de humedad absoluta se le coloca esmalte de uñas en los elementos SMD, es para evitar que la humedad del suelo dañe el circuito. En la Figura. 4.11, se puede visualizar el terminado de recubrimiento del cable y de los sensores.



**Figura. 4.11. Cables de sensores aislados**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

En la Figura. 4.12, se muestra la instalación de los módulos esclavos en sus respectivas cajas plásticas para ello se realizaron los siguientes pasos:

En primer lugar, se perfora en las tapas de las cajas para instalar el panel solar, se pasan los cables por los respectivos huecos y el panel solar se pega a la tapa con cinta doble faz.

También se realizan otras perforaciones para pasar los cables de los sensores, al momento de pasar los cables se sujetan con una correa plástica para evitar que los cables se salgan por movimientos bruscos.

Seguido se instalan los módulos LoRa en el interior de las cajas con su respectiva batería. Para evitar que se muevan se asegura con cinta doble faz sus respectivas cajas, luego se conectan los sensores en sus respectivos borneras.

Y para terminar con el armado de las cajas; se conecta el panel solar y se deja por un determinado tiempo en el sol para que las baterías se carguen y poder realizar pruebas.



**Figura. 4.12. Conexión de los módulos esclavos**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

Luego se revisó el voltaje y los módulos se encuentran con el voltaje deseado y funcionando correctamente, se coloca provisionalmente en el interior del invernadero cada uno en el lugar predestinado, el sensor de humedad de suelo se introdujo en el suelo como se muestra en la Figura. 4.13, para tomar muestras del estado en el cual se encuentra el suelo y también probar si se encuentran transmitiendo datos al módulo máster, los cuales se visualizaron en una computadora por medio del *software* Arduino instalado.



**Figura. 4.13. Sensor en proceso de pruebas**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

Para continuar con el proceso, se hace una verificación de datos recibidos con los datos que se obtienen directamente en cada módulo esclavo, para eso se realiza lo siguiente:

En la Figura. 4.14, se observa la verificación utilizando una Laptop conectado directamente al microcontrolador y por medio del *software* Arduino se va verificando y comparando con los datos recibidos en el módulo máster, en ese momento se verifica el funcionamiento de la comunicación inalámbrica, si se encuentra enviando y recibiendo datos correctos.

Al mismo tiempo se va verificando el funcionamiento correcto de cada uno de los sensores con sus respectivos módulos.



**Figura. 4.14. Configuración del sensor**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

Al concluir con la verificación cada una de las cajas, se procede a tapar, colocando sus respectivos tornillos esto evita el ingreso del polvo, luego se procede con la instalación en el lugar designado para cada módulo.

En la Figura. 4.15, se puede visualizar el sensor de humedad absoluta totalmente asegurado con una varilla para evitar que al momento de las cosechas lo mueven y nos envíe datos erróneos.



**Figura. 4.15. Sensor de humedad absoluta instalado**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

En la Figura. 4.16, se puede visualizar el módulo esclavo ubicado en la parte media del invernadero totalmente instalado y asegurado, para evitar que se mueva, se aseguró con correas plásticas contra el alambre y la caja asegurada en la madera.

El panel solar se encuentra en la parte superior de caja, totalmente libre de cualquier obstáculo para que reciba las radiaciones solares.



**Figura. 4.16. Módulo esclavo instalado**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

### **4.2.3 Módulo máster**

Luego de terminar con la instalación de los módulos esclavos se procede con la instalación del módulo máster, para lo cual se instala una caja plástica en un lugar seguro libre de humedad.

Para ello primero se instaló el sensor de nivel de agua como podemos observar en la Figura. 4.17, se puede ver la instalación del sensor de nivel de agua por afuera del tanque de agua, gracias a su alta capacidad de censado a través del plástico detecta el agua cuando se encuentra por debajo de los límites requeridos.



**Figura. 4.17. Sensor ultrasónico de nivel de agua**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

A continuación, se realizó el cableado de cada uno de los elementos a controlar los cuales son: la bomba de agua y las electroválvulas desde cada uno de estos elementos, se realizó el cableado hasta la caja plástica. En la Figura. 4.18, se muestra la instalación del cableado.



**Figura. 4.18. Conexión de elementos a controlar**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

Luego de terminar con la instalación del cableado hasta la caja plástica, se procede a armar el circuito de control. En la Figura. 4.19, se puede visualizar todos los componentes que forman parte de la circuitería de control.

En la caja se instaló una fuente de 110VCA a 24 VCC, sirve para la activación de las electroválvulas las cuales funcionan a 24 voltios.

Se dispone de un contactor de 220V a 9A, es utilizado para la activación de la bomba de agua. También se tiene regulador de 24VCC a 5VCC, es el encargado de mantener activo al módulo LoRa y también alimenta al módulo de relés.

Se instala un módulo de dos relés, sirve para la activación y desactivación de los elementos a controlar; el primer relé activa la sirena y el segundo relé activa las electroválvulas.

Para la activación y la desactivación de la bomba de agua tenemos otro relé el cual se encuentra incorporado en la placa del módulo LoRa.

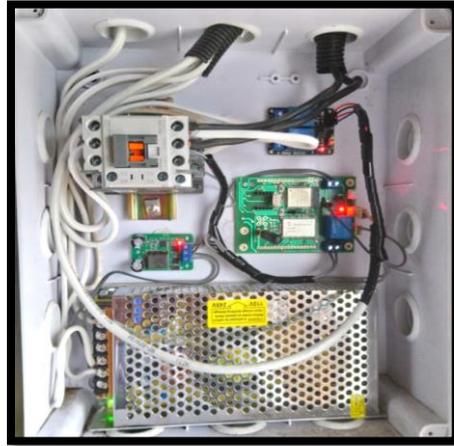
A un costado de la caja de conexiones de control se instaló una alarma auditiva la cual se activa cuando el agua se encuentre en un nivel mínimo.



**Figura. 4.19. Conexión de fuente de alimentación**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

Luego de terminar con la instalación de la etapa de control, se procedió con la instalación del módulo LoRa. En la Figura. 4.20, se puede observar la etapa de control instalada por completo. La pantalla HMI se instaló luego de realizar las pruebas de funcionamiento.



**Figura. 4.20. Conexión de módulo máster**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

### 4.3 Pruebas de funcionamiento

Para la realización de las pruebas de funcionamiento se hicieron algunas acciones y verificaciones según la Tabla. 4.1.

**Tabla. 4.1. Pruebas de funcionamiento**

Proceso	Cumple	No cumple	Observaciones
Módulos esclavos receptan datos de los sensores	X		Mediante una computadora se verifica la recepción de datos
Se encienden las fuentes de alimentación de la etapa de control	X		Con el uso de un multímetro se verifica los voltajes.

Se enlazan todos los módulos esclavos al módulo máster	X	Con una computadora se verifica que la conexión de módulos.
El módulo máster recibe los datos enviados	X	Con una computadora se visualiza los datos recibidos de cada uno de los módulos
Se muestran los datos en la pantalla HMI	X	Se puede observar los datos recibidos
Se puede interactuar con la pantalla HMI	X	Pantalla táctil funciona correctamente
La bomba de agua se activa y desactiva	X	Funciona de acuerdo a los parámetros establecidos
Sensor ultrasónico censa el nivel de agua bajo	X	Llega al nivel bajo y desactiva el sistema

Fuente: (Elaborado por el autor)

En la Figura. 4.21, se puede observar que la unidad de control es en energizada, se verifica que cada uno de los módulos tiene un LED encendido en color naranja es el indicador de los módulos se encuentran funcionando correctamente. El módulo máster espera unos segundos y comienza a enlazarse con cada uno de los módulos esclavos.



Figura. 4.21. Conexión de pantalla HMI

Fuente: (Elaborado por el autor)

## Sistema de control

En la pantalla HMI seleccionamos la opción de control y nos lleva a esta pantalla como se muestra en la Figura. 4.22, en la parte superior se puede ver la opción en forma automática, seleccionamos el botón y no podremos activar los elementos a controlar, pulsamos el botón varias veces no realiza ninguna acción.



**Figura. 4.22. Pantalla HMI en forma automática**

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

Al momento de pulsar en la palabra AUTO cambia a la forma MANUAL como se puede ver en la Figura. 4.23, en la cual nos permite accionar el botón cambiando de color de rojo a color verde y viceversa. Cuando el botón se encuentre en color verde, es el indicador que la bomba de agua y las electroválvulas se encuentran activas, y cuando el botón se encuentra en color rojo el sistema se encuentra desactivado.

En la pantalla también se tiene la opción Back que nos permite regresar a la pantalla anterior donde se encuentra el menú.



Figura. 4.23. Pantalla HMI en forma manual

Fuente: (Elaborado por el autor)

### Sistema de monitoreo

Al momento de regresar a la pantalla de menú también se tiene la opción de monitoreo, al seleccionar nos lleva a una pantalla nueva en donde se puede observar los datos en tiempo real. En la Figura. 4.24, se puede visualizar la temperatura en °C y humedad relativa y absoluta en porcentajes.



Figura. 4.24. Datos de monitoreo receptados

Fuente: (Elaborado por el autor)

Cada módulo esclavo envía un valor de humedad absoluta, relativa y temperatura. El módulo máster recibe datos, interpreta y para mostrar en la pantalla HMI realiza un cálculo promedio.

En la Ecuación 4.1, se puede observar el cálculo de las tres variables, el resultado es el que se presentara en la pantalla HMI.

$$\text{TEMP } ^\circ\text{C} = \frac{T1 + T2 + T3}{3}$$
$$\text{HUME REL \%} = \frac{H.R1 + H.R2 + H.R3}{3}$$
$$\text{HUME ABS \%} = \frac{H.A1 + H.A2 + H.A3}{3}$$

**Ecuación. 4.1. Valores a mostrar en pantalla HMI**

#### 4.4 Análisis de resultados

Al concluir con las pruebas de trabajo es posible corroborar que el sistema de monitoreo y control automático se enciende correctamente, la unidad de control trabaja adecuadamente, los circuitos implementados funcionan de una forma adecuada y que ningún módulo sufre recalentamiento alguno y ningún elemento presenta problemas de funcionamiento con el trabajo constante.

El sensor de nivel ultrasónico, censa a través del plástico trabaja adecuadamente enviando la señal necesaria para que el sistema no funcione sin agua necesaria en el tanque.

La pantalla HMI funciona correctamente al momento de manipular para la verificación de datos y también para la desactivación de la bomba de agua en caso de ser necesaria.

El sensor de humedad de suelo envía las señales adecuadamente, activando a la bomba de agua cuando la humedad lleve al porcentaje adecuado, envía la señal de censado y se apaga la bomba de agua.

El sensor de humedad relativa y temperatura funciona adecuadamente, envía los datos a la pantalla HMI en el cual se pueden visualizar y se realiza una comparación con el estado actual por medio del internet y los datos son correctos.

A continuación, se presenta la Tabla. 4.2, en la cual esta detallado el análisis de resultados del proyecto de monitoreo y control automático de riego.

**Tabla. 4.2. Análisis de resultados**

Proceso	Cumple	No cumple	Observaciones
Mejor calidad del producto	X		Producto con mejor calidad
Ahorro económico			No hay necesidad tener obreros todo el tiempo
Ahorro de agua	X		No se desperdicia el agua
Mejoran las ventas	X		El producto tiene una mayor acogida

**Fuente: (Elaborado por el autor)**

## CONCLUSIONES

De acuerdo con el datasheet del RN2483A se tiene dos frecuencias de transmisión las cuales son de 433MHZ y 868MHz, se utiliza la frecuencia de 433MHZ la cual tiene mayor alcance de comunicación entre transmisor y receptor en línea de vista.

Se diseñó el sistema electrónico utilizando Arduino para módulo ESP32 Con el uso de softwares se van desarrollando paso a paso los componentes electrónicos, eléctricos y de control, logrando obtener resultados óptimos y acordes con el sistema de monitoreo y control.

Para visualizar los parámetros de las variables humedad absoluta, relativa y temperatura en la pantalla HMI se realizó un cálculo promedio de los tres módulos instalados y ese valor se mostrará en la pantalla.

Se desarrollan los algoritmos de programación utilizando el lenguaje C++ para el microcontrolador ESP32, de acuerdo a la necesidad del invernadero para el sistema de monitoreo y control automático de riego, obteniendo resultados exitosos.

Con la implementación del sistema de monitoreo y control automático de riego se obtienen grandes beneficios optimizando tiempo de trabajo, aumentando el crecimiento agrícola y evitando tener pérdidas económicas por un producto en mal estado.

Se realizaron las pruebas de validación del funcionamiento del sistema de monitoreo y control automático de riego por varias ocasiones logrando obtener un resultado óptimo y amigable.

## RECOMENDACIONES

Realizar un mantenimiento periódico anual de todo el sistema de monitoreo para evitar el mal funcionamiento, dando lugar a falsas alarmas y evitar que los componentes electrónicos se malogren su funcionamiento.

No se deben conectar al módulo de actuadores, dispositivos con un consumo de corriente mayor al especificado en el manual de usuario, para evitar generar daños a la tarjeta electrónica.

Tener mucho cuidado con el sensor de humedad de suelo, tiene que estar instalado en un lugar seguro para que no sea movido y evitar enviar datos erróneos al módulo controlador.

Al momento de realizar la programación colocar un tiempo adecuado de espera entre transmisión y la recepción de datos porque se puede perder datos en la transmisión.

