

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

DISEÑO Y IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA EL
CULTIVO DE CACAO USANDO EL INTERNET DE LAS COSAS (IOT)

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniería en Telecomunicaciones

Presentado por:

Juan Pablo Gutiérrez Sanchez

Marcelo Joshue Sánchez Sánchez

GUAYAQUIL - ECUADOR

2022-2023

DEDICATORIA

Quiero agradecer a Dios por darme la iluminación, claridad, fortaleza a lo largo de todos los años de la carrera. Quiero dedicar esta consecución a mis padres, que han sido mi motivación, soporte y apoyo en los momentos más dificultosos. Quiero expresar mis más sinceras muestras de gratitud hacia todas las personas que me extendieron la mano cuando más necesite durante esta época.

Juan Pablo Gutiérrez Sanchez

Dedico este Proyecto de la Materia integradora a Dios por ser el mejor guía en esos momentos difíciles y complejos también a mi Esposa e Hijos que son la inspiración en mi vida y por último a mis padres y familiares por el apoyo incondicional brindado a lo largo de este proceso como futuro Profesional.

Marcelo Joshue Sánchez Sánchez

AGRADECIMIENTOS

Nuestros más sinceros y profundos agradecimientos a mis profesores durante la etapa de formación, amigos que con sus enseñanzas y buenos consejos nos ayudaron en la toma de decisiones y en especial al Dr. German Vargas por su comprensión y ayuda en el desarrollo del Proyecto integrador.

Juan Pablo Gutiérrez Sanchez

Marcelo Joshue Sánchez Sánchez

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Juan Pablo Gutiérrez Sanchez* y *Marcelo Joshue Sánchez Sánchez* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



JUAN PABLO GUTIÉRREZ SANCHEZ



MARCELO JOSHUE SÁNCHEZ SÁNCHEZ

EVALUADORES



Ph.D MEDINA MOREIRA WASHINGTON ADOLFO
PROFESOR DE LA MATERIA



Ph.D VARGAS LÓPEZ GERMAN RICARDO
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En el cantón Simón Bolívar ubicado en la provincia del Guayas, se encuentra la comunidad del “Recinto El Rosal”; en este establecimiento los comuneros se encargan de realizar la siembra y cosecha de cacao. Debido a la falta de cumplimiento de las normativas regidas por la autoridad competente en el Ecuador, el MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca) en cuánto a la separación de una planta con otra o por el relieve irregular que se tiene en la zona de cultivo, conlleva que la acumulación de agua en el sitio sea de forma desequilibrada y por consecuente se ocasione acumulación en ciertas zonas de agua y por tanto una mala gestión y desperdicio del recurso. Por ello se propuso el diseño e implementación de un entorno de red IOT con dispositivos finales y periféricos para la adquisición y transmisión de datos de variables ambientales como la temperatura y humedad para su subida al servidor. Además, se implementó un modelo de prototipado en pequeña escala de un sistema de riego automatizado para tener un sistema completo de medición y de actuadores. La aplicación de este sistema de agricultura automatizada de precisión a gran escala permitiría obtener un uso más solvente del agua y con ello la reducción de la mano de obra y los gastos que esto representa, obteniéndose mejores resultados en la producción del cacao a corto y largo plazo con un sistema amigable, cómodo, sencillo de usar, y económicamente rentable a largo plazo para los miembros del recinto o cualquier zona que implemente este sistema

ABSTRACT

In the Simon Bolivar canton, located in the province of Guayas, lies the community called "Recinto El Rosal"; in this place, the community members oversee planting and harvesting cacao. Due to the non-compliance of the normative ruled by the Ecuador competent authority, the MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca) regarding the plant separation between one plant and another or due to the irregular relief that the growing areas have, the water accumulation on the site is unbalanced resulting in water accumulation on certain water zones, resulting in mismanagement and resource waste. For this reason, the design and implementation of an IOT network environment with final and peripheral devices for the acquisition and transmission of data of environmental variables such as temperature and humidity for uploading to the server were proposed. In addition, a small-scale prototyping model of an automated irrigation system was implemented to have a complete system of sensors and actuators. The application of the automatized precision agriculture system on a large scale will allow obtaining a more efficient use of water with it the reduction of labor and the expenses that this represents, and obtaining better results in cacao production in the short and long-term with a friendly, comfortable, easy to use and economically profitable system in the long term for members of the "Recinto El Rosal" or any agriculture zone that implements this system.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Justificación del problema	2
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo General	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
1.4. Estado del arte	5
1.5. Alcance	7
1.6. Metodología	8
2. MARCO TEÓRICO	10
2.1. Riego en la Agricultura	10
2.2. Sistema de riego	10
2.3. Sistema de riego automatizado	11
2.4. Tipos de riego	12
2.4.1. Riego por goteo	12
2.4.2. Riego por aspersión	13
2.4.3. Riego por bordes	14
2.4.4. Riego por inundación	14
2.5. Internet de las cosas (IOT)	15
2.5.1. Componentes primordiales en un entorno IOT	16
2.5.1.1. Bloques en IoT	17
2.5.1.2. Confiabilidad/Robustez:	17
2.5.1.3. Desafíos en IoT	18
2.5.2. Plataformas IOT	19
2.5.2.1. ThingSpeak	19
2.5.2.2. Blynk IOT	20
2.5.2.3. Node-RED	21
2.6. Comunicaciones inalámbricas	23
2.6.1. Tecnologías de comunicación inalámbrica	23
2.6.1.1. Bluetooth	24

2.6.1.2.	Wifi	25
2.6.1.3.	Lorawan	27
2.7.	Diseño del hardware	28
2.7.1.	Jumpers	28
2.7.1.1.	Con pinzas de cocodrilo	28
2.7.1.2.	Con terminales aislados	29
2.7.2.	Cable USB tipo C	30
2.7.3.	Cable 16 AWG	31
2.7.4.	Protoboard	32
2.7.4.1.	Partes del Protoboard	33
2.7.5.	Microcontroladores	34
2.7.5.1.	Componentes de un microcontrolador	35
2.7.5.2.	Ejemplos de Microcontroladores	36
2.7.6.	SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD	41
2.7.6.1.	Sensor DHT11	41
2.7.6.2.	Sensor DHT22	42
2.7.6.3.	Sensor FC-28	43
2.8.	Redes de sensores inalámbricos	44
3.	DISEÑO DEL SISTEMA	46
3.1.	Diseño e implementación del primer prototipo	46
3.1.1.	Diagramas de bloque del sistema	46
3.1.1.1.	Nodo 2	47
3.1.1.2.	Nodo 1	48
3.1.1.3.	Nodo Maestro	48
3.1.2.	Arquitectura del sistema	49
3.1.2.1.	Nodo 2	50
3.1.2.2.	Nodo 1	51
3.1.2.3.	Nodo Maestro	52
3.2.	Diseño e implementación del segundo prototipo	54
3.2.1.	Diagrama de bloques del sistema	54
3.2.2.	Arquitectura del sistema	55
3.2.2.1.	Nodo	56
3.2.2.2.	Nodo Maestro	56
3.2.3.	Implementación del segundo prototipo	57
3.3.	Cálculos teóricos	61

3.3.1.	Cálculos de Cobertura	61
3.3.2.	Cálculos de la autonomía de la batería	63
3.4.	Costos de inversión	68
3.4.1.	Gastos en el primer prototipo	68
3.4.2.	Gastos en el segundo prototipo	69
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	70
4.1.	Distribución de las zonas	70
4.1.1.	Nodo 2	72
4.1.2.	Nodo 1	73
4.1.3.	Nodo Maestro	74
4.2.	Resultados primer prototipo	75
4.2.1.	Comunicación entre los nodos	75
4.2.2.	Obtención de las variables de medición	77
4.3.	Resultados prototipo 2	81
4.3.1.	Escenario A	81
4.3.2.	Escenario B	82
4.3.3.	Escenario C	82
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
	CONCLUSIONES	83
	RECOMENDACIONES	84

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral.
MAGAP	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
UNESCO	Organización de las naciones unidas para la educación, ciencia y cultura.
ONU	Organización de las naciones unidas
IoT	Internet of Things.
LoRa	Long Range.
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network.
BLE	Bluetooth Low Energy
WIFI	Wireless Fidelity.
TIC	Tecnología de información y comunicación.
HTTP	Hypertext Transfer Protocol.
MQTT	Message Queue Telemetry Transport.

SIMBOLOGÍA

mA	miliamperios
μ A	microamperios
mm	milímetro
m	metro
Hz	Hertz
dB	decibelio
Km	Kilómetros
MHz	Mega-Hertz
KHz	Kilo-Hertz
GHz	Giga-Hertz
V	voltios

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 2.1 Esquema del Riego por Goteo [21]</i>	13
<i>Ilustración 2.2 Esquema del Riego por Aspersión [22]</i>	13
<i>Ilustración 2.3 Esquema del Riego por Bordes [23]</i>	14
<i>Ilustración 2.4 Esquema del Riego por Inundación [25]</i>	14
<i>Ilustración 2.5 Visualización de los datos tomados en un móvil en ThingView [32]</i>	20
<i>Ilustración 2.6 Esquema del funcionamiento de BLYNK [33]</i>	21
<i>Ilustración 2.7 Disponibilidad para ejecutar Node-RED [36]</i>	22
<i>Ilustración 2.8 Conectividad inalámbrica en nuestra sociedad [37]</i>	24
<i>Ilustración 2.9 Logotipo de Bluetooth [38]</i>	24
<i>Ilustración 2.10 Logotipo de Wifi [40]</i>	25
<i>Ilustración 2.11 Ejemplo del despliegue de la red Wifi en una casa [41]</i>	26
<i>Ilustración 2.12 Representación de la arquitectura de LoraWAN</i>	28
<i>Ilustración 2.13 Cable jumper con pinzas de cocodrilo [47]</i>	29
<i>Ilustración 2.14 Cables jumpers con terminales mixtos [48]</i>	29
<i>Ilustración 2.15 Formas de enchufe tipo USB [49]</i>	30
<i>Ilustración 2.16 Cable #16 AWG [53]</i>	32
<i>Ilustración 2.17 Diferentes escalas de protoboards [56]</i>	33
<i>Ilustración 2.18 Partes del protoboard [57]</i>	33
<i>Ilustración 2.19 Circuito integrado programable [59]</i>	34
<i>Ilustración 2.20 Imagen referencial del Rasperry PI modelo B [62]</i>	37
<i>Ilustración 2.21 Imagen referencial placa Arduino UNO [64]</i>	38
<i>Ilustración 2.22 Imagen referencial del ESP8266 [65]</i>	38
<i>Ilustración 2.23 Imagen referencial ESP32 [66]</i>	39
<i>Ilustración 2.24 Imagen referencial HiLetgo SX1276 ESP32 [68]</i>	41
<i>Ilustración 2.25 DHT11 versión PCB [70]</i>	42
<i>Ilustración 2.26 DHT22 versión PCB [72]</i>	42

<i>Ilustración 2.27 Sensor de humedad de suelo FC-28 [74]</i>	43
<i>Ilustración 2.28 Pines del sensor FC-28 [74]</i>	43
<i>Ilustración 2.29 Esquema de una red de sensores inalámbricos [75]</i>	45
<i>Ilustración 3.1 Arquitectura del sistema</i>	49
<i>Ilustración 3.2 Dispositivos usados para el Nodo 2</i>	51
<i>Ilustración 3.3 Maqueta del Nodo 2</i>	51
<i>Ilustración 3.4 Dispositivos usados para el Nodo1</i>	52
<i>Ilustración 3.5 Prototipo diseñado para el Nodo1</i>	52
<i>Ilustración 3.6 Dispositivos usados para el Maestro</i>	53
<i>Ilustración 3.7 Prototipo del Nodo Maestro</i>	53
<i>Ilustración 3.8 Arquitectura de la Segunda Implementación</i>	55
<i>Ilustración 3.9 Representación a escala de las zonas de cultivo</i>	57
<i>Ilustración 3.10 Vista Frontal del Segundo Prototipo</i>	58
<i>Ilustración 3.11 Módulo de 4 Reles</i>	58
<i>Ilustración 3.12 Bomba de Agua</i>	59
<i>Ilustración 3.13 Fuente de alimentación</i>	59
<i>Ilustración 3.14 Interfaz del Control en la aplicación Móvil BLYNK IoT</i>	60
<i>Ilustración 3.15 Válvula solenoides</i>	60
<i>Ilustración 3.16 Implementación Final del Segundo Prototipo</i>	61
<i>Ilustración 4.1 Vista Satelital de la hacienda el Rosal y los Nodos implementados</i>	70
<i>Ilustración 4.2 Captura de imagen de la hacienda el Rosal con un Dron</i>	71
<i>Ilustración 4.3 Nodo 2 antes de su instalación</i>	72
<i>Ilustración 4.4 Implementación del Nodo 2</i>	72
<i>Ilustración 4.5 Implementación del Nodo 1 en la hacienda el Rosal</i>	73
<i>Ilustración 4.6 Vista superior del Nodo 1 tomada por el dron.</i>	74
<i>Ilustración 4.7 Implementación del Prototipo del Nodo Maestro</i>	74
<i>Ilustración 4.8 Ventana de la app Blynk IoT</i>	75
<i>Ilustración 4.9 Conexión del Nodo Maestro mediante datos Móviles</i>	75

<i>Ilustración 4.10 Recepción de Paquete en el Nodo 1</i>	76
<i>Ilustración 4.11 Envío de Paquetes del Nodo 2</i>	76
<i>Ilustración 4.11 Temperatura Ambiente de la Zona 2</i>	77
<i>Ilustración 4.12 Humedad Ambiente de la Zona 2</i>	78
<i>Ilustración 4.13 Humedad del Suelo de la Zona 2</i>	78
<i>Ilustración 4.14 Temperatura Ambiente de la Zona 1</i>	79
<i>Ilustración 4.15 Humedad Ambiente de la Zona 1</i>	80
<i>Ilustración 4.16 Humedad del Suelo de la Zona 1</i>	80
<i>Ilustración 4.17 Implementación del Segundo Prototipo en el escenario A</i>	81
<i>Ilustración 4.18 Implementación del Segundo Prototipo en el escenario B</i>	82
<i>Ilustración 4.19 Implementación del Segundo Prototipo en el escenario C</i>	82
<i>Ilustración 5.1 Diagrama de Pines y Entradas del módulo Heltec Wireless Stick</i>	90
<i>Ilustración 5.2 Diagrama de Pines del Módulo ESP32 SIM 800L</i>	91

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1 Ventajas y Desventajas de Bluetooth</i>	25
<i>Tabla 2.1 Ventajas y Desventajas del Wifi</i>	26
<i>Tabla 2.2 Características del cable USB-C</i>	31
<i>Tabla 2.3 Características del módulo DHT11</i>	41
<i>Tabla 3.1 Costo de los equipos implementados</i>	68
<i>Tabla 3.2 Costos de los equipos implementados en la Maqueta</i>	69
<i>Tabla 5.1 Especificaciones Técnicas del Módulo Heltec Wireless Stick</i>	90
<i>Tabla 5.2 Especificaciones Técnicas del Módulo ESP32 SIM 800L</i>	91

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 Beneficios de implementar Riego de forma Automatizada</i>	12
<i>Figura 2.1 Estimación de las comunicaciones con IoT [29]</i>	16
<i>Figura 2.2 Bloques y desafíos en IoT</i>	16
<i>Figura 2.3 Desafíos principales en IoT.</i>	18
<i>Figura 2.4 Características de la plataforma Node-RED [36]</i>	22
<i>Figura 2.5 Componentes principales de los microcontroladores [60]</i>	35
<i>Figura 3.1 Diagrama de Bloque del Diseño del Sistema</i>	46
<i>Figura 3.2 Diagrama de Bloques del Nodo 2</i>	47
<i>Figura 3.3 Diagrama de Bloques del Nodo1</i>	48
<i>Figura 3.4 Diagrama de Bloques del Maestro</i>	48
<i>Figura 3.5 Diagrama de Bloques del Segundo Prototipo</i>	54
<i>Figura 3.6 Diagrama de Bloque del Nodo</i>	56
<i>Figura 3.7 Diagrama de Bloque del Nodo Maestro</i>	56

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura ha sido el medio por el cual se ha conseguido perpetuar la especie humana alrededor del planeta desde hace varios siglos, desde sus inicios alrededor del año 10'000 AC, con frutos y semillas silvestres hasta nuestros días con decenas de hectáreas en zonas agrícolas con climas apropiados para determinados cultivos alrededor del mundo [1], la innovación en el sector agrícola ha presentado un reto tecnológico para distintas industrias y empresas.

En la comunidad del “Recinto el Rosal” no es la excepción, este recinto agrícola ubicado en el cantón Simón Bolívar de la provincia del Guayas, Ecuador; goza de la siembra y producción de cacao, pero su producción viene acarreado problemas por una mala distribución en la gestión de recursos de agua que debe ser solventado para efectivizar su producción y por tanto comercialización.

Los sistemas de riego inteligentes y automatizados están ganando apogeo en la industria del sector agrícola alrededor del mundo, esto es debido a que su implementación permite el beneficio de una mejor producción de los productos agrícolas con una mejor calidad en menores tiempos, reduciendo así los desperdicios que genera la implementación con recursos convencionales; como riego por mangueras manuales o la distribución de fertilizantes por el agrónomo encargado.

Por esta razón este recinto es una buena oportunidad para implementar sistemas con tecnologías de información y de comunicación (TIC), a su vez con dispositivos para la incorporación del internet de las cosas (IOT) para obtener las herramientas necesarias y poder aplicarlas en el sector y así brindar una solución ante la necesidad emergida en este establecimiento.

1.1. Descripción del problema

Debido a la ubicación geográfica de la comunidad del Recinto “El Rosal”, este sitio goza de un clima tropical húmedo con una temperatura promedio anual entre 22-31°C con épocas climáticas lluviosas del invierno y secas por el verano, por estas condiciones y por estar a la altura del nivel del mar este recinto es una zona geográfica prioritaria para la siembra y cultivo de cacao, caracterizándose como una fuente principal productora de cacao a nivel cantonal y provincial [2].

La hacienda ubicada a 15 minutos del cantón Simón Bolívar. Cuenta con una extensión de 5 hectáreas donde se distribuye la plantación de cacao con la semilla *CCN51 injerto* [2], la producción de este tipo de semilla viene acarreado problemas en su producción por una mala distribución de agua con los sistemas de riego convencionales utilizados, lo que conlleva a una escasez de este recurso hídrico en los pozos de reserva del recinto y una acumulación en las zonas más elevadas.

A su vez, esto genera retrasos en la producción de la siguiente generación, provocando una disminución notable en los ingresos obtenidos por la comercialización de este recurso, como un mayor acrecimiento al problema debido a la necesidad de acudir al uso de fertilizantes e insumos para solventar la mala gestión del agua.

Para las personas del sector esto representa una gran dificultad ya que ellos viven de la siembra y distribución del cacao, y han tratado de buscar las mejores técnicas para producir un buen producto a un excelente precio en el mercado después de la recolección del fruto, pero el problema macro inicia de raíz con el cuidado de la planta y esto es con el regado.

1.2. Justificación del problema

El agua dulce es un recurso limitado y necesario para la vida, su mala gestión es un inconveniente marcado a nivel mundial por organismos como la UNESCO y la ONU; ya que su desperdicio provoca escasez en algunas zonas del mundo. Según el Banco

Mundial, la agricultura demanda el 70% del uso de agua potable en el planeta [3], y una mala gestión en el sector agrícola desemboca en pérdidas irracionales de este recurso imprescindible.

En el recinto la situación no es distinta, desfavorablemente el desperdicio de las reservas de agua conlleva a una preocupante disminución en su producción anual esperada, lo que repercute negativamente en el factor económico debido a las pérdidas que esto representa y con ello posteriormente la dificultad en la adquisición de nuevas semillas e insumos para las siguientes producciones, acrecentando el problema.

No basta con eso, el aumento salarial significativo en la mano de obra del personal aumento en un 50% en los últimos años debido a la caída de los precios [4], por lo que se requiere una solución emergente en el sector para reducir la ineficiente distribución de agua y mejorar la producción a largo plazo.

Se tiene conocimiento que los propietarios de la hacienda disponen solamente para sus cultivos técnicas convencionales de riego con la dependencia de pozos subterráneos, válvulas manuales y tuberías de 4 y ½ pulgada para la distribución de agua por aspersión; todas accionadas manualmente por los trabajadores agrícolas que laboran en el recinto para cubrir todas las unidades de hectáreas de cacao.

Los dueños del lugar son conscientes que la falta de innovación y migración hacia técnicas tecnológicas de riego actuales a escala mundial ha provocado un desperdicio de agua significativo [5], debido a que el riego lo realizan de forma "empírica"; esto quiere decir que realizan el riego de acuerdo con las observaciones diarias y de las condiciones climáticas, y con ello se estipula el riego en intervalos entre 8 a 12 días.

Es decir, no se dispone de un sistema preciso de análisis de las variables técnicas como lo son la temperatura y humedad necesarias, debido a esta ausencia se estima cercanamente una pérdida del 40% del agua distribuida por hectárea en el lugar. Además, en la época de verano su producción decae en un 50% por la falta de información precisa de la humedad del suelo lo que ocasiona una disminución en la cosecha notablemente, según los lugareños.

Por último, el exceso de humedad en la plantación genera la presencia de la conocida y molesta “mancha negra”, el cual es una enfermedad en la planta que preocupa a los productores de cacao por su facilidad de expandirse de una plantación a otra, ya que afecta principalmente a la mazorca del cacao produciendo que esta se deseche lo que conlleva a la pérdida del producto sembrado [6].

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Diseñar e implementar un sistema de riego automatizado con el acceso a dispositivos y recursos del internet de las cosas (IOT) y su máximo provecho con el uso correcto de las tecnologías de información y comunicación (TIC) en el recinto “El Rosal”.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar un estudio geográfico de las zonas de cultivo de cacao en el recinto mediante el uso de drones, sensores y herramientas para conocer las condiciones, relieve y distribución de los elementos utilizados para el sistema de riego.
- Desplegar la red de sensores y actuadores IOT que conformarán los nodos de comunicación en el sistema de riego convencional presente en las plantaciones del recinto.
- Disminuir las pérdidas de agua provocadas por la mala distribución del sistema de riesgo convencional utilizando técnicas de riego automatizadas por selección de sectores y preferencia de horarios.

- Aplicar la computación en la nube para migrar los datos obtenidos por los sensores hacia un servidor en la nube, en la cual se pueda visualizar los valores censados en tiempo real y ejecutar acciones desde cualquier dispositivo móvil remoto.
- Demostrar la eficiencia del sistema de riego automatizado en el cultivo de cacao ubicado en el recinto “El Rosal” respecto al sistema utilizado anteriormente y si es factible su implementación.

