



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO
BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS APLICANDO
TECNOLOGÍAS LPWAN EN LA IRRIGACIÓN MAJES-SIGUAS I –
EL PEDREGAL – AREQUIPA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. RAUL ALVIN QUISPE ROBLES

Bach. CARMEN EBELYN CAMAYO HUARANCCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PUNO – PERÚ

2019



DEDICATORIA

Este proyecto de tesis está dedicado a las personas que más han influenciado en mi vida, dándome los mejores consejos, guiándome y haciéndome una persona de bien, con todo mi amor y afecto se los dedico:

- *A mi madre (Flora) que ha sido un pilar fundamental en mi formación como profesional, pues sin ella no lo habría logrado. Tu bendición a diario me protege y hace que me sienta seguro del camino hacia donde voy.*
- *A mi padre (Pedro) por haberme forjado como la persona en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a él. Me formaste con valores, reglas y siempre con tu ejemplo.*
- *A mis hermanos (Kenny y Robin) con los cuales comparto experiencias agradables a lo largo de mi vida, siempre con la confianza inmensa hacia ellos.*

Raul Alvin Quispe Robles



DEDICATORIA

El presente proyecto de tesis está dedicado con todo mi corazón a mis padres (Jesus e Ynes) ya que gracias a ellos lo pude lograr, pues me dieron todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, para seguir adelante y lograr uno de mis objetivos de vida. Todo ello de una manera desinteresada y llena de amor.

Carmen Ebelyn Camayo Huarancca



AGRADECIMIENTOS

Estoy profundamente agradecido con la Universidad Nacional del Altiplano – Puno por abrirme las puertas al estudio y poder ser un profesional, como también agradezco a la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, a la plana docente y compañeros en general, por el apoyo brindado en diferentes etapas de mi vida estudiantil.

Raul Alvin Quispe Robles

Estoy muy agradecida con la Universidad Nacional del Altiplano Puno y con la EPIE por permitirme culminar mis estudios superiores y poder ser una profesional, agradezco también a los docentes por brindarme todos sus conocimientos que me serán de gran utilidad en el ámbito laboral que se aproxima, a mis compañeros (as), amigos (as) que me acompañaron a lo largo de mi vida universitaria.

Carmen Ebelyn Camayo Huarancca



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ACRÓNIMOS

RESUMEN 13

ABSTRACT 14

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 19

1.1.1. Formulación del problema 19

1.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 20

1.2.1. Hipótesis general 20

1.2.2. Hipótesis específicas 20

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 20

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 21

1.4.1. Objetivo general 21

1.4.2. Objetivos específicos..... 21

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO 22

2.2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL..... 26

2.2.1. Internet de las cosas..... 26

2.2.2. LPWAN (Low Power Area Network) 27

2.2.3. Espectro electromagnético en Perú y el mundo. 30



2.2.4.	LoRaWAN y LoRa.....	33
2.2.5.	SIGFOX	44
2.2.6.	NB IoT.	45
2.2.7.	LG 01-S Gateway con tecnología LoRa	48
2.2.8.	Dragino LoRa shield	51
2.2.9.	Sensor DHT11 (temperatura y humedad).....	52
2.2.10.	ThingSpeak	54
2.2.11.	Arduino	55
2.2.12.	Actuador.....	56

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES.....	58
3.1.1. Hardware	58
3.1.2. Software	58
3.2. DISEÑO, NIVEL Y TIPO DE LA INVESTIGACIÓN	59
3.2.1. Diseño de la investigación	59
3.2.2. Nivel de la investigación.....	59
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	60
3.3.1. Población	60
3.3.2. Muestra	60
3.4. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	61
3.4.1. Ubicación	61
3.5. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	62
3.6. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	62
3.7. PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO	63
3.8. DISEÑO DE LA RED	65
3.8.1. Módulo cliente	65
3.8.2. Módulo servidor	71



3.9. TOPOLOGÍA FÍSICA Y TOPOLOGÍA LÓGICA	78
3.9.1. Topología física	78
3.9.2. Topología lógica.....	79
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. DATOS OBTENIDOS POR LOS MODULOS CLIENTE.	81
4.2. DATOS OBTENIDOS POR EL SERVIDOR.	83
4.3. VISUALIZACIÓN DE DATOS EN LA NUBE	84
4.4. DISCUSIÓN.....	85
4.4.1. Calidad de servicio	85
4.4.2. Vida útil de batería y latencia	86
4.4.3. Escalabilidad y longitud de carga útil	87
4.4.4. Cobertura de red y rango.....	89
4.4.5. Modelo de implementación	89
4.4.6. Costo	90
V. CONCLUSIONES.....	91
VI. RECOMENDACIONES.....	93
VII. REFERENCIAS.....	94
ANEXOS.....	97
ANEXO 1 - CÓDIGO MODULO CLIENTE.....	97
ANEXO 2- CODIGO MODULO SERVIDOR	100

Área : Telecomunicaciones

Tema : Telecomunicaciones y redes de datos

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 22 DE AGOSTO DEL 2019



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: La dimensión que introduce el internet de las cosas.....	27
Figura N° 2: Diferentes tecnologías con escalas de ancho de banda y distancia.....	29
Figura N° 3: División de regiones de todo el planeta, Perú pertenece a la región 2.	31
Figura N° 4: LoRa and LoRaWAN Layers	33
Figura N° 5: Pulsos UP Chird y Down Chirp	34
Figura N° 6: Señales equivalentes de los pulsos up-chirp y down-chirp.....	35
Figura N° 7: Ejemplo de la señal modulada con LoRa	36
Figura N° 8: Dispositivos Finales de Clase A.....	38
Figura N° 9: Dispositivos Finales de Clase B	39
Figura N° 10: Dispositivos finales de clase C.....	39
Figura N° 11: Arquitectura de Red de LoRaWAN.....	41
Figura N° 12: Canal de frecuencias en la región 2 (902 - 928) MHz.....	42
Figura N° 13: Modo de operación para NB-IoT.....	46
Figura N° 14: Imagen del Gateway LG01-s (modulo servidor)	48
Figura N° 15: Gateway para aplicaciones IoT.....	50
Figura N° 16: Shield LPWAN.	51
Figura N° 17: Sensor de temperatura y humedad - DHT11.....	54
Figura N° 18: Interfaz WEB de ThingSpeak.	54
Figura N° 19: Arduino uno	56
Figura N° 20: Ubicación de la parcela N° 453 en la Irrigación Majes siguas I.	61
Figura N° 21: Diagrama grafica de las conexiones en la placa Arduino	65
Figura N° 22: Cliente ubicado junto a la manta protectora.....	66