Conocer el modelo exacto de la pantalla HMI, porque de eso dependerá los pixeles que se obtendrán en el proyecto, caso contrario no se podrá observar correctamente el programa cargado y no funcionará correctamente en la pantalla.

Realizar correctamente el diseño del *hardware*, ya que de eso dependerá el buen funcionamiento del sistema, porque en el *software* es más fácil realizar correcciones que en el diseño del *hardware*.

## BIBLIOGRAFÍA

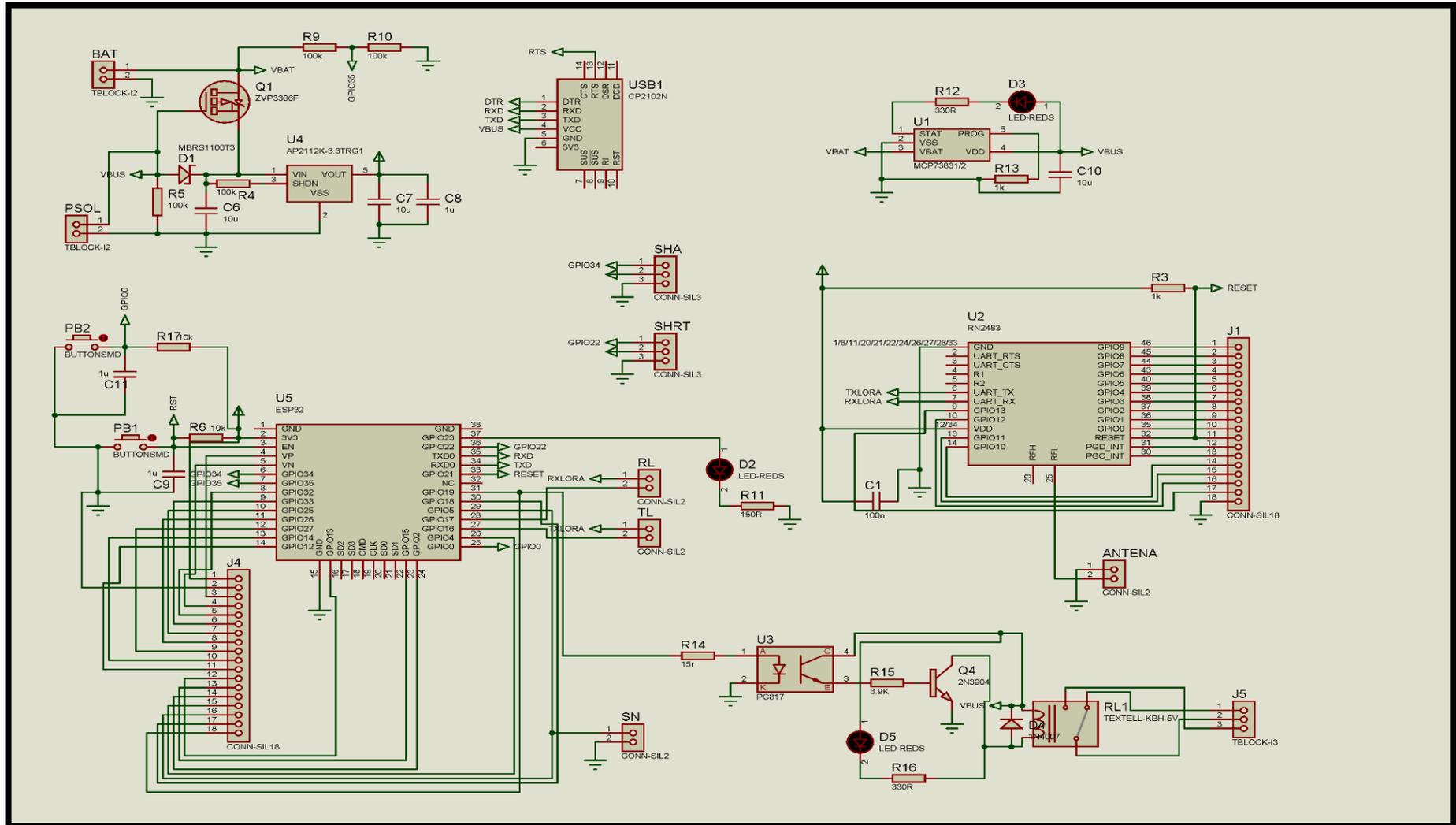
- Altec. (28 de Enero de 2018). *Altec Alta Tecnología de Vanguardia*. Obtenido de <https://www.altecdust.com/blog/item/32-como-funcionan-las-electrovalvulas-o-valvulas-solenoides-de-uso-general>
- Ambientum. (24 de agosto de 2019). *Sistemas de riego*. Obtenido de [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/suelos/sistemas\\_de\\_riego.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/sistemas_de_riego.asp)
- Arduino. (13 de Noviembre de 2016). *Aprende Arduino*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/page/6/>
- Banzi, M. (14 de Abril de 2018). *Aprende Arduino*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/04/14/sensores-arduino-3/>
- Blanchard, D. (6 de Mayo de 2013). *C++ Programación*. Obtenido de <https://blanchardspace.wordpress.com/2013/05/06/introduccion-a-c-que-es/>
- Buenaventura, N. (2017). *Proyectos Arduino*. Bogota: Secretaria de Educacion.
- Cuevas Jimenez, E. V. (7 de Marzo de 2019). *Electronica y Tecnologia*. Obtenido de <https://www.mactronica.com.co/tarjeta-de-desarrollo-esp32-d1-mini-1065900584xJM>
- Electronics Ipower. (21 de Octubre de 2019). *Ipower*. Obtenido de Electronica y Servicios: <http://ipowerelectronics.com/pantallas-tft/1828-pantalla-inteligente-tactil-lcd-32nextion-nx4024t032.html>
- Elkan, M. (28 de Mayo de 2017). *Bombas de agua*. Obtenido de <http://bendezureynosojesus.blogspot.com/2017/05/bombas-de-agua-es-la-maquina-que.html>
- Faci Gonzales, J. M., & Playan Jubillar, E. (17 de 7 de 2014). *Principios básicos del riego por superficie*. Obtenido de [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1994\\_10-11.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1994_10-11.pdf)
- Garay Rojo, K. (11 de 01 de 2013). *Sistema de riego*. Obtenido de Sistema de riego: [https://www.ecured.cu/Sistema\\_de\\_Riego](https://www.ecured.cu/Sistema_de_Riego)

- Garcia, J. (17 de Febrero de 2019). *Arduino*. Obtenido de <https://www.hwlibre.com/sensore-de-temperatura/>
- German. (2019). *Germantec*. Obtenido de <http://www.germantec-cr.com/contenido/>
- Guaño Costales, L. G. (12 de Octubre de 2011). *Estudio de Humedad*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4889/6/UPS-QT03451.pdf>
- Herrera, R. M. (8 de Mayo de 2015). *Erenovable*. Obtenido de <https://erenovable.com/energia-solar-pasiva/>
- Hypernet. (6 de agosto de 2019). *Energía Solar*. Obtenido de <http://hypernet.mx/energia-solar/>
- Jordan Camilo Triana Useche, Ronald Estiven Rodríguez Leguizamo. (2018). *PROTOTIPO DE SOLUCIÓN IoT CON TECNOLOGÍA “LoRa” EN MONITOREO*. Bogota.
- Juarez, B. (25 de Mayo de 2019). *Cumbre Pueblos*.
- Lenguas, L. (17 de Junio de 2013). *Isai Controles*. Obtenido de <http://isaicontrols.com/2013/06/17/sensores-de-nivel/>
- Losniger. (23 de Enero de 2017). *Soluciones Energéticas*. Obtenido de <https://www.energylosniger.com/copia-de-servicios>
- Marzal Felici, J. (2016). Revista Española de Electronica S.L. *Hardware inteligente para mejorar la eficiencia energética de los dispositivos IoT*, 5.
- Mecafenix, F. (23 de Mayo de 2019). *Amazon*. Obtenido de <https://www.amazon.es/Y25-T12V-Interruptor-Detector-Contacto-inducci%C3%B3n/dp/B07GQ368S7>
- Microchip. (27 de Agosto de 2019). *Digi-Key Electronics*. Obtenido de <https://www.digikey.com/es/product-highlight/m/microchip-technology/rn2483-lora-modem>
- Mier, J. M. (17 de Agosto de 2019). *Autycom*. Obtenido de <https://www.autycom.com/ques-un-sistema-hmi/>
- Monzon Abarca, F. M. (17 de Agosto de 2017). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/06/18/ide-arduino-y-configuracion/>
- Muñoz Vizhñay. (13 de Noviembre de 2013). *Paneles de energia solar*. Obtenido de <https://solar-energia.net/>
- Neiva. (2018). *Servotronik*. Obtenido de <http://www.servotronik.com.co/index.php/producto/sensor-de-humedad-de-suelo/>

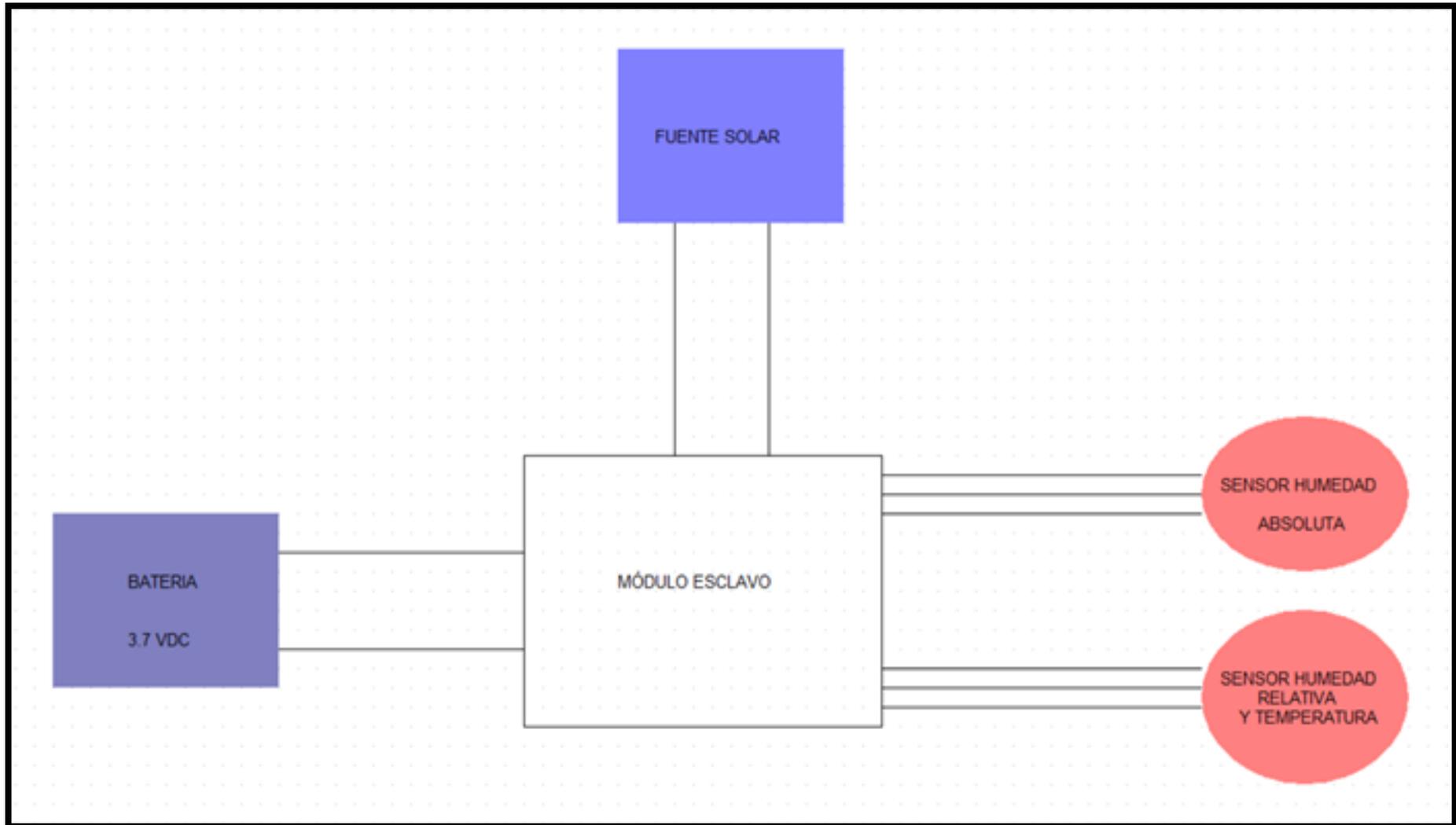
- PDAControl. (9 de Noviembre de 2017). *Programacion Diseño Automatización*. Obtenido de <http://pdacontroles.com/primeras-pruebas-esp32/>
- Pérez, G. (22 de Abril de 2015). *Tutoriales Arduino*. Obtenido de <https://openwebinars.net/blog/tutorial-arduino-entradas-analogicas-y-digitales/>
- Redacción Interempresas. (2010). Los sistemas de riego en invernaderos. *INDUSTRIA DEL AGUA*, 1.
- Roigsat. (2 de Mayo de 2018). *La energía solar pasiva*. Obtenido de <https://www.roigsat.com/es/energia-solar-pasiva/>
- Romero, F. (12 de Junio de 2018). *Mecatronica*. Obtenido de <https://www.mecatronicalatam.com/es/tarjeta/arduino/medir-temperatura-con-lm35>
- Salazar Espinosa. (5 de Enero de 2019). *Proteus Professional 8.8*. Obtenido de <https://www.tunacionpc.org/proteus-professional-full-espanol/>
- San Martín. (23 de Septiembre de 2013). *Distritec*. Obtenido de <https://www.distritec.com.ar/que-es-una-electrovalvula-y-para-que-sirve/>
- Sevilla. (2010). *Riego por superficie*. Obtenido de [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160940Riego\\_por\\_superficie\\_e\\_baja.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160940Riego_por_superficie_e_baja.pdf)
- Trujillo, & Villavicencio Velastegui. (16 de Marzo de 2016). *Naylamp Mechatronic*. Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/382-modulo-esp32-esp-wroom-32.html>
- Valencia, & Jiménez, E. E. (15 de Mayo de 2019). *Omega*. Obtenido de <https://es.omega.com/prodinfo/sondas-de-nivel-medicion.html>
- Varas, A. (21 de Julio de 2018). *Arduino*. Obtenido de <http://arduino.cl/que-es-arduino/>