1.4. Estado del arte

Cuando se dimensiona un sistema de riego se contempla la expansión geográfica que se pretenda implementar el sistema, esta puede ser desde un pequeño jardín en un domicilio como un cultivo de arroz distribuido por varias hectáreas, lo que se traducirá en una mayor dificultad en el diseño y elaboración del sistema como en su inversión realizada

Por ejemplo, en una implementación realiza por Mohammad T. Hajibeigy y Mohammed Al Jabrí, del Instituto de Ingenieros de Malasia, ellos destacan la viabilidad que conlleva utilizar tecnologías de comunicación como Zigbee, Wifi, Bluetooth, Lorawan y las limitaciones en cobertura que presentan [7]. Por eso para este caso es favorable el uso de Lorawan con módulos de Lora ya que deseamos que el envío de datos tenga largo alcance y no se pierdan los datos transmitidos por los sensores

También es importante conocer el cultivo con el que se trabaja en la zona, por ejemplo, si se tiene una zona de cultivos arbóreos, esta deberá disponer de un sistema de riesgo intensivo debido a las capacidades de absorción de este tipo de árboles por sus raíces, lo que requiere una gran demanda de agua y se podría utilizar tuberías más gruesas para transportar mayores volúmenes de agua o expandir una red de canales de riego más amplia para abastecer todas las zonas.

Por ejemplo en la página web de *Orionis Smart Water Networks* se destaca como el sistema de riego es por goteo ya que se cultiva tomates, el sistema de goteo es un

canal que va a la par del suelo y contiene orificios que derrama gotas de agua en puntos deseados [8], a diferencia de esto se va a utilizar un goteo por aspersión, es decir se tiene aspersores a una altura de 40-50 cm, los cuáles despliegan el agua a una mayor altura a varios metros a la redonda, lo que permite a las mazorcas de cacao hidratarse de esta forma

Algunas de las soluciones hechas también se han caracterizado por su complejidad tecnológica ya que implementan sistemas de distribución de insumos agropecuarios basados en la medición de pH en los cultivos como la inyección de fertilizantes automatizados con tanques motorizados e inyectores inteligentes, versátiles que dotan nutrientes extras a los riegos [9], se trata del blog de *Haifa Group*, líderes mundiales en el uso de fertilizantes. En “El Rosal” solamente se planifica albergar sensores de temperatura y humedad.

Se tiene pensado utilizar un microcontrolador de hardware y software libre, lo que permite que el usuario tenga una mayor libertad para programar, modificar y ejecutar el diseño y que el sistema trabaje con los parámetros que este desee, esto requiere una mayor dificultad porque requiere mayores conocimientos en áreas como la programación con lenguajes como Java, C+, Python, etc [10], así como se implementó en la Universidad de Valladolid por Jesús Monge con el uso de soluciones ESP8266, ESP32, Rasperry Pi y Arduino UNO.

En el artículo científico de Anaya, Ríos y Carvajal, denominado “*Internet of Things for Irrigation System (IoT)*” se menciona como aparte de realizar el almacenamiento en un servidor en la nube, también realizan el almacenamiento de forma local, ya que esto presenta ventajas ante el inaccessibilidad que se pueda tener a internet [11].

En el trabajo de tesis de Cevallos y Chugá, por parte de la Escuela Superior Politécnica Nacional. Destacan la existencia de plataformas de almacenamiento en la nube bastante fáciles de usar como ThingSpeak, Telegram o Node-Red que usan el protocolo HTTP y MQTT, aunque su limitación es la capacidad de almacenamiento por la versión gratuita estándar que viene por defecto [12].

Hay implementaciones más destacadas y de mayores recursos como el mostrado en la revista científica de Innova Bio, a la par con el Ministerio de Agricultura de Chile en dónde para obtener un respaldo del terreno y conocimiento del relieve se suelen usando potenciómetros móviles, muy importantes en terrenos irregulares, o el uso de satélites del tipo Landsat en EE. UU. para el monitoreo del sector con sensores activos en el terreno que emiten luz para reflejar y obtener la lectura del terreno [13].

Cuando no se goza de Wifi, se ha diseñado otras soluciones en las que el microcontrolador trabaja con un chip móvil y envía directamente los datos a la nube, se usa un módulo GSM/GPRS para permitir al sistema comunicarse a través de redes de telefonía para recibir, enviar, controlar y programar [14] es el caso utilizado por científicos del Departamento de Informática y Colegio de Ingenieros Priyadarshini en Nagpur, India.

1.5. Alcance

El sector agrícola hoy requiere soluciones tecnológicas y eficaces, ante el avance de las tecnologías de comunicación, medición, herramientas para el análisis de datos, computación en la nube, entre otras; se vuelve una necesidad obligatoria su acceso para obtener una mayor rentabilidad en la producción y por ende en las ganancias de los trabajadores de la industria.

En el recinto al albergar una extensión de 5 hectáreas para el cultivo de cacao, se tiene una buena oportunidad para el desarrollo del proyecto de sistema de riego IOT ya que por ahora el lugar carece de un sistema similar, por lo que es de total consideración llevar a cabo la implementación de un sistema de riego de bajo presupuesto.

La implementación de este tipo de tecnologías en el lugar favorecerá ineludiblemente un mejor control para el cultivo y producción de las mazorcas de cacao, ya que actualmente en el lugar se tiene instalada la distribución de mangueras y tuberías de forma subterránea con aspersores de riego, pero con de accionamiento manual.

La instalación de los equipos brindará la posibilidad de tener un sistema de riego automatizado, optimizando el trabajo realizado anteriormente por los comuneros;

marcando un antes y después en el recinto, ya que no será necesario volver a las plantaciones porque los datos y el estado de las plantaciones se conocerá desde un dispositivo remoto con acceso a internet.

Existen empresas en el país que actualmente ya brindan este tipo de equipamientos y tecnología a diferentes grupos agrícolas, pero a costos muy elevados, por lo que el diseño de esta red local inalámbrica de bajo presupuesto puede tener un impacto significado aún mayor y pueda ser reutilizable si cabe la oportunidad en otras zonas de incluso otro tipo de cultivos.

Todos estos beneficios permitirán a los miembros del recinto “El Rosal” optimizar las ganancias en tiempo, gastos y producción con un sistema sencillo de usar, amigable, eficiente, sostenible, escalable y diferencial en la región, ya que no todos los productores de cacao en el país implementan estas técnicas de agricultura de precisión (AP) y de IOT en los cultivos como se lo hace en mayor medida en otros países del mundo [15] .

1.6. Metodología

Cuando se trabaja con este tipo de sistemas siempre se tiene que primero que atender las condiciones del entorno y del usuario(s), ya que sin un estudio previo del problema y/o necesidad que presente el sector agrícola analizado no se podrá implementar la solución requerida [16], para esto se puede hacer uso de un dron para el mapeo del lugar y la atención constante de las necesidades y opiniones de las personas del sector.

Una vez que se haya caracterizado el espacio en el cual se van a distribuir los elementos de la red, se los distribuye por diferentes segmentos o nodos, es decir un sistema nodal tipo estrella en donde cada uno de estos maneja su red de sensores, electroválvulas y aspersores, esto permita manera correctamente el espaciamiento ya que permitirá tener un mejor estudio de los datos de humedad y temperatura por región.

Cuando cada uno de los nodos en la red inalámbrica se energizarán mediante la instalación de un sistema con panel solar, sin la necesidad de cambio de baterías. Una vez obtengan los datos medidos estos se comunicarán mediante modulación Lora con un nodo maestro (con un módulo ESP32 con SIM800 V1.3), el que se encargará de almacenar la información de forma local y también de migrar los datos hacia un servidor externo en la nube como ThingSpeak o Node-Red, esto con el objetivo de poder visualizar los datos desde cualquier dispositivo remoto que goce de conexión de internet.

Una vez se haya procesado los datos y se pueda visualizarlos se pretende ejecutar procesos para accionar de forma automática los motores y válvulas de riego en el recinto por precisión, es decir en determinados puntos. Esta implementación se realizará mediante la utilización de un servidor web o mediante el diseño de una aplicación móvil con lenguaje de programación Java, C++ o Python, favoreciendo la activación de riego en las zonas que necesiten alcanzar los niveles de humedad y temperatura necesarios.

Si el tiempo lo permite y las condiciones son necesarias se planea también utilizar machine learning para que mediante la obtención de los datos recopilados por los sensores se haga una identificación de patrones de datos masivos con algoritmos y se permita obtener predicciones del estado de los cultivos de cacao en determinados días, meses o épocas del año inherentes.

Esto beneficiará notablemente a los trabajadores de la zona para conocer de forma más técnica y predictiva del estado las mazorcas de cacao en diferentes épocas del año y estar prevenidos ante épocas de mayor sequía en el año o de abundantes lluvias para aumentar la tasa de riego o reducir respectivamente.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Riego en la Agricultura

Como ya se mencionó en el capítulo 1, la agricultura es el sector productivo con mayor demanda de agua fresca, con una cifra del 70% [17] según una investigación de las Naciones Unidas en el sector de la Organización de comida y agricultura, este estudio refleja la inmensa necesidad del sector agrícola para la producción de alimentos por sobre necesidades municipales o industriales.

El riego agrícola es de suma importancia para la supervivencia humana, por ello su desarrollo con el avance tecnológico ha sido recurso innegable para las mejoras técnicas que se implementan hoy en día, ya que el mecanismo de regado que se emplea es clave en la calidad de los alimentos que consume la población.

Según un artículo publicado por el Banco Mundial en el 2021; En nuestro país hay cercanamente unas 338 mil hectáreas destinadas para los productores que cuentan con sistemas de riego, de estos el 93% todavía mantienen métodos de riego tradicionales [18], por lo que la mejora de calidad de estos sistemas con el uso de técnicas innovadoras refleja en mayores ganancias para los productores, y no solamente de cacao.

2.2. Sistema de riego

Los sistemas de riego empleados en los sistemas agrarios desempeñan los mecanismos con los cuáles se lleva a cabo el proceso de distribución de líquidos, insumos, fertilizantes, semillas, entre otros recursos a las plantaciones de cultivo para su supervivencia y futura cosecha. Existen sistemas tradicionales por tamos que

contemplan equipos comunes como bocas de riego, válvulas, electroválvulas y llaves en estaciones, motobombas, entre otros.

Con el pasar de los siglos se ha mejorado este equipamiento junto con el uso de nuevas técnicas de riego que mejoran la calidad de los cultivos. Con el pasar de los siglos se ha ido mejorando las técnicas de riego implementadas, esto ha permitido gozar de una mayor producción y productividad para la propiedad agrícola.

Hoy en día las técnicas de riego convencionales o tradicionales se están dejando atrás debido a que los nuevos sistemas son mucho más eficientes y seguros para los trabajadores agrícolas, ya que, con el avance de la industrialización junto con la creación de políticas de inversión económicas para la agricultura en los países, y el avance de la tecnología [19] han permitido que hoy en día sea necesario el uso de sistemas de riego más sofisticados.

2.3. Sistema de riego automatizado

Los sistemas de riego inteligentes o también denominados “automatizados” corresponden a todos aquellos sistemas agrícolas que se encuentran funcionando bajo prácticas modernas de agricultura, con el objetivo de tener un manejo óptimo y controlado de la regularidad con la cual se lleva a cabo el esparcimiento de recursos a las plantaciones de una determinada planta o cultivo.

A continuación, se presenta un diagrama en dónde se categoriza las ventajas principales de tener un sistema de riego de este tipo

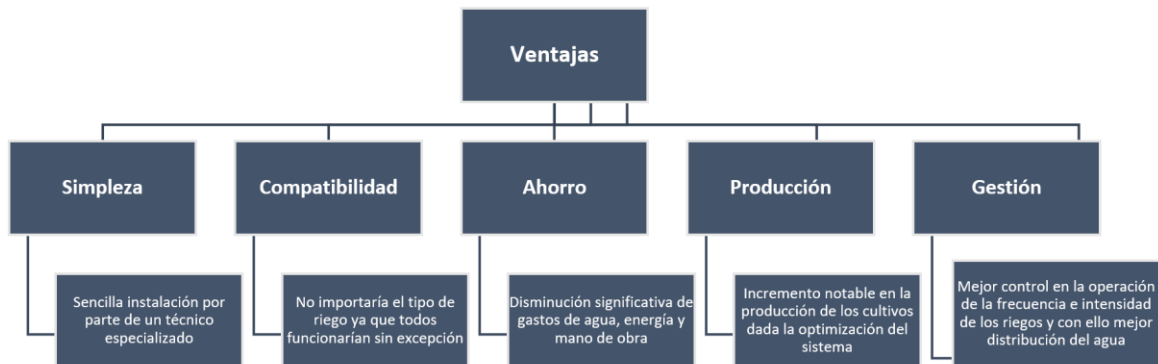


Figura 2.1 Beneficios de implementar Riego de forma Automatizada

2.4. Tipos de riego

Cuando se lleva a cabo el riego en una plantación se debe considerar las necesidades del entorno y el objetivo en dicha plantación. Existen distintos tipos de riego que pueden ser utilizados, analizando principalmente el factor de agua, como menciona Delgadillo: “Se discuten los diferentes factores que influyen para aplicar o practicar uno u otro método, siendo la disponibilidad de agua uno de los más importantes” [20].

Los tipos de riego tienen más que ver con la modalidad antes que con la forma de regado [20], ya que se debe enfocar en el objetivo final por dicho tipo de sistema usado. Es de comprenderse que hoy en día existe una variabilidad inmensa en tipos de goteo usados, a continuación, se describe un conjunto de 6 tipos los cuales se consideran relevantes.

2.4.1. Riego por goteo

Este tipo de riego se utiliza para un riego localizado, es decir que es un método de irrigación en el que la manguera por donde transcurre el agua tiene algunos agujeros para que el agua caiga en forma de goteo, es implementado en cultivos que se pretende hidratar las raíces por lo que la manguera está extendida al nivel del suelo.

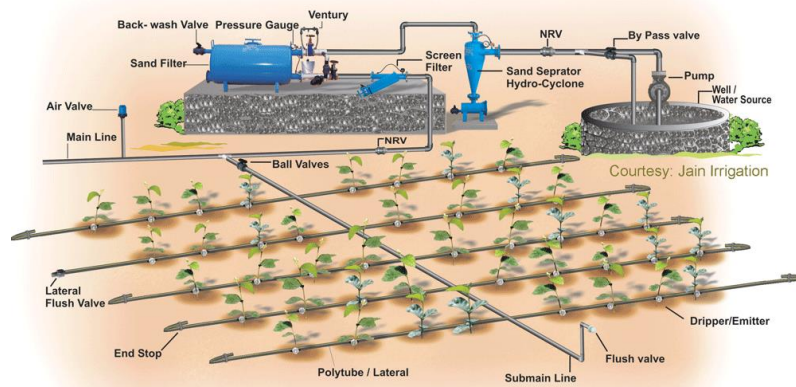


Ilustración 2.1 Esquema del Riego por Goteo [21]

En la ilustración 2.1 se indica que el tipo de riego por goteo dependerá de la biomasa vegetal generando una distribución homogénea del agua logrando eficientemente el riego, ya sea a través de la aspersión y de la gravedad.

2.4.2. Riego por aspersión

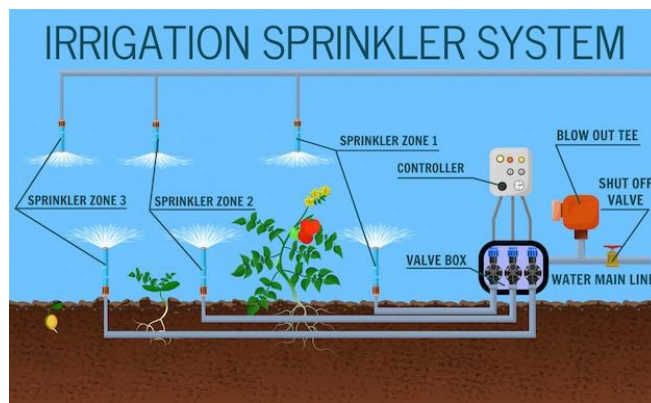


Ilustración 2.2 Esquema del Riego por Aspersión [22]

Como se aprecia en la ilustración 2.2 que este tipo de riego se realiza mediante el uso de aspersores que dispersan el agua a la redonda, se encuentran conectados mediante tubos o mangueras subterráneas a presión, se simula como que el regado fuera por lluvia ya que el agua se esparce a una altura de 1-2 metros dependiendo el tipo de plantación que se tenga, también existe la microaspersión que se utiliza cuando el cultivo no supera el metro de elevación.

2.4.3. Riego por bordes

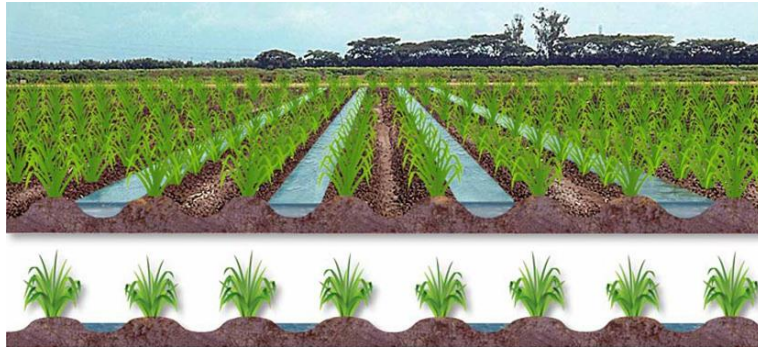


Ilustración 2.3 Esquema del Riego por Bordes [23]

En la ilustración 2.3 se detalla que al realizar el riego por borde se tiene que tomar en cuenta surcos, bordes o pretilos en el terreno, es un método en el que se tiende volúmenes de agua solamente en estos espacios, suele ser muy usado para el riego en cultivos como frutales o cereales, trigo, avena, entre otros. Este tipo de riego tiene una eficacia entre el 40 al 60% [24].

2.4.4. Riego por inundación



Ilustración 2.4 Esquema del Riego por Inundación [25]

Se aprecia que en la ilustración 2.4 el riego por el método de inundación o superficial es del tipo en el que se inunda la superficie del cultivo en su totalidad, suelen tener canales con grandes reservas de agua como de pozos o ríos, a diferencia del riego por bordes, el inundado consume por completo o casi en su totalidad el cultivo, se

mantiene el agua de esta manera por largos periodos y se va reduciendo por evaporación [26].

2.5. Internet de las cosas (IOT)

El término Internet of Things (IoT) o El Internet De Las Cosas fue inicialmente acuñado en el año 1999 por el británico Ashton, uno de los primeros pioneros en esta tecnología que dio paso para desarrollar el concepto [27]. IoT se define como un sistema o infraestructura de red global que une una cantidad de objetos inteligentes físicos y virtuales permitiéndoles comunicarse e interactuar entre ellos con usuarios finales u otras entidades en la red [28].

En las infraestructuras de IoT se hace común y presente el uso de dispositivos de hardware informático pequeño, baratos y flexibles, los cuáles debido a su entorno programable permiten especificar un conjunto de indicaciones para que los dispositivos en la red tengan la sentencia de capturar datos en los entornos que realicen el proceso de censo, y envíen estos datos a servidores en la nube o plataformas IoT.

Es debido a esta tecnología de la información que se han diseñado redes altamente interconectadas. El objetivo de IoT es el perfeccionamiento de 3 tipos de comunicación en específico, y son: Humano-humano, humano-cosa, y cosa-cosa (llamado M2M) [29], con esto se tendrá una nueva era en la comunicación porque hoy en día en su mayoría los dispositivos son humano-humano, pero en un mundo en dónde la demanda es destinar más tareas a dispositivos inteligentes se espera una dependencia en la comunicación cosa-cosa. En IoT se fomentan 3 cosas en la comunicación: Donde sea, Cuando sea, Cualquier cosa [29] .

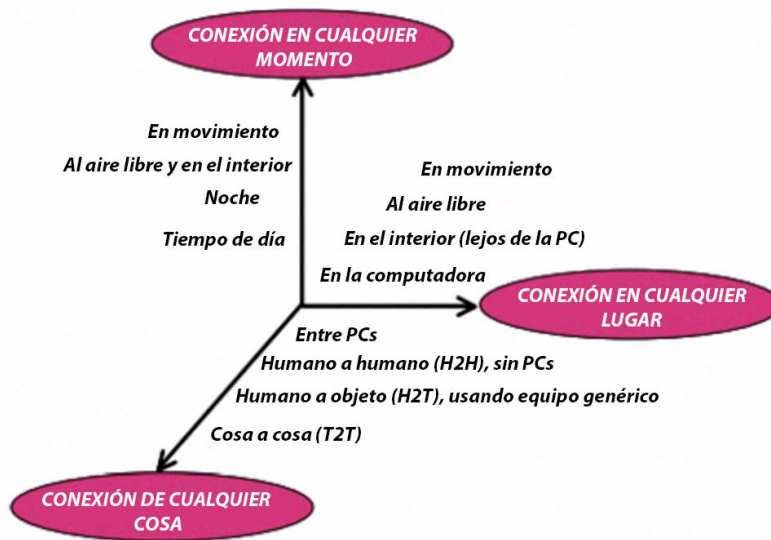


Figura 2.1 Estimación de las comunicaciones con IoT [29]

Aunque los primeros avances de las tecnologías de IoT, avances que en tecnologías de comunicación y computación en esta década han sido prometedores, con esto se presentan otros desafíos que las empresas y organizaciones necesitan solucionar con la presente demanda; como también lo prometedoramente escalable que se visualiza esta tecnología.

2.5.1. Componentes primordiales en un entorno IOT

Para albergar un entorno IoT que cumpla los objetivos descritos, se debe hacer énfasis en los siguientes desafíos y bloques a corto y largo plazo para lograr realmente un fuerte soporte para este tipo de tecnologías y avalar su crecimiento.



Figura 2.2 Bloques y desafíos en IoT

Los diversos bloques se aprecian la fiabilidad en la seguridad de las redes mediante la interacción de la conectividad, mediante la inserción de datos que, por lo tanto; será demostrado a través del apoyo de gráficos de datos.

2.5.1.1. Bloques en IoT

- **Seguridad:** Ante el notable incremento que se ha suscitado en los últimos años y la simpatía y atracción que se ha presentado por parte del público en general aficionados a la automatización de sus dispositivos electrónicos, y sobre todo en el mundo industrial y académico. Se ha dado un incremento evidente en esta tecnología que se considera emergente y de gran potencial durante esta década a futuro [30].

A medida que el almacenamiento de la data será mayor por el incremento de su tendencia a la venta como por las mejoras en las capacidades de estos dispositivos, se presenta también el riesgo de pérdida o robo de esta información ya que como su nombre indica su medio de funcionamiento es la internet, lugar en dónde transcurren muchos datos que pueden ser críticos y vulnerables para cierto público u organización en gestión.

Es por ello por lo que la seguridad es un factor que no puede pasar desapercibida, y por esto un desafío importante para que los clientes sigan optando por esta tecnología es justamente que tengan la garantía y confianza con un sistema de seguridad de software y hardware en sus sensores y actuadores para que la privacidad de sus datos no pueda ser vulnerados, o al menos sus equipos tengan mecanismos de protección para evitar estos ataques y mal funcionamiento.

2.5.1.2. Confiabilidad/Robustez:

Un sistema altamente robusto se caracteriza por mantener su funcionamiento fuerte a pesar de sufrir perturbaciones internas o externas, manteniendo su operabilidad correcta y su interoperabilidad entre los distintos equipos que formen parte de la red de

sensores/actuadores ante caídas o fallos en el sistema. Existen dos puntos sustanciales tanto a nivel de software y hardware que merecen atención.

- **A nivel de Hardware:** Los datos obtenidos mediante los dispositivos tiene que ser confiable/consistente. Además, también el equipo debe perdurar y mantenerse en funcionamiento en ambientes hostiles, por ejemplo, dispositivos en la agricultura que censen datos ante las condiciones del entorno o medidores de la cantidad de basura existente en botes de basura IoT.
- **A nivel de Software:** Cuando se implementan los protocolos y las interfaces de comunicación, estas deben ser robustas respecto a las fallas, topologías cambiantes, interferencias, etc. Además, deben ser sólidas ante la caída de un enlace (self healing), y deben tener una configuración automática en los dispositivos (self configuration).