Figura N° 23: Cables que conectan a los sensores ubicados debajo de la manta protectora.	67
Figura N° 24: Sensores ubicados junto a la manguera de riego por goteo.	67
Figura N° 25: No existe línea de vista entre el cliente y el servidor.	68
Figura N° 26: Servidor ubicado en una zona elevada.	69
Figura N° 27: Servidor ubicado junto a la válvula de agua.	69
Figura N° 28: Programación de la placa Arduino.	70
Figura N° 29: Pines de salida de la placa Dragino.	72
Figura N° 30: Diagrama esquemática del módulo relé.	73
Figura N° 31: Programación de la placa Arduino como servidor.	74
Figura N° 32: Prueba de ping realizada con la placa Dragino mediante la red local. ...	78
Figura N° 33: Topología física del entorno de red.	79
Figura N° 34: Topología de red lógica	80
Figura N° 35: Lectura de los sensores de humedad y temperatura del cliente 1	81
Figura N° 36: Lectura de los sensores de humedad y temperatura del cliente 2.	82
Figura N° 37: Lectura de los sensores de humedad y temperatura del cliente 3.	82
Figura N° 38: Lectura de los sensores de humedad y temperatura desde el lado del servidor y el estado del actuador.....	83
Figura N° 39: Comportamiento del actuador desde el lado del servidor.	84
Figura N° 40: Datos capturados por los módulos clientes, subidos a la NUBE por el modulo servidor y visualizados a través de la plataforma THINGSPEAK.	85
Figura N° 41: Ventajas respectivas de Sigfox, LoRa y NB-IoT en términos de factores de IoT.....	90



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Atribución de frecuencias delimitadas por el PNAF.	31
Tabla N° 2: Técnicas e instrumentos para recolección de datos.	63
Tabla N° 3: Tabla de recopilación de datos de humedad y temperatura de los 3 módulos cliente en un horario de 7:00 a 17:00 horas.....	83
Tabla N° 4: Diferencia de costos de Sigfox, Lora y NB IoT.	86
Tabla N° 5: Descripción general de las tecnologías LPWAN: Sigfox, LoRa y NB-IoT.	87



ACRÓNIMOS

IoT (Internet of Things o Internet de las Cosas)

M2M (Machine to Machine o Máquina a Máquina)

WiFi (Wireless Fidelity o Fidelidad Inalámbrica)

LPWAN (Low Power Wide Area Network o Red de Area Amplia de Bajo Consumo)

LoRa (long range o larga distancia)

IPv4 (Internet Protocol version 4 o Protocolo de Internet Version 4)

HTTP (Hypertext Transfer Protocol o Protocolo de Transferencia de Hipertexto)

ETSI (European Telecommunications Standards Institute o Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones)

CSS (Chirp Dispersion Spectrum o Espectro de Dispersión de Chirrido)

MAC (Media Access Control o Control de Acceso a Medios)

MIC (Message Integrity Code o Código de Integridad de Mensaje)

WWW (WORLD WIDE WEB o Red Mundial)

URL (Uniform Resource Locator o Localizador Uniforme de Recursos)

3GPP (3rd Generation Partnership Project: o Proyecto Asociación de Tercera Generación)

NB-IoT (Narrowband - internet of things o Banda estrecha - internet de las cosas)

CAT-M1 (Long-term machine type communication or long-term evolution O Comunicación de tipo de máquina a largo plazo o Evolución a largo plazo)



QoS (Quality of service O calidad de servicio)

WLAN (wireless local area network ó redes inalámbricas de area local)

IEEE (Institute of Electrical and Electronics. Engineers ó Instituto de Ingenieros Electricos y Electronicos)

TIC (Tecnologías de la Información y Comunicaciones)

PNAF (Plan Nacional de Atribución de Frecuencias)

FSK (Frequency Shift Keying ó Frecuencia de modulación por desplazamiento)

ISM (bandas de radio industriales, científicas y médicas)

LTE (Long Term Evolution ó evolución a largo plazo)

GSM (Global System for Mobile communications ó sistema global para las comunicaciones móviles)

LAN (Red de Área Local)

AP (Punto de Acceso)

GPS (Global Positioning System ó Sistema de Posicionamiento Global)

RF (Radio Frecuencia)

IDE (Integrated Development Environment ó entorno de desarrollo integrado)



RESUMEN

Hoy en día los requerimientos para el despliegue del internet de las cosas sobrepasan los modelos de redes tradicionales tales como Wi-Fi, Bluetooth, etc, por ello están surgiendo nuevas tecnologías que son más acorde a las necesidades que se presenta. En la irrigación Majes – Siguas I, el sistema de riego que se tiene es en su mayoría es de forma manual, quiere decir que los agricultores y/o microempresarios de la zona recorren el campo abriendo y cerrando válvulas para cumplir con la tarea, sin tener valores de humedad y temperatura de sus cultivos. En el sistema que se desarrolló se toma como referencia el 60% de humedad, quiere decir que, si el cliente recopila un valor menor a 60% de humedad, el actuador (electro válvula) tiende a encenderse y si en caso opuesto la humedad sea mayor del 60% el actuador tiende a apagarse. La temperatura se toma solo como dato, quiere decir que no se toma alguna acción a partir de ella. a su vez se indica que no se toma en cuenta un sistema de seguridad para los equipos tipo puesta a tierra y se indica el horario de abastecimiento del agua en la IRRIGACIÓN MAJES SIGUAS I. En el proyecto no se estudian las propiedades de los cultivos ya que no es nuestra prioridad. Los sensores instalados en los módulos cliente realizan la recopilación de datos de humedad y temperatura en diferentes horarios y diferentes puntos del campo experimental para su posterior envío a través de LORA por el modulo cliente hacia el modulo servidor, una vez que los datos se encuentren en el servidor éste lo procesa y toma la decisión de abrir o cerrar una electroválvula para el respectivo riego del cultivo dependiendo de la humedad.

Palabras Clave: agricultura, internet de las cosas, LoRaWAN, LPWAN, sensor.