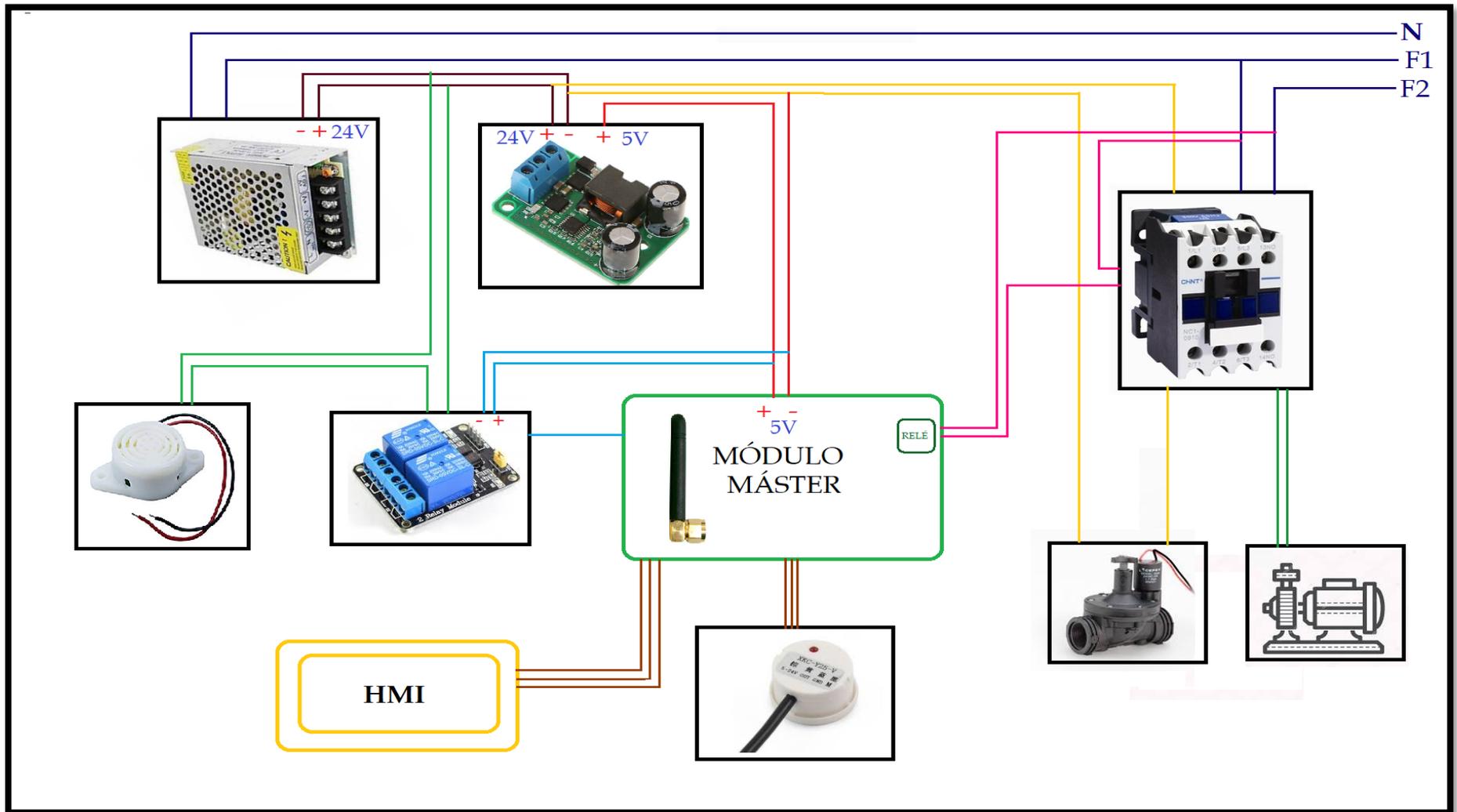
## Anexo 2: Diagrama electrónico de la unidad de control



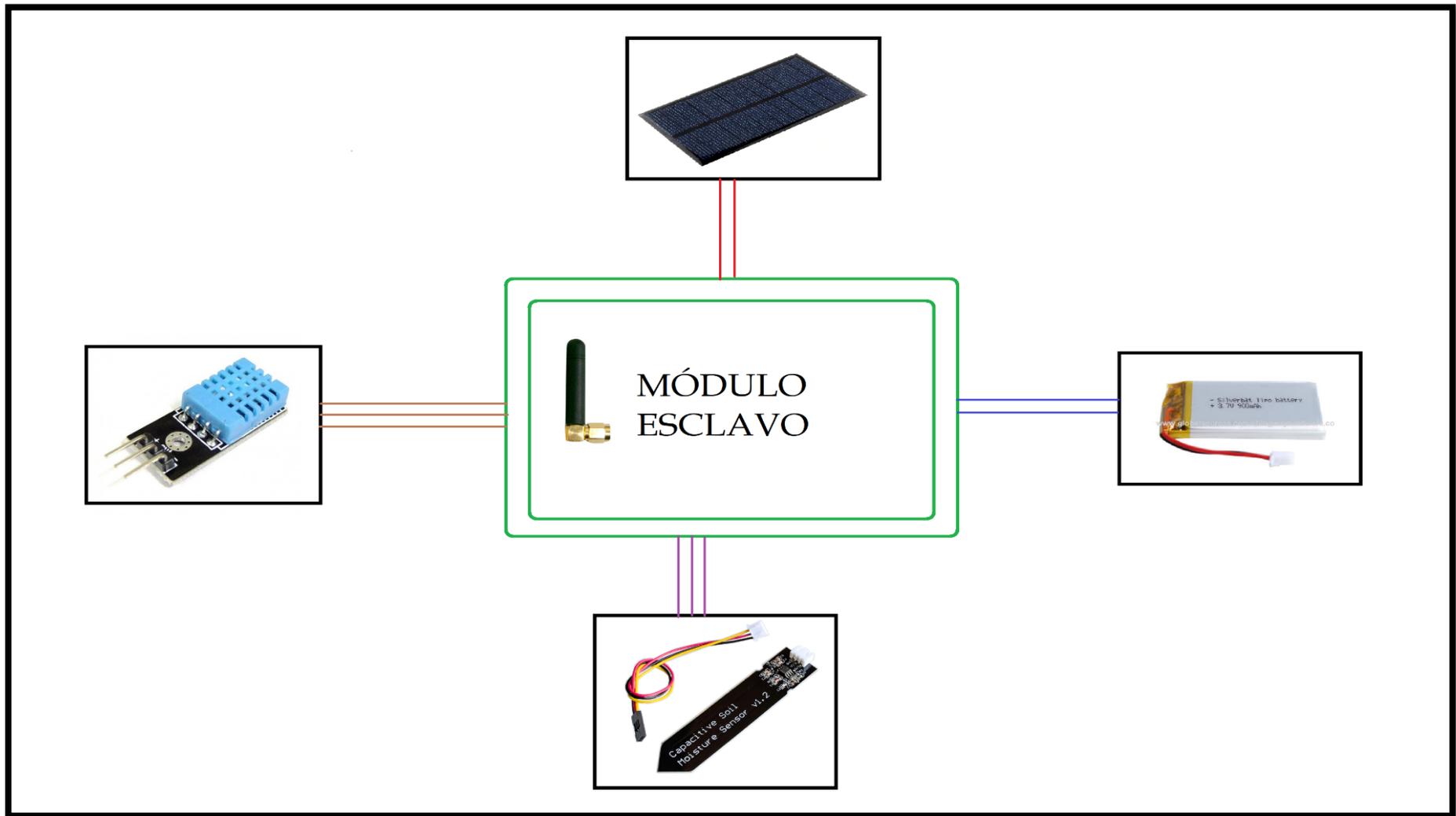


**Anexo 4:** Diagrama eléctrico del módulo esclavo

Anexo 5: Diagrama de instalación eléctrica unidad de control



**Anexo 6:** Diagrama de instalación eléctrica módulo esclavo



## Anexo 7: Códigos de programación

### Módulos esclavos

```
//Parte inicial, centro y final
//A, C, E Temperatura
//B, D, F Humedad absoluta
//AA, CC EE Humedad relativa

//Librerias
#include "dht.h"
//Declaración de pines
#define RXD2 16
#define TXD2 17
#define pinreset 21
#define sensor_dht 22
#define sensor_capacitive 34
#define ledv 23

dht DHT;
//Configuración y declaración de variables
String str;
int temperatura=0;
int humedad=0;
int soilMoistureValue = 0.0;

void setup() {
  //inicialización del puerto serial
  Serial.begin(57600);
  //inicialización del puerto serial 2
  Serial2.begin(57600, SERIAL_8N1, RXD2, TXD2);
  Serial.println ("Transmision de Lora");
  //Declaración de pines como entrada o salida
  pinMode(pinreset,OUTPUT);
```

```
pinMode(ledv,OUTPUT);

//Reset de módulo LoRa
digitalWrite(pinreset,LOW);
delay(100);
digitalWrite(pinreset,HIGH);

delay(2000);
//Configuración LoRa
Serial2.println("sys get hweui");
str = Serial2.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
delay(2000);

Serial2.println("mac pause");
//Serial.println(str);
str = Serial2.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
delay(2000);
Serial2.println("radio get mod");
str = Serial2.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
delay(2000);
Serial2.println("radio get freq");
str = Serial2.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
delay(2000);
Serial2.println("radio get sf");
str = Serial2.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
delay(2000);
Serial2.println("radio get cr");
str = Serial2.readStringUntil('\n');
```

```

Serial.println(str);
delay(2000);
Serial2.println("radio get prlen");
str = Serial2.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
delay(2000);
Serial2.println("radio get pwr");
str = Serial2.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
delay(2000);

}

void loop() {
  Serial2.println("mac pause");
  str = Serial2.readStringUntil('\n');
  Serial.println(str);
  digitalWrite(ledv,HIGH);
  delay(2000);
  Serial2.println("radio set pwr 14");
  str = Serial2.readStringUntil('\n');
  Serial.println(str);
  digitalWrite(ledv,LOW);
  delay(2000);
  digitalWrite(ledv,HIGH);
  //lectura de se variables humedad relativa y temperaura
  DHT.read11(sensor_dht);
  //humedad absoluta
  humedad = DHT.humidity;
  temperatura = DHT.temperature;
  //Serial.println(humedad);
  Serial.println("radio tx A"+String(temperatura));
  Serial2.println("radio tx A"+String(temperatura));
  delay(6000);
}

```

```

digitalWrite(ledv,LOW);
//enviade datos
Serial.println("radio tx AA"+String(humedad));
Serial2.println("radio tx AA"+String(humedad));
delay(6000);
digitalWrite(ledv,HIGH);
//lectura de variables
soilMoistureValue = analogRead(sensor_capacitive)*100; //put Sensor insert into soil
soilMoistureValue = soilMoistureValue/3580;
soilMoistureValue = 100-soilMoistureValue;
Serial2.println("radio tx B"+String(soilMoistureValue));
//Serial.println ("Humedad piso: "+String(soilMoistureValue));

delay(6000);
digitalWrite(ledv,LOW);
//Bajo consumo
Serial2.println("sys sleep 180000);
}

```

### **Módulo máster**

```

//Declaracion de los pines a utilizar
#define RXD2 16
#define TXD2 17
#define pinreset 21
#define activa_rele 19
#define activa_alarma 5
#define sensor_nivel 22
#define led 23

//Definicion de variables
int tlt=0;
int manual=0;