2.5.1.3. Desafíos en IoT

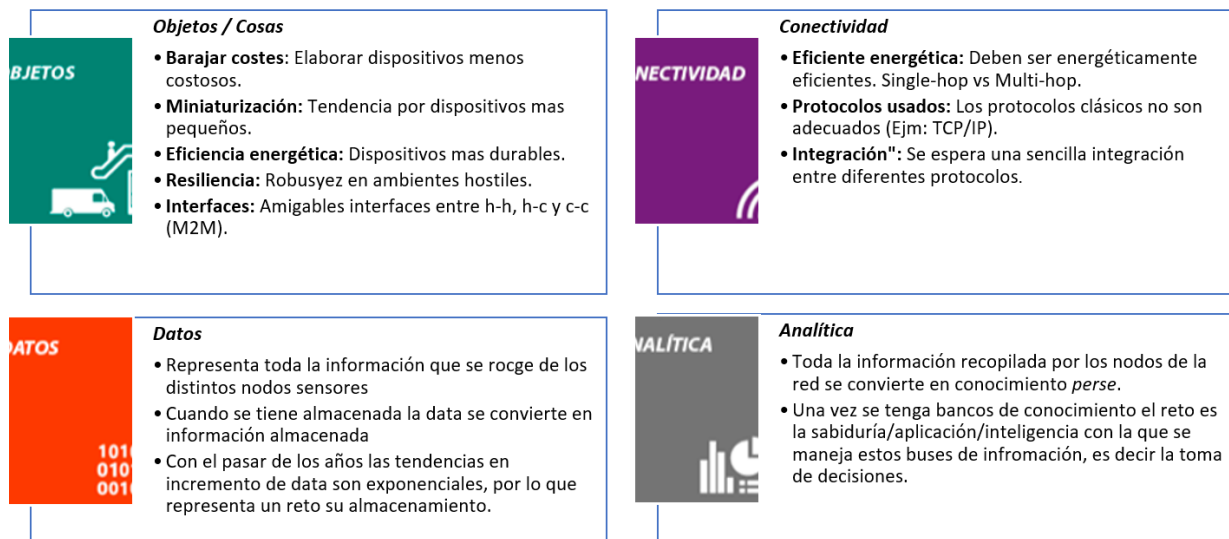


Figura 2.3 Desafíos principales en IoT.

Continuamente es importante mencionar teniendo en cuenta que a medida que el protocolo de comunicación usado sea más sofisticado, requerirá de un mayor consumo

de energía que a su vez representa mayores recursos de consumo por parte del sistema, y finalmente se manifiesta en un precio más alto.

Por ejemplo, si se tiene un sensor de velocidad, no es necesario usar un protocolo tan bueno como TCP/IP para solo transmitir señales de velocidad.

2.5.2. Plataformas IOT

Este tipo de plataformas permiten a los usuarios enlazar los datos obtenidos por los sensores de los dispositivos inteligentes distribuidos en la red hacia el servidor de la nube, dígase de otra forma son el mecanismo por el cual se puede tener la conectividad simultánea entre hardware, software, interfaz del usuario y la red [31], componentes primordiales en sistemas IoT.

Cuando se habla de las plataformas, aplicaciones, widgets, servidores IoT, se prioriza la consideración que se tiene hacia el cliente, ya que son estos lo que requieren el medio anteriormente mencionado para facilitar la visualización, análisis e interacción de los clientes con los datos obtenidos por los dispositivos y transmitidas a estas bases de datos.

Existen algunas en el mercado de esta tecnología, cada una brinda una experiencias y oportunidades distinta hacia los desarrolladores o en cierto caso solo visualizadores de datos tomados, según sea el requerimiento que se demande en el sistema implementado, ya sea de hardware, software, o respecto a protocolos de comunicación y aplicación requerida será la plataforma que se utilice por el usuario.

2.5.2.1. *ThingSpeak*

Este entorno web está basado en la fuente IoT de API como plataforma de información que permite su funcionamiento con una gran variedad de aplicaciones IoT y mediante gráficas observar los valores recolectados por los nodos inteligentes que

conforman la red, los dispositivos que conforman los nodos envían los datos usando los protocolos API MQTT de máquina a máquina y REST [32]

Gracias a su fácil accesibilidad y disponibilidad con microcontroladores como con los módulos Rasperry, ESP, TI CC3200, ThingSpeak, Arduino, y al agradable y sencillo entorno que ofrece se puede tener un registro de datos conectados a la red de dominio público y se puede visualizar la información con el uso de Matlab gracias a que pertenece a los mismos desarrolladores de Mathworks.



Ilustración 2.5 Visualización de los datos tomados en un móvil en ThingView [32]

El Programa ThingView es un entorno de fácil acceso con extensión del servidor de ThingSpeak y permite a los internautas hacer uso de su funcionalidad de forma gratuita para visualizar los datos, también tiene una versión por suscripción que permite almacenar datos de forma más progresiva, distribuir mejor los datos recolectados, más opciones de gráficas como el uso de widgets para una mejor personalización para el usuario final, entre otros beneficios.

2.5.2.2. Blynk IOT

Este servidor que funciona como aplicación tanto para Android como para iOS, su comunicación es mediante un puente conformado por el servidor de Blynk IOT, y permite

la transmisión de datos entre los dispositivos de hardware que conforman la red de sensores inalámbricos y la interfaz de la aplicación del usuario.

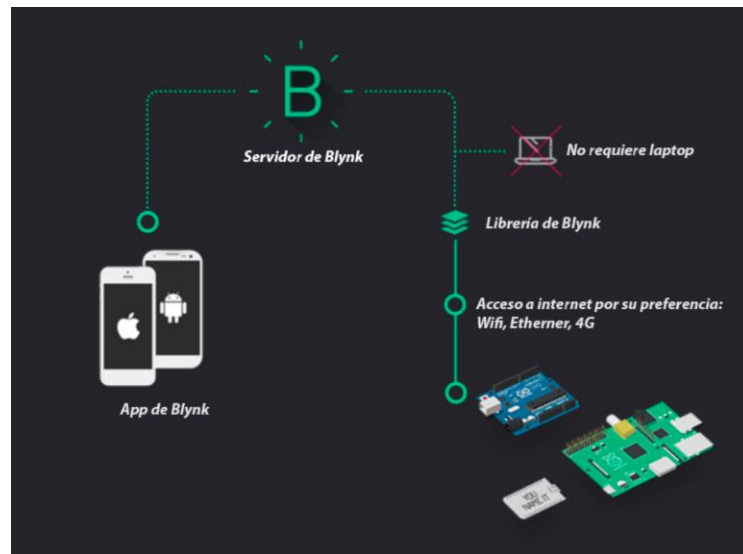


Ilustración 2.6 Esquema del funcionamiento de BLYNK [33]

En la ilustración 2.6, se aprecia el esquema de cómo se lleva a cabo la conexión con esta aplicación, y se observa que el tipo de tecnología de comunicación puede ser alámbrica o inalámbrica, siempre y cuando el dispositivo de hardware que se haya implementado sea capaz de conectarse a internet para trasladar estos datos.

Gracias a esta aplicación eficaz, de código abierta, independiente del hardware, se tiene la posibilidad de vincular simultáneamente más de 400 equipos de hardware hacia sus servidores [34]. Su diseño con widgets, botones, gráficos, avisos, entre otros, permite al usuario tener una experiencia enriquecedora y satisfactoria en el diseño de su red de sensores y su administración.

2.5.2.3. Node-RED

Node-RED es una plataforma creada, desarrollada y lanzada por IBM en el año 2016 como una herramienta de programación visual, lo que permite ser destinada para usuarios creativos y sin muchos conocimientos en programación [35], la unión de los

bloques permite establecer conexión entre los dispositivos de hardware, API y servicios en línea en una red IoT.

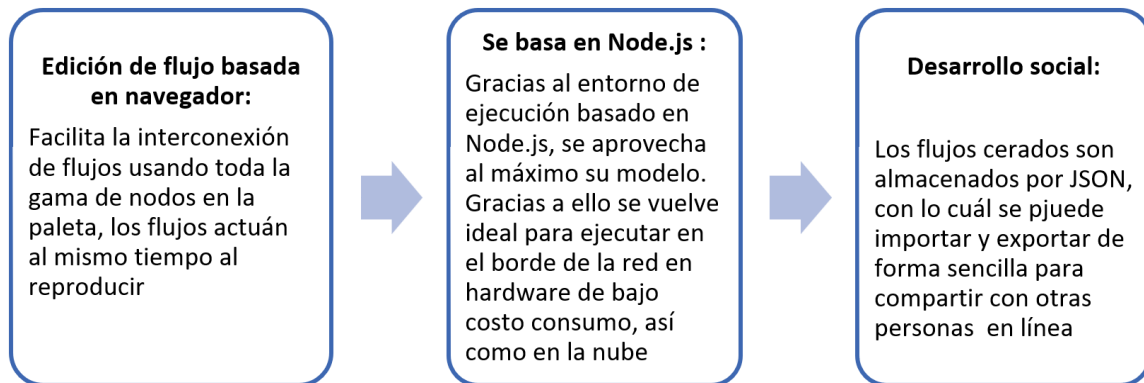


Figura 2.4 Características de la plataforma Node-RED [36]

En la figura 2.4 están algunas ventajas del uso de esta plataforma; debido a la adaptación que tiene en Node.js, aprovecha al máximo el modelo sin bloqueo basado en eventos y ejecutarse en el borde de la red.

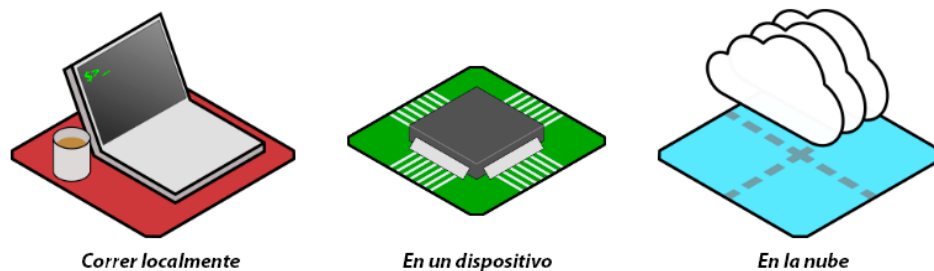


Ilustración 2.7 Disponibilidad para ejecutar Node-RED [36]

Este tipo de sistema Node-RED tiene acceso a dispositivos locales, dispositivos de hardware de bajo costo, así como en la nube, por ejemplo, tiene acceso hacia los servidores web de Amazon, la nube de IBM, Microsoft Azure, entre otros servicios en la nube.

2.6. Comunicaciones inalámbricas

Las comunicaciones inalámbricas son todo el entorno de dispositivos que se encargan de realizar la comunicación entre dos o más dispositivos sin la necesidad de ningún medio físico entre estos, la señal que se transmite se debe a un patrón de ondas electromagnéticas que viaja a través del medio inalámbrico como el aire para conectar dos extremos, denominados como transmisor y receptor en el sistema.

Las ondas electromagnéticas que son emitidas por el medio inalámbrico o también llamado medio no guiado, pueden conectar dos puntos tan lejanos como enlaces satelitales a tierra, o tan cercanos como un televisor con unos audífonos, todo depende de las características de estas ondas, por ejemplo, la frecuencia con la que fue emitida, la potencia, la recepción, la atenuación de la señal en el medio por obstáculos, entre otras cosas.

Este tipo de tecnología de comunicación utiliza antenas en los elementos transmisores y receptores para entablar la comunicación de forma satisfactoria, ya que las antenas son equipos eléctricos que transforman las señales eléctricas en señales de radio en ondas electromagnéticas o al revés.

La implementación de equipos de comunicación inalámbricos genera grandes expectativas de crecimiento para los siguientes años venideros, ya que la innovación en las técnicas usadas en software como en equipos de hardware, permitirá tener una mayor estabilidad en las conexiones, menores niveles de latencia, menores pérdidas de información transmitida y con ello mayores tasas de datos comunicados en el entorno de red.

2.6.1. Tecnologías de comunicación inalámbrica

En el mercado global existe un número incontable de tecnologías que se han desarrollado para la transmisión sin cableado. Las ondas de radio representan aquellas transmisiones por antenas de radio y televisión, ondas microondas se distinguen para

antenas celulares o de otro sistema de radiocomunicación. Tanto las ondas de radio como las ondas microondas son parte de la familia de radiofrecuencia. La forma de categorizar y distinguir una tecnología de otra varía según términos de campo, radiación y energía.



Ilustración 2.8 Conectividad inalámbrica en nuestra sociedad [37]

A continuación, se presentan algunas tecnologías de comunicación de las más populares en el mercado mundial en el sector de las telecomunicaciones, sus funcionalidades van desde comunicación satelital, comunicación en una residencia, comunicación por varios kilómetros de distancia, y comunicación a solo pocos metros.

2.6.1.1. Bluetooth



Ilustración 2.9 Logotipo de Bluetooth [38]

Las redes de comunicación inalámbricas bluetooth están diseñadas para una red WPAN (Wireless Personal Access Network), es decir de un alcance para un uso personal, la transmisión que se lleva a cabo es mediante ondas de radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz.

Se presentan algunos pros y contras del empleo de esta tecnología [39]:

Tabla 2.1 Ventajas y Desventajas de Bluetooth

Ventajas	Desventajas
Fácil acceso: Debido a la cobertura inalámbrica el acceso es fácil	Limitación en esclavos: No alberga muchos esclavos/usuarios en las conexiones.
Costos reducidos: Económicos por su disponibilidad en el mercado	Seguridad: A pesar de los avances y técnicas de ciberseguridad, las redes wifi pueden ser atacadas.
Compatibilidad: Sin número de dispositivos la albergan.	Baja velocidad: Cuando se manejan tasas grandes de datos la velocidad de transferencia es lenta.
Intercambio de voz y datos: A pesar de ser de reducida tasa de datos se puede transferir KB de datos, voz, videos.	Limitada cobertura: Debido a las bajas potencias el alcance es menor a los 1º metros.
Reducida interferencia.	Gastos en batería: Al mantener el dispositivo en activo demanda recursos del equipo y produce gastos en batería.

2.6.1.2. Wifi



Ilustración 2.10 Logotipo de Wifi [40]

Esta tecnología de comunicación de modo inalámbrico que mediante ondas electromagnéticas de radiofrecuencia permite conectar a hardware como los electrodomésticos del hogar y equipos como computadoras, microcontroladores, celulares, tabletas, reproductores multimedia, dispositivos IoT, Smart TVS, entre otros a internet por medio de un punto de acceso de red inalámbrica.

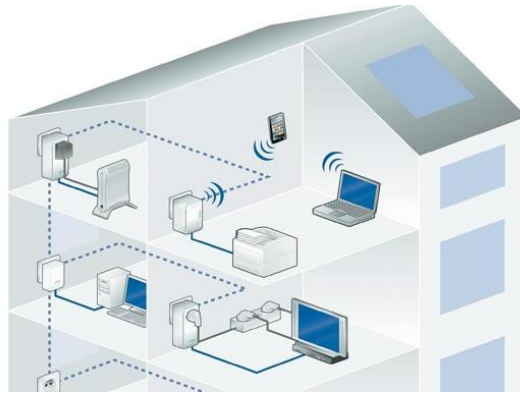


Ilustración 2.11 Ejemplo del despliegue de la red Wifi en una casa [41]

Esta tecnología funciona con el protocolo de red 802.11 que se suele recomendar para redes locales o de acceso local WLAN (Wireless Local Access Network), el 802.11 tiene varios estándares como 802.11b, 802.11g, o el 802.11n [42]. El acceso es remoto ya que solo se puede tener acceso a menos de 50 metros si los equipos enrutadores, Router o repetidores utilizan la banda de frecuencias de 2,4 GHz y de 10 metros si son de 5GHz.

Se detallan algunas ventajas y desventajas de utilizar este tipo de tecnología [43];

Tabla 2.1 Ventajas y Desventajas del Wifi

Ventajas	Desventajas
Fácil acceso: Debido a la cobertura inalámbrica el acceso es fácil sin dependencia de cableado.	Alcance: Dependiendo de la potencia y la banda de frecuencias la cobertura es menor a los 50 metros, la señal se desvanece.
Costos reducidos: Hoy en día debido a su disponibilidad.	Seguridad: A pesar de los avances y técnicas de ciberseguridad, las redes wifi pueden ser atacadas.
Seguridad: Mejorada debido al uso de algoritmos de encriptación.	Interferencias: Debido a los obstáculos en el camino la señal se atenúa o sufre interferencias destructivas con otros dispositivos.
Movilidad: Despliegue del patrón de ondas que llega a lugares remotos.	Ancho de banda: La banda de frecuencias utiliza anchos de banda de canal muy limitados, lo que conlleva interferencias con otros canales (sobre todo en 2.4GHz)

Escalabilidad: Con las mejoras tecnológicas se aumenta las tasas de datos y potencia de los Access point.	
Innovación: Patrones de radiación más estables, sofisticados y de calidad conforme al tiempo como beam forming o mesh.	

2.6.1.3. *Lorawan*

LoraWAN es una tecnología de comunicación diseñada para redes con un consumo de potencia relativamente inferior y un alcance amplio, ya que es una especificación de LPWAN (Low Power Wide Area Network, por sus siglas en inglés) [44]. Esta tecnología es bastante utilizada en proyectos IoT ya que cumple las expectativas requeridas en un sinnúmero de escenarios disponibles.

Algunas condiciones para ser un protocolo de comunicación demandado en sistemas IoT son las siguientes [45]:

- Permite conectar varios dispositivos en la red de sensores inalámbricos.
- Gracias a su capacidad de largo alcance se puede extender por kilómetros
- Debido a su baja tasa de datos el consumo de energía es bajo.
- Son eficientes ante el ruido y objetos intermedios.
- Comunicación bidireccional entre nodos y Gateway gracias a la propiedad del espectro ensanchado SS (Spread Spectrum, en inglés).

La conformación de este tipo de redes está diseñada con una arquitectura de estrellas, siendo la primera formada por los elementos finales que son los sensores, actuadores y los Gateway, luego estos y los servidores de la red, así una red con distribución LoraWAN está diseñada con dispositivos finales, puertas de enlace y servidores, en donde el usuario accede.

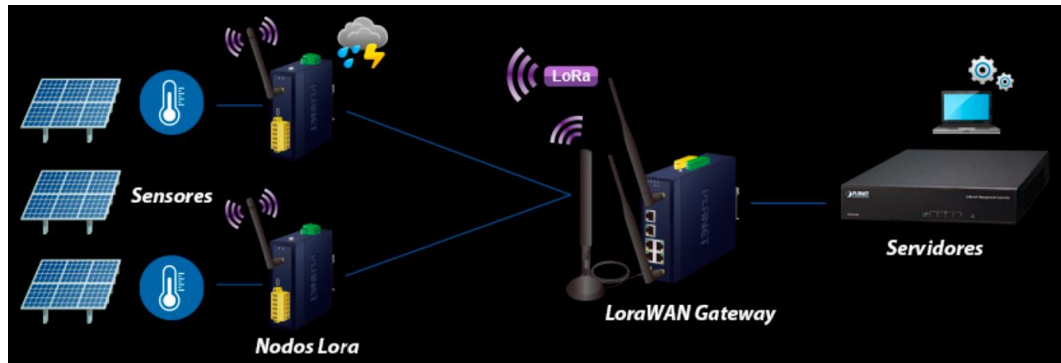


Ilustración 2.12 Representación de la arquitectura de LoraWAN

2.7. Diseño del hardware

2.7.1. Jumpers

Los cables jumpers o puente son conocidos en el campo de la electrónica por permitir la interconexión de diferentes componentes electrónicos como PCBs junto con una placa de pruebas o 'protoboard', su uso facilita la comunicación para realizar la programación entre los dispositivos conectados, tanto entre los módulos intermedios como los dispositivos finales [46].

Estos cables se caracterizan por tener un conector en cada una de sus puntas, estas puntas son llamadas de macho a hembra y pueden variar en su dimensión. Su uso se basa principalmente en el diseño de prototipos y son muy sencillos de usar y conectar. Existen dos tipos de jumpers, estos son mencionados a continuación:

2.7.1.1. Con pinzas de cocodrilo

Cuando se refiere a la fisionomía de cocodrilo se hace referencia a otros tipos de conectores con mandíbulas de acero chapadas en níquel [48], además sirven para otras aplicaciones, entre las cuales pueden ser la toma de lecturas o simular un puenteo temporal [49].



Ilustración 2.13 Cable jumper con pinzas de cocodrilo [47]

2.7.1.2. Con terminales aislados

Existen casos mixtos de los terminales en los que se tienen del tipo homogéneos o heterogéneos, en el segundo caso es cuando los conectores son distintos, es decir macho-hembra o viceversa, mientras que en el primero es cuando son similares. Estas variaciones pueden ser de tamaño y color para interpretar las señales con las que se trabaja. Las variaciones según los terminales pueden ser:

- Macho – hembra (heterogéneo)
- Macho – macho (homogéneo)
- Hembra – hembra (homogéneo)



Ilustración 2.14 Cables jumpers con terminales mixtos [48]

2.7.2. Cable USB tipo C

El cable USC tipo C o USB-C es un cable universal diseñado en el año 2014 para satisfacer los requerimientos de una diversa gama de aplicaciones informáticas de visualización, transferencia y de carga entre dispositivos de hardware. Este cable está construida por una interconexión reversible de 24 pines internos [50] con una disposición de 8.34mm x 2.56 mm de ancho. A continuación, observa una imagen de los pines del cable USB-C, además de otros cables USB que han sido desarrollados.

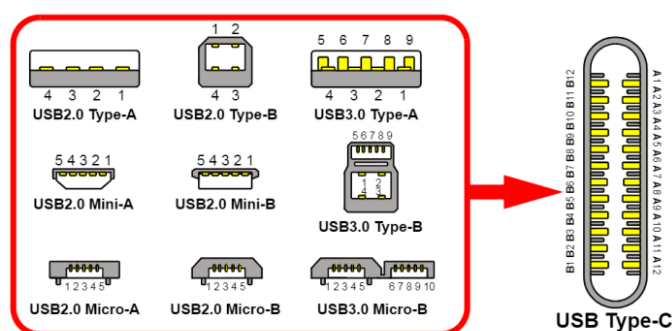


Ilustración 2.15 Formas de enchufe tipo USB [49]

El cable USC Tipo C o USB-C es el reemplazante de los cables USB-A y USB-B ya que se pretende adaptar la tecnología USB a factores más pequeños y delgados, es una nueva versión diseñada para marcar un hito en la electrónica de consumo [50], su principal función es haber sido diseñado para mejorar las conexiones de dispositivos de comunicación, ya que permite una transferencia de datos ultrarrápida de hasta 10 Gb/s y 100W de flujo de energía continua, además de capacidades de video de ancho de banda ultra con hasta 4k de definición .

A continuación, se presenta una tabla con todas las características principales [51] de este tipo de cable USB.