ABSTRACT

Today the requirements for the deployment of the Internet of Things exceed traditional network models such as Wi-Fi, Bluetooth, etc., for this reason new technologies are emerging that are more in line with the needs that are presented. In the Majes - Siguas I irrigation, the irrigation system that exists is mostly manual, it means that the farmers and / or microentrepreneurs in the area travel the field opening and closing valves to fulfill the task, without have humidity and temperature values of your crops. In the system that was developed, 60% humidity is taken as a reference, it means that, if the client collects a value lower than 60% humidity, the actuator (solenoid valve) tends to turn on and if the opposite case the humidity is greater than 60% the actuator tends to turn off. The temperature is taken only as data, it means that no action is taken from it. in turn, it is indicated that a security system for earthing type equipment is not taken into account and the water supply schedule is indicated in the MAJES SIGUAS I IRRIGATION. The project does not study the properties of the crops anymore. that is not our priority. The sensors installed in the client modules carry out the collection of humidity and temperature data at different times and at different points in the experimental field for later sending through LORA by the client module to the server module, once the data is in the server processes it and makes the decision to open or close a solenoid valve for the respective irrigation of the crop depending on the humidity.

Keywords: agriculture, internet of thins, LoRaWAN, LPWAN, sensor.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, las aplicaciones de IoT están creando cada vez más nuevas eficiencias en la forma en que operan las empresas, proporcionando un valor tangible a los clientes y generando nuevas fuentes de ingresos. La tecnología tiene el potencial de ayudar a mejorar los resultados al reducir los costos operativos, aumentar la productividad, respaldar el desarrollo de nuevos productos o expandirse a mercados fronterizos.

En la actualidad, la mayoría de los dispositivos de IoT aprovechan las conexiones de red existentes, como celulares, WiFi y otras tecnologías patentadas. Las redes celulares distan mucho de proporcionar el rendimiento funcional ideal, ya que siguen existiendo importantes brechas en términos de eficiencia energética y de costos, salida de datos y áreas de cobertura. El crecimiento explosivo en la cantidad de dispositivos de IoT está configurado para elevar la demanda de baja potencia, la transmisión de datos optimizada, rentable y la cobertura celular escalable.

IoT promete revolucionar la forma en que vivimos y trabajamos. Podría ayudarnos a superar los principales desafíos mundiales debido a la explosión demográfica, la crisis energética, el agotamiento de los recursos y la contaminación ambiental. Para realizar esta visión, las cosas deben percibir su entorno, compartir esta información entre ellos y con los humanos para permitir una toma de decisiones inteligente que afecte positivamente a todo nuestro ecosistema. Debido a esta promesa, un interés en IoT es fenomenal. Múltiples estudios independientes han pronosticado un crecimiento desenfrenado en volumen e ingresos de IoT y de la industria M2M en los próximos años. La cantidad de dispositivos M2M conectados y dispositivos electrónicos de consumo



superará la cantidad de suscriptores humanos que utilizan teléfonos móviles, computadoras personales y computadoras portátiles.

La parte más vital para lograr la IoT es la comunicación, porque para interconectar diferentes dispositivos deben poder comunicarse. Todas las demás propiedades, como detección, maniobra, poder capturar, almacenar y procesar datos son innecesarias; a menos que su dispositivo requiera específicamente una de estas propiedades. Sin embargo, la capacidad de comunicarse es esencial al etiquetar un dispositivo como un dispositivo de IoT. La forma en que se realiza esta comunicación es menos importante, ya que la comunicación real física y de capa de enlace dentro de IoT se puede realizar de muchas maneras.

Por ejemplo, si dos dispositivos están cerca uno del otro, podría ser más sencillo comunicarse directamente a través de, por ejemplo, la radio utilizando tecnologías como Bluetooth. Un dispositivo puede comunicarse a través de una puerta de enlace usando LPWAN y luego la puerta de enlace podría comunicarse usando otro protocolo (por ejemplo, IPv4) a través de una red de comunicación como Internet.

LPWAN representa un paradigma de comunicación novedoso, que complementará las tecnologías celulares tradicionales y las inalámbricas de corto alcance para abordar los diversos requisitos de las aplicaciones IoT. Las tecnologías LPWAN ofrecen conjuntos únicos de características que incluyen conectividad de área amplia para dispositivos de baja potencia y baja velocidad de datos, no proporcionados por tecnologías inalámbricas heredadas

LPWAN destaca en la variedad de aplicaciones en varios sectores comerciales que pueden explotar las tecnologías LPWAN para conectar sus dispositivos finales. Estos



sectores comerciales incluyen, entre otros, ciudades inteligentes, aplicaciones personales de IoT, redes inteligentes, medición inteligente, logística, monitoreo industrial, agricultura, etc.

Como resultado, LPWAN está surgiendo rápidamente como un cambio de juego en el desarrollo de IoT, que aborda la mayoría de las limitaciones de la red celular (por ejemplo, alta potencia o brechas en la cobertura). LPWAN es compatible con las aplicaciones IoT y M2M que necesitan transmitir pequeños bloques de datos a largas distancias y, al mismo tiempo, mantener una batería de larga duración.

Sus características inherentes, como el bajo consumo de energía que opera con baterías pequeñas y baratas que duran hasta 10 años, y la idoneidad para un largo rango de operación de más de 2 km de radio en entornos urbanos.

La tecnología LPWAN es perfectamente adecuada para conectar dispositivos que necesitan enviar pequeñas cantidades de datos a lo largo de un rango prolongado, a la vez que mantiene la duración de la batería. Algunas aplicaciones de IoT solo necesitan transmitir pequeñas cantidades de información, por ejemplo, un sensor, que solo transmite cuando un lugar está abierto o cerrado. El bajo consumo de energía de un dispositivo de este tipo permite que esa tarea se lleve a cabo con un costo mínimo.

LPWAN se considera uno de los habilitadores IoT donde se conectarán miles de millones de dispositivos. Las redes LPWAN ofrecen una amplia cobertura de área para numerosas aplicaciones de IoT que requieren baja potencia. Como consecuencia, debido a su operación de bajo costo, en comparación con los sistemas de redes móviles tradicionales, y su mejor eficiencia de energía, puede considerarse como la solución futura en Industrial IoT.



LPWAN se puede realizar mediante la implementación de tecnologías emergentes como SIGFOX, LORA, NB-IoT y CAT-M1, todas pueden utilizarse como una solución diferente para la mayoría de proyectos relacionados con IoT.