```

```
int temperatura1 = 0;
int humedad1 = 0;
int humedadr1 = 0;
int temperatura2 = 0;
int humedad2 = 0;
int humedadr2 = 0;
int temperatura3 = 0;
int humedad3 = 0;
int humedadr3 = 0;
int temperatura = 0;
int humedada = 0;
float humedadp= 0;
int humedadr = 0;
String h1, h2, h3;
String hr1, hr2, hr3;
String t1, t2, t3;

int entradabuffer = 0;
String str;

//Variables para envio de datos

int interval2 = 0;//10000;

int envio_datos(int temp, int humr, int huma){
  Serial.print("monitoreo.n0.val=");
  Serial.print(String(temp));
  Serial.write(0xff);
  Serial.write(0xff);
  Serial.write(0xff);
  delay(2);
  Serial.print("monitoreo.n1.val=");
  Serial.print(String(humr));
  Serial.write(0xff);
```

```
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
delay(2);
Serial.print("monitoreo.n2.val=");
Serial.print(String(huma));
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
delay(2);
}

int promedio (int var1, int var2, int var3){
  int var=0;
  if (var1>0 and var2>0 and var3>0)
  {
    var= var1 + var2 + var3;
    var= var/3;
  }
  else if (var1>0 and var2>0 and var3==0)
  {
    var= var1 + var2;
    var= var/2;
  }
  else if (var1>0 and var2==0 and var3>0)
  {
    var= var1 + var3;
    var= var/2;
  }
  else if (var1==0 and var2>0 and var3>0)
  {
    var= var2 + var3;
    var= var/2;
  }
  else if (var1>0 and var2==0 and var3==0)
```

```

{
var= var1;
}
else if (var1==0 and var2==0 and var3>0)
{
var= var3;
}
else if (var1==0 and var2>0 and var3==0)
{
var= var2;
}
return var;
}

void datosrecibidos(){
Serial2.println("radio rx 0");
str = Serial2.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
if ( str.indexOf("AA") >= 0 )
{
Serial.println ("h relativa");
Serial.println (str.charAt(12));
if (str.charAt(11) == 'A')
{
hr1= str.substring(12, str.length());
Serial.println (hr1);
humedadr1 = hr1.toInt();
Serial.println("Humedadr1: "+String(humedadr1));
}
else if (str.charAt(10) == 'A')
{
hr1 = str.substring(11, str.length());
Serial.println (hr1);
humedadr1 =hr1.toInt();
}
}
}

```

```
    Serial.println("Humedadr1: "+String(humedadr1));
  }
}
else if ( str.indexOf("CC") >= 0 )
{
  Serial.println ("h relativa");
  Serial.println (str.charAt(12));
  if (str.charAt(11) == 'C')
  {
    hr2= str.substring(12, str.length());
    Serial.println (hr2);
    humedadr2 = hr2.toInt();
    Serial.println("Humedadr2: "+String(humedadr2));
  }
  else if (str.charAt(10) == 'C')
  {
    hr2 = str.substring(11, str.length());
    Serial.println (hr2);
    humedadr2 =hr2.toInt();
    Serial.println("Humedadr2: "+String(humedadr2));
  }
}
else if ( str.indexOf("EE") >= 0 )
{
  Serial.println ("h relativa");
  Serial.println (str.charAt(12));
  if (str.charAt(11) == 'E')
  {
    hr3= str.substring(12, str.length());
    Serial.println (hr3);
    humedadr3 = hr3.toInt();
    Serial.println("Humedadr3: "+String(humedadr3));
  }
  else if (str.charAt(10) == 'E')
```

```
{
  hr3 = str.substring(11, str.length());
  Serial.println (hr3);
  humedadr3 =hr3.toInt();
  Serial.println("Humedadr3: "+String(humedadr3));
}
}
else if ( str.indexOf("A") >= 0 )
{
  if (str.charAt(10) == 'A')
  {
    t1= str.substring(11, str.length());
    temperatura1 =t1.toInt();
    Serial.println("Temperatura1: "+String(temperatura1));
  }
  else if (str.charAt(11) == 'A')
  {
    t1= str.substring(12, str.length());
    temperatura1 =t1.toInt();
    Serial.println("Temperatura1: "+String(temperatura1));
  }
}
else if ( str.indexOf("B") >= 0 ) {
  if (str.charAt(10) == 'B'){
    h1= str.substring(11, str.length());
    humedad1 =h1.toInt();
    Serial.println("Humedad1: "+String(humedad1));
  }
  else if (str.charAt(11) == 'B') {
    h1= str.substring(12, str.length());
    humedad1 =h1.toInt();
    Serial.println("Humedad1: "+String(humedad1));
  }
}
```

```
else if ( str.indexOf("C") >= 0 ) {
    if (str.charAt(10) == 'C'){
        t2= str.substring(11, str.length());
        temperatura2 =t2.toInt();
        Serial.println("Temperatura2: "+String(temperatura2));
    }
    else if (str.charAt(11) == 'C') {
        t2= str.substring(12, str.length());
        temperatura2 =t2.toInt();
        Serial.println("Temperatura2: "+String(temperatura2));
    }
}
else if ( str.indexOf("D") >= 0 ) {
    if (str.charAt(10) == 'D'){
        h2= str.substring(11, str.length());
        humedad2 =h2.toInt();
        Serial.println("Humedad2: "+String(humedad2));
    }
    else if (str.charAt(11) == 'D') {
        h2= str.substring(12, str.length());
        humedad2 =h2.toInt();
        Serial.println("Humedad2: "+String(humedad2));
    }
}
else if ( str.indexOf("E") >= 0 ) {
    if (str.charAt(10) == 'E'){
        t3= str.substring(11, str.length());
        temperatura3 =t3.toInt();
        Serial.println("Temperatura3: "+String(temperatura3));
    }
    else if (str.charAt(11) == 'E') {
        t3= str.substring(12, str.length());
        temperatura3 =t3.toInt();
        Serial.println("Temperatura3: "+String(temperatura3));
    }
}
```

```

    }
}
else if ( str.indexOf("F") >= 0 ) {
    if (str.charAt(10) == 'F'){
        h3= str.substring(11, str.length());
        humedad3 = h3.toInt();
        Serial.println("Humedad3: "+String(humedad3));
    }
    else if (str.charAt(11) == 'F') {
        h3 = str.substring(12, str.length());
        humedad3 =h3.toInt();
        Serial.println("Humedad3: "+String(humedad3));
    }
}

Serial.println("Temperatura 1: "+String(temperatura1));
Serial.println("Temperatura 2: "+String(temperatura2));
Serial.println("Temperatura 3: "+String(temperatura3));
Serial.println("Humedad 1: "+String(humedad1));
Serial.println("Humedad 2: "+String(humedad2));
Serial.println("Humedad 3: "+String(humedad3));
Serial.println("Humedad relativa 1: "+String(humedadr1));
Serial.println("Humedad relativa 2: "+String(humedadr2));
Serial.println("Humedad relativa 3: "+String(humedadr3));
}

void setup() {
//inicialización del puerto serial
Serial.begin(9600);
//inicialización del puerto serial 2
Serial2.begin(57600, SERIAL_8N1, RXD2, TXD2);
Serial.println ("Recepcion de Lora");
//Declaración de pines como entrada o salida
pinMode(pinreset,OUTPUT);

```

```
pinMode(22,INPUT);
pinMode(activa_rele,OUTPUT);
pinMode(activa_valvula,OUTPUT);
pinMode(activa_alarma,OUTPUT);
pinMode(led,OUTPUT);
digitalWrite(activa_rele,LOW);
digitalWrite(activa_valvula,LOW);
digitalWrite(activa_alarma,HIGH);
//Reseteo de módulo LoRa
digitalWrite(pinreset,LOW);
delay(100);
digitalWrite(pinreset,HIGH);

delay(2000);
//Configuración LoRa
Serial2.println("sys get hweui");
str = Serial2.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
delay(2000);

Serial2.println("mac pause");
Serial.println(str);
str = Serial2.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
delay(2000);
Serial2.println("radio get mod");
str = Serial2.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
delay(2000);
Serial2.println("radio get freq");
str = Serial2.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
delay(2000);
Serial2.println("radio get sf");
```

```

str = Serial2.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
delay(2000);
Serial2.println("radio get cr");
str = Serial2.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
delay(2000);
Serial2.println("radio get prlen");
str = Serial2.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
delay(2000);
Serial2.println("radio get pwr");
str = Serial2.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
delay(2000);
Serial2.flush();
}

void loop()
{
  interval2++;
  delay(1);
  if (interval2>1000)
  {
    interval2=0;

    digitalWrite(led, !digitalRead(led));
    datosrecibidos();
    temperatura= promedio(temperatura1, temperatura2, temperatura3);
    temperatura=temperatura-6;
    humedadr= promedio(humedadr1, humedadr2, humedadr3);
    humedada=promedio(humedad1, humedad2, humedad3);
    humedadp=humedada/0.27;
    humedadp=humedadp-122.22222;
  }
}

```

```
if(humedadp<0) humedadp=0;
humedada=humedadp;
if(manual==0 and humedada>0 and temperatura>5 and humedadr>10)
{
  //Condiciones de temperatura
  if (temperatura <15)
  {
    Serial.print("monitoreo.t0.txt=");
    Serial.print(34);
    Serial.print("T. baja");
    Serial.print(34);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    delay(2);
    envio_datos(temperatura, humedadr, humedada);
    if (digitalRead(22)==1) if (humedada < 25) digitalWrite(activa_rele,HIGH);
    if (humedada > 90) digitalWrite(activa_rele,LOW);

  }
  if (temperatura > 25)

  {
    Serial.print("monitoreo.t0.txt=");
    Serial.print(34);
    Serial.print("T. elevada");
    Serial.print(34);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
  }
  if (temperatura > 14 and temperatura < 25)
  {
    Serial.print("monitoreo.t0.txt=");
```

```
Serial.print(34);
Serial.print("    ");
Serial.print(34);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
}
}
}

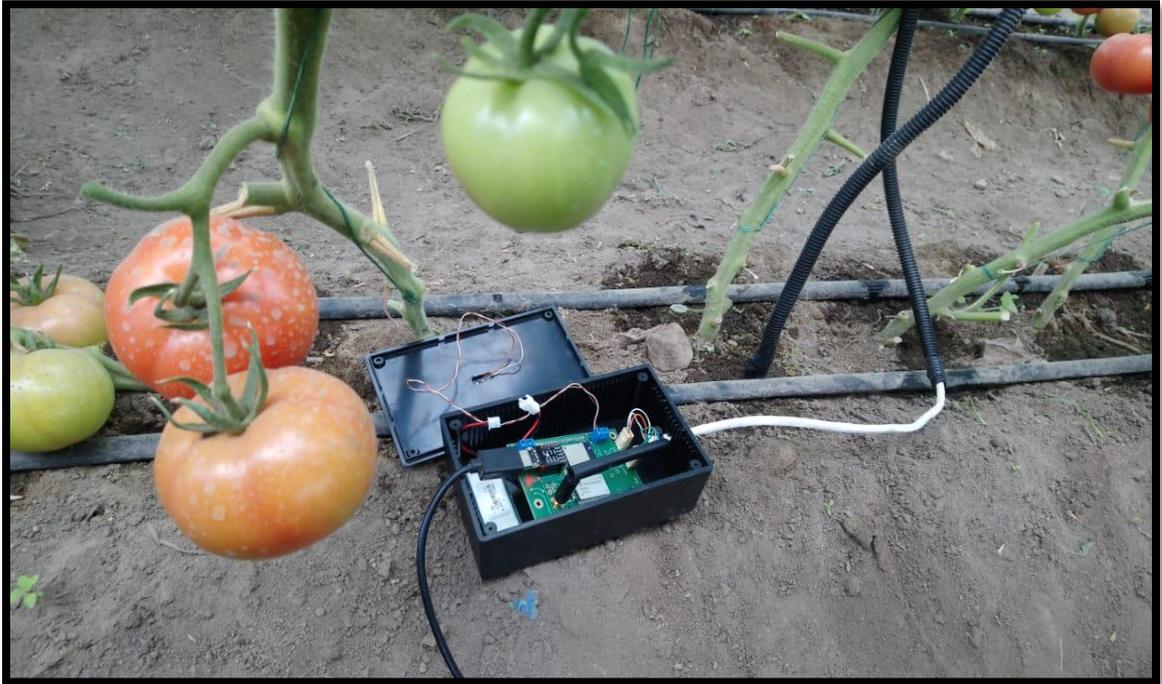
if(digitalRead(22)==0)
{
digitalWrite(activa_rele,LOW);
tlt++;
if(tlt==1) digitalWrite(activa_alarma,LOW);
if(tlt==500) digitalWrite(activa_alarma,HIGH);
if(tlt==2000) tlt=0;
}
else
{
digitalWrite(activa_alarma,HIGH);
}

if (Serial.available() > 0)
{
entradabuffer=Serial.read();
}
//Modo manual
if (entradabuffer==109) manual=1;
if (entradabuffer==77) manual=0;

if(manual==1)
{
```

```
if (entradabuffer==69)
{
  if(digitalRead(22)==1)
  {
    digitalWrite(activa_rele,HIGH);
    digitalWrite(activa_valvula,HIGH);
  }
}
if (entradabuffer==66)
{
  digitalWrite(activa_rele,LOW);
  digitalWrite(activa_valvula,LOW);
}
}
```

**Anexo 8.** Pruebas de funcionamiento del módulo esclavo.



**Anexo 9:** Pruebas de recepción de datos



## Anexo 10: Datasheet MCP73831/2



# MCP73831/2

## Miniature Single-Cell, Fully Integrated Li-Ion, Li-Polymer Charge Management Controllers

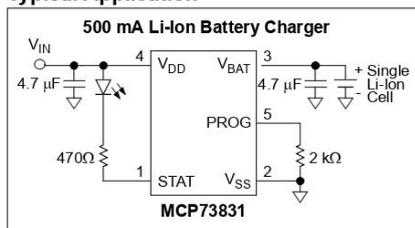
### Features:

- Linear Charge Management Controller:
  - Integrated Pass Transistor
  - Integrated Current Sense
  - Reverse Discharge Protection
- High Accuracy Preset Voltage Regulation:  $\pm 0.75\%$
- Four Voltage Regulation Options:
  - 4.20V, 4.35V, 4.40V, 4.50V
- Programmable Charge Current: 15 mA to 500 mA
- Selectable Preconditioning:
  - 10%, 20%, 40%, or Disable
- Selectable End-of-Charge Control:
  - 5%, 7.5%, 10%, or 20%
- Charge Status Output
  - Tri-State Output - MCP73831
  - Open-Drain Output - MCP73832
- Automatic Power-Down
- Thermal Regulation
- Temperature Range:  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$
- Packaging:
  - 8-Lead, 2 mm x 3 mm DFN
  - 5-Lead, SOT-23

### Applications:

- Lithium-Ion/Lithium-Polymer Battery Chargers
- Personal Data Assistants
- Cellular Telephones
- Digital Cameras
- MP3 Players
- Bluetooth Headsets
- USB Chargers

### Typical Application



### Description:

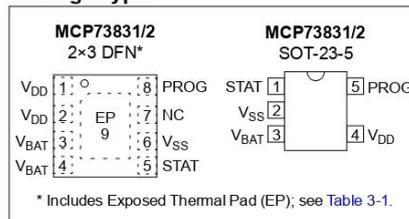
The MCP73831/2 devices are highly advanced linear charge management controllers for use in space-limited, cost-sensitive applications. The MCP73831/2 are available in an 8-Lead, 2 mm x 3 mm DFN package or a 5-Lead, SOT-23 package. Along with their small physical size, the low number of external components required make the MCP73831/2 ideally suited for portable applications. For applications charging from a USB port, the MCP73831/2 adhere to all the specifications governing the USB power bus.