Tabla 2.2 Características del cable USB-C

Velocidad de transferencia	≤ 10 Gbps
Máxima corriente	5A
Disposición	Orientación del enchufe y dirección del cable reversibles
Tamaño	Pequeño, similar a USB2.0 micro-B
Visión	Futuras mejoras de rendimiento
Video	Reemplaza puertos VGA y HDMI para una salida en 4k
Audio	Reemplaza conector 3.5mm para música de alta calidad
Ethernet	Reemplaza puerto Ethernet para brindar velocidades de hasta 1000 Mb/s
Almacenamiento	Reemplaza el puerto de la tarjeta SD, puerto de alimentación y lo demás para ser un puerto universal.
Aplicaciones	Computadoras, laptops, tablets, impresoras, audífonos, data centers, cargadores, maquinaria industrial, cámaras digitales, etc.
Temperatura de funcionamiento	-30°C a +85°C

2.7.3. Cable 16 AWG

El cable de calibre 16 para audio cubierto con silicona de dos conductores maneja en su interior una alta densidad de hilos de cobre ultra flexibles para realizar la instalación de sistema con alimentación de DC en espacios reducidos y áreas restrictivas.

La cantidad de hilos que transcurren por el cable es un recuento de 252 hilos de alambre de cobre estañado de 0.08mm por conductor, esta arquitectura para el cable se debe a las intenciones de protegerlo contra la corrosión y poder facilitar la soldadura [52]. Es importante mencionar que la densidad de hilos es más alta en estos cables de silicona de calibre 16 con el fin de tener una mejor flexibilidad.



Ilustración 2.16 Cable #16 AWG [53]

Como se observa en la imagen el cable rojo viene acompañado del negro que fácilmente se pueden separar sin la necesidad de fuerza, estos cables tienen una resistencia de hasta 200°C y 600V, gracias a estas características es que es capaz de resistir soldaduras y no dañarse en el proceso [52].

2.7.4. Protoboard

El protoboard, breadboard, placa de pruebas o placa de inserción es un tablero con forma rectangular formado en su mayoría de plástico con orificios distribuidos a lo largo y ancho en forma de filas y columnas que sirve para conectar prototipos electrónicos y montar circuitos provisionales sin la necesidad de realizar una soldadura en las conexiones [54].

El beneficio de esta placa es que permite realizar experimentos sin la necesidad de realizar la impresión mecánica del circuito, por ello su uso es direccionado específicamente a la parte práctica del circuito que se esté diseñando en cuestión, en tamaños existen placas desde muy básicas de 30 filas, hasta complejas de 62 filas [55] con orificios para suministrar la energía, desvanecer a tierra o conectar las señales, el interior de estas placas está elaborado de conexiones con un material conductor de clips metálicos.

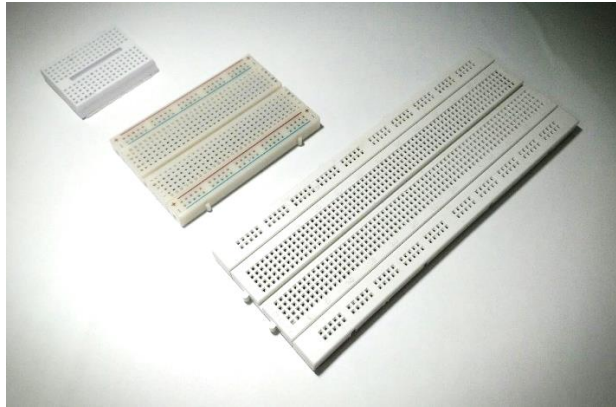


Ilustración 2.17 Diferentes escalas de protoboards [56]

2.7.4.1. Partes del Protoboard

El Protoboard está segmentado en regiones según el funcionamiento que cumplen respectivamente, a continuación, se presenta las partes más importantes [55].

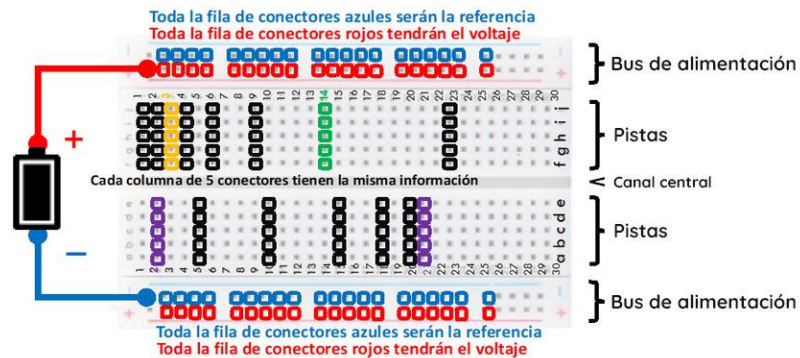


Ilustración 2.18 Partes del protoboard [57]

- **Bus de alimentación:** Las zonas de alimentación son los espacios externos de la placa, es decir la parte superior e inferior, estas regiones están destinados para la alimentación dividida en la sección de fila de voltajes o cargas y la fila de referencia o tierra, se debe conectar la con un cable entre las zonas rojas de la ilustración y a su vez entre las zonas azules de referencia.
- **Pistas:** Esta sección representa la distribución de filas y columnas de la placa, es donde se instalan los componentes electrónicos para su funcionamiento, la región

está distribuida en 10 columnas desde la A-J, y filas de varios tamaños según el modelo, estas se encuentran numeradas.

- **Canal central:** El canal es la sección de separación entre la zona de conexión superior y la inferior, el canal es el lugar para insertar los circuitos integrados a encapsulados de varios terminales [58].

2.7.5. Microcontroladores

Los microcontroladores son dispositivos de hardware y software conformado por un circuito integrado de alta integración con una CPU, memorias ROM y RAM y periféricos de entrada/salida, es adaptable, es decir que se puede configurar mediante programación con la capacidad de ejecutar distintas órdenes almacenadas en su memoria, dependiendo las demandas que se requieran para un determinado sistema embebido de control y comunicación.



Ilustración 2.19 Circuito integrado programable [59]

Estos dispositivos contienen todas las partes funcionales de un computador mencionadas (aunque con limitaciones), por lo que el computador llega a ser un computador integrado en un solo chip para cumplir una tarea específica. Sus líneas de entrada y salida se enchufan a los actuadores y sensores con los que trabajan. En cuanto a modelos hay una variedad en el mercado, desde distintas marcas hasta especificaciones que trabajan con diferentes arquitecturas

2.7.5.1. Componentes de un microcontrolador

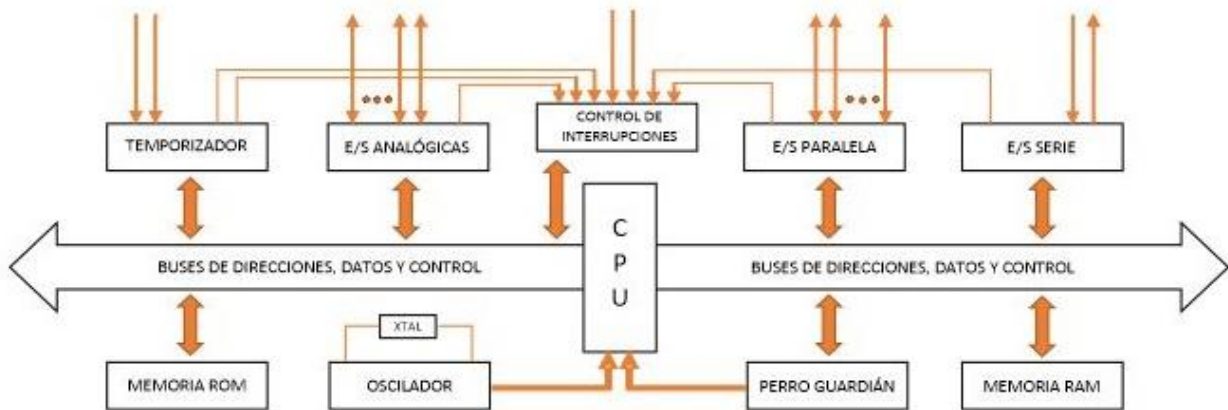


Figura 2.5 Componentes principales de los microcontroladores [60]

- **Procesador o CPU (Unidad Central de Procesamiento):** El CPU se encarga como un microprocesador de controlar y monitorear todos los procesos que se llevan a cabo en el microprocesador, realiza las lecturas y ejecuciones de todas las funciones lógicas
- **Memoria RAM/SRAM/DRAM:** Estas memorias son del tipo volátil, ya que su almacenamiento solo se lleva a cabo mientras el dispositivo este encendido, debido a que su principal función es para lectura/escritura permiten ejecutar y calcular los datos que se le pide a la MCU, se sobrescribe mientras se usa.
- **Memoria ROM/EPROM/EEPROM/FLASH:** Estas memorias son del tipo no volátiles, es decir se mantiene su información, aunque se apague el MCU, se caracterizan por realizar tareas de lectura o de lectura y escritura en condiciones especiales según sea la memoria utilizada, la ventaja de este tipo es que permiten un almacenamiento grande en mucho tiempo.
- **Periféricos de Entrada/Salida:** Son básicamente los puertos de comunicación o pines de conexión que tiene el MCU, su principal función es vincular el microcontrolador con otros componentes o circuitos para la transmisión y recepción de señales o buses de datos y la alimentación.

- **Módulos para periféricos:** Además el microcontrolador cuenta con módulos para varias funcionalidades como: temporizadores, puertos serie y paralelo, conversores D/A y A/D, nodos de modulación de ancho de pulso (PWM), captura de datos, Ethernet, entre otros puertos de comunicación [59].

2.7.5.2. Ejemplos de Microcontroladores

A continuación, se presenta una descripción algunos microcontroladores bastantes populares en el mercado electrónico de MCUs, la gran variedad que existe en estos permite brindar una gran adaptabilidad a cada uno de los proyectos.

- Raspberry Pi

La Raspberry Pi en sus inicios fue de vital importancia para los aficionados y entusiastas con un conocimiento mínimo de computación cuando carecían ciertas tecnologías como internet a tasas altas de velocidad o computadoras con los procesadores actuales, fue una pieza popular a un costo bastante reducido, era básicamente una pequeña placa de computadora del tamaño de una tarjeta de crédito de 85 x 54 mm, personalizable y programable.

Fue usada como una herramienta educativa para la enseñanza de materias como computación o programación básica, razón por la cual pegó muy bien en el mercado de la época de 2012, debido a que estaba al alcance del público en general por las razones explicadas, hoy en día sigue siendo un MCU muy exitoso.

Este microcontrolador integrado está conformado como un pc por componentes del sistema como [61]:

- **Unidades centrales:** Chip Broadcom BCM2835 con procesador ARM 1GHz
- **Procesamiento de gráficos:** GPU Video Core IV
- Hardware de audio y comunicación

- **Memoria RAM:** Hasta 512 MB
- **Interfaces y periféricos:** USB, GPIO, Ethernet, HDMI, DSI, Jack 3.5mm, UART, etc.



Ilustración 2.20 Imagen referencial del Raspberry PI modelo B [62]

- Arduino UNO

La placa de Arduino UNO es una placa electrónica programable de código abierto, al igual que la Raspberry Pi, es bastante flexible, sencilla y asequible para el público en general que desee desarrollar un entorno interactivo de programación, Está fabricado por Arduino LLC y marcó el inicio en el lanzamiento de placas con el software y líneas de producción Arduino [62].

A continuación, se remarcan los componentes de esta placa [63] :

- **Unidades centrales:** Microchip ATmega328P.
- **Unidad/Velocidad de reloj:** 16MHz.
- **Voltaje de entrada y de trabajo:** 7.5-12 V y 5V.
- **Pines de salida:** 14 digitales (6PWM) y 6 analógicos
- **Memoria:** Flash, SRAM, EEPROM: 32KB (0.5 bootloader), 2KB, 1KB.
- **Interfaces y periféricos:** USB, GPIO, Ethernet, HDMI, DSI, Jack 3.5mm, UART, etc.

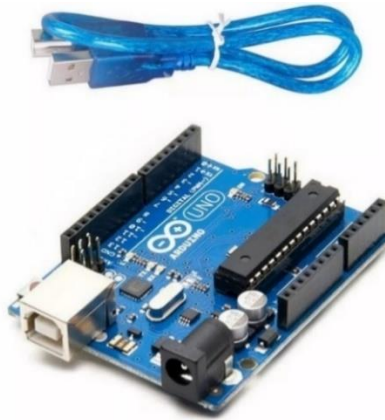


Ilustración 2.21 Imagen referencial placa Arduino UNO [64]

- ESP8266

El ESP8266 es un chip pequeño y de bajo costo que funciona como un microcontrolador, diseñado por la empresa *Espressif Systems* y lanzada al mercado en el 2014. Este MCU es un sistema de alto rendimiento diseñado para enfrentar las iniciativas y proyectos que se tenían de IoT y WSN [42], con una capacidad de conexión wifi a un bajo costo, pero con una alta funcionalidad ya que se planteó que funcione como puente o nodo intermedio entre microcontroladores.

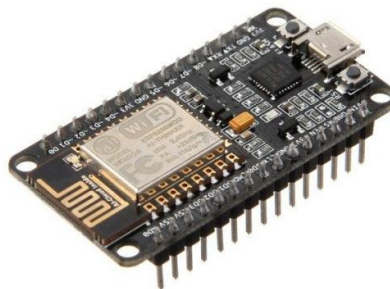


Ilustración 2.22 Imagen referencial del ESP8266 [65]

Este microcontrolador integrado funciona con las siguientes características importantes [42]:

- **Voltaje y corriente:** 3.3V, 10uA – 170 mA.
- **Memoria Flash:** 512 kB normal, 16 MB máximo.
- **Procesador:** Tensilica L106 de 32 bits, velocidad de 80-160 MHz

- **Puertos GPIOs:** 17 programables
- **Soporta protocolo:** 802.11 (wifi): b/g/d/e/k/n/r
- **Corrientes simultáneas:** 5.
- **Periféricos:** Analógico a digital (PWM), 1 entrada con 10 bits resolución

- ESP32

El ESP32 también es un microcontrolador de la familia de desarrolladores *Espressif Systems*, su lanzamiento al mercado es 2 años después del ESP8266, en el 2016. Este MCU es un sucesor del mencionado anteriormente ya que conlleva mejoras tecnológicas tanto en software como en hardware.



Ilustración 2.23 Imagen referencial ESP32 [66]

La diferencia con el ESP8266 radica que este módulo está más diseñado para el campo de IoT, ya que maneja módulos/kits como el Wifi Lora ESP32 con su respectiva antena para transmitir y recibir datos, o módulos GSM para utilizar conexión por redes de datos con un chip de operadora móvil [67], es programable en Arduino IDE.

Se detallan las características primordiales de este chip [67]:

- **Voltaje y corriente:** 3.3V, 10uA – 170 mA.
- **Memoria Flash:** 512 kB normal, 16 MB máximo.
- **Procesador:** Xtense ingle-dual-Core (32 bits), hasta 600 MIPS
- **Memorias:** ROM, SRAM, SRAM del RTC: 448, 520, 16 KB respectivamente. Además, tiene un soporte QSPI para almacenar múltiples chips para SRAM y Flash

- **Puertos GPIOs:** 34 programables
- **Soporta protocolo:** 802.11 (wifi): b/g/d/e/k/n/r
- **Corrientes simultáneas:** 18 (12 bits resolución)
- **Periféricos:** Analógico a digital (pwm), 1 entrada con 10 bits resolución

- HiLetgo SX1276 ESP32 LoRa Kit Bluetooth 4.2+WiFi+LoRa

Esta placa de desarrollo está diseñada por HiLetgo y está basada en un chip ESP32 de doble núcleo de 32 bits + núcleo ULP, cumple los protocolos de comunicación inalámbricas tanto de Bluetooth 4.2, Wifi de 2.4 GHz y Lora; lo que lo convierte en un módulo con varias funcionalidades en aplicaciones IOT tanto a cortas como a largas distancias.

El procesador es completamente libre de correr la aplicación que el usuario este cargando en el entorno de Arduino y posee una mini pantalla digital para observar si se está llevando a cabo el funcionamiento del dispositivo en la transmisión y recepción de datos que se lleva cabo por una pequeña antena direccional metálica. Las características más detalladas de esta placa se contemplan a continuación [68]:

- **Marca:** HiLetgo
- **Pantalla digital:** Oled de 0,49 pulgadas.
- **Procesador:** Chip ESP32 32-bit dual-core
- **Velocidad wifi:** 150 Mbps (802.11 n), 2.4 GHz (Wifi y Bluetooth)
- **Potencia de emisión:** +20 dBm
- **Sensibilidad:** -128 dBm
- **Voltaje de funcionamiento:** 3.3-5V
- **Consumo de energía:** 800uA corriente de sleep
- **Chip Lora:** SX1276
- **Fuente de alimentación de salida:** +5V (USB), +3,3V batería integrada de litio, puerto IO bajo consumo de energía
- **Memoria Flash:** 64M-BitsMB

- **Interfaces:** Micro SC card 12-bits ADC, 8-bits DAC, SPI, I2C, I2S, UART, IPEX (antenna)
- **Puertos GPIOs:** 29 programables



Ilustración 2.24 Imagen referencial HiLetgo SX1276 ESP32 [68]

2.7.6. SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

2.7.6.1. Sensor DHT11

El DHT11 es un sensor tanto de temperatura como de humedad, es bastante simple y transmite en tiempo real estas dos variables, las mediciones que realiza son digitales por lo que las ventajas frente al ruido son notables si se usara pines analógicos, pueden ser utilizados en varios microcontroladores como Arduino, ESP(s) o módulos Rasperry [69] y obtener sus valores mediante programación. Algunos datos técnicos de su funcionamiento se mencionan adelante [70]:

Tabla 2.3 Características del módulo DHT11

Variables/Parámetros	DHT11
Alimentación	3.5 – 5 V
Señal salida	Tipo Digital
Consumo	2.5 mA
Rango de temperatura	0°C - 50°C
Precisión en la temperatura	25°C ± 2°C
Resolución por temperatura	1°C (8-bit)
Rango de humedad	20% RH - 90% RH
Precisión en la humedad	0°C y 50°C ± 5% RH
Resolución por humedad	1% RH

Existen módulos con pines sin PCB y con PCB, con PCB se muestra a continuación:

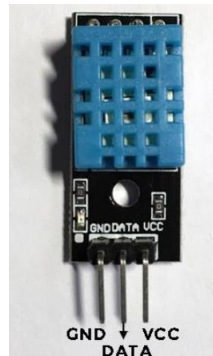


Ilustración 2.25 DHT11 versión PCB [70]

El pin GND se conecta a tierra, el pin DATA transmite la señal digital de la temperatura y la humedad, el pin VCC es la alimentación para el sensor. La diferencia respecto a la versión sin PCB es que en esta hay un pin que queda a la deriva.

2.7.6.2. Sensor DHT22

Este sensor a diferencia de su primo el DHT11 tiene la diferencia que tiene una salida analógica, además cuando se trata de la precisión también trae ventaja por sobre su competidor, debido a que los pines del sensor tienen más sensibilidad en términos de las variables de temperatura y humedad [71]. En cuanto a su diseño es muy similar al 11, por lo que no se detalla el funcionamiento de los pines:

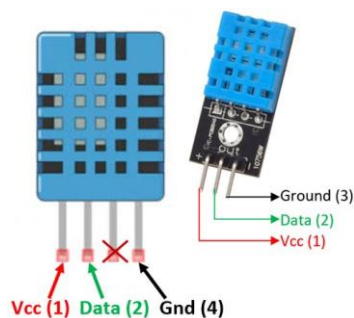


Ilustración 2.26 DHT22 versión PCB [72]

2.7.6.3. Sensor FC-28

Este sensor realiza la medición de la humedad presente en el suelo, una vez insertadas sus patas en una superficie de tierra, toma los datos a partir de la resistencia eléctrica del suelo con el uso de un divisor de tensión [73].

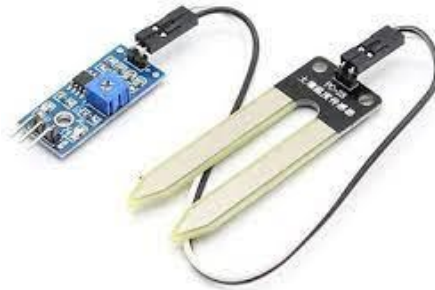


Ilustración 2.27 Sensor de humedad de suelo FC-28 [74]

Como se tiene presente en la imagen superior, el sensor es el elemento conformado por las 2 patas, la conexión es de 5V y GND,

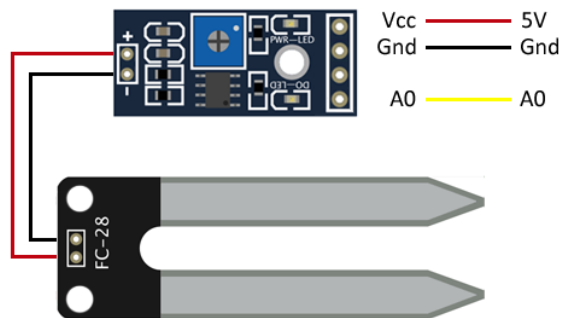


Ilustración 2.28 Pines del sensor FC-28 [74]

El elemento de la parte de arriba de la ilustración 26, es un módulo fotorresistencia Arduino sensor de luz, debido a que está formado por la placa Flying Fish MH, esta cuenta con una salida analógica (A0) que denota el valor de humedad, mientras que la digital (D0) dispara cuando la humedad superar ciertos valores cambiados por el potenciómetro azul de la imagen, es decir funciona con un HIGH y un LOW [74], finalmente la alimentación Vcc a 5V y tierra o GND.

2.8. Redes de sensores inalámbricos

Los sensores en las redes de sensores inalámbricas WSN (Wireless Sensor Networks), son un conjunto de dispositivos conformados denominados nodos sensores en una red WSN, estos equipos realizan el monitoreo y medición de datos específicos, ya sea la temperatura, el pH, la humedad, el oxígeno, las vibraciones, la presión, la energía lumínica, entre un sinnúmero de variables que se requieran desde una perspectiva de estudio del mundo real y envían a un dispositivo Gateway exterior para que este envíe los datos a la nube.

Los dispositivos de censo deben cumplir las siguientes capacidades:

- **Detección de fenómenos externos:** Datos físicos o variables.
- **Procesamiento de información:** Algunos son capaces de procesar
- **Almacenamiento de información:** Suelen tener una memoria pequeña para almacenar y enviar buses de datos.
- **Comunicación con otros nodos o dispositivos:** La transmisión de la información se da con una interfaz de comunicación.

Es decir, todo se traduce en detección, almacenamiento, procesamiento y conectividad.

Suelen tener todas estas capacidades, pero hay que tener en cuenta que a medida que un equipo sensor o mote, tiene más capacidad tecnológica esto equivale a tener mayor potencia y por tanto tener un costo mayor, hay casos en el que se requiere un despliegue de sensores amplio e invertir en equipos costosos no sería la mejor alternativa, basta que censan y transmitan.

Las fuentes de energía con las que se manejan son limitadas, por lo que si no se recarga continuamente el nodo cumple con una vida útil. El objetivo cuando se utilizan es proporcionar la energía suficiente al menor costo/volumen/ peso, ya que ese sería el caso ideal. Por ello el uso de baterías primarias (no recargables) no es la mejor opción. Si se desea invertir de una forma más amigable es preferible tener baterías secundarias

(recargables), tales como paneles solares, baterías recargables por vibraciones, por energía cinética, etc.)