LPWAN están atrayendo mucha atención principalmente debido a su capacidad para ofrecer conectividad asequible a los dispositivos de baja potencia distribuidos en áreas geográficas muy grandes. Al realizar la visión de la Internet de las cosas (IoT), las tecnologías de LPWAN complementan y, a veces, sustituyen a las tecnologías inalámbricas de corto alcance y las tecnologías convencionales para varias aplicaciones emergentes y M2M. Este documento de revisión presenta los objetivos de diseño y las técnicas que diferentes tecnologías de LPWAN aprovechan para ofrecer cobertura de área amplia a dispositivos de baja potencia a costa de bajas tasas de datos. Examinamos varias tecnologías emergentes de LPWAN y las actividades de estandarización llevadas a cabo por diferentes organizaciones de desarrollo de estándares, así como los consorcios industriales construidos en torno a tecnologías individuales de LPWAN (por ejemplo, LORA O SIGFOX). También notamos que las tecnologías LPWAN adoptan enfoques similares, compartiendo así limitaciones y desafíos similares.

Las redes LPWAN son únicas porque hacen concesiones diferentes a las tecnologías tradicionales que prevalecen en el entorno de IoT, como las redes inalámbricas de corto alcance, (por ejemplo, Bluetooth), redes de área local inalámbricas heredadas (WLAN), por ejemplo, Wi-Fi y celulares, etc. Las tecnologías inalámbricas no celulares heredadas no son ideales para conectar dispositivos de baja potencia distribuidos en grandes áreas geográficas. El rango de estas tecnologías se limita a unos pocos cientos de metros en el mejor de los casos. Por lo tanto, los dispositivos no pueden ser desplegados o movidos arbitrariamente a cualquier lugar, un requisito para muchas aplicaciones para ciudades



inteligentes, logística y salud personal. El rango de estas tecnologías se amplía utilizando una implementación densa de dispositivos y Puertas de enlace conectadas.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Formulación del problema

En la actualidad la mayoría de los sistemas de riego en la irrigación Majes-Siguas I, son de forma manual, esto quiere decir que los agricultores y/o microempresarios de la zona recorren todo el campo abriendo y cerrando válvulas para cumplir con la tarea, éstos no tienen un monitoreo de variables de humedad y temperatura de sus cultivos, por lo tanto el riego que ellos realizan es al azar, el cual en muchos casos no es eficiente para el cultivo, lo que implica que el agricultor no obtenga buenas ganancias en la cosecha o en el peor de los casos se generen pérdidas del capital invertido en la misma.

Más de veinte de las diferentes tecnologías, que pueden atribuirse a las redes de área amplia de baja potencia (LPWAN), existen hoy en día. En particular, aparte del LPWAN convencional, el problema de aumentar el rango de comunicación para la comunicación Máquina a Máquina (M2M) se ha abordado recientemente dentro del grupo de trabajo IEEE 802.11 (es decir, IEEE 802.11) y por el grupo de interés especial Bluetooth (es decir, BLE PHY codificados en Bluetooth 5.0).

Cada una de estas tecnologías tiene características particulares, cuya combinación dentro de una sola solución puede habilitar las nuevas funcionalidades, aumentar la flexibilidad o habilitar el nuevo grado de confiabilidad. Este último es especialmente importante para la infraestructura crítica y las aplicaciones de máquinas: por ejemplo, vehículos autónomos y robots en el contexto de logística y fabricación inteligentes,



medidores e inversores de las redes de energía inteligente, dispositivos portátiles para la asistencia sanitaria inteligente y la vida asistida.

1.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Hipótesis general

El sistema de riego aplicando tecnologías LPWAN basado en internet de las cosas incrementará la productividad de la cosecha a bajo costo en la Irrigación Majes – Siguan I – El Pedregal – Arequipa.

1.2.2. Hipótesis específicas

- El sistema de riego basado en internet de las cosas nos permitirá tener datos en la nube y poder tener un monitoreo frecuente.
- La implementación de una red de sensores con tecnologías LPWAN nos permitirá recopilar los datos a largas distancias y transportarlas al módulo servidor para su procesamiento correspondiente.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En la agricultura, un riego adecuado es de alta importancia para el óptimo cultivo de productos agrícolas, ya que de esto depende la buena productividad y calidad del producto final, cuando el cultivo es en un terreno pequeño es muy fácil mantener el correcto control y monitoreo del mismo, pero cuando el terreno cultivado tiene una extensión considerablemente amplia se hace mucho más difícil tener un correcto control del mismo, ya que es necesario contratar más personal para poder cubrir con los trabajos requeridos para un riego eficiente, por ende es mejor tener un riego automatizado y monitoreando las variables de temperatura y humedad, éstos datos son recolectados por los módulos cliente los cuales tienen que estar ubicados en puntos estratégicos del terreno cultivado,



dichos datos son enviados por el modulo cliente a un módulo servidor, el cual procesa los datos y a partir de la humedad se toma una decisión de abrir o cerrar una electroválvula, las variables de temperatura y humedad son mostrados al usuario final, a su vez pueden ser monitoreados en la nube a través de una plataforma virtual y en tiempo real.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de riego basado en internet de las cosas aplicando tecnología LPWAN en la irrigación Majes-Siguas I – El Pedregal – Arequipa.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de riego basado en internet de las cosas.
- Implementar una red de sensores, con tecnologías LPWAN.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Título: A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment

Autores: Kais Mekki, Eddy Bajic, Frederic Chaxel, Fernand Meyer

Institución: The Korean Institute of Communications Information Sciences. Publishing Services by Elsevier

Año: 2018

País: España

Resumen: Para 2020, más de 50 mil millones de dispositivos estarán conectados a través de comunicaciones por radio. Junto con el rápido crecimiento del mercado de Internet de las cosas (IoT), las redes de área amplia de baja potencia (LPWAN) se han convertido en una popular tecnología de comunicación por radio de largo alcance y baja velocidad. Sigfox, LoRa y NB-IoT son las tres tecnologías LPWAN líderes que compiten por la implementación de IoT a gran escala. Este documento proporciona un estudio completo y comparativo de estas tecnologías, que sirven como soluciones eficientes para conectar dispositivos inteligentes, autónomos y heterogéneos. Demostramos que Sigfox y LoRa son ventajosos en términos de duración, capacidad y costo de la batería. Mientras tanto, NB-IoT ofrece beneficios en términos de latencia y calidad de servicio. Además, analizamos los factores de éxito de IoT de estas tecnologías LPWAN, consideramos los escenarios de aplicación y explicamos qué tecnología es la más adecuada para cada uno de estos escenarios. (Mekki, Bajic, Chaxel, & Meyer, 2019).