The MCP73831/2 employ a constant-current/constant-voltage charge algorithm with selectable preconditioning and charge termination. The constant voltage regulation is fixed with four available options: 4.20V, 4.35V, 4.40V or 4.50V, to accommodate new, emerging battery charging requirements. The constant current value is set with one external resistor. The MCP73831/2 devices limit the charge current based on die temperature during high power or high ambient conditions. This thermal regulation optimizes the charge cycle time while maintaining device reliability.

Several options are available for the preconditioning threshold, preconditioning current value, charge termination value and automatic recharge threshold. The preconditioning value and charge termination value are set as a ratio or percentage of the programmed constant current value. Preconditioning can be disabled. Refer to [Section 1.0 "Electrical Characteristics"](#) for available options and the [Product Identification System](#) for standard options.

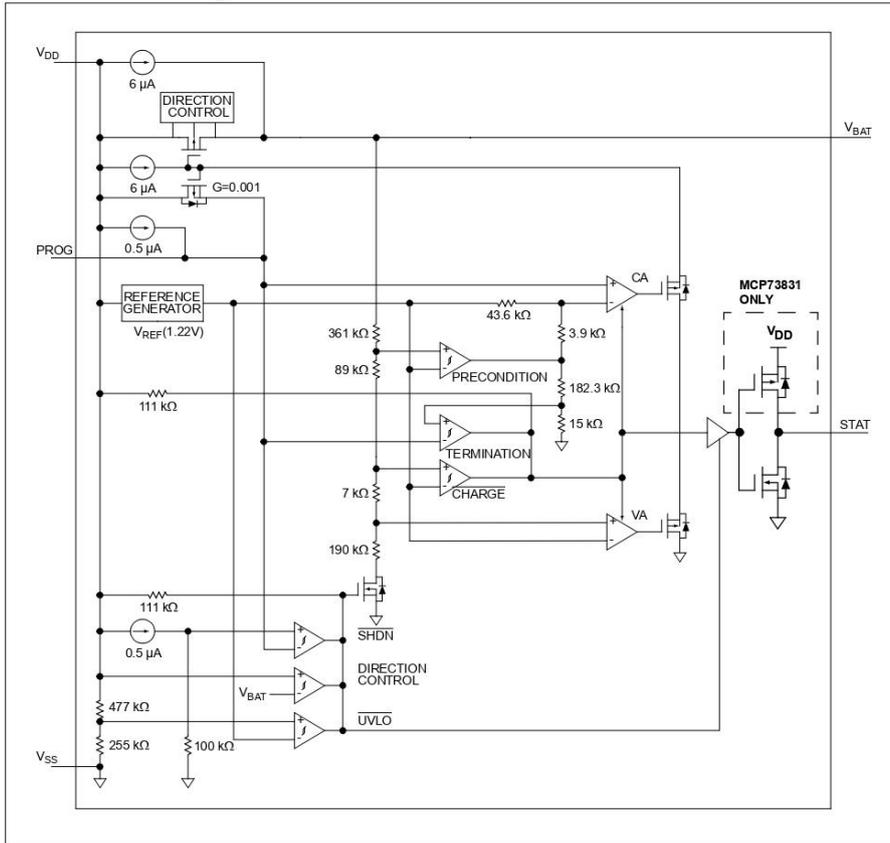
The MCP73831/2 devices are fully specified over the ambient temperature range of  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$ .

### Package Types



# MCP73831/2

Functional Block Diagram



# MCP73831/2

## 1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

### Absolute Maximum Ratings†

$V_{DD}$  ..... 7.0V  
 All Inputs and Outputs w.r.t.  $V_{SS}$  ..... -0.3 to ( $V_{DD}+0.3$ )V  
 Maximum Junction Temperature,  $T_J$  ..... Internally Limited  
 Storage temperature ..... -65°C to +150°C  
 ESD protection on all pins:  
 Human Body Model (1.5 k $\Omega$  in Series with 100 pF) .....  $\geq 4$  kV  
 Machine Model (200 pF, No Series Resistance) ..... 400V

† Notice: Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### DC CHARACTERISTICS

**Electrical Specifications:** Unless otherwise indicated, all limits apply for  $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 0.3V]$  to 6V,  $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ . Typical values are at  $+25^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 1.0V]$

Parameters	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
<b>Supply Input</b>						
Supply Voltage	$V_{DD}$	3.75	—	6	V	
Supply Current	$I_{SS}$	—	510	1500	$\mu\text{A}$	Charging
		—	53	200	$\mu\text{A}$	Charge Complete, No Battery
		—	25	50	$\mu\text{A}$	PROG Floating
		—	1	5	$\mu\text{A}$	$V_{DD} \leq (V_{BAT} - 50 \text{ mV})$
		—	0.1	2	$\mu\text{A}$	$V_{DD} < V_{STOP}$
UVLO Start Threshold	$V_{START}$	3.3	3.45	3.6	V	$V_{DD}$ Low-to-High
UVLO Stop Threshold	$V_{STOP}$	3.2	3.38	3.5	V	$V_{DD}$ High-to-Low
UVLO Hysteresis	$V_{HYS}$	—	70	—	mV	
<b>Voltage Regulation (Constant-Voltage Mode)</b>						
Regulated Output Voltage	$V_{REG}$	4.168	4.20	4.232	V	MCP7383X-2
		4.317	4.35	4.383	V	MCP7383X-3
		4.367	4.40	4.433	V	MCP7383X-4
		4.466	4.50	4.534	V	MCP7383X-5
Line Regulation	$ \frac{\Delta V_{BAT}}{V_{BAT}} / \frac{\Delta V_{DD}}{V_{DD}} $	—	0.09	0.30	%/V	$V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical})+1V]$ to 6V, $I_{OUT} = 10 \text{ mA}$
Load Regulation	$ \frac{\Delta V_{BAT}}{V_{BAT}} $	—	0.05	0.30	%	$I_{OUT} = 10 \text{ mA}$ to 50 mA $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical})+1V]$
Supply Ripple Attenuation	PSRR	—	52	—	dB	$I_{OUT}=10 \text{ mA}$ , 10Hz to 1 kHz
		—	47	—	dB	$I_{OUT}=10 \text{ mA}$ , 10Hz to 10 kHz
		—	22	—	dB	$I_{OUT}=10 \text{ mA}$ , 10Hz to 1 MHz
<b>Current Regulation (Fast Charge Constant-Current Mode)</b>						
Fast Charge Current Regulation	$I_{REG}$	90	100	110	mA	PROG = 10 k $\Omega$
		450	505	550	mA	PROG = 2.0 k $\Omega$ , <b>Note 1</b>
		12.5	14.5	16.5	mA	PROG = 67 k $\Omega$

**Note 1:** Not production tested. Ensured by design.

# MCP73831/2

## DC CHARACTERISTICS (CONTINUED)

<b>Electrical Specifications:</b> Unless otherwise indicated, all limits apply for $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 0.3V]$ to 6V, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$ . Typical values are at $+25^\circ\text{C}$ , $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 1.0V]$						
Parameters	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
<b>Preconditioning Current Regulation (Trickle Charge Constant-Current Mode)</b>						
Precondition Current Ratio	$I_{PREG} / I_{REG}$	7.5	10	12.5	%	PROG = 2.0 k $\Omega$ to 10 k $\Omega$
		15	20	25	%	PROG = 2.0 k $\Omega$ to 10 k $\Omega$
		30	40	50	%	PROG = 2.0 k $\Omega$ to 10 k $\Omega$
		—	100	—	%	No Preconditioning
Precondition Voltage Threshold Ratio	$V_{PTH} / V_{REG}$	64	66.5	69	%	$V_{BAT}$ Low-to-High
		69	71.5	74	%	$V_{BAT}$ Low-to-High
Precondition Hysteresis	$V_{PHYS}$	—	110	—	mV	$V_{BAT}$ High-to-Low
<b>Charge Termination</b>						
Charge Termination Current Ratio	$I_{TERM} / I_{REG}$	3.75	5	6.25	%	PROG = 2.0 k $\Omega$ to 10 k $\Omega$
		5.6	7.5	9.4	%	PROG = 2.0 k $\Omega$ to 10 k $\Omega$
		8.5	10	11.5	%	PROG = 2.0 k $\Omega$ to 10 k $\Omega$
		15	20	25	%	PROG = 2.0 k $\Omega$ to 10 k $\Omega$
$T_A = -5^\circ\text{C}$ to $+55^\circ\text{C}$						
<b>Automatic Recharge</b>						
Recharge Voltage Threshold Ratio	$V_{RTH} / V_{REG}$	91.5	94.0	96.5	%	$V_{BAT}$ High-to-Low
		94	96.5	99	%	$V_{BAT}$ High-to-Low
<b>Pass Transistor ON-Resistance</b>						
ON-Resistance	$R_{OSON}$	—	350	—	m $\Omega$	$V_{DD} = 3.75V$ , $T_J = 105^\circ\text{C}$
<b>Battery Detection</b>						
Battery Detection Current	$I_{BAT\_DET}$	—	6	—	$\mu\text{A}$	$V_{BAT}$ Source Current
No-Battery-Present Threshold	$V_{NO\_BAT}$	—	$V_{REG} + 100\text{ mV}$	—	V	$V_{BAT}$ Voltage $\geq V_{NO\_BAT}$ for No Battery condition
No-Battery-Present Impedance	$Z_{NO\_BAT}$	2	—	—	M $\Omega$	$V_{BAT}$ Impedance $\geq Z_{NO\_BAT}$ for No Battery condition, <b>Note 1</b>
<b>Battery Discharge Current</b>						
Output Reverse Leakage Current	$I_{DISCHARGE}$	—	0.15	2	$\mu\text{A}$	PROG Floating
		—	0.25	2	$\mu\text{A}$	$V_{DD}$ Floating
		—	0.15	2	$\mu\text{A}$	$V_{DD} < V_{STOP}$
		—	-5.5	-15	$\mu\text{A}$	Charge Complete
<b>Status Indicator – STAT</b>						
Sink Current	$I_{SINK}$	—	—	25	mA	
Low Output Voltage	$V_{OL}$	—	0.4	1	V	$I_{SINK} = 4\text{ mA}$
Source Current	$I_{SOURCE}$	—	—	35	mA	
High Output Voltage	$V_{OH}$	—	$V_{DD} - 0.4$	$V_{DD} - 1$	V	$I_{SOURCE} = 4\text{ mA}$ (MCP73831)
Input Leakage Current	$I_{LK}$	—	0.03	1	$\mu\text{A}$	High-Impedance
<b>PROG Input</b>						
Charge Impedance Range	$R_{PROG}$	2	—	67	k $\Omega$	
Minimum Shutdown Impedance	$R_{PROG}$	70	—	200	k $\Omega$	
<b>Automatic Power Down</b>						
Automatic Power Down Entry Threshold	$V_{PDENTER}$	$V_{DD} < (V_{BAT} + 20\text{ mV})$	$V_{DD} < (V_{BAT} + 50\text{ mV})$	—		$3.5V \leq V_{BAT} \leq V_{REG}$ $V_{DD}$ Falling

**Note 1:** Not production tested. Ensured by design.

## MCP73831/2

### DC CHARACTERISTICS (CONTINUED)

**Electrical Specifications:** Unless otherwise indicated, all limits apply for  $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 0.3V]$  to 6V,  $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ . Typical values are at  $+25^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 1.0V]$

Parameters	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Automatic Power Down Exit Threshold	$V_{PDEXIT}$	—	$V_{DD} < (V_{BAT} + 150\text{ mV})$	$V_{DD} < (V_{BAT} + 200\text{ mV})$		$3.5V \leq V_{BAT} \leq V_{REG}$ $V_{DD}$ Rising
<b>Thermal Shutdown</b>						
Die Temperature	$T_{SD}$	—	150	—	$^\circ\text{C}$	
Die Temperature Hysteresis	$T_{SDHYS}$	—	10	—	$^\circ\text{C}$	

**Note 1:** Not production tested. Ensured by design.

### AC CHARACTERISTICS

**Electrical Specifications:** Unless otherwise indicated, all limits apply for  $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 0.3V]$  to 12V,  $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ . Typical values are at  $+25^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 1.0V]$