Ilustración 2.29 Esquema de una red de sensores inalámbricos [75]

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DEL SISTEMA

3.1. Diseño e implementación del primer prototipo

3.1.1. Diagramas de bloque del sistema

El diagrama de bloques de la ilustración 33 nos indica el proceso de sistematización de los valores censados en cada una de la zonas en donde se recolectan los valores de humedad y temperatura Ambiente adicional la Humedad del suelo para obtener el resultado de la Humedad Absoluta, eso lo replicamos para la siguiente zona no obstante la comunicación entre ellas se realizó usando la Tecnología LoRa-WAN ya que se abordó distancias de 2 Km a su vez cada zona consta de un sistema de Backup de alimentación para una autonomía de 24 Horas.

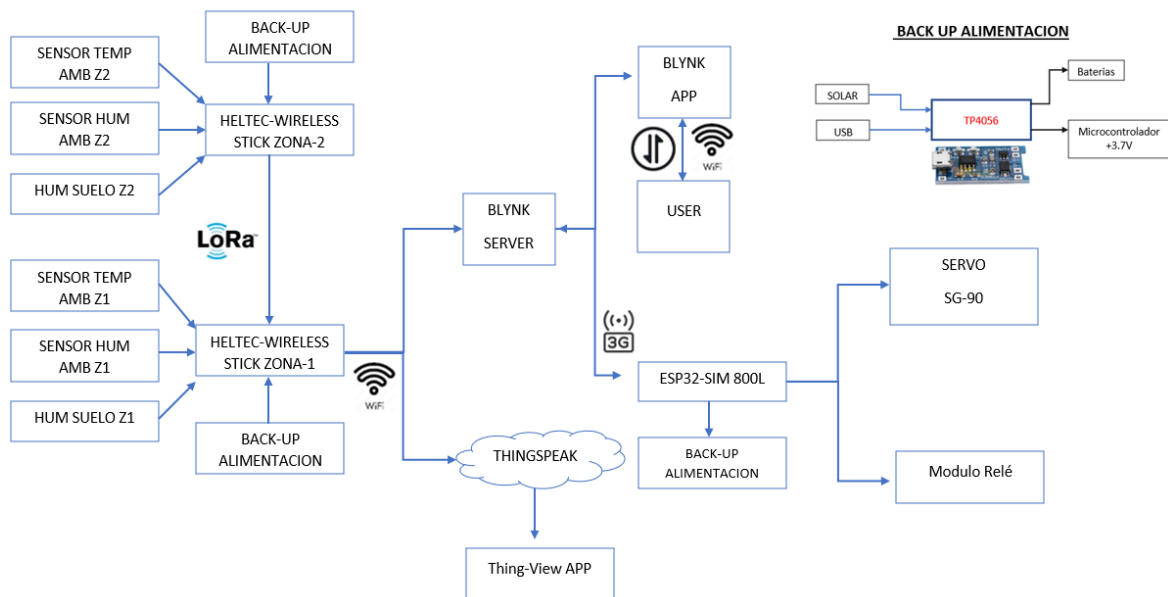


Figura 3.1 Diagrama de Bloque del Diseño del Sistema

Una vez obtenidos los valores en cada uno de los nodos adyacentes se procede a enviarlos a las plataformas tipo cloud como ThingSpeak y Blynk-Server para su respectiva interpretación e interacción con el usuario en donde este podrá tomar acciones respecto a los valores censados.

3.1.1.1. **Nodo 2**

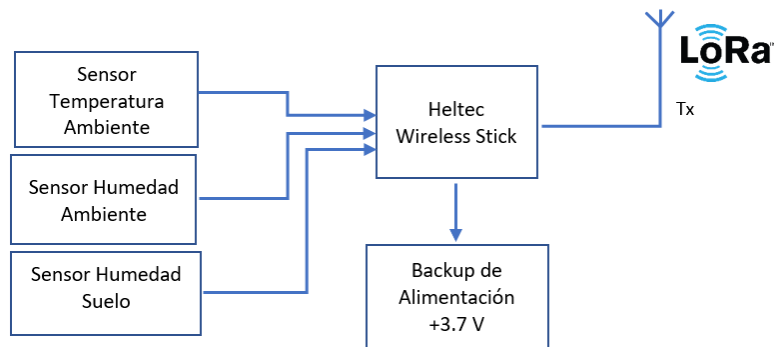


Figura 3.2 Diagrama de Bloques del Nodo 2

El Nodo 2 nos permite la recopilación de los valores censados de Temperatura y Humedad Ambiente adicional la Humedad de suelo respectivo a la zona, todos estos datos son procesados por cada uno de los módulos conectados al microcontrolador HELTEC Wireless Stick que serán enviados inalámbricamente usando la tecnología LoRa-WAN ya que nos permite una mayor autonomía y la transmisión a largas distancias para poder cumplir los objetivos planteados.

3.1.1.2. *Nodo 1*

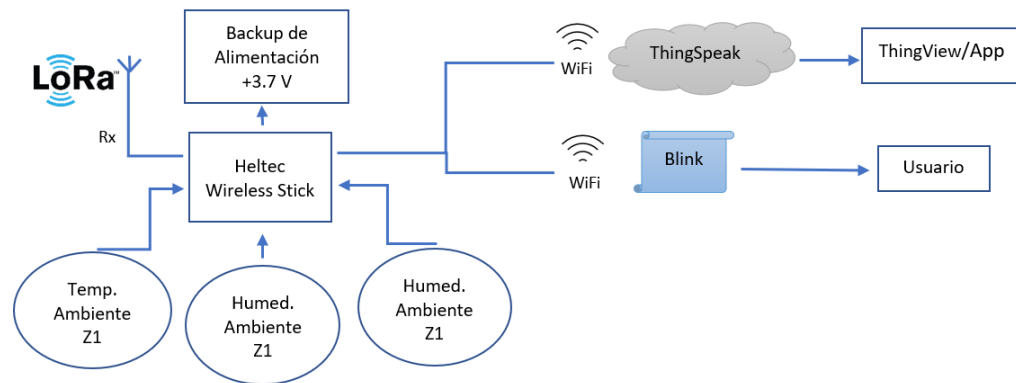


Figura 3.3 Diagrama de Bloques del Nodo1

El nodo 1 recibe los valores obtenidos de la zona 2 adicional sus propios valores censados por cada uno de sus módulos, todo este conjunto es recopilado por el microcontrolador HELTEC Wireless-Stick que mediante conexión Wi-Fi envía los datos a la plataforma de Blynk IoT y ThingSpeak para esto se tabularan los datos de manera análoga en donde finalmente el usuario contara con los valores en tiempo real de cada una de las zonas censadas.

3.1.1.3. *Nodo Maestro*

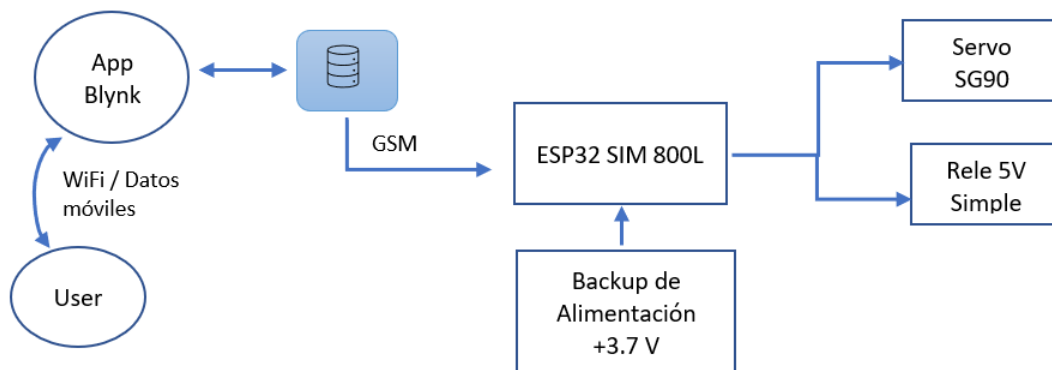


Figura 3.4 Diagrama de Bloques del Maestro

Para la implementación del nodo maestro se consideró una conexión de datos móviles para una comunicación de manera alterna por motivos de BACKUP en la toma de decisiones, para esto el módulo ESP32 SIM 800L mantiene una conexión con el servidor de Blynk IoT en donde recopila los datos y simula en sus puertos el encendido de una Bomba de Agua para el riego de la zona adicional el estado de una electroválvula.

El Usuario mediante la aplicación móvil de BLYNK puede gestionar los valores censados de las diferentes zonas para su respectiva automatización y activación de las diferentes zonas.

3.1.2. Arquitectura del sistema

El diseño de la arquitectura del sistema para el sistema de riego de bajo costo fue dividido en 3 sectores, estos son:

- Nodo maestro: Se encarga de la recepción de los datos de los otros sensores y la comunicación vía GSM con el servidor
- Nodo 1: Recpta los datos del nodo 2 que esta más lejano y transmite los datos el nodo maestro.
- Nodo 2: Recpta los primeros datos y envía al nodo 2

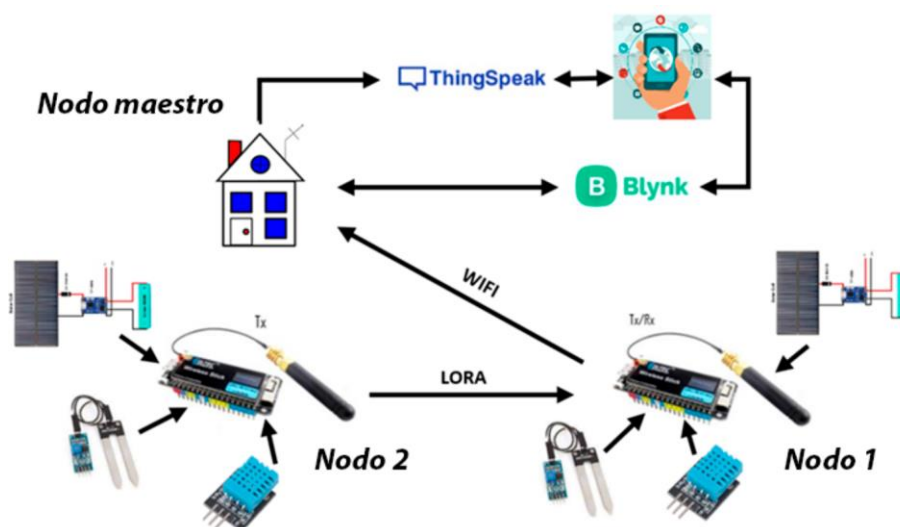


Ilustración 3.1 Arquitectura del sistema

En la ilustración 37 se observa un esquemático del funcionamiento del sistema, se observa en el gráfico de la izquierda una representación de la comunicación entre los nodos, y en la sección derecha el procedimiento de cada nodo. Por ejemplo, el maestro representado por una "M", recibe los datos de los nodos 1 y 2 para posteriormente enviar vía Telegram con el uso de un Bot para interactuar y pedir solicitudes desde el celular o también a ThingSpeak.

Los datos tanto del nodo 1 como del nodo 2 son transmitidos mediante LoraWAN que usa la tecnología Lora de los módulos Wireless Stick especificados en el anterior capítulo, mientras que el ESP32 SIM800L es en nodo maestro y transmite los datos al servidor de ThingSpeak mediante tecnología GSM ya que cuenta con un chip móvil.

3.1.2.1. *Nodo 2*

El nodo 2 del esquema es el encargado de recopilar los primeros datos para enviar al nodo 1, en esta posición se obtuvieron lecturas de temperatura con el sensor DHT11 y de humedad con el sensor FC28, a continuación, se presentan los accesorios usados, aunque se repite en su mayoría los anteriormente utilizados:

- Módulo Wireless Stick
- Antena de 3dBi de ganancia
- Módulo TP4056
- Sensor DHT11
- Sensor FC28
- Panel solar 6V/140mA
- Batería de litio 3.7V/500mAh
- Maqueta
- Cables lagartos
- Cables jumpers

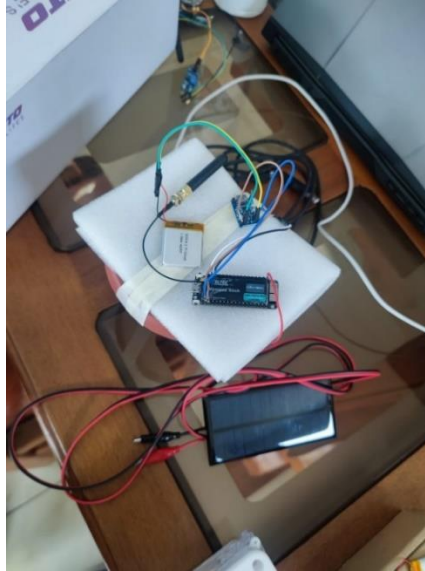


Ilustración 3.2 Dispositivos usados para el Nodo 2

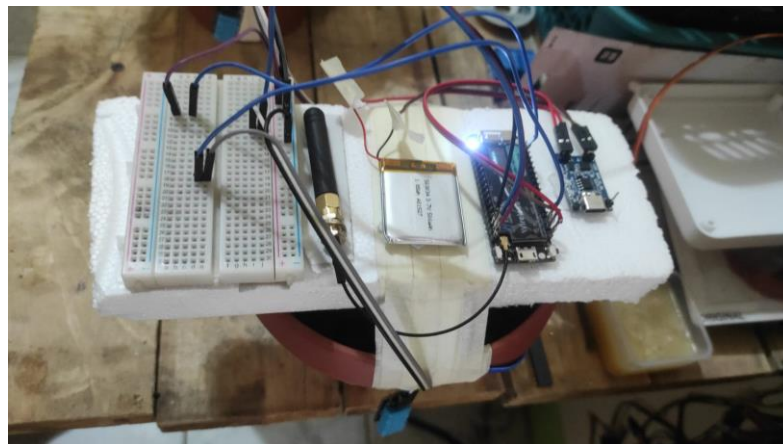


Ilustración 3.3 Maqueta del Nodo 2

3.1.2.2. *Nodo 1*

El nodo 1 es el intermediario entre el nodo 2 y el nodo maestro. Este se encarga de la recopilación de los datos del nodo 2 con las variables de temperatura y humedad y su posterior transmisión hacia el nodo maestro. Los elementos utilizados fueron:

- Módulo Wireless Stick
- Antena de 3dBi de ganancia
- Modulo TP4056
- Panel solar 6V/140mA

- Batería de litio 3.7V/500mAh
- Cable lagarto
- Jumpers

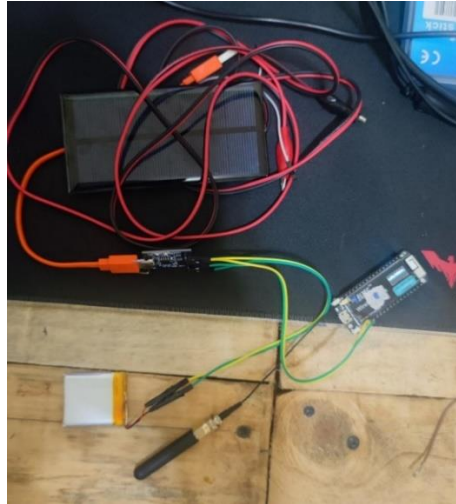


Ilustración 3.4 Dispositivos usados para el Nodo1

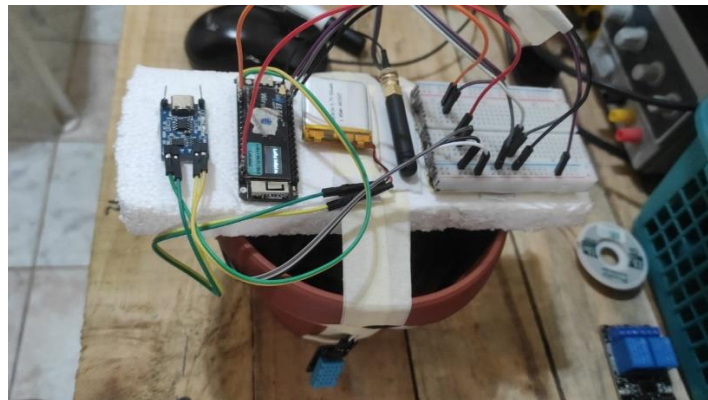


Ilustración 3.5 Prototipo diseñado para el Nodo1

3.1.2.3. *Nodo Maestro*

Para el nodo maestro se puso a disposición los siguientes elementos:

- Módulo ESP32 SIMM800L
- Antena de 3dBi de ganancia
- Panel solar 6V/140mA

- Módulo Relé
- Micro Servo 9g SG90
- Batería de litio 3.7V/500mAh
- Relay srd-05vdc-sl-c
- Modulo TP4056
- Cable lagarto
- Jumpers

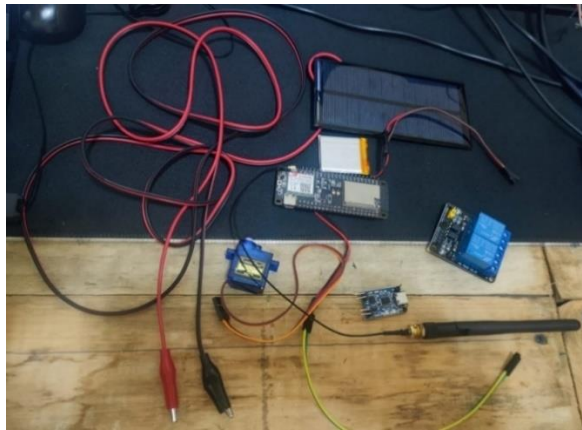


Ilustración 3.6 Dispositivos usados para el Maestro

Se utilizó un sistema de back up con el módulo TP4056 para suministrar energía de forma permanente a la batería de litio mencionada mediante la recopilación con el panel sola. Se hace uso de cables lagarto y cables jumpers,



Ilustración 3.7 Prototipo del Nodo Maestro

Se utilizó un sistema de back up con el módulo TP4056 para suministrar energía de forma permanente a la batería de litio mencionada mediante la recopilación con el panel sola. Se hace uso de cables lagarto y cables jumpers.

3.2. Diseño e implementación del segundo prototipo

3.2.1. Diagrama de bloques del sistema

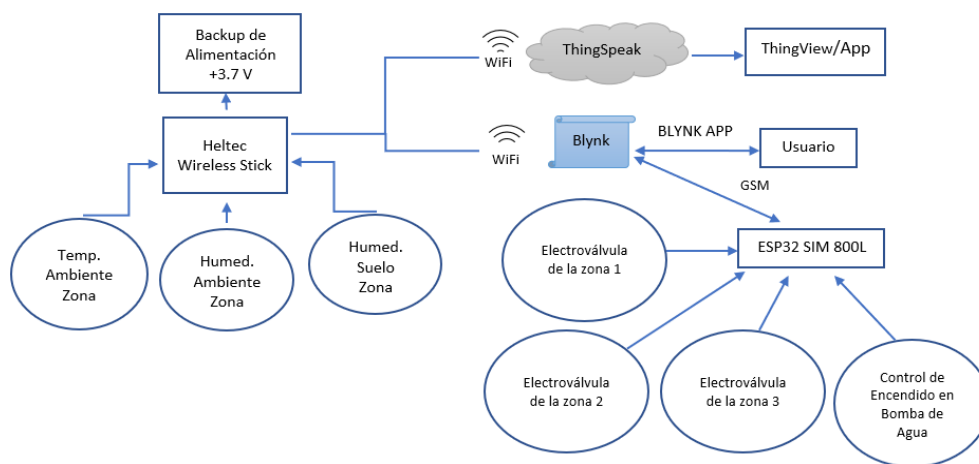


Figura 3.5 Diagrama de Bloques del Segundo Prototipo

En la ilustración 43 podemos apreciar la implementación de los diagramas de bloques para el segundo prototipo de la cual usamos como base el módulo Heltec Wireless Stick que se encargará de recolectar los datos de humedad y temperatura ambiente adicional humedad de suelo ,una vez terminada la recolección estos datos serán enviados a las plataformas de ThingSpeak y Blynk IoT usando conexión wifi en donde finalmente el usuario gestionará de manera remota usando la aplicación móvil el encendido apagado de cada una de las electroválvulas y la zona de bombeo de agua.

3.2.2. Arquitectura del sistema

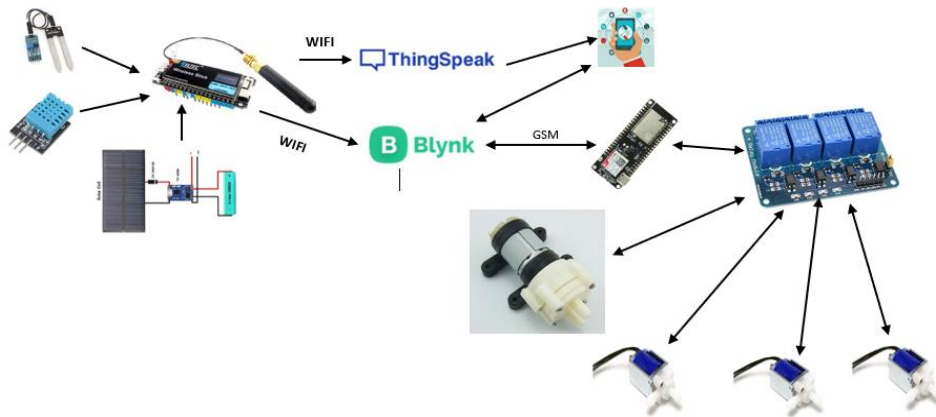


Ilustración 3.8 Arquitectura de la Segunda Implementación

En la ilustración 44 se puede apreciar de manera grafica los elementos de la segunda implementación en donde para el nodo maestro se conecta de manera bidireccional entre la plataforma de Blynk IoT y su aplicativo para la lectura de datos y la toma de decisiones según los parámetros sensados por los módulos acoplados al microcontrolador Heltec Wireless Stick.

Cada uno de los componentes conectado al módulo relé de cuatro canales se pueden activar o desactivar según la necesidad del usuario, de tal manera se notificará de manera oportuna los cambios bruscos en la medición de parámetros de cada zona.

3.2.2.1. *Nodo*

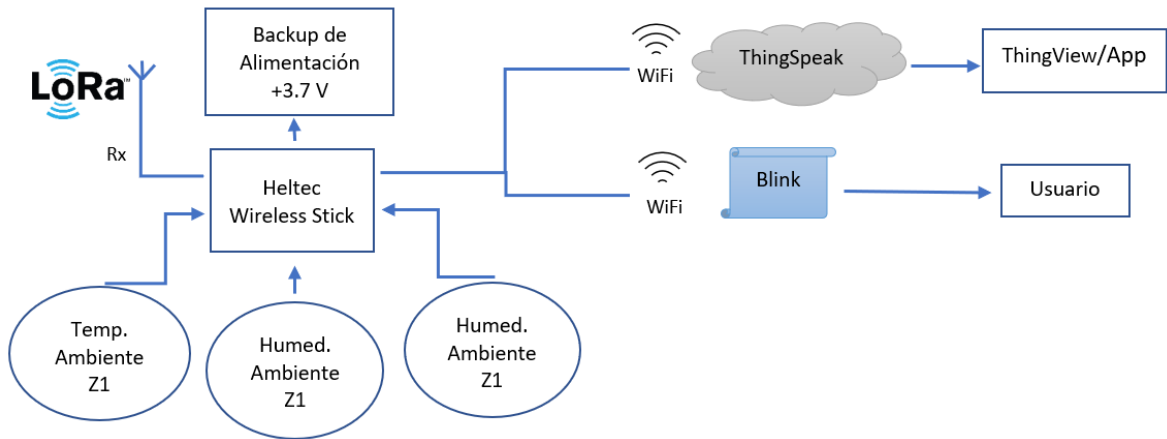


Figura 3.6 Diagrama de Bloque del Nodo

De igual forma que en el primer prototipo implementado en el recinto, para el segundo modelo se utilizó el mismo microcontrolador Heltec y se distribuyó las mismas funcionalidades para la medición de las variables climáticas en su alrededor, de igual forma la conexión de forma inalámbrica wifi hacia una red de acceso cercana y envió de los datos medidos a los servidores de ThingSpeak y Blynk IOT.