Título: Diseño de un sistema automático de riego tecnificado para las áreas verdes de la escuela de ingeniería electrónica y la facultad de ciencias físicas y matemáticas – UNPRG.

Autores: Bach. Kenji Franco Huamán Lizana y Bach. José Wilder Huamán Colunche

Institución: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

Año: 2018

País: Perú

Resumen: El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal el diseño de un sistema automático de riego tecnificado para las áreas verdes de la Escuela de Ingeniería Electrónica y Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas – UNPRG. El trabajo propuesto incluye la medición de áreas y perímetros de las zonas de riego para luego determinar la ubicación de aspersores, la longitud y diámetro de las tuberías, así como del volumen del pozo. Luego procedemos al cálculo del caudal de aspersores y de pérdidas de presión en las tuberías para determinar la secuencia de las válvulas y la frecuencia de operación del variador de velocidad. Con respecto al diseño del sistema automático, se realizó un programa secuencial en Diagrama de Escalera (LADDER) en un PLC Schneider M340 donde manejamos 22 Variables de Entradas Discreta y 39 Variables de Salida discreta, el protocolo de comunicación con el variador de velocidad Altivar 31 es el denominado MODBUS, el sistema será activado desde un tablero de control ubicado en una caseta al costado de la FACFyM. El programa irá activando secuencialmente las válvulas adecuadas de acuerdo al área a regar y en el variador simultáneamente se irá seleccionando la frecuencia adecuada para impulsar el agua a la presión correspondiente de acuerdo al largo de tubería y disposición de aspersores. Se concluye; que el diseño del sistema de riego tecnificado, sirve para demostrar las competencias adquiridas por los alumnos en el área de automatización y control por parte de los alumnos de la Escuela



Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.(Huamán Lizana & Huamán Colunche, 2018).

Título: Implementación de una red de sensores inalámbricos LPWAN mediante módulos LoRa para el monitoreo de la calidad del agua en 2 ríos.

Autor: Cristian Yamith Burbano Ordoñez

Institución: Universidad Distrital Francisco José De Caldas

Año: 2016

País: Colombia

Resumen: En este documento se muestra el diseño y la implementación de una red de sensores inalámbricos para medir parámetros de calidad del agua en dos ríos, empleando elementos de bajo costo. Se emplean módulos LoRa para la comunicación entre nodos, la cual es una tecnología surgida con el auge que ha tenido las WSN (redes de sensores inalámbricos), el IoT (Internet de las Cosas) y el M2M. Los módulos LoRa tienen grandes características por su bajo consumo de energía teniendo en cuenta la distancia que logra abarcar y su bajo costo, razón que los hacen una tecnología adecuada para cumplir con los propósitos del proyecto. Se construyen 2 nodos sensores los cuales monitorean los siguientes parámetros: Conductividad eléctrica, pH, Temperatura. Por lo que se hace la adquisición, diseño y construcción de los sensores y los circuitos de acondicionamiento. También se realizará un nodo receptor que estará conectado a un computador y mostrará los datos mediante una interfaz gráfica realizada en Java.(Burbano Ordoñez, 2016).

Título: Diseño de un controlador basado en redes neuronales para la irrigación por goteo sobre cultivos en el distrito de Huacho.

Autores: Gutiérrez Espíritu Joel y Armas Valencia Johan

Institución: Universidad Tecnológica del Perú



Año: 2018

País: Perú

Resumen: El uso racional del agua es un problema nacional, debido a la escasez, la mala utilización del recurso hídrico con los métodos de riego sobre cultivos agrícolas y la utilización de métodos de irrigación convencionales, los cuales generan una productividad menor en las parcelas. Esta investigación tiene como objetivo principal diseñar un controlador basado en redes neuronales para la irrigación por goteo en cultivos en Huacho para reducir el consumo de agua en los riegos, puesto que el agua no solo se utiliza para estas acciones sino también para el consumo humano, el método de irrigación planteado en los cultivos se ubica en el norte de Lima, para el diseño se tomó de muestra 0.1 m con la finalidad de realizar la investigación y poder proyectar a pequeña escala el riego de la finca. Se propone la solución basada en la adquisición de datos de humedad en tiempo real sobre los cultivos en 3 profundidades que son de 60, 40 y 20 cm, tanto para el riego y para el tiempo de evapotranspiración de los cultivos, mediante electrodos de acero calibrados, los cuales tienen una variación resistiva al estar en contacto con cantidades diferentes de humedad. Posteriormente estos datos son almacenados en un archivo Excel mediante una plataforma de hardware libre, el cual es el Arduino Mega 2560, estos datos son llevadas a una red neuronal para entrenarla y determinar cuánto tiempo y cada que tiempo se debe regar de acuerdo a la lectura de entradas de humedad y así estimar el consumo hídrico adecuado sin desperdiciarlo. El tiempo de riego por goteo máximo para un cultivo con humedad relativa 0 es de 95 minutos y la frecuencia de riego máxima es de cada 1700 minutos, estos tiempos varían de acuerdo a la lectura de los sensores con la red ya entrenada, esta investigación logro determinar el tiempo exacto de riego y pronosticar la frecuencia de riego en los cultivos.(Gutiérrez Espíritu & Armas Valencia, 2018).



2.2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.2.1. Internet de las cosas

Internet de los objetos (IoT) puede considerarse un concepto ambicioso con repercusiones tecnológicas y sociales. Desde la perspectiva de la normalización técnica, IoT puede concebirse como una infraestructura global de la sociedad de la información, que permite ofrecer servicios avanzados mediante la interconexión de objetos (físicos y virtuales) gracias a la interoperabilidad de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) presentes y futuras. Aprovechando las capacidades de identificación, adquisición de datos, procesamiento y comunicación, IoT utiliza plenamente las "objetos" para ofrecer servicios a todos los tipos de aplicaciones, garantizando a su vez el cumplimiento de los requisitos de seguridad y privacidad.(Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2012).