Parameters	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
UVLO Start Delay	$t_{START}$	—	—	5	ms	$V_{DD}$ Low-to-High
<b>Constant-Current Regulation</b>						
Transition Time Out of Preconditioning	$t_{DELAY}$	—	—	1	ms	$V_{BAT} < V_{PTH}$ to $V_{BAT} > V_{PTH}$
Current Rise Time Out of Preconditioning	$t_{RISE}$	—	—	1	ms	$I_{OUT}$ Rising to 90% of $I_{REG}$
Termination Comparator Filter	$t_{TERM}$	0.4	1.3	3.2	ms	Average $I_{OUT}$ Falling
Charge Comparator Filter	$t_{CHARGE}$	0.4	1.3	3.2	ms	Average $V_{BAT}$
<b>Status Indicator</b>						
Status Output turn-off	$t_{OFF}$	—	—	200	$\mu\text{s}$	$I_{SINK} = 1\text{ mA}$ to $0\text{ mA}$
Status Output turn-on	$t_{ON}$	—	—	200	$\mu\text{s}$	$I_{SINK} = 0\text{ mA}$ to $1\text{ mA}$

### TEMPERATURE SPECIFICATIONS

**Electrical Specifications:** Unless otherwise indicated, all limits apply for  $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 0.3V]$  to 12V. Typical values are at  $+25^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} = [V_{REG}(\text{typical}) + 1.0V]$

Parameters	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
<b>Temperature Ranges</b>						
Specified Temperature Range	$T_A$	-40	—	+85	$^\circ\text{C}$	
Operating Temperature Range	$T_J$	-40	—	+125	$^\circ\text{C}$	
Storage Temperature Range	$T_A$	-65	—	+150	$^\circ\text{C}$	
<b>Thermal Package Resistances</b>						
5-Lead, SOT-23	$\theta_{JA}$	—	230	—	$^\circ\text{C/W}$	4-Layer JC51-7 Standard Board, Natural Convection ( <b>Note 2</b> )
8-Lead, 2 mm x 3 mm, DFN	$\theta_{JA}$	—	76	—	$^\circ\text{C/W}$	4-Layer JC51-7 Standard Board, Natural Convection ( <b>Note 1</b> )

**Note 1:** This represents the minimum copper condition on the PCB (Printed Circuit Board).

**Note 2:** With large copper area on the PCB, the SOT-23-5 thermal resistance ( $\theta_{JA}$ ) can reach a typical value of  $130^\circ\text{C/W}$  or better.

## Anexo 11: Datasheet RN2483



# RN2483

## Low-Power Long Range LoRa® Technology Transceiver Module

### General Features

- On-Board LoRaWAN™ Protocol Stack
- ASCII Command Interface over UART
- Compact Form Factor: 17.8 x 26.7 x 3.34 mm
- Castellated SMT Pads for Easy and Reliable PCB Mounting
- Environmentally Friendly, RoHS Compliant
- European R&TTE Directive Assessed Radio Module
- Device Firmware Upgrade (DFU) over UART, see "RN2483 LoRa® Technology Module Command Reference User's Guide" (DS40001784)

### Operational

- Single Operating Voltage: 2.1V to 3.6V (3.3V typical)
- Temperature Range: -40°C to +85°C
- Low-Power Consumption
- Programmable RF Communication Bit Rate up to 300 kbps with FSK Modulation, 10937 bps with LoRa® Technology Modulation
- Integrated MCU, Crystal, EUI-64 Node Identity Serial EEPROM, Radio Transceiver with Analog Front End, Matching Circuitry
- 14 GPIOs for Control and Status, Shared with 13 Analog Inputs

### RF/Analog Features

- Low-Power Long Range Transceiver Operating in the 433 MHz and 868 MHz Frequency Bands
- High Receiver Sensitivity: Down to -146 dBm
- TX Power: Adjustable up to +14 dBm high Efficiency PA
- FSK, GFSK, and LoRa Technology Modulation
- IIP3 = -11 dBm
- Up to 15 km Coverage at Suburban and up to 5 km Coverage at Urban Area



### Description

Microchip's RN2483 Low-Power Long Range LoRa Technology Transceiver module provides an easy to use, low-power solution for long range wireless data transmission. The advanced command interface offers rapid time to market.

The RN2483 module complies with the LoRaWAN Class A protocol specifications. It integrates RF, a baseband controller, command Application Programming Interface (API) processor, making it a complete long range solution.

The RN2483 module is suitable for simple long range sensor applications with external host MCU.

### Applications

- Automated Meter Reading
- Home and Building Automation
- Wireless Alarm and Security Systems
- Industrial Monitoring and Control
- Machine to Machine (M2M)
- Internet of Things (IoT)

# RN2483

## 1.0 DEVICE OVERVIEW

The RN2483 transceiver module features LoRa Technology RF modulation, which provides long range spread spectrum communication with high interference immunity.

Using LoRa Technology modulation technique, RN2483 can achieve a receiver sensitivity of -146 dBm. The high sensitivity combined with the integrated +14 dBm power amplifier yields industry leading link budget, which makes it optimal for applications requiring extended range and robustness.

LoRa Technology modulation also provides significant advantages in both blocking and selectivity compared to the conventional modulation techniques, solving the traditional design compromise between extended range, interference immunity, and low-power consumption.

The RN2483 module delivers exceptional phase noise, selectivity, receiver linearity, and IIP3 for significantly lower power consumption. Figure 1-1, Figure 1-2, and Figure 1-3 show the top view, the pinout, and the block diagram of the module.

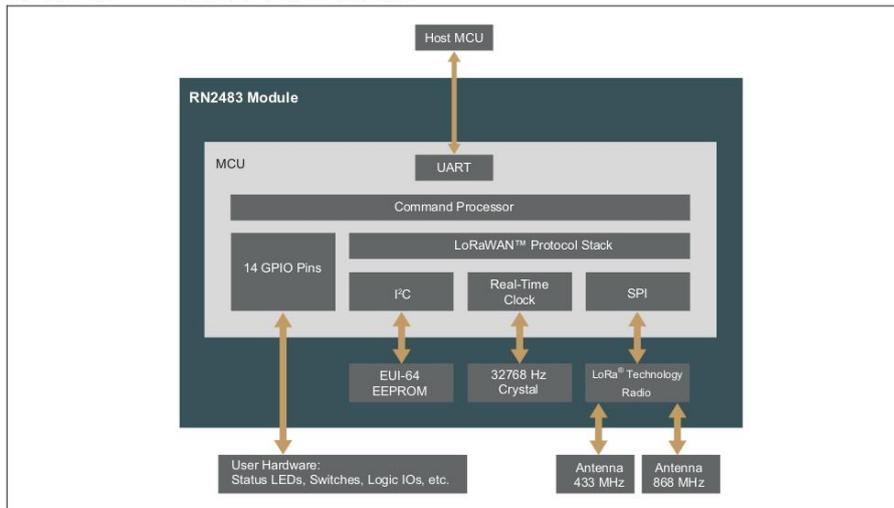
FIGURE 1-1: RN2483 TOP VIEW



FIGURE 1-2: RN2483 PIN DIAGRAM

28	GND	20	GND
29	NC	19	NC
30	PGC_INT	18	NC
31	PGD_INT	17	NC
32	RESET	16	NC
33	GND	15	NC
34	VDD	14	GPIO10
35	GPIO0	13	GPIO11
36	GPIO1	12	VDD
37	GPIO2	11	GND
38	GPIO3	10	GPIO12
39	GPIO4	9	GPIO13
40	GPIO5	8	GND
41	GND	7	UART_RX
42	NC	6	UART_TX
43	GPIO6	5	RESERVED
44	GPIO7	4	RESERVED
45	GPIO8	3	UART_CTS
46	GPIO9	2	UART_RTS
47	GND	1	GND

FIGURE 1-3: RN2483 BLOCK DIAGRAM



## RN2483

Table 1-1 describes the RN2483 pins.

**TABLE 1-1: PIN DESCRIPTION**

Pin	Name	Type	Description
1	GND	Power	Ground supply terminal
2	UART_RTS	Output	Communication UART RTS signal <sup>(1)</sup> , or GPIO
3	UART_CTS	Input	Communication UART CTS signal <sup>(1)</sup> , or GPIO
4	RESERVED	—	Do not connect
5	RESERVED	—	Do not connect
6	UART_TX	Output	Communication UART Transmit (TX)
7	UART_RX	Input	Communication UART Receive (RX)
8	GND	Power	Ground supply terminal
9	GPIO13	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
10	GPIO12	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
11	GND	Power	Ground supply terminal
12	VDD	Power	Positive supply terminal
13	GPIO11	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
14	GPIO10	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
15	NC	—	Not connected
16	NC	—	Not connected
17	NC	—	Not connected
18	NC	—	Not connected
19	NC	—	Not connected
20	GND	Power	Ground supply terminal
21	GND	Power	Ground supply terminal
22	GND	Power	Ground supply terminal
23	RFH	RF analog	RF signal pin for high band
24	GND	Power	Ground supply terminal
25	RFL	RF analog	RF signal pin for low band
26	GND	Power	Ground supply terminal
27	GND	Power	Ground supply terminal
28	GND	Power	Ground supply terminal
29	NC	—	Not connected
30	PGC_INT	Input/Output	Internal MCU ICSP program clock or general purpose I/O pin <sup>(2)</sup>
31	PGD_INT	Input/Output	Internal MCU ICSP program data or general purpose I/O pin <sup>(2)</sup>
32	RESET	Input	Active-low device Reset input
33	GND	Power	Ground supply terminal
34	VDD	Power	Positive supply terminal
35	GPIO0	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
36	GPIO1	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
37	GPIO2	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
38	GPIO3	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
39	GPIO4	Input/Output	General purpose I/O pin
40	GPIO5	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
41	GND	Power	Ground supply terminal
42	NC	—	Not connected

## RN2483

**TABLE 1-1: PIN DESCRIPTION (CONTINUED)**

Pin	Name	Type	Description
43	GPIO6	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
44	GPIO7	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
45	GPIO8	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
46	GPIO9	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
47	GND	Power	Ground supply terminal

**Note 1:** Optional handshake lines are supported in future firmware releases.

**2:** The "RN2483 LoRa<sup>®</sup> Technology Module Command Reference User's Guide" (DS40001784F) uses the pin name TEST0 for PGC\_INT and TEST1 for PGD\_INT.

# RN2483

## 2.0 GENERAL SPECIFICATIONS

Table 2-1 provides the general specifications for the module. Table 2-2, Table 2-3, and Table 2-4 provide the electrical characteristics, current consumption, and

dimensions of the module, respectively. Table 2-5 shows the RF output power calibration data. Table 2-6 shows the RF output power at different supply voltages and temperatures.

**TABLE 2-1: GENERAL SPECIFICATIONS**

Specification	Description
Frequency Band	863.000 MHz to 870.000 MHz; 433.050 MHz to 434.790 MHz
Modulation Method	FSK, GFSK, and LoRa <sup>®</sup> Technology modulation
Maximum Over-the-Air Data Rate	300 kbps with FSK modulation; 10937 bps with LoRa Technology modulation
RF Connection	Board edge connection
Interface	UART
Operation Range	Up to 15 km coverage at suburban; up to 5 km coverage at urban area
Sensitivity at 1% PER	-146 dBm <sup>(1)</sup>
RF TX Power	Adjustable up to max. 10 dBm on 433 MHz band (limited to meet regulations); max. 14 dBm on the 868 MHz band <sup>(2)</sup>
Temperature (operating)	-40°C to +85°C
Temperature (storage)	-40°C to +115°C
Humidity	10% ~ 90% non-condensing

**Note 1:** Dependent on modulation settings, Receiver Bandwidth (RBW), and Spreading Factor (SF).

**Note 2:** TX power is adjustable. For more information, refer to the "RN2483 LoRa<sup>®</sup> Technology Module Command Reference User's Guide" (DS40001784).