3.2.2.2. *Nodo Maestro*

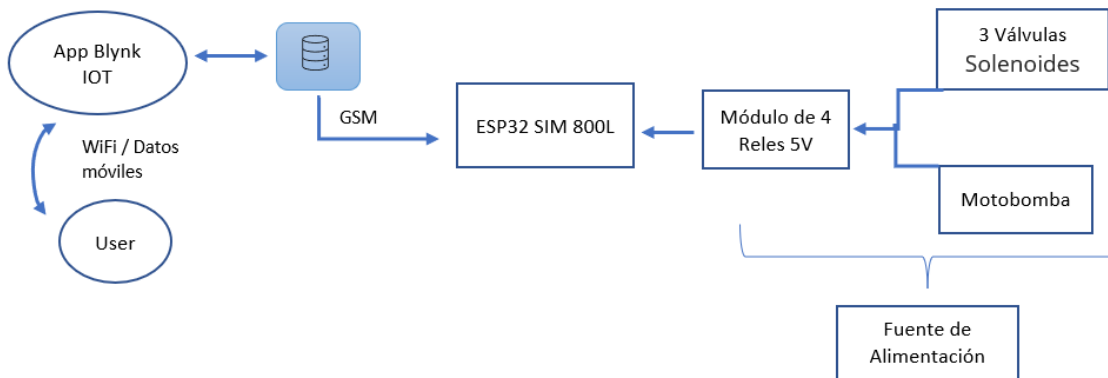


Figura 3.7 Diagrama de Bloque del Nodo Maestro

Así como en el primer prototipo, en el segundo en el modelo a pequeña escala se realizó la simulación de un sistema de riego con mangueras pequeñas, Para este caso

como se observa en la figura 5 el ESP32 es alimentado con las salidas del Rele, el cual permite el encendido y apagado con la aplicación Blynk IOT de las 3 válvulas solenoides y de la motobomba. Esta distribución permite al usuario con su dispositivo móvil o Tablet poder detener el sistema de bombeo, o simplemente cerrar un determinado canal mientras el agua fluye por otros sectores.

3.2.3. Implementación del segundo prototipo



Ilustración 3.9 Representación a escala de las zonas de cultivo

En la ilustración 38 se observa a menor escala las zonas de cultivo de cacao para lo cual se dividió en tres áreas para que en cada una de ellas para controlar y automatizar el respectivo riego adicional a esto se consideró el relieve de la plantación para que el modelo sea lo más real posible.



Ilustración 3.10 Vista Frontal del Segundo Prototipo

En la ilustración 39 se observa de manera frontal las diferentes zonas distribuidas con sus respectivos canales de riego para esto se utilizó manguera plástica de 4mm para simular las tuberías de la plantación del recinto el Rosal adicional en cada uno de los tres sectores se ubicó tres solenoides o electroválvulas en donde su función es sistematizar el proceso manual de abrir o cerrar válvulas.



Ilustración 3.11 Módulo de 4 Relés



Ilustración 3.12 Bomba de Agua

Para la implementación del segundo prototipo se consideró muchos aspectos en el diseño de cada uno de los elementos como el consumo de corriente, el calibre de los cables y el flujo del caudal de agua por las tuberías para esto se escogió un sistema de bombeo por una bomba de 12V para satisfacer los requerimientos recomendados para la implementación.



Ilustración 3.13 Fuente de alimentación

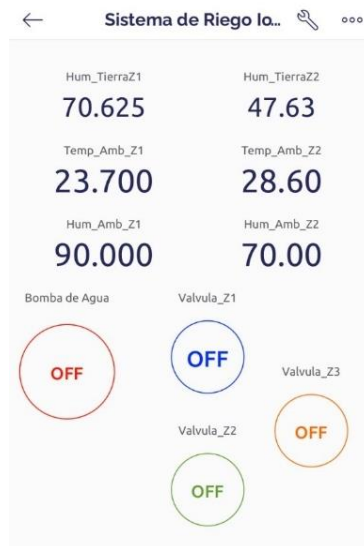


Ilustración 3.14 Interfaz del Control en la aplicación Móvil BLYNK IoT

En la ilustración 51 se aprecia la interfaz para el usuario que nos brinda la aplicación móvil Blynk IoT donde se muestran los valores censados en cada zona, para esto se recolectan los parámetros de humedad y temperatura ambiente adicional humedad suelo ya que este parámetro nos permitirá decidir el riego en dicha zona.

Los botones en la interfaz nos indican la acción a ejecutarse por parte del usuario, se tienen tres zonas enumeradas como válvula de la zona 1 zona dos y zona 3 respectivamente adicional a todo esto también se puede controlar el encendido y el apagado del sistema de bombeo de la Hacienda el Rosal.

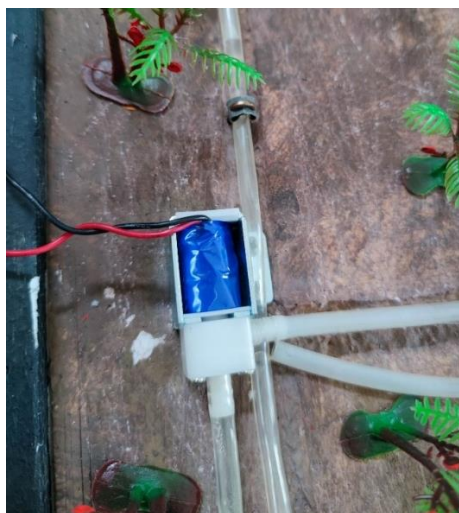


Ilustración 3.15 Válvula solenoides

En la instrucción 45 se aprecia la implementación de todo el sistema de riego automatizado por solenoides o electroválvulas y un sistema de bombeo que simula el riego manual adicional todo este sistema o aplicación móvil se conecta de manera remota a los servidores de Blynk IoT para controlar las diferentes zonas y emitir las diferentes notificaciones al usuario para que este realice acciones oportunas y promover el ahorro de agua en un 20% en la estación de Verano y un aumento de producción en sus cosechas.



Ilustración 3.16 Implementación Final del Segundo Prototipo

3.3. Cálculos teóricos

3.3.1. Cálculos de Cobertura

El terreno donde se desarrolla el estudio de la humedad del suelo para mejorar su producción es de tipo irregular para esto nos servimos de los modelos de propagación recomendados por la ITU que abarca los parámetros de cada dispositivo para una correcta comunicación entre ellos.

Entre los modelos recomendados para vegetación en una zona donde esté presente el follaje de cada hectárea, se logró implementar el modelo de Propagación de Weiss Berger en la ecuación 3.1 para la plantación de cacao del Recinto el Rosal ya que

la mayoría está cubierta de hojas en el suelo y cada uno de los árboles con una altura promedio de dos metros.

$$L_w[\text{dB}] = \begin{cases} 1.33F^{0.284}, & 14 < d_f \leq 400 \\ 0.45F^{0.284}, & 0 < d_{f\leq} \leq 14 \end{cases} \quad (3,1)$$

De dónde:

d_f : Es el follaje a lo largo del trayecto de línea de vista [m]

F : es la frecuencia de operación de los dispositivos en [GHz]

-Adicional se le añade la pérdida en el medio o espacio libre como se ve en la ecuación 3,2:

$$L_f = -20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) \quad (3,2)$$

Donde:

λ : longitud de onda.

d : distancia entre el transmisor (Tx) y receptor (Rx).

F : Frecuencia en Hz

a) Cálculo de pérdida por el follaje en la plantación de Cacao del Recinto el Rosal entre el nodo 1 y el nodo 2 con una distancia entre ellos de 382 metros adicional la distancia entre nodo 1 y el AP son 12 metros, ambos microcontroladores tienen una frecuencia de operación de 433 MHz, como se ve en (3,3).

$$L_w[\text{dB}] = \begin{cases} 1.33F^{0.284}d_f^{0.588}, & 14 < d_f \leq 400 \\ 0.45F^{0.284}d_f, & 0 < d_{f\leq} \leq 14 \end{cases} \quad (3,3)$$

-Pérdida del enlace entre nodo 1 y 2.

$$L_{2-1} = 1.33F^{0.284}d_f^{0.588} = 1.33(0.433^{0.284})(382^{0.588}) = 34.583 [\text{dB}]$$

-Pérdida del enlace entre el nodo 1 y el AP

$$L_{1-AP} = 0.45F^{0.284}d_f = (0.45)(2.4^{0.284})(12) = 6.924 [dB]$$

-Cálculo de Perdida en el vacío para los diferentes puntos de conexión.

-Perdida en el vacío entre el nodo 1 y 2 de la ecuación 3,2.

$$L_{2-1} = -20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)$$

$$L_{2-1} = -20 \log \left(\frac{\frac{433 \times 10^6 [Hz]}{3 \times 10^8 [m/s]}}{4\pi(382[m])} \right) = 70.438 [dB]$$

-Perdida en el vacío entre el nodo 1 y el AP de la ecuación 3,2.

$$L_{1-AP} = -20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)$$

$$L_{1-AP} = -20 \log \left(\frac{\frac{2.4 \times 10^9 [Hz]}{3 \times 10^8 [m/s]}}{4\pi(12[m])} \right) = 25.506 [dB]$$

3.3.2. Cálculos de la autonomía de la batería

Se realizó los respectivos cálculos Teóricos para la asignación de una batería para suministrar de energía el sistema para lo cual se considera que el tiempo de autonomía de la batería es de 14 horas que comienzan desde las 17:00 hasta las 7:00 del día posterior adicional nos respaldamos de los consumos energéticos que nos provee cada fabricante tanto de los módulos y microcontroladores para que nuestra estimación este dentro del margen de operación.

- **Nodo 2**

-Datos de operación de la corriente del microcontrolador HELTEC Wireless Stick y los módulos de censado conectados en este:

$$I_{Tx} = 60 \text{ [mA]}$$

$$I_{sleep} = 0.8 \text{ [mA]}$$

$$I_{DHT11} = 0.5 \text{ [mA]}$$

$$I_{FC-28} = 25 \text{ [mA]}$$

a) Conversión del tiempo de conexión t_c del nodo 2 al día.

5 veces cada hora → 120 veces al día → cada envío y censado de datos dura 5 segundos

$$t_c = 10 \text{ min}$$

b) Cálculo del tiempo de uso t_u de la batería del nodo 2.

$$t_u = 14 \text{ horas} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 840 \text{ min}$$

c) Cálculo del consumo C_t total en un día.

$$C_t = (60 \text{ mA})(10 \text{ min}) + (0.5 \text{ mA})(10 \text{ min}) + (25 \text{ mA})(10 \text{ min}) \\ + (1440 - 10)(0.8 \text{ mA})$$

$$C_t = 2000 \text{ mA min}$$

d) Cálculo de la capacidad de la batería del nodo 2.

$$\begin{array}{lcl} 1440 \text{ min} & \rightarrow & 2000 \text{ mA min} \\ 840 \text{ min} & \rightarrow & C_2 \end{array}$$

$$C_2 = \frac{(840 \text{ min})(2000 \text{ mA min})}{(1440 \text{ min})} = 1166.666 \text{ mA min}$$

e) Transformación a mA Hora.

$$C_2 = 1166.666 \text{ mA min} \times \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} = 19.44 \text{ mA hora}$$

- **Nodo 1**

-Datos de operación de la corriente del microcontrolador HELTEC Wireless Stick con sus respectivos módulos de censado y él envío de datos a los servidores cloud.

$$I_{Rx} = 30 \text{ [mA]}$$

$$I_{sleep} = 0.8 \text{ [mA]}$$

$$I_{DHT11} = 0.5 \text{ [mA]}$$

$$I_{FC-28} = 25 \text{ [mA]}$$

$$I_{WI-FI SCAN} = 115 \text{ [mA]}$$

$$I_{AP} = 135 \text{ [mA]}$$

a) Usando los valores encontrados en los literales anteriores se procede a encontrar el consumo total en un día en el nodo 1.

$$C = (30 \text{ mA})(10 \text{ min}) + (0.5 \text{ mA})(10 \text{ min}) + (25 \text{ mA})(10 \text{ min}) \\ + (3)(115 \text{ mA})(10 \text{ min}) + (135 \text{ mA})(10 \text{ min}) + (1440 - 10)(0.8 \text{ mA})$$

$$C \approx 6500 \text{ mA min}$$

b) Cálculo de la capacidad de la batería del nodo 1.

$$\begin{array}{l} 1440 \text{ min} \rightarrow 6500 \text{ mA min} \\ 840 \text{ min} \rightarrow C_1 \end{array}$$
$$C_1 = \frac{(840 \text{ min})(6500 \text{ mA min})}{(1440 \text{ min})} = 3791.666 \text{ mA min}$$

c) Conversión a mA Hora.

$$C_1 = 3791.666 \text{ mA min} \times \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} = 63.19 \text{ mA hora}$$

- **Maestro**

-Datos de operación de corriente del microcontrolador ESP32 SIM 800L con los respectivos módulos, relé simple de 5V y el servo SG90 para el cálculo de la capacidad de la batería para el nodo maestro.

$$I_{sleep} = 0.3 \text{ mA}$$

$$I_{Tx} = I_{Rx} = 300 \text{ mA}$$

$$I_{SG-90} = 10 \text{ mA}$$

$$I_{Rele} = 20 \text{ mA}$$

-Se considero el tiempo en minutos de la conexión vía GSM de 6 horas, por el tiempo estimado de riego por sector.

$$6 \text{ horas} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 360 \text{ min}$$

-Cálculo del consumo total empleando los parámetros estipulados por el fabricante en cada sección de operación.

$$C = (1440 \text{ min})(0.3 \text{ mA}) + (360 \text{ min})(300 \text{ mA}) + (1440 \text{ min})(10 \text{ mA}) \\ + (1440 \text{ min})(20 \text{ mA})$$

$$C = 151632 \text{ mA min}$$

-Cálculo de la capacidad de la batería para el nodo Maestro.

$$1440 \text{ min} \rightarrow 151632 \text{ mA min} \\ 840 \text{ min} \rightarrow C_M$$

$$C_M = \frac{(840 \text{ min})(151632 \text{ mA min})}{(1440 \text{ min})} = 88452 \text{ mA min}$$

-Conversión a mA hora

$$C_M = 88452 \text{ mA min} \times \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} = 1474.20 \text{ mA hora}$$

3.4. Costos de inversión

3.4.1. Gastos en el primer prototipo

Tabla 3.1 Costo de los equipos implementados

Material	Cantidad	Precio unitario \$	Precio total \$
Jumpers	20	0.10	2
Protoboard 10x5 cm	1	2	2
Batería de polímero de litio UL503034	4	5	20
Sensor DHT11	4	4	16
Sensor FC28	4	1.8	7.2
Servo SG 90	1	5	5
Modulo Relé	1	5	5
Modulo TP-4056	4	2	8
Cables lagartos	8	0.25	2
Módulo Heltec Wireless Stick	2	35	70
Modulo ESP32 con sim 800L	1	30	30
Panel Solar de 6V a 1.3W	4	8	32
Antena 3dBi	3	2	6
Conector 15cm y Acople SMA	3	1.5	4.5
Macetas plásticas	2	1	2
Conector USB tipo C	3	3	9
Conector micro USB	3	3	9
Caja de Paso Hermética 10x10 cm	4	3	12
Cable UTP	10m	0.5	5
Cables RCA	6m	0.2	1.8
Tubo de Acero 1" de 3m	3	9	27
Broca para Acero	1	3	3
Tubo de Silicon	1	4	4
Funda Amarras Plásticas	1	2	2
Membresía ThingSpeak			45
SIM Card	1	5	5
Recarga Mensual	1	5	5
COSTO TOTAL	-	-	\$ 339.5

3.4.2. Gastos en el segundo prototipo

Tabla 3.2 Costos de los equipos implementados en la Maqueta

Material	Cantidad	Precio unitario \$	Precio total \$
Espumafon	4	1	4
Temperas	1 caja	4	4
Acuarela	1 caja	5	5
Rollo Fomix	3	1	3
Manualidades	1	2	2
Fuente de Poder ATX	1	15	15
Cable #16	5m	0.80	4
Cinta aislante	1 rollo	1	1
Amarras plásticas	1 funda	2	2
Manguera plástica 4mm	6m	1	6
Unión tipo T	6	1	6
Adornos de maqueta	1 funda	5	5
Palillos	1 funda	1	1
Solenoides de 5V	3	8.5	25.5
Bomba de Agua de 12V	1	15	15
Modulo Relé 4 vías	1	8	8
Modulo DHT 11	1	5	5
Modulo TP4056	1	2	2
Protoboard 10x10 cm	1	3	3
Jumpers paquete	1	4	4
Modulo Heltec Wireless Stick	1	30	30
Batería cuadrada Litio	1	8	8
Panel Solar 5V	1	6	6
Modulo Humedad Tierra	1	4	4
ESP 32 SIM 800L	1	35	35
SIM CARD	1	5	5
Soportes para Módulos	12	0.25	3
Silicon en barra	4	0.5	2
COSTO TOTAL	-	-	\$213

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Mediante a la implementación de los nodos sensores en cada uno de los puntos de la hacienda el Rosal se logró obtener los parámetros de Humedad y Temperatura del aire adicional la Humedad del suelo para realizar las respectivas comparaciones entre las zonas para así lograr cuantizar el ahorro de agua en las zonas de estudio.

Con estas variables se busca disminuir el alto consumo de agua dulce en la plantación ya que estos nos generan costos elevados de producción y un efecto adverso a la sostenibilidad de la Biodiversidad para esto nos ayudamos de los valores recomendados por el MAGAP en donde indican que la humedad del suelo para la temporada Invernal debe oscilar entre el 60 y 70% para obtener una producción notable de cacao de tipo ramilla.

4.1. Distribución de las zonas

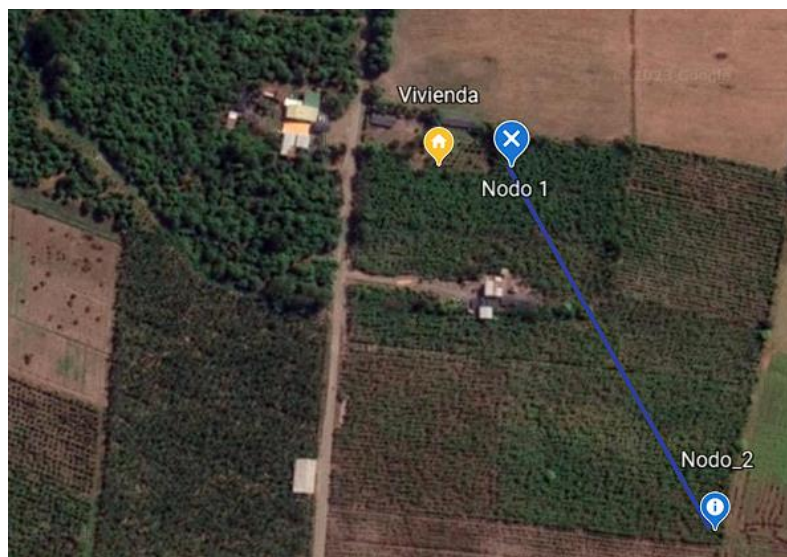


Ilustración 4.1 Vista Satelital de la hacienda el Rosal y los Nodos implementados

En la ilustración 34 se aprecia la vista satelital usando el software Google Maps para mapear las posiciones de los nodos 2 (-2,0036914, -79,5242418) y nodo 1 (-2,0036914, -79,5242418) adicional se considera la posición de la vivienda (-2,0034814, -79,524151) por ser un punto estratégico en donde el nodo 1 se podrá conectar al servicio de internet y establecer comunicación con la plataformas ThingSpeak y BlynkIoT para la recopilación y almacenamiento de los datos censados en las diferentes zonas.

En la implementación de cada uno de los nodos se considera la altura promedio de 2 metros para obtener línea de vista (LOS) entre ellos y adicional la potencia del Router en la vivienda para la ubicación del nodo 1.

Finalmente se realizó tomas de imágenes de la hacienda el Rosal usando un dron ya que las imágenes de la base de datos suministradas por los sistemas de geolocalización no están actualizadas en los últimos tres años.



Ilustración 4.2 Captura de imagen de la hacienda el Rosal con un Dron

En la ilustración 53, se aprecia la zona en la que se implementó la tecnología vista desde un mejor panorama para su análisis necesario.

4.1.1. Nodo 2



Ilustración 4.3 Nodo 2 antes de su instalación

Se aprecia en la ilustración 55 la implementación del nodo 2 en una posición de la hacienda el rosal ubicado a 284 metros del punto de referencia en donde se consideró la línea de vista entre los nodos 1 y 2 adicional se instaló cada una de las cajas implementadas a una altura de 3 metros sobre el nivel del suelo para evitar la pérdida en la recepción por el follaje de la vegetación de cacao.



Ilustración 4.4 Implementación del Nodo 2

El nodo 2 se configuro para la toma de los parámetros de estudio con transmisión RF y tecnología LoRa hacia el nodo 1 a una frecuencia de 433 MHz adicional se gestionó la compra de paneles solares para maximizar su autonomía las 24 horas del día y captar más datos para un estudio más elaborado.

4.1.2. Nodo 1



Ilustración 4.5 Implementación del Nodo 1 en la hacienda el Rosal

Para la implementación del nodo 1 se debió considerar tres parámetros importantes, cada uno de ellos tiene un rol de alta prioridad. El primero es considerar la potencia del router de la vivienda o punto de referencia hacia el nodo 1 ya que de lo contrario no se podría conectar y tener acceso a internet lo que impedirá la sincronización con la plataforma de ThingSpeak y BLYNK IoT.

Segundo parámetro es lograr línea de vista entre los nodos 1 y 2 ya que las antenas del fabricante HELTEC son de tipo direccional para esto se considera que los valores de RSSI estén dentro del rango para esto se consideró elevar nuestro sistema hasta una altura de 4 metros con las debidas precauciones y aseguramiento de las bases ya que el relieve de la zona es de tipo irregular.

Por último, el tercer parámetro es la incidencia del sol sobre el panel solar ya que nos acentuamos en una zona cercana al domicilio y este nos provee un nivel de sombra

a considerar por lo que puede ocasionar problemas en el sistema de Backup de las baterías por que se estimó un Angulo de 30° en la recepción solar.



Ilustración 4.6 Vista superior del Nodo 1 tomada por el dron.

Con la vista superior de los nodos adyacentes presentados en la ilustración 58 se aprecia el volumen de la vegetación en donde se instaló el nodo 2 para esto se consideró una altura promedio de la plantación de cacao para establecer LOS (línea de vista) entre los puntos.