NOTA – Cabe esperar que IoT integre muchísimas de las tecnologías avanzadas, como las relacionadas con la comunicación máquina a máquina, las redes autónomas, la minería de datos y la toma de decisiones, la protección de la seguridad y la privacidad y la computación en la nube, así como tecnologías avanzadas de detección y accionamiento. Como se muestra en la Figura 1, IoT añade la dimensión "Comunicación con cualquier objeto" a las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), que ya ofrecen la comunicación "en todo INSTANTE" y "en cualquier LUGAR".(Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2012).

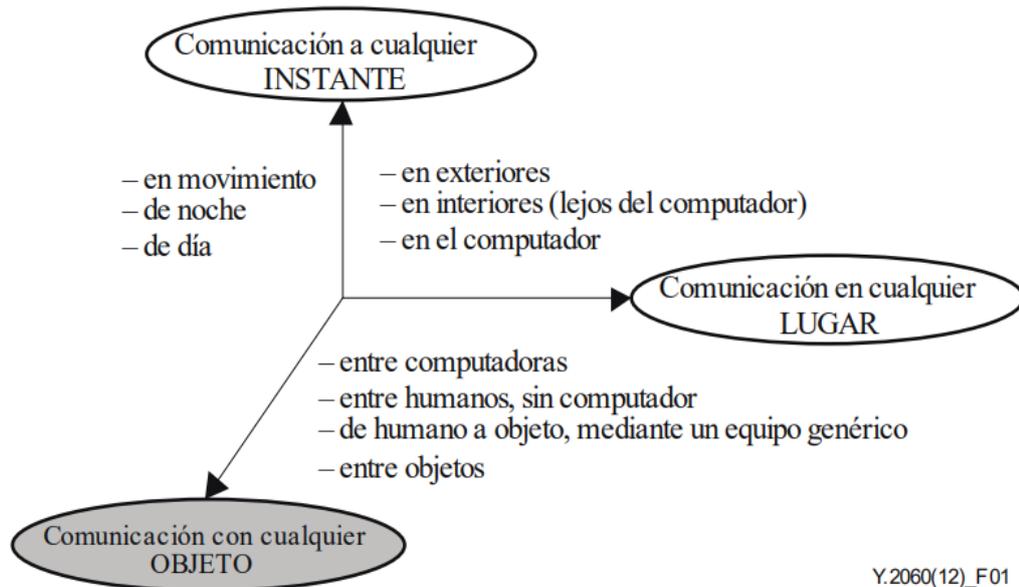


Figura N° 1: La dimensión que introduce el internet de las cosas.

Fuente:(Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2012)

2.2.2. LPWAN (Low Power Area Network)

Las aplicaciones de IoT tienen requisitos específicos como largo alcance, baja velocidad de datos, bajo consumo de energía y rentabilidad. Las tecnologías de radio de corto alcance ampliamente utilizadas (por ejemplo, ZigBee, Bluetooth) no están adaptadas para escenarios que requieren una transmisión de largo alcance. Las soluciones basadas en comunicaciones celulares (por ejemplo, 2G, 3G y 4G) pueden proporcionar una mayor cobertura, pero consumen una energía excesiva del dispositivo. Por lo tanto, los requisitos de las aplicaciones IoT han impulsado el surgimiento de una nueva tecnología de comunicación inalámbrica: red de área amplia de baja potencia (LPWAN).(Mekki et al., 2019).

LPWAN (**L**ow **P**ower **W**ide Area Network) redes de área amplia y de baja potencia, conocido también como LPWA o LPN, es un protocolo de transporte inalámbrico de datos que hoy en día se entiende como uno de los protocolos básicos para la



implementación de IoT. Para tener una idea de la relevancia de LPWAN podemos considerar la predicción que realiza statisca.com de un aumento constante de la cantidad de dispositivos LPWAN conectados alrededor del mundo, esperando que esta cantidad llegue a rondar los 3.500 millones de dispositivos para 2021. Claro, aún con estos datos es justo plantearse la pregunta: ¿Es LPWAN un estándar para IoT?(LA ROSA, 2018).

Por supuesto debemos aceptar que los estándares definitivos para IoT todavía están por definirse, de hecho los protocolos se encuentran en pleno desarrollo y existen varios proyectos que pretenden definir estándares.(LA ROSA, 2018).

LPWAN está ganando cada vez más popularidad en las comunidades industriales y de investigación debido a sus características de comunicación de bajo consumo, largo alcance y bajo costo. Proporciona comunicación a largo plazo hasta 10–40 km en zonas rurales y 1–5 km en zonas urbanas. Además, es altamente eficiente desde el punto de vista energético (es decir, más de 10 años de vida útil de la batería) y económico, con un costo de un chipset de radio inferior a 2 euros y un costo operativo de 1 euro por dispositivo por año. Estos aspectos prometedores de LPWAN han provocado estudios experimentales recientes sobre el rendimiento de LPWAN en entornos exteriores e interiores. En resumen, LPWAN es muy adecuado para aplicaciones de IoT que solo necesitan transmitir pequeñas cantidades de datos a larga distancia, como se muestra en la figura 2. Tan recientemente como a principios de 2013, el término LPWAN” ni siquiera existía. Muchas tecnologías LPWAN han surgido en el ancho de banda de frecuencia con licencia y sin licencia. Entre ellos, Sigfox, LoRa y NB-IoT son las tecnologías emergentes líderes en la actualidad que implican muchas diferencias técnicas. (Mekki et al., 2019).

2.2.2.1. El punto ideal para LPWAN.

Las diferentes tecnologías inalámbricas cubren diferentes aplicaciones con respecto al alcance y al ancho de banda. Aplicaciones de largo alcance con bajos requisitos de ancho de banda que son típicas para IoT y M2M los escenarios no están bien comprobados por estas tecnologías existentes. (Egli, 2016).

Las tecnologías LPWAN están dirigidas a estas aplicaciones y mercados emergentes.