**TABLE 2-2: ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
Supply Voltage	2.1	—	3.6	V
Voltage on any pin with respect to VSS (except VDD) and RESET	-0.3	—	VDD + 0.3	V
Voltage on VDD with respect to VSS	-0.3	—	3.9	V
Voltage on RESET with respect to VSS	0	—	+11	V
Input Clamp Current (IIK) (VI < 0 or VI > VDD)	—	—	+/-20	mA
Output Clamp Current (IOK) (VO < 0 or VO > VDD)	—	—	+/-20	mA
GPIO sink/source current each	—	—	25/25	mA
Total GPIO sink/source current	—	—	200/185	mA
RAM Data Retention Voltage (in Sleep mode or Reset state)	1.5	—	—	V
VDD Start Voltage to ensure internal Power-on Reset signal	—	—	0.7	V
VDD Rise Rate to ensure internal Power-on Reset signal	0.05	—	—	V/ms
Brown-out Reset Voltage	1.75	1.9	2.05	V
Logic Input Low Voltage	—	—	0.15 x VDD	V
Logic Input High Voltage	0.8 x VDD	—	—	V
Input Leakage at <25°C (VSS < VPIN < VDD, Pin at high-impedance)	—	0.1	50	nA
Input Leakage at +60°C (VSS < VPIN < VDD, Pin at high-impedance)	—	0.7	100	nA
Input Leakage at +85°C (VSS < VPIN < VDD, Pin at high-impedance)	—	4	200	nA
RF Input Level	—	—	+10	dBm

## RN2483

**TABLE 2-3: CURRENT CONSUMPTION**

Mode	Temperature (°C)	Typical Current (mA)		
		VDD = 2.1V	VDD = 3.3V	VDD = 3.6V
Idle	-40 to +85	1.7	2.8	3.1
Transmit	25	28.6	38.9	44.5
Sleep	-40	0.0011	0.0013	0.0014
	25	0.0015	0.0016	0.0016
	85	0.002	0.0026	0.0026

**TABLE 2-4: MODULE DIMENSIONS**

Parameter	Value
Dimensions	17.8 x 26.7 x 3.34 mm
Weight	2.05g

**TABLE 2-5: OUTPUT POWER OF TX POWER SETTING**

Band	TX Power Setting	Output Power (dBm)	Typical Supply Current at 3.3V (mA)
868 MHz	-3	-4.0	17.3
	-2	-2.9	18.0
	-1	-1.9	18.7
	0	-1.7	20.2
	1	-0.6	21.2
	2	0.4	22.3
	3	1.4	23.5
	4	2.5	24.7
	5	3.6	26.1
	6	4.7	27.5
	7	5.8	28.8
	8	6.9	30.0
	9	8.1	31.2
	10	9.3	32.4
	11	10.4	33.7
12	11.6	35.1	
13	12.5	36.5	
14	13.5	38.0	
15	14.1	38.9	

## RN2483

**TABLE 2-5: OUTPUT POWER OF TX POWER SETTING (CONTINUED)**

Band	TX Power Setting	Output Power (dBm)	Typical Supply Current at 3.3V (mA)
433 MHz	-3	-3.5	14.7
	-2	-2.3	15.1
	-1	-1.3	15.6
	0	-2.3	15.8
	1	-1.2	16.4
	2	-0.1	17.0
	3	1.0	17.7
	4	2.1	18.5
	5	3.2	19.4
	6	4.3	20.3
	7	5.4	21.4
	8	6.5	22.3
	9	7.6	23.3
	10	8.8	24.5
	11	9.9	25.8
	12	10.9	27.3
13	11.9	28.8	
14	12.9	30.7	
15	13.6	32.9	

**TABLE 2-6: OUTPUT POWER OF SUPPLY VOLTAGE AND TEMPERATURE**

Temperature (°C)	Typical Output Power at 868 MHz (dBm)		
	VDD = 2.1V	VDD = 3.3V	VDD = 3.6V
-40	10.5	13.8	13.7
25	10.0	14.1	14.6
85	9.1	13.4	13.7

**TABLE 2-7: OUTPUT POWER OF SUPPLY VOLTAGE AND TEMPERATURE**

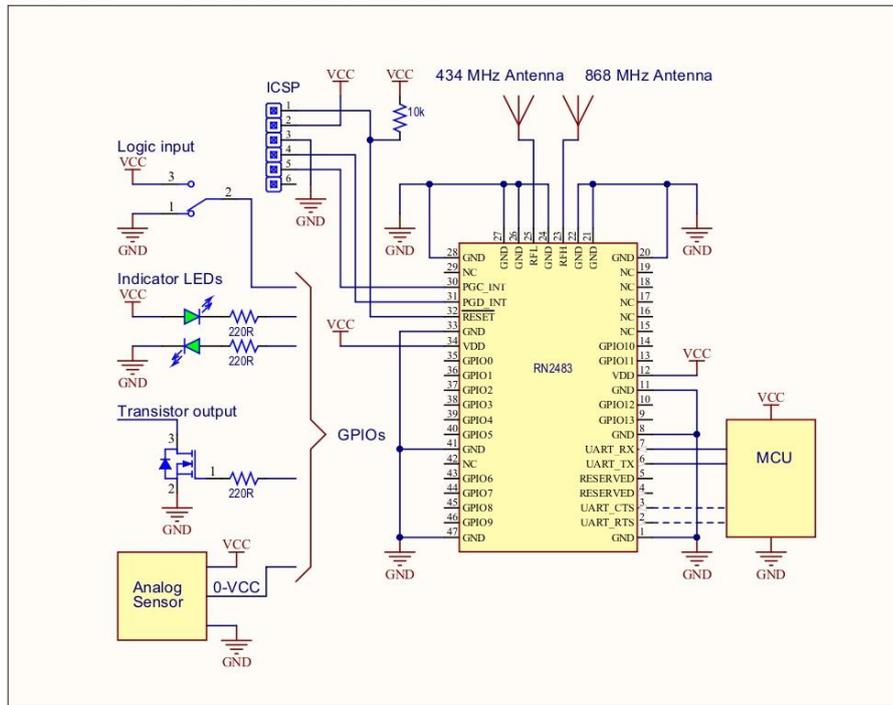
Temperature (°C)	Typical Output Power at 434 MHz (dBm)		
	VDD = 2.1V	VDD = 3.3V	VDD = 3.6V
-40	10.1	13.2	13.2
25	9.7	13.6	14.2
85	9.3	13.0	13.4

# RN2483

## 3.0 TYPICAL HARDWARE CONNECTIONS

Figure 3-1 shows the typical hardware connections.

FIGURE 3-1: HARDWARE CONNECTIONS



### 3.1 Interface to Host MCU

The RN2483 module has a dedicated UART interface to communicate with a host controller. Optional handshake lines are supported in future firmware releases. The “RN2483 LoRa® Technology Module Command Reference User’s Guide” (DS40001784) provides a detailed UART command description. Table 3-1 shows the default settings for the UART communication.

TABLE 3-1: DEFAULT UART SETTINGS

Specification	Description
Baud Rate	57600 bps
Packet Length	8 bit
Parity Bit	No
Stop Bits	1 bit
Hardware Flow Control	No

### 3.2 GPIO Pins (GPIO0-GPIO13)

The module has 14 GPIO pins. These lines can be connected to switches, LEDs, and relay outputs. The pins can be either logic inputs or outputs, and some pins (see Table 1-1) have analog input capability that can be accessed via the module firmware. These pins have limited sink and source capabilities. Electrical characteristics are described in Table 2-2. For more information, see “RN2483 LoRa® Technology Module Command Reference User’s Guide” (DS40001784).

### 3.3 RF Connections (RFL, RFH)

RFL is the RF analog port for the lower frequency band (433 MHz) while RFH is for the higher frequency band (868 MHz). When routing RF paths, use proper strip lines with an impedance of 50 Ohm.

Anexo 12: Datasheet PC817

**SHARP**

**PC817 Series**

# PC817 Series

## High Density Mounting Type Photocoupler

\* Lead forming type (I type) and taping reel type (P type) are also available. (PC817I/PC817P)

\*\* TÜV (VDE0884) approved type is also available as an option.

### ■ Features

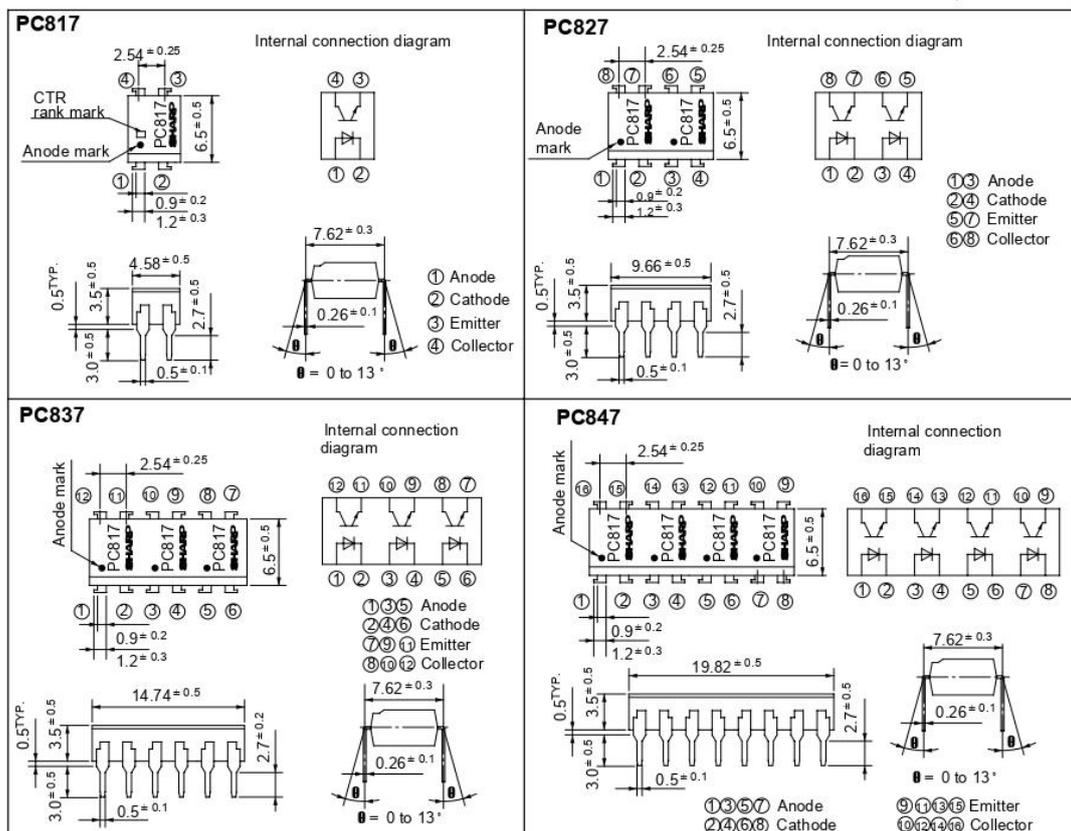
1. Current transfer ratio  
(CTR: MIN. 50% at  $I_F = 5\text{mA}$ ,  $V_{CE} = 5\text{V}$ )
2. High isolation voltage between input and output ( $V_{iso} : 5\,000\text{V}_{rms}$ )
3. Compact dual-in-line package  
**PC817** : 1-channel type  
**PC827** : 2-channel type  
**PC837** : 3-channel type  
**PC847** : 4-channel type
4. Recognized by UL, file No. E64380

### ■ Applications

1. Computer terminals
2. System appliances, measuring instruments
3. Registers, copiers, automatic vending machines
4. Electric home appliances, such as fan heaters, etc.
5. Signal transmission between circuits of different potentials and impedances

### ■ Outline Dimensions

( Unit : mm )



\* In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that occur in equipment using any of SHARP's devices, shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest version of the device specification sheets before using any SHARP's device.

### ■ Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

	Parameter	Symbol	Rating	Unit
Input	Forward current	$I_F$	50	mA
	*1Peak forward current	$I_{FM}$	1	A
	Reverse voltage	$V_R$	6	V
	Power dissipation	P	70	mW
Output	Collector-emitter voltage	$V_{CEO}$	35	V
	Emitter-collector voltage	$V_{ECO}$	6	V
	Collector current	$I_C$	50	mA
	Collector power dissipation	$P_C$	150	mW
	Total power dissipation	$P_{tot}$	200	mW
	*2Isolation voltage	$V_{iso}$	5 000	$V_{rms}$
	Operating temperature	$T_{opr}$	- 30 to + 100	°C
Storage temperature	$T_{stg}$	- 55 to + 125	°C	
*3Soldering temperature	$T_{sol}$	260	°C	

\*1 Pulse width  $\leq 100\mu s$ , Duty ratio : 0.001

\*2 40 to 60% RH, AC for 1 minute

\*3 For 10 seconds

### ■ Electro-optical Characteristics (Ta = 25°C)

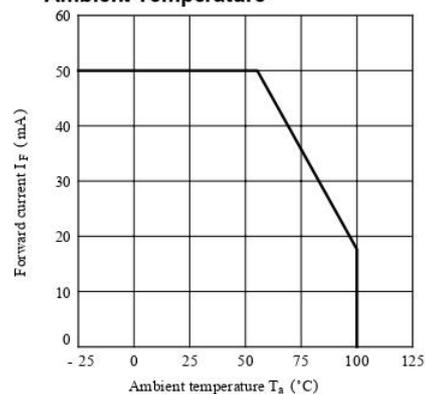
	Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit	
Input	Forward voltage	$V_F$	$I_F = 20mA$	-	1.2	1.4	V	
	Peak forward voltage	$V_{FM}$	$I_{FM} = 0.5A$	-	-	3.0	V	
	Reverse current	$I_R$	$V_R = 4V$	-	-	10	$\mu A$	
	Terminal capacitance	$C_t$	$V = 0, f = 1kHz$	-	30	250	pF	
Output	Collector dark current	$I_{CEO}$	$V_{CE} = 20V$	-	-	$10^{-7}$	A	
Transfer characteristics	*4Current transfer ratio	CTR	$I_F = 5mA, V_{CE} = 5V$	50	-	600	%	
	Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_F = 20mA, I_C = 1mA$	-	0.1	0.2	V	
	Isolation resistance	$R_{ISO}$	DC500V, 40 to 60%RH	$5 \times 10^{10}$	$10^{11}$	-	$\Omega$	
	Floating capacitance	$C_f$	$V = 0, f = 1MHz$	-	0.6	1.0	pF	
	Response time	Cut-off frequency	$f_c$	$V_{CE} = 5V, I_C = 2mA, R_L = 100\Omega, -3dB$	-	80	-	kHz
			Rise time	$t_r$	$V_{CE} = 2V, I_C = 2mA, R_L = 100\Omega$	-	4	18
Fall time	$t_f$	-	3	18		$\mu s$		

\*4 Classification table of current transfer ratio is shown below.