4.1.3. Nodo Maestro

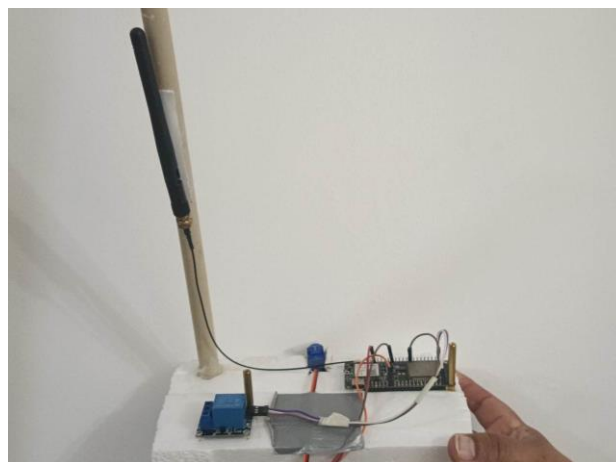


Ilustración 4.7 Implementación del Prototipo del Nodo Maestro

En la ilustración 59 para la implementación del Nodo Maestro se realizó un prototipo simulando una electroválvula de 4 pulgadas con un SG90 y el encendido de una Bomba de agua por un relé Simple de 5V para esto se añadió un microcontrolador con conexión GSM en respuesta de la aplicación BLYNK IoT con el usuario para el control de los mecanismos antes mencionados según los parámetros censados en cada uno de los nodos adyacentes.



Ilustración 4.8 Ventana de la app Blynk IoT

4.2. Resultados primer prototipo

4.2.1. Comunicación entre los nodos

- **Maestro**

```

1  const char apn[]      = "internet.claro.com.ec"; //
2  const char gprsUser[] = ""; // GPRS User
3  const char gprsPass[] = ""; // GPRS Password
4
5  // SIM card PIN (leave empty, if not defined)
6  const char simPIN[]  = "";

```

Ilustración 4.9 Conexión del Nodo Maestro mediante datos Móviles

La conexión del Módulo maestro por medio del módulo SIM800L a internet es para el envío de los datos recolectados y la comunicación al usuario vía Telegram con los

módulos adyacentes. El proceso de interpretación de datos se realizará en un ambiente gestionado por un Bot para la toma de decisiones del sector de riego.

- **Nodo 1**

```
Paquete recibido de la zona 2 '3369' with RSSI -118
Paquete recibido de la zona 2 '3367' with RSSI -116
Paquete recibido de la zona 2 '3367' with RSSI -117
Paquete recibido de la zona 2 '3370' with RSSI -116
Paquete recibido de la zona 2 '3369' with RSSI -116
Paquete recibido de la zona 2 '3370' with RSSI -117
Paquete recibido de la zona 2 '3373' with RSSI -116
Paquete recibido de la zona 2 '3367' with RSSI -116
Paquete recibido de la zona 2 '3363' with RSSI -117
Paquete recibido de la zona 2 '3370' with RSSI -116
Paquete recibido de la zona 2 '3365' with RSSI -117
Paquete recibido de la zona 2 '3367' with RSSI -117
Paquete recibido de la zona 2 '3372' with RSSI -117
Paquete recibido de la zona 2 '3373' with RSSI -117
Paquete recibido de la zona 2 '3371' with RSSI -117
Paquete recibido de la zona 2 '3368' with RSSI -116
Paquete recibido de la zona 2 '3373' with RSSI -116
```

Ilustración 4.10 Recepción de Paquete en el Nodo 1

Los valores recibidos del nodo 1 son la Humedad de la zona en donde analiza una concentración moderada de Humedad para esto el usuario final considerará el riego en los próximos días para mantener la zona en sus valores óptimos de 3800 en donde se logrará un incremento de la producción en un 20% al valor anterior, sin el sistema de riego y monitoreo.

- **Nodo 2**

```
Mensaje (Intro para mandar el mensaje de 'Heltec Wireless Stick' a 'COM6')
11:35:06.597 -> Humedad 3369
11:35:09.005 -> Humedad 3367
11:35:11.429 -> Humedad 3367
11:35:13.846 -> Humedad 3370
11:35:16.239 -> Humedad 3369
11:35:18.663 -> Humedad 3370
11:35:21.079 -> Humedad 3373
11:35:23.471 -> Humedad 3367
11:35:25.900 -> Humedad 3363
11:35:28.324 -> Humedad 3370
11:35:30.741 -> Humedad 3365
11:35:33.148 -> Humedad 3365
11:35:35.548 -> Humedad 3367
11:35:37.975 -> Humedad 3372
11:35:40.369 -> Humedad 3373
11:35:42.805 -> Humedad 3371
11:35:45.219 -> Humedad 3368
11:35:47.621 -> Humedad 3373
```

Ilustración 4.11 Envío de Paquetes del Nodo 2

Se aprecia los datos recolectados de Humedad de la zona 1 en donde oscila valores de 3000 a 3400 que esto es un indicador de humedad presente en el suelo de la plantación de cacao en donde estos valores son enviados al nodo 1 para su respectivo análisis y almacenamiento en forma de alerta en la plataforma de ThingSpeak, por medio de la representación visual de los datos obtenidos el usuario final podrá tomar decisiones para el riego de la zona.

4.2.2. Obtención de las variables de medición

- **Nodo 2**

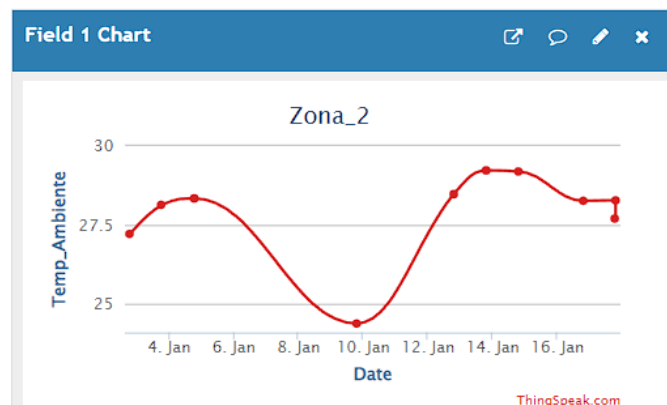


Ilustración 4.11 Temperatura Ambiente de la Zona 2

Se logra apreciar en la ilustración 64 los valores de la temperatura ambiente de la Zona 2 como varia en el tiempo alrededor de los 25 y 30°C desde la fecha de su implementación alrededor del 4 de enero del 2023 hasta el día 17 de enero del presente año, en este periodo el valor más alto censado es de 29.2°C por lo que para la zona y la estación invernal no encontramos dentro del rango normal, esto incide como uno de los parámetros en el consumo de agua de la plantación.

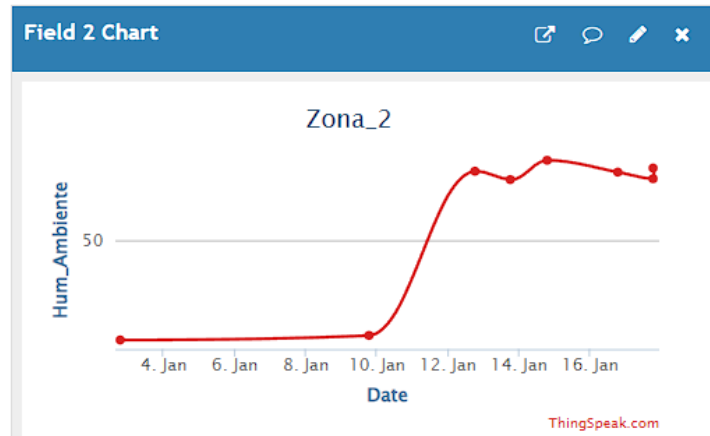


Ilustración 4.12 Humedad Ambiente de la Zona 2

La Humedad de Ambiente de la Zona 2 nos indica la proporción de presencia de agua en forma de vapor, en la ilustración 5 podemos apreciar dos estados divididos desde el 4 de enero al 10 de enero del presente año en donde el primero nos detalla una humedad baja por la presencia de mucho sol adicional a esto en las plantaciones de cacao la separación de una planta a otra es de aproximadamente de un metro, esto origina una disminución de la humedad de la zona.

El segundo estado se diferencia por un aumento notorio de la humedad por la presencia de las lluvias en forma de chubascos adicional a esto debemos añadir la capacidad del suelo para retener agua con un valor aproximado de 84% de humedad esto nos sitúa dentro de rango de la Humedad Ambiente de la zona.

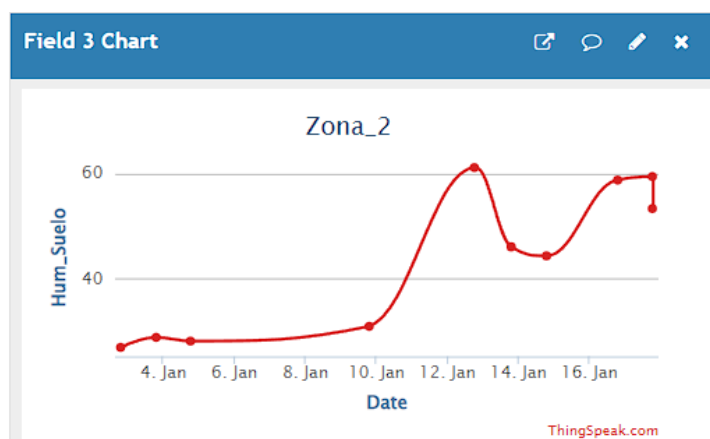


Ilustración 4.13 Humedad del Suelo de la Zona 2

Los valores censados de la Humedad del suelo de la zona 2 es el aumento progresivo en dos etapas donde la primera hasta el 10 de enero se mantuvo alrededor de 31% lo que es un indicativo de que tan seco esta la zona para esto en días pasados aún no se realizaba el riego respectivo de cada 10 días estos datos fueron notificados a los propietarios que tomaron acciones oportunas e iniciaron el respectivo proceso para esto se logró valores por encima del 65% de Humedad en donde debemos acotar el relieve de zona irregular esto dificulta la captación y duración de la Humedad en el sembrío.

En días posteriores se presentaron chubascos lo cual origino una estabilización de la humedad en ese sector.

- **Nodo 1**

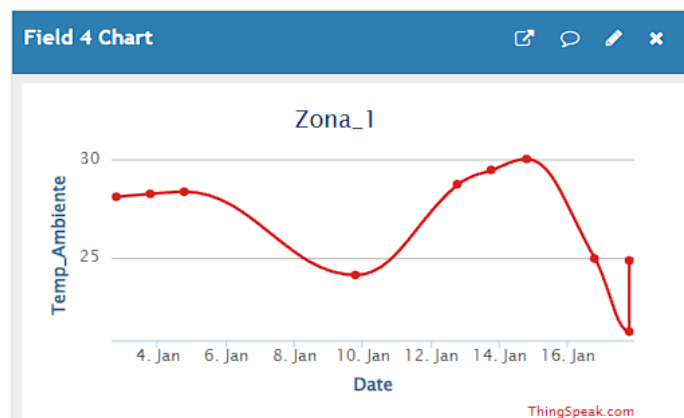


Ilustración 4.14 Temperatura Ambiente de la Zona 1

La temperatura ambiente de la zona 1 se aprecia dos periodos, en la primera sección se aprecia una disminución por los días de incidencia solar baja o nubosidad por el temporal invernal el segundo periodo se incrementó por la presencia de sol en la zona sin muchas nubes para esto se considera como valor medio de ambos periodos 26°C para lo cual nos encontramos dentro del rango normal de temperatura para el cultivo de cacao.

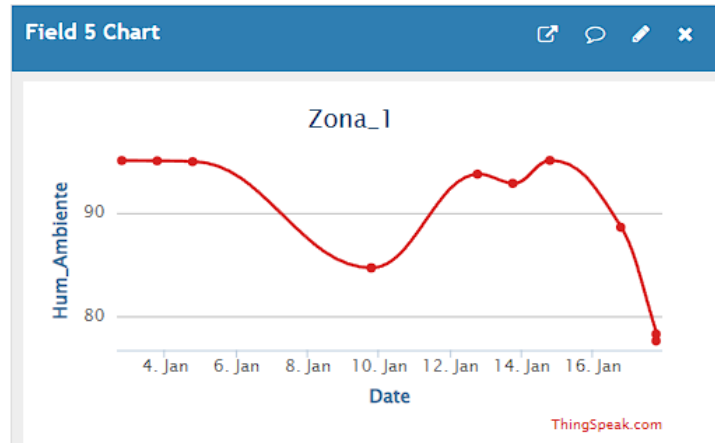


Ilustración 4.15 Humedad Ambiente de la Zona 1

En la ilustración 68 se aprecia la Humedad Ambiente de la Zona 1 donde los valores oscilan entre 95 y 80% de Humedad estos resultados se distribuyen en dos secciones donde el muestreo del día 4 de enero hasta el 10 de enero se presencia una disminución de rayos solares incidentes en la zona acompañado por la irregularidad del terreno es decir en ciertos lugares de la zona esta menos húmedo porque la incidencia del sol es mayor y en otros sectores no ocurre lo mismo.

En la segunda sección se aprecia un aumento en la Humedad de la Zona 1 por la presencia de lluvias o chubascos lo que nos ayuda a favorecer el riego zonal estos valores se sitúan entre un 93 y 80% en este periodo de tiempo, no obstante, el valor medio es de 87% de Humedad para la zona finalmente este valor nos ubica dentro del rango de aceptación para la producción optima de cacao.

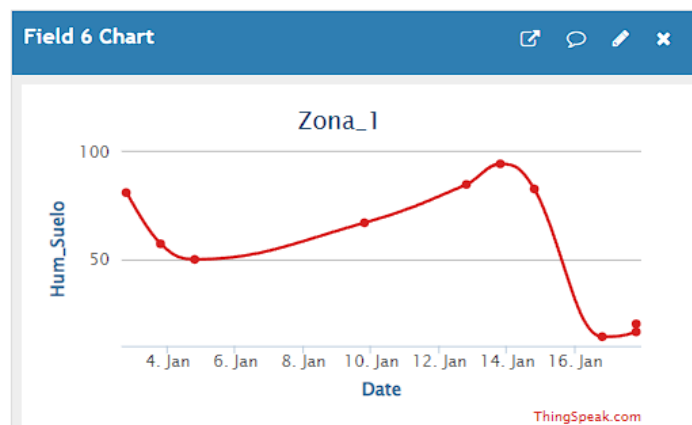


Ilustración 4.16 Humedad del Suelo de la Zona 1

Finalmente, la Humedad del suelo de la zona 1 se censo entre los valores de 95 y 40% dando como valor medio de 67% para el periodo total ,en comparación con la zona 2 se encuentra dentro del rango de aceptación para el cultivo, se concluye que el relieve del suelo es más irregular en la zona 1 por lo que la incidencia del sol y suelo genera un efecto adverso en la captación de nutrientes para una efectiva producción adicional se le notificó al propietario para que después de un periodo de 2 años realice un nuevo sembrío y considere nivelar la zona y que la distancia mínima entre las plantas sea de dos metros y medio para una correcta evolución en cada una de sus etapas.

4.3. Resultados prototipo 2

4.3.1. Escenario A

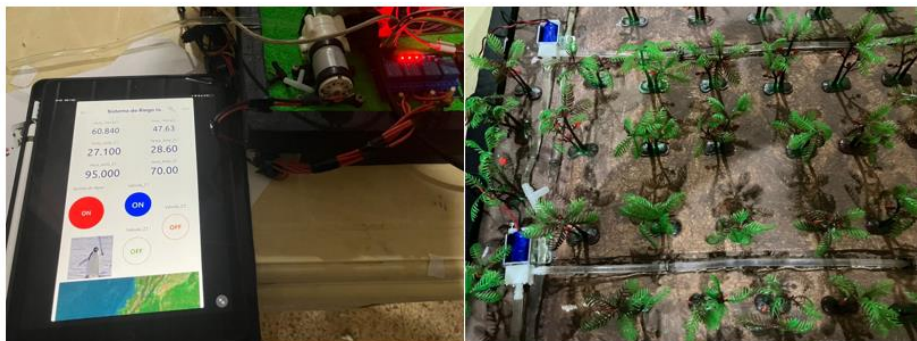


Ilustración 4.17 Implementación del Segundo Prototipo en el escenario A

Para el escenario de la ilustración 70 se aprecia la selección del solenoide uno correspondiente a la zona_1 en donde se permitirá el flujo del caudal de agua suministrado por el bombeo de agua para esto las dos zonas restantes están bloqueadas para fines demostrativos. Finalmente se observa el caudal saliente de la electroválvula uno.

Este escenario simula la zona uno de riego en el recinto el Rosal, en donde los valores de humedad del suelo están presentes en la plataforma Blynk IoT con su respectiva notificaciones y alarmas para el sector.

4.3.2. Escenario B



Ilustración 4.18 Implementación del Segundo Prototipo en el escenario B

En la ilustración 71 se implementó un prototipo con tres electroválvulas para simular el riego en el recinto el Rosal, para este escenario se estableció que la válvula uno y tres estén cerradas tal como se aprecia en la imagen del aplicativo Blynk IoT, en donde finalmente al energizar el sistema comandado por el módulo de relé se obtiene que solo por el sector dos fluye el caudal de agua.

4.3.3. Escenario C



Ilustración 4.19 Implementación del Segundo Prototipo en el escenario C

En el escenario C se implementó el sistema de bombeo con tres electroválvulas en donde solo la zona tres se encuentra habilitada tal como se aprecia en la figura 72 de tal manera solo por ella fluirá el caudal de agua y provee de agua a esa zona en donde se considera que por el relieve irregular su periodo de riego es más corto por su condición geográfica de almacenar agua es mayor en comparación con las otras zonas.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se realizó satisfactoriamente un mapeo general del sector ubicado en el Recinto El Rosal gracias al uso de un dron, mediante el cual se logró tener una observación amplia de toda la zona de cultivo de cacao para conocer la distribución del follaje y con ello poder colocar de forma efectiva y distantes los puntos del nodo 1 y el nodo 2 correspondientes.
- Los nodos 1 y nodo 2 fueron ubicados en zonas favorables de la extensión del lugar, como en puntos de relieve elevados para tener una correcta línea de vista entre estos y así lograr una transmisión eficiente de los datos censados.
- Gracias a la implementación del sistema con el servidor de Blynk IOT y la plataforma Open Source de ThingSpeak, el usuario dispone de un medio sencillo y rentable como lo es su dispositivo móvil para visualizar todos los datos entregados por los sensores y corroborar el estado ambiental y del suelo de los alrededores de los cultivos de cacao.

- Se cumplió con la entrega de los nodos sensores y los parámetros que estos brindan, al igual que el medio por el cual el cliente puede visualizar estos valores. Pero en el caso del nodo maestro que gestiona el control de la motobomba y el flujo de agua por la electroválvula, se dejó diseñado el esquema del prototipado a pequeña escala, ya que la instalación a gran escala en el recinto requiere la inversión de cifras superiores a los 10,000\$, queda a voluntad del cliente si desea en un futuro el riego automatizado.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar el manual y guía del fabricante de los microcontroladores al momento de adquirir los dispositivos ya que los pines se habilitan o deshabilitan según el sistema de operación.
- Considerar los tipos de entradas de cada microcontrolador ya que estos manejan un número determinado de Bytes y tipo de datos para no generar lecturas erróneas.
- Analizar el consumo de corriente de cada controlador o modulo conectado a los microcontroladores ya que el aumento en exceso por pin o entrada generar un desperfecto o falla en el mismo.
- Cuando se implemente la tecnología LoRa en RF se debe considerar la frecuencia de operación habilitada para cada país o continente ya que de esto nos evitamos

problemas de superposición de frecuencias lo que genera errores en la comunicación y transferencia de datos entre los puntos.

- Al momento de implementar los sistemas o nodos se debe considerar los protocolos de seguridad ya que se trabaja con materiales como vidrio, acero, adicional se debe agregar la indumentaria para el sector ya que la temperatura y humedad puede causar problemas alérgicos.
- Cuando se implementó el sistema de alimentación por paneles solares y batería es importante ajustar de manera idónea la dirección o azimut de los paneles respecto al sol para optimizar el proceso de carga de la batería y el tiempo de autonomía del sistema.
- Se recomienda considerar el tiempo de retraso entre la conexión del módulo ESP32 SIM800L y la plataforma Blynk IoT ya que todo esto depende de la recepción o el lugar de cobertura de la empresa de telefonía en donde se esté ejecutando el prototipo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E.S.Leguizamón, «Historia de la horticultura,» 2018. [En línea]. Available: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_asaho_historia_horticultura.pdf. [Último acceso: 20 10 2022].
- [2] M. J. Parra, «Variedad CCN – 51: ¿Una Amenaza Para la Industria Del Cacao?,» 19 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://perfectdailygrind.com/es/2019/07/19/variedad-ccn-51-una-amenaza-para-la-industria-del-cacao/>. [Último acceso: 24 Octubre 2022].
- [3] I. Hagbrink, «El agua en la agricultura,» Banco Mundial, 5 Octubre 2022. [En línea]. Available: www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture. [Último acceso: 2 Noviembre 2022].
- [4] «Precios,» PRO ECUADOR, [En línea]. Available: <https://www.proecuador.gob.ec/precios/>. [Último acceso: 2 Noviembre 2022].
- [5] A. Valdivielso, «¿Cómo funciona el riego por aspersión?,» iagua, [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/respuestas/como-funciona-riego-aspersion>. [Último acceso: 2 Noviembre 2022].
- [6] J. Cuervo y T. Romero, «EL CULTIVO DEL CACAO, ENFERMEDADES, IDENTIFICACIÓN DE HONGOS, MODELADO Y MÉTODOS DE CONTROL,» Septiembre 2014. [En línea]. Available: <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/6614/redita-revista58.pdf>. [Último acceso: 2 Noviembre 2022].
- [7] M. Hajibeigy y M. Al Jabri, «AUTOMATED IRRIGATION SYSTEM,» Diciembre 2019. [En línea]. Available: <http://dspace.unimap.edu.my/xmlui/bitstream/handle/123456789/64145/Automated%20irrigation%20system%20using%20IoT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 2 Noviembre 2022].
- [8] «riego de precisión 4.0,» ORIONIS SMART WATER NETWORKS, [En línea]. Available: <https://orionis-iot.com/soluciones-y-aplicaciones/riego-4-0/>. [Último acceso: 2 Noviembre 2022].
- [9] P. Galindo, «Sistemas de inyección de fertilizantes automatizados,» Haifa Blog, 9 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://www.haifa-group.com/es/haifa-blog/sistemas-de-inyeccion-de-fertilizantes-automatizados>. [Último acceso: 2 Noviembre 2022].
- [10] J. Monge, «Diseño de un sistema de riego agrícola,» 10 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/15238/TFM-G530.pdf;jsessionid=338323BF237EF00178128EDD5198992A?sequence=1>. [Último acceso: 2 Noviembre 2022].
- [11] A. Anaya y J. . Castro, «Sistema de Riego Basado En La Internet De Las Cosas (IoT),» [En línea]. Available: https://www.diegopeluffo.com/publicaciones/2016_JornadasFica_IOT.pdf. [Último acceso: 2 Noviembre 2022].
- [12] M.Cevalos y M. Chugá, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MONITOREO INALÁMBRICO DE TEMPERATURA, ENERGÍA Y MÓDULO DE ENTRADAS/SALIDAS CON ALMACENAMIENTO EN LA NUBE PARA LA EMPRESA GENTEC S.A.,» Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20597>. [Último acceso: 2 Noviembre 2022].
- [13] S.Best y L. León, «ADOPCIÓN Y DESARROLLO DE TECNOLOGÍA EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.gisandbeers.com/RRSS/Publicaciones/Tecnologia-Agricultura-Precision.pdf>. [Último acceso: 2 Noviembre 2022].
- [14] A. Dokhande y C. Bomble, «A Review Paper on IoT Based Smart Irrigation System,» 5 Febrero 2019. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/80715907/IOT_based_Smart_Irrigation_System. [Último acceso: 2 Noviembre 2022].
- [15] E. Duran, «ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL INTERNET DE LAS COSAS EN LA AGROINDUSTRIA COLOMBIANA PARA OPTIMIZAR Y AUMENTAR LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN,» 2019. [En línea]. Available: <https://repository.ucc.edu.co/items/17a23a35-62d9-42c2-9019-6096b233cccf>. [Último acceso: 2 Noviembre 2022].
- [16] F. Simanca y J. Paez, «Sistema de riego para cultivos controlado mediante una aplicación de IoT,» 1 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8610707>. [Último acceso: 19 Noviembre 2022].
- [17] «AQUASTAT - FAO's Global Information System on Water and Agriculture,» Food and Agriculture Organization of the United Nations, Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://www.fao.org/aquastat/en/overview/methodology/wastewater>. [Último acceso: 3 Diciembre 2022].
- [18] «En Ecuador, el riego tecnificado equivale a cultivos más sostenibles y mejor alimentación,» Banco Mundial org, 14 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2021/07/14/en->