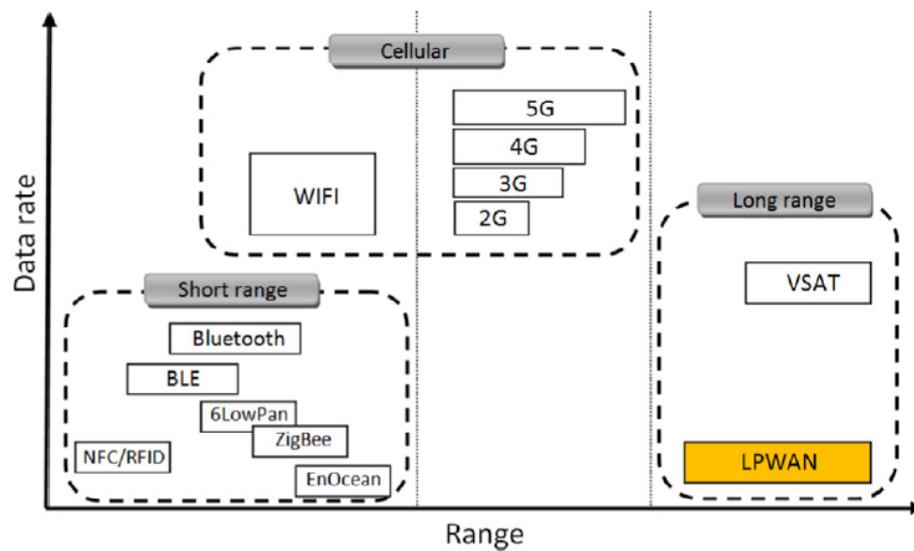


Figura N° 2: Diferentes tecnologías con escalas de ancho de banda y distancia.

Fuente: (Mekki et al., 2019)

2.2.2.2. Características de las LPWAN

Son tres las características técnicas de LPWAN que lo hacen coincidir con los requerimientos de IoT. Estas son:

- **El alcance geográfico:** LPWAN está diseñado para el transporte inalámbrico de datos entre dispositivos separados por distancias en el rango de kilómetros y no de metros.



- **La cantidad de datos transmitidos:** La idea de LPWAN es regular el transporte no constante de pequeñas cantidades de datos.
- **El bajo consumo eléctrico:** El protocolo se fundamenta en el uso de dispositivos cuyas baterías permiten una duración de años en lugar de semanas y meses. (LA ROSA, 2018).

2.2.3. Espectro electromagnético en Perú y el mundo.

Los servicios de radiocomunicaciones que operen con autorización de la Administración Peruana de Telecomunicaciones deberán cumplir con lo especificado en el cuadro de atribución de bandas de frecuencias y sus notas adicionales. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

2.2.3.1. Regiones y zonas del mundo.

Desde el punto de vista de la atribución de las bandas de frecuencias, se ha dividido el mundo en tres Regiones, Perú pertenece a la Región 2, como se aprecia en el siguiente mapa:

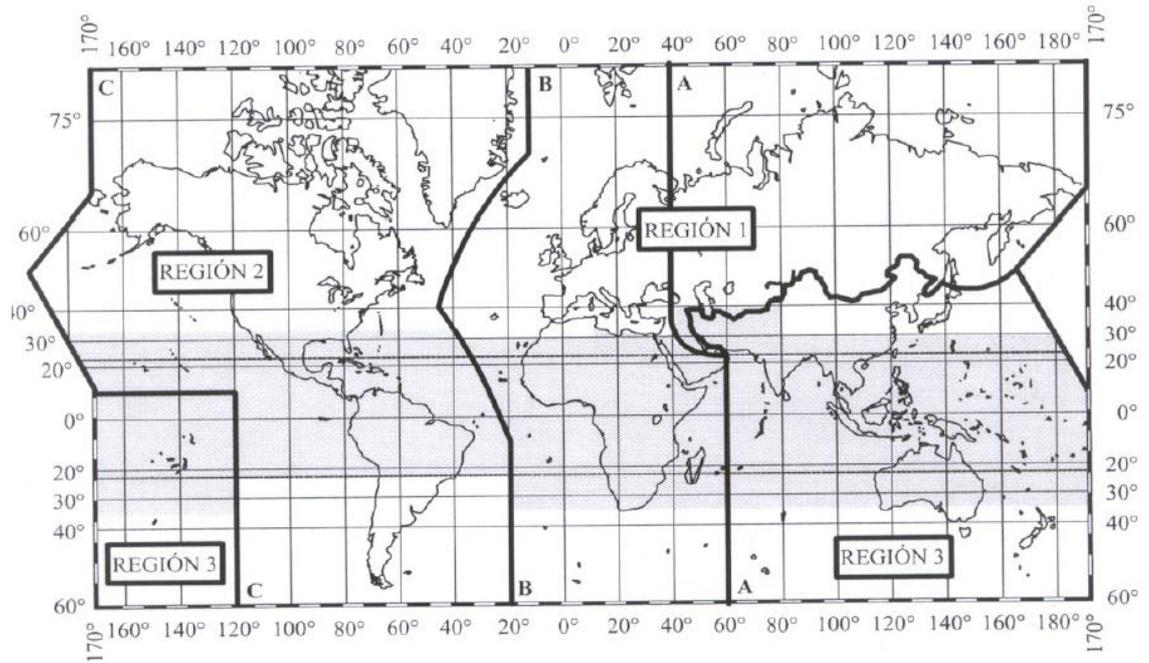


Figura N° 3: División de regiones de todo el planeta, Perú pertenece a la región 2.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008)

2.2.3.2. Atribución de frecuencias según el PNAF en MHz.

Tabla N° 1: Atribución de frecuencias delimitadas por el PNAF.

REGION 2	PERÚ	
	ATRIBUCION	NOTAS Y OBSERVACIONES
806 - 890 FIJO MOVIL RADIODIFUSION	806 - 890 FIJO MOVIL	P52, P53, P54
806 - 890 FIJO MOVIL RADIODIFUSION	890- 896 FIJO MOVIL 896- 902 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización	P53, P55

(continuación...)

902- 928 FIJO Aficionados Móvil salvo móvil aeronáutico Radiolocalización	902- 928 Fijo Radioaficionados Móvil salvo móvil aeronáutico Radiolocalización	P23
928 - 942 FIJO MOVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización	928 - 942 FIJO MOVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización	P54, P55, P56

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008)

Observación detallada:

P 23: Las siguientes bandas están destinadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas.

(ICM):

13 553 – 13 567 kHz (frecuencia central 13 560 kHz).

26 957 – 27 283 kHz (frecuencia central 27 120 kHz).

40,66 – 40,70 MHz (frecuencia central 40,68 MHz).

902 – 928 MHz (frecuencia central 915 MHz).

2 400 – 2 500 MHz (frecuencia central 2 450 MHz).

5 725 – 5 875 MHz (frecuencia central 5 800 MHz).

24 - 24,25 GHz (frecuencia central 24,125 GHz).