Model No.	Rank mark	CTR (%)
PC817A	A	80 to 160
PC817B	B	130 to 260
PC817C	C	200 to 400
PC817D	D	300 to 600
PC8*7AB	A or B	80 to 260
PC8*7BC	B or C	130 to 400
PC8*7CD	C or D	200 to 600
PC8*7AC	A, B or C	80 to 400
PC8*7BD	B, C or D	130 to 600
PC8*7AD	A, B, C or D	80 to 600
PC8*7	A, B, C, D or No mark	50 to 600

\*: 1 or 2 or 3 or 4

**Fig. 1 Forward Current vs. Ambient Temperature**



## Anexo 13: Datasheet AP2112K-3.3TRG1



Preliminary Datasheet

**600mA CMOS LDO REGULATOR WITH ENABLE**

**AP2112**

### General Description

The AP2112 is CMOS process low dropout linear regulator with enable function, the regulator delivers a guaranteed 600mA (min.) continuous load current.

The AP2112 provides 1.2V, 1.8V, 2.5V, 2.6V and 3.3V regulated output, and provides excellent output accuracy 1.5%, also provides an excellent load regulation, line regulation and excellent load transient performance due to very fast loop response. The AP2112 has built-in auto discharge function.

The regulator features low power consumption, and provides SOT-23-5, SOT-89-5, and SOIC-8 packages.

### Features

- Output voltage accuracy:  $\pm 1.5\%$
- Output Current: 600mA (Min.)
- Foldback Short Current Protection: 50mA
- Enable Function to Turn ON/OFF  $V_{OUT}$
- Low Dropout Voltage (3.3V): 250mV (Typ.) @  $I_{OUT}=600mA$
- Excellent Load Regulation: 0.2%/A (Typ.)
- Excellent Line Regulation: 0.02%/V (Typ.)
- Low Quiescent Current: 55 $\mu A$  (Typ.)
- Low Standby Current: 0.01 $\mu A$  (Typ.)
- Low Output Noise: 50 $\mu V_{RMS}$
- PSRR: 100Hz -65dB, 1k -65dB
- OTSD Protection
- Stable with 1.0 $\mu F$  Flexible Cap: Ceramic, Tantalum and Aluminum Electrolytic
- Operation Temperature Range: -40°C to 85°C
- ESD: MM 400V, HBM 4000V

### Applications

- Laptop computer
- Potable DVD
- LCD Monitor

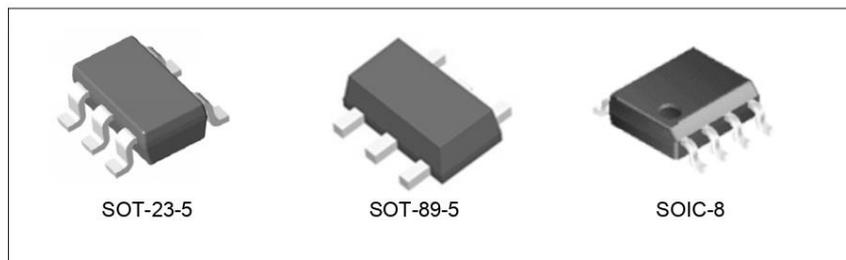


Figure 1. Package Type of AP2112


**600mA CMOS LDO REGULATOR WITH ENABLE**
**AP2112**
**Absolute Maximum Ratings (Note 1)**

Parameter	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	$V_{CC}$	6.5	V
Operating Junction Temperature Range	$T_J$	150	°C
Storage temperature Range	$T_{STG}$	-65 to 150	°C
Lead Temperature (Soldering,10 Seconds)	$T_{LEAD}$	260	°C
Thermal Resistance (Junction to Ambient) (No heatsink)	$\theta_{JA}$	SOT-23-5	184
		SOIC-8	114
		SOT-89-5	120
ESD	Machine Model	400	V
	Human Body Model	4000	V

Note 1: Stresses greater than those listed under “Absolute Maximum Ratings” may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under “Recommended Operating Conditions” is not implied. Exposure to “Absolute Maximum Ratings” for extended periods may affect device reliability.

**Recommended Operating Conditions**

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit
Supply Voltage	$V_{IN}$	2.5	6.0	V
Ambient Operation Temperature Range	$T_A$	-40	85	°C

## Anexo 14: Datasheet ESP32

### 1. Overview

ESP32-WROOM-32 is a powerful, generic Wi-Fi+BT+BLE MCU module that targets a wide variety of applications, ranging from low-power sensor networks to the most demanding tasks, such as voice encoding, music streaming and MP3 decoding.

At the core of this module is the ESP32-D0WDQ6 chip\*. The chip embedded is designed to be scalable and adaptive. There are two CPU cores that can be individually controlled, and the CPU clock frequency is adjustable from 80 MHz to 240 MHz. The user may also power off the CPU and make use of the low-power co-processor to constantly monitor the peripherals for changes or crossing of thresholds. ESP32 integrates a rich set of peripherals, ranging from capacitive touch sensors, Hall sensors, SD card interface, Ethernet, high-speed SPI, UART, I<sup>2</sup>S and I<sup>2</sup>C.

**Note:**

\* For details on the part numbers of the ESP32 family of chips, please refer to the document [ESP32 Datasheet](#).

The integration of Bluetooth, Bluetooth LE and Wi-Fi ensures that a wide range of applications can be targeted, and that the module is all-around: using Wi-Fi allows a large physical range and direct connection to the Internet through a Wi-Fi router, while using Bluetooth allows the user to conveniently connect to the phone or broadcast low energy beacons for its detection. The sleep current of the ESP32 chip is less than 5  $\mu$ A, making it suitable for battery powered and wearable electronics applications. The module supports a data rate of up to 150 Mbps, and 20 dBm output power at the antenna to ensure the widest physical range. As such the module does offer industry-leading specifications and the best performance for electronic integration, range, power consumption, and connectivity.

The operating system chosen for ESP32 is freeRTOS with LwIP; TLS 1.2 with hardware acceleration is built in as well. Secure (encrypted) over the air (OTA) upgrade is also supported, so that users can upgrade their products even after their release, at minimum cost and effort.

Table 1 provides the specifications of ESP32-WROOM-32.

**Table 1: ESP32-WROOM-32 Specifications**

Categories	Items	Specifications
Certification	RF certification	FCC/CE-RED/IC/TELEC/KCC/SRRC/NCC
	Wi-Fi certification	Wi-Fi Alliance
	Bluetooth certification	BQB
	Green certification	RoHS/REACH
Test	Reliability	HTOL/HTSL/uHAST/TCT/ESD
Wi-Fi	Protocols	802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps) A-MPDU and A-MSDU aggregation and 0.4 $\mu$ s guard interval support
	Frequency range	2.4 GHz ~ 2.5 GHz
Bluetooth	Protocols	Bluetooth v4.2 BR/EDR and BLE specification
	Radio	NZIF receiver with -97 dBm sensitivity
		Class-1, class-2 and class-3 transmitter
		AFH

## 1. Overview

Categories	Items	Specifications
	Audio	CVSD and SBC
Hardware	Module interfaces	SD card, UART, SPI, SDIO, I <sup>2</sup> C, LED PWM, Motor PWM, I <sup>2</sup> S, IR, pulse counter, GPIO, capacitive touch sensor, ADC, DAC
	On-chip sensor	Hall sensor
	Integrated crystal	40 MHz crystal
	Integrated SPI flash	4 MB
	Operating voltage/Power supply	2.7 V ~ 3.6 V
	Operating current	Average: 80 mA
	Minimum current delivered by power supply	500 mA
	Recommended operating temperature range	-40 °C ~ +85 °C
	Package size	(18.00±0.10) mm × (25.50±0.10) mm × (3.10±0.10) mm

## 2. Pin Definitions

### 2.1 Pin Layout

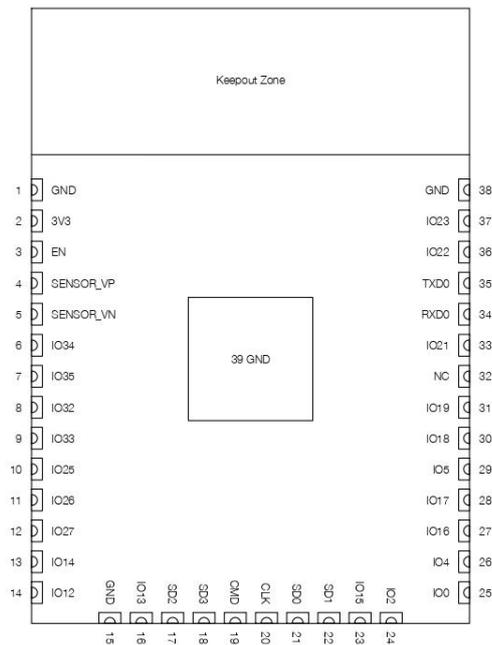


Figure 1: ESP32-WROOM-32 Pin Layout (Top View)

### 2.2 Pin Description

ESP32-WROOM-32 has 38 pins. See pin definitions in Table 2.

Table 2: Pin Definitions

Name	No.	Type	Function
GND	1	P	Ground
3V3	2	P	Power supply
EN	3	I	Module-enable signal. Active high.
SENSOR_VP	4	I	GPIO36, ADC1_CH0, RTC_GPIO0
SENSOR_VN	5	I	GPIO39, ADC1_CH3, RTC_GPIO3
IO34	6	I	GPIO34, ADC1_CH6, RTC_GPIO4
IO35	7	I	GPIO35, ADC1_CH7, RTC_GPIO5
IO32	8	I/O	GPIO32, XTAL_32K_P (32.768 kHz crystal oscillator input), ADC1_CH4, TOUCH9, RTC_GPIO9
IO33	9	I/O	GPIO33, XTAL_32K_N (32.768 kHz crystal oscillator output), ADC1_CH5, TOUCH8, RTC_GPIO8

## 2. Pin Definitions

Name	No.	Type	Function
IO25	10	I/O	GPIO25, DAC_1, ADC2_CH8, RTC_GPIO6, EMAC_RXD0
IO26	11	I/O	GPIO26, DAC_2, ADC2_CH9, RTC_GPIO7, EMAC_RXD1
IO27	12	I/O	GPIO27, ADC2_CH7, TOUCH7, RTC_GPIO17, EMAC_RX_DV
IO14	13	I/O	GPIO14, ADC2_CH6, TOUCH6, RTC_GPIO16, MTMS, HSPICLK, HS2_CLK, SD_CLK, EMAC_TXD2
IO12	14	I/O	GPIO12, ADC2_CH5, TOUCH5, RTC_GPIO15, MTDI, HSPIQ, HS2_DATA2, SD_DATA2, EMAC_TXD3
GND	15	P	Ground
IO13	16	I/O	GPIO13, ADC2_CH4, TOUCH4, RTC_GPIO14, MTCK, HSPID, HS2_DATA3, SD_DATA3, EMAC_RX_ER
SHD/SD2*	17	I/O	GPIO9, SD_DATA2, SPIHD, HS1_DATA2, U1RXD
SWP/SD3*	18	I/O	GPIO10, SD_DATA3, SPIWP, HS1_DATA3, U1TXD
SCS/CMD*	19	I/O	GPIO11, SD_CMD, SPICS0, HS1_CMD, U1RTS
SCK/CLK*	20	I/O	GPIO6, SD_CLK, SPICLK, HS1_CLK, U1CTS
SDO/SD0*	21	I/O	GPIO7, SD_DATA0, SPIQ, HS1_DATA0, U2RTS
SDI/SD1*	22	I/O	GPIO8, SD_DATA1, SPID, HS1_DATA1, U2CTS
IO15	23	I/O	GPIO15, ADC2_CH3, TOUCH3, MTDO, HSPICS0, RTC_GPIO13, HS2_CMD, SD_CMD, EMAC_RXD3
IO2	24	I/O	GPIO2, ADC2_CH2, TOUCH2, RTC_GPIO12, HSPWP, HS2_DATA0, SD_DATA0
IO0	25	I/O	GPIO0, ADC2_CH1, TOUCH1, RTC_GPIO11, CLK_OUT1, EMAC_TX_CLK
IO4	26	I/O	GPIO4, ADC2_CH0, TOUCH0, RTC_GPIO10, HSPHD, HS2_DATA1, SD_DATA1, EMAC_TX_ER
IO16	27	I/O	GPIO16, HS1_DATA4, U2RXD, EMAC_CLK_OUT
IO17	28	I/O	GPIO17, HS1_DATA5, U2TXD, EMAC_CLK_OUT_180
IO5	29	I/O	GPIO5, VSPICS0, HS1_DATA6, EMAC_RX_CLK
IO18	30	I/O	GPIO18, VSPICLK, HS1_DATA7
IO19	31	I/O	GPIO19, VSPIQ, U0CTS, EMAC_TXD0
NC	32	-	-
IO21	33	I/O	GPIO21, VSPIHD, EMAC_TX_EN
RXD0	34	I/O	GPIO3, U0RXD, CLK_OUT2
TXD0	35	I/O	GPIO1, U0TXD, CLK_OUT3, EMAC_RXD2
IO22	36	I/O	GPIO22, VSPWP, U0RTS, EMAC_TXD1
IO23	37	I/O	GPIO23, VSPID, HS1_STROBE
GND	38	P	Ground

**Notice:**

\* Pins SCK/CLK, SDO/SD0, SDI/SD1, SHD/SD2, SWP/SD3 and SCS/CMD, namely, GPIO6 to GPIO11 are connected to the integrated SPI flash integrated on the module and are not recommended for other uses.