- ecuador-el-riego-tecnificado-equivale-a-cultivos-m-s-sostenibles-y-mejor-alimentaci-n. [Último acceso: 3 Diciembre 2022].
- [19] T. Martínez y S. Franco, «Evolución y uso del agua de riego en los sistemas campesinos de producción de leche del noroeste del Estado de México,» 20 Septiembre 2007. [En línea]. Available: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212008000300009. [Último acceso: 7 Diciembre 2022].
- [20] O. Delgadillo, «ALGUNOS APUNTES CONCEPTUALES SOBRE LOS MÉTODOS Y TIPOS DE RIEGO CAMPESINO Y SU RELACIÓN CON EL DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO,» Noviembre 2000. [En línea]. Available: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2007/07/riego%20campesino.pdf>. [Último acceso: 7 Diciembre 2022].
- [21] «Riego por goteo,» Wikipedia, 30 Abril 2022. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Riego_por_goteo&oldid=143225412. [Último acceso: 7 Diciembre 2022].
- [22] unitonevector, «Sistema de riego por aspersión,» freepik, [En línea]. Available: https://www.freepik.es/vector-premium/sistema-riego-aspersion_4277693.htm. [Último acceso: 7 Diciembre 2022].
- [23] Cenicaña, «Riego por surcos,» cenicaña, 6 Abril 2015. [En línea]. Available: <https://www.cenicana.org/riego-por-surcos/>. [Último acceso: 7 Diciembre 2022].
- [24] J. Sandoval y E. Varas, «RIEGO POR BORDES,» INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, Marzo 1989. [En línea]. Available: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/39602/NR08939.pdf?sequence=6>. [Último acceso: 7 Diciembre 2022].
- [25] J. Pineda, «Riego por Inundación,» encolombia, [En línea]. Available: <https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/riego-por-inundacion/>. [Último acceso: 7 Diciembre 2022].
- [26] R. Fernández y M. Milla, «Manual de Riego para Agricultores,» Sevilla 2010. [En línea]. Available: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160940Riego_por_superficie_baja.pdf. [Último acceso: 7 Diciembre 2022].
- [27] C. Cesar y J. De Araujo, «ARE TECHNOLOGY BUSINESS INCUBATORS FULFILLING THEIR OBJECTIVES? A STUDY OF THE TBI'S PERFORMANCE LOCATED IN BRAZIL,» Redalyc, 6 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/4991/499168360007/>. [Último acceso: 7 Diciembre 2022].
- [28] M. Maksimović y V. Vujović, «Raspberry Pi as Internet of Things hardware: Performances and Constraints,» Julio 2015. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Vladimir-Vujovic/publication/280344140_ELI16_Maksimovic_Vujovic_Davidovic_Milosevic_Perisic/links/55b3368608ae9289a08594aa/ELI16-Maksimovic-Vujovic-Davidovic-Milosevic-Perisic.pdf. [Último acceso: 10 Diciembre 2022].
- [29] L. Tan y N. Wang, «Future internet: The Internet of Things,» 20 Septiembre 2010. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5579543>. [Último acceso: 10 Diciembre 2022].
- [30] N. Guataquira y A. Vega, «SEGURIDAD PARA IOT, UNA SOLUCIÓN PARA LA GESTIÓN DE EVENTOS DE SEGURIDAD EN ARQUITECTURAS DE INTERNET DE LAS COSAS,» Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/693/Moreno%20Guataquira,%20Nicolas%20-%20202017.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 12 Diciembre 2022].
- [31] «The 5 Types of IoT Platforms,» velos, 22 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://blog.velosiot.com/the-5-types-of-iot-platforms>. [Último acceso: 12 Diciembre 2022].
- [32] «MATLAB y Simulink para aplicaciones IoT,» Mathworks, [En línea]. Available: <https://es.mathworks.com/solutions/internet-of-things.html>. [Último acceso: 31 Enero 2023].
- [33] E. Tolocka, «Diseñando aplicaciones IoT con Blynk,» profe Tolocka, 7 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.profetolocka.com.ar/2020/05/07/disenando-aplicaciones-iot-con-blynk/>. [Último acceso: 31 Enero 2023].
- [34] «Blynk,» Blynk, [En línea]. Available: <https://blynk.io/>. [Último acceso: 31 Enero 2023].
- [35] «Node-RED,» Wikipedia, 18 Enero 2023. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Node-RED&oldid=148693334>. [Último acceso: 31 Enero 2023].
- [36] «Node-RED Low-code programming for event-driven applications,» Node-RED, [En línea]. Available: <https://nodered.org/>. [Último acceso: 31 Enero 2022].
- [37] «<http://biotech-spain.com/en/articles/metawireless-un-salto-evolutivo-en-las-comunicaciones-inal-mbricas/>,» BioTech, 18 Junio 2020. [En línea]. Available: <http://biotech-spain.com/en/articles/metawireless-un-salto-evolutivo-en-las-comunicaciones-inal-mbricas/>. [Último acceso: 31 Enero 2023].
- [38] «Bluetooth,» Wikipedia, 1 Febrero 2023. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>. [Último acceso: 7 Diciembre 2023].

- [39] Y. Cesar y P. Nuñez, «Educación en seguridad criptográfica para redes inalámbricas con tecnologías WiFi, Bluetooth y WIMAX,» 31 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6210806>. [Último acceso: 12 Diciembre 2022].
- [40] «Archivo:WiFi Logo.svg,» Wikipedia, 5 Noviembre 2016. [En línea]. Available: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:WiFi_Logo.svg. [Último acceso: 12 Diciembre 2022].
- [41] D. Bolaños, «REPETIDORES WIFI Y DISPOSITIVOS PLC SON LA SOLUCIÓN,» Smart Life, 10 Octubre 2016. [En línea]. Available: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2014/11/13/gadgets/1415896877_318362.html. [Último acceso: 12 Diciembre 2022].
- [42] J. Ceja y R. Rentería, «Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas,» 8 Agosto 2017. [En línea]. Available: https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Electrica/vol1num2/E-CORFAN_Revista_de_Ingenier%C3%ADa_EI%C3%A9ctrica_VI_N2.pdf#page=31. [Último acceso: 12 Diciembre 2022].
- [43] J. Salazar, «REDES INALÁMBRICAS,» [En línea]. Available: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf. [Último acceso: Enero Diciembre 2022].
- [44] «LoRaWAN,» Wikipedia, 10 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=LoRaWAN&oldid=138947957>. [Último acceso: 1 Febrero 2023].
- [45] M. Manrique y L. Buitrago, «Redes LoRaWAN. Revisión de componentes,» [En línea]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22411/LeidyMarcelaBuitragoMarquez2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 15 Diciembre 2022].
- [46] «Cable puente,» Wikipedia, 24 Octubre 2019. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Cable_puente&oldid=120732620. [Último acceso: 5 Diciembre 2022].
- [47] «Juego de 2 pinzas de cocodrilo,» Amazon, [En línea]. Available: <https://www.amazon.com.mx/pinzas-cocodrilo-silicona-resistentes-pulgadas/dp/B07L29V4Z2>. [Último acceso: 5 Diciembre 2022].
- [48] «JUMPER MACHO-HEMBRA,» Global Electronic, [En línea]. Available: <https://globelectronic.com.ec/productos.php?issetcat=14073&issetnom=JUMPER%20MACHO-HEMBRA%2020CM%2040PCS%20PARA%20PROTOBOARD>. [Último acceso: 6 Diciembre 2022].
- [49] R. Andrew, «Introduction to USB Type-C,» Microchip, 2015. [En línea]. Available: https://cdn.sparkfun.com/assets/e/b/4/f/7/USB-C_Datasheet.pdf. [Último acceso: 5 Diciembre 2022].
- [50] D. Pike, «USB-C: El cable del futuro,» RS Components, [En línea]. Available: https://es.rs-online.com/euro/pdf/1609_rs_usb_type-c-final_es.pdf. [Último acceso: 5 Diciembre 2022].
- [51] «USB TYPE-C Connector,» Components101, 12 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://components101.com/connectors/usb-type-c-connector-pinout-datasheet>. [Último acceso: 5 Diciembre 2022].
- [52] «Silicone Wire, 16AWG, Ultra Flexible, 2-Conductor,» Proto Supplies, [En línea]. Available: <https://protosupplies.com/product/silicone-wire-16awg-ultra-flexible-2-conductor/>. [Último acceso: 31 Enero 2023].
- [53] «Cable de Parlante #16 POR METRO Audio,» Megatronica, [En línea]. Available: <https://megatronica.cc/producto/cable-de-parlante-16-por-metro-audio/>. [Último acceso: 31 Enero 2022].
- [54] «¿Qué es un protoboard?,» electrónicaafácil, [En línea]. Available: <https://mielectronicafacil.com/instrumentacion/protoboard/#page-content>. [Último acceso: 31 Enero 2022].
- [55] «Protoboard, ¿Qué es y cómo se usa?,» descubrearduino, 30 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://descubrearduino.com/protoboard/>. [Último acceso: 5 Diciembre 2022].
- [56] «Escalas Protoboard,» Autodesk Instructables, [En línea]. Available: <https://www.instructables.com/B%E1sico-Usar-una-breadboard-o-protoboard-o-placa-pa/>. [Último acceso: 5 Diciembre 2022].
- [57] «TABLETA PROTOBOARD,» Portal Académico, [En línea]. Available: <https://portalacademico.cch.unam.mx/cibernetica1/implementacion-de-circuitos-logicos/tableta-protoboard>. [Último acceso: 5 Diciembre 2022].
- [58] «TABLETA PROTOBOARD,» Portal Académico, [En línea]. Available: <https://portalacademico.cch.unam.mx/cibernetica1/implementacion-de-circuitos-logicos/tableta-protoboard>. [Último acceso: 5 Diciembre 2022].
- [59] «Microcontrolador,» ECURED, [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/Microcontrolador>. [Último acceso: 6 Diciembre 2022].
- [60] E. Cedeno, «COMPONENTES DE UN MICROCONTROLADOR,» Vistrónica, 2 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.vistronica.com/blog/post/componentes-de-un-microcontrolador.html>. [Último acceso: 6 Diciembre 2022].

- [61] «Raspberry Pi,» Wikipedia, 26 Noviembre 2022. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Raspberry_Pi&oldid=147563346. [Último acceso: 7 Diciembre 2022].
- [62] J. López, «Controladores,» Robótica Educativa, [En línea]. Available: <https://tecnicadelaindia.edu.ar/wp-content/uploads/2018/10/Robotica-Educativa-Nivel-Sec..pdf>. [Último acceso: 12 Diciembre 2022].
- [63] «Arduino Uno,» Wikipedia, 27 Julio 2022. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Arduino_Uno&oldid=144997798. [Último acceso: 7 Diciembre 2022].
- [64] «Placa arduino uno C/cable,» Tecnoplay, [En línea]. Available: <https://www.tecnoplay.com.ar/productos/placa-arduino-uno-c-cable/>. [Último acceso: 7 Diciembre 2022].
- [65] R. Tufiño, «Módulo NodeMcu V3 Lua WiFi ESP8266,» AV Electronics, [En línea]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/modulo-node-mcu-lua-wifi-esp8266/>. [Último acceso: 7 Diciembre 2022].
- [66] «ESP32 38 Pines ESP WROOM 32,» Fcelectronik, [En línea]. Available: <https://fcelectronik.com/esp32-wroom-32/>. [Último acceso: 7 Diciembre 2022].
- [67] P. Bertoleti, «Proyectos com ESP32 y LoRa,» Instituto NCB, 2019. [En línea]. Available: https://books.google.es/books?id=Doi0DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. [Último acceso: 5 Diciembre 2022].
- [68] «HiLetgo SX1276 ESP32 LoRa Kit,» Ubuy, [En línea]. Available: <https://www.nepal.ubuy.com/en/product/F1672V0U-hiletgo-sx1276-esp32-lora-kit-bluetooth-4-2wifilora-lorawan-wireless-communication-development-board>. [Último acceso: 5 Febrero 2023].
- [69] M. Sharmila y U. Benny, «IoT Based Smart Window using Sensor Dht11,» 6 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8728426>. [Último acceso: 7 Diciembre 2022].
- [70] L. Hernández, «Cómo utilizar el sensor DHT11 para medir la temperatura y humedad con Arduino,» programafacil, [En línea]. Available: <https://programafacil.com/blog/arduino-blog/sensor-dht11-temperatura-humedad-arduino/>. [Último acceso: 3 Febrero 2022].
- [71] A. Farooqi y M. Ridlo, «Design of Arduino Uno Based Duck Egg Hatching Machine With Sensor DHT22 and PIR Sensor,» 3 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9243640>. [Último acceso: 5 Febrero 2022].
- [72] «Prácticas: Clases y Objetos,» Aprendiendo Arduino, [En línea]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/dht11/>. [Último acceso: 31 Enero 2022].
- [73] V. Arrieta, «Sensor de humedad de suelo FC28 - Higrómetro Arduino,» Arca Electrónica, 21 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.arcaelectronica.com/blogs/tutoriales/sensor-de-humedad-de-suelo-fc28-higrometro-arduino>. [Último acceso: 31 Enero 2023].
- [74] L. Llamas, «Medir la humedad del suelo con arduino e higrómetro FC-28,» 19 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/>. [Último acceso: 31 Enero 2023].
- [75] «Un primer vistazo a las Redes de Sensores Inalámbricos,» Universidad Nacional de Loja, 25 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://telecomunicaciones.edu.ec/repositorio/articulos-blog/iot/un-primer-vistazo-a-las-redes-de-sensores-inalambricos-rsi>. [Último acceso: 7 Diciembre 2022].
- [76] t. electronic, «alldatasheet,» [En línea]. Available: https://www.alldatasheet.com/view_datasheet.jsp?Searchword=DHT11. [Último acceso: 17 octubre 2022].
- [77] Xinyuan-LilyGO, «github,» [En línea]. Available: <https://github.com/Xinyuan-LilyGO/LilyGo-T-Call-SIM800/tree/master/datasheet>. [Último acceso: 17 octubre 2022].
- [78] «Cocoa Daily Prices,» ICCO, [En línea]. Available: <https://www.icco.org/statistics/cocoa-prices/daily-prices.html>. [Último acceso: 2 Noviembre 2022].
- [79] «Sobre Blynk,» getapp, [En línea]. Available: <https://www.getapp.com.co/software/123247/blynk>. [Último acceso: 31 Enero 2022].
- [80] «Microcontrolador,» Wikipedia, 19 Octubre 2022. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Microcontrolador&oldid=146756396>. [Último acceso: 6 Diciembre 2022].

APÉNDICES

Diagrama de Pines del Módulo Heltec Wireless Stick

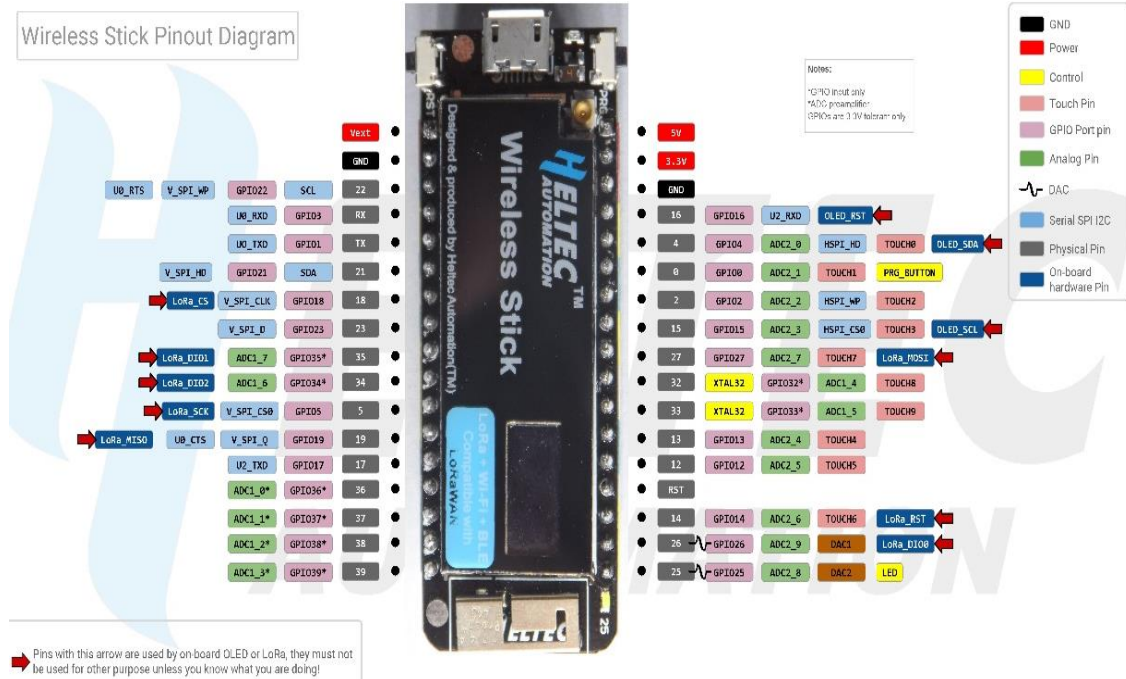


Ilustración 5.1 Diagrama de Pines y Entradas del módulo Heltec Wireless Stick

Tabla 5.1 Especificaciones Técnicas del Módulo Heltec Wireless Stick

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Chip de Lora	SX1276
Frecuencia de Operación	470-510 MHz 863-923 MHz
Potencia del Transmisor	19 ± 1 dB
Sensibilidad del Receptor	-135 dBm
Conectividad Wireless	Wi-Fi 802.11n Bluetooth y BLE V4.2
Memoria	4 MB
Batería	3.7 V
Baja Potencia	800 µA en modo sueño

Diagrama de Pines del Módulo ESP32 SIM800L

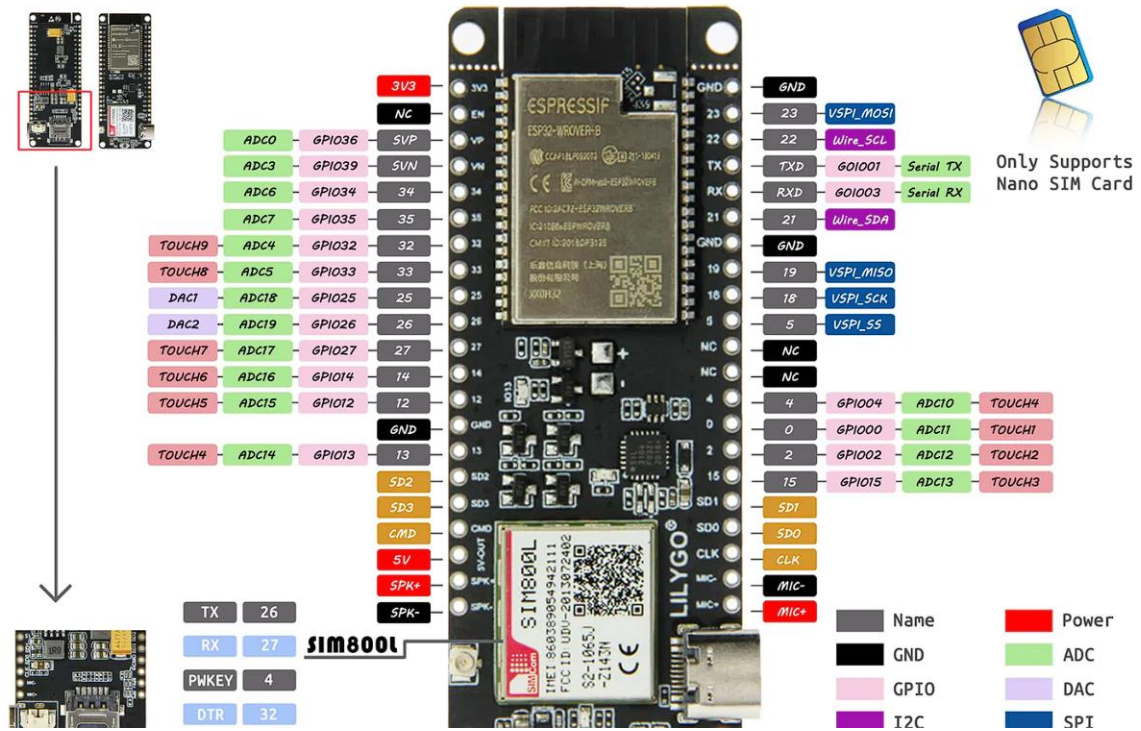


Ilustración 5.2 Diagrama de Pines del Módulo ESP32 SIM 800L

Tabla 5.2 Especificaciones Técnicas del Módulo ESP32 SIM 800L

ESPECIFICACIONES TECNICAS	
Velocidad de reloj	240 MHz
Memory Flash	4 MB
PSRAM	8 MB
Conectividad Wireless	Wi-Fi – 802.11 b/g/n Bluetooth y BLE V4.2
IC de carga	IP5306
Potencia de Entrada	USB USB Tipo C/ Batería de Litio Conector JST 2Pines, 2mm
Slot para Nano SIM	2G y GSM

SISTEMA DE RIEGO IOT

El sistema que se ha implementado será de acuerdo con las diferentes estructuras que se planteen, de acuerdo con los que están inmersos en el sector agropecuario, los sistemas de riego se han compuesto por diferentes elementos como aquellos que conforman tuberías, para que permitan el ingreso, flujo del agua del cultivo a regar.

Recientes tecnologías han implementado el uso del internet, de forma remota y móvil en que la fase de mencionada como el internet de las cosas, que a su vez crean conexiones entre diferentes controles, como accesos en medios remotos o en lugares remotos con acceso a internet, ya que se puede tener control de los sistemas implementados.

En el sector agrícola, consistirá en las diversas aplicaciones como la agricultura de precisión en la cual aplica las herramientas brindando tecnologías de información mediante conjunto de sensores como herramientas, en la cual tienen en cuenta las variables como propiedades para que permitan la mejora el rendimiento de los cultivos, como también la prevención de los diversos tipos de enfermedades que afectan con mayor incidencia en la región costa.