Los servicios de radiocomunicaciones que funcionan en estas bandas deben aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones y en ningún caso podrán causar interferencias a aplicaciones ICM.

Las bandas 902 – 928 MHz, 2 400 – 2 483,5 MHz y 5 725 – 5 850 MHz, están atribuidas a título secundario para los servicios fijo y/o móvil, público y/o privado. Aquellos que hagan uso de las frecuencias antes indicadas deberán sujetarse a la normativa establecida o que establezca el Ministerio.(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

2.2.4. LoRaWAN y LoRa.

El estándar LoRaWAN es innovado por Semtech, lanzado por primera vez en 2015 y desarrollado por LoRa Alliance como un estándar de comunicación inalámbrica que opera dentro de las bandas sin licencia. El nombre significa red de área amplia de largo alcance. Es importante distinguir entre LoRaWAN y LoRa porque no son términos intercambiables.(Tsavalos & Abu Hashem, 2018).

LoRa define la modulación en la capa física, mientras que LoRaWAN es una definición de protocolo MAC que admite baja potencia, largo alcance y alta capacidad en redes LPWAN. En general, el estándar de comunicación y la arquitectura del sistema determinan el rendimiento técnico general de la tecnología, como la eficiencia energética para ahorrar la carga de la batería de los dispositivos finales, la capacidad de la red y las velocidades de datos dedicadas para diferentes aplicaciones que pueden ser compatibles con la red.(Tsavalos & Abu Hashem, 2018).

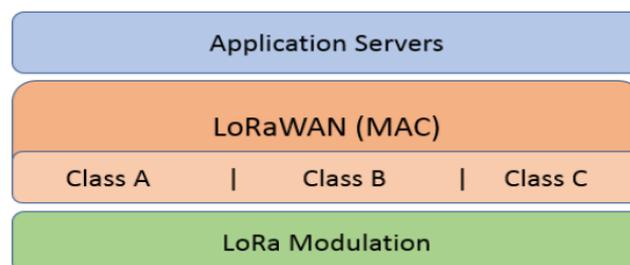


Figura N° 4: LoRa and LoRaWAN Layers

Fuente: (Tsavalos & Abu Hashem, 2018)

2.2.4.1. Fundamentos de la modulación LoRa.

LoRa es una técnica de modulación de espectro ensanchado basada en la modulación CSS. Fue desarrollada por Semtech y se implementa en capa física de la arquitectura de red, lo que permite que LoRa se adapte a conexiones robustas. La modulación CSS o Chirp Spread Spectrum es una técnica de modulación que utiliza pulsos chirp modulados en frecuencia lineal de banda ancha para codificar información. En este tipo de técnicas de modulación de espectro ensanchado, la señal se transmite en ráfagas, saltando entre las frecuencias de una secuencia pseudoaleatoria. Un chirp es un tono en el cual la frecuencia se incrementa (up-chirp) o decrementa (down-chirp) con el tiempo, como se muestra en la figura 4. Su ancho de banda es equivalente al ancho de banda espectral de la señal. Las señales equivalentes a estos tonos se muestran en la figura 5. (Andreu, 2019).

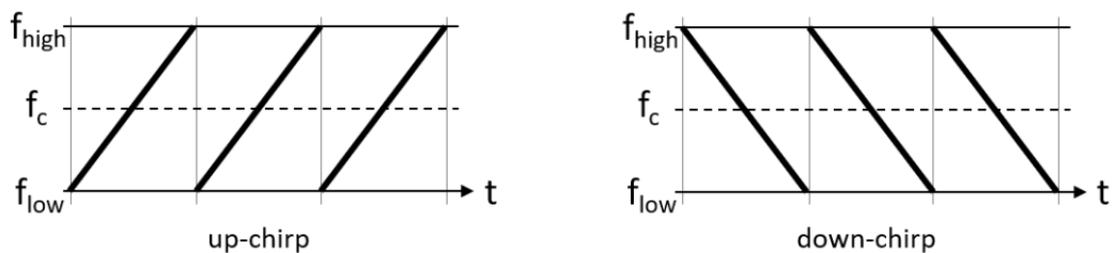


Figura N° 5: Pulsos UP Chird y Down Chirp.

Fuente: (Andreu, 2019)

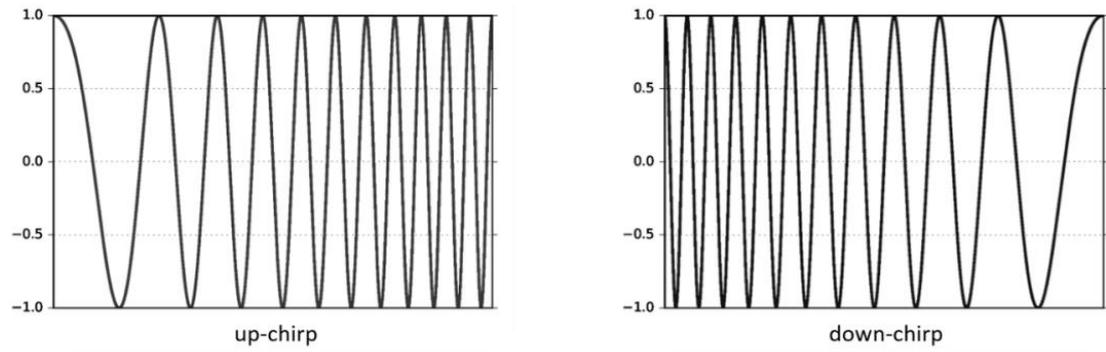


Figura N° 6: Señales equivalentes de los pulsos up-chirp y down-chirp.

Fuente: (Andreu, 2019)

El ensanchamiento del espectro de la modulación LoRa se obtiene generando estos tonos chirp que varían continuamente en frecuencia. Una ventaja de esto es que los offsets de tiempo y de frecuencia entre el transmisor y el receptor son equivalentes, lo que reduce la complejidad de diseño del receptor.(Andreu, 2019).

Un ejemplo de señal modulada utilizando LoRa se muestra en la figura 12. En dicha figura se pueden ver cuatro pulsos up-chirp iniciales correspondientes a cuatro símbolos de preámbulo, seguidos de dos pulsos down-chirp correspondientes a dos símbolos de sincronización. Este tipo de símbolos se va a detallar posteriormente. Finalmente aparecen cuatro símbolos de datos cuyos pulsos varían en función del factor de ensanchamiento utilizado.(Andreu, 2019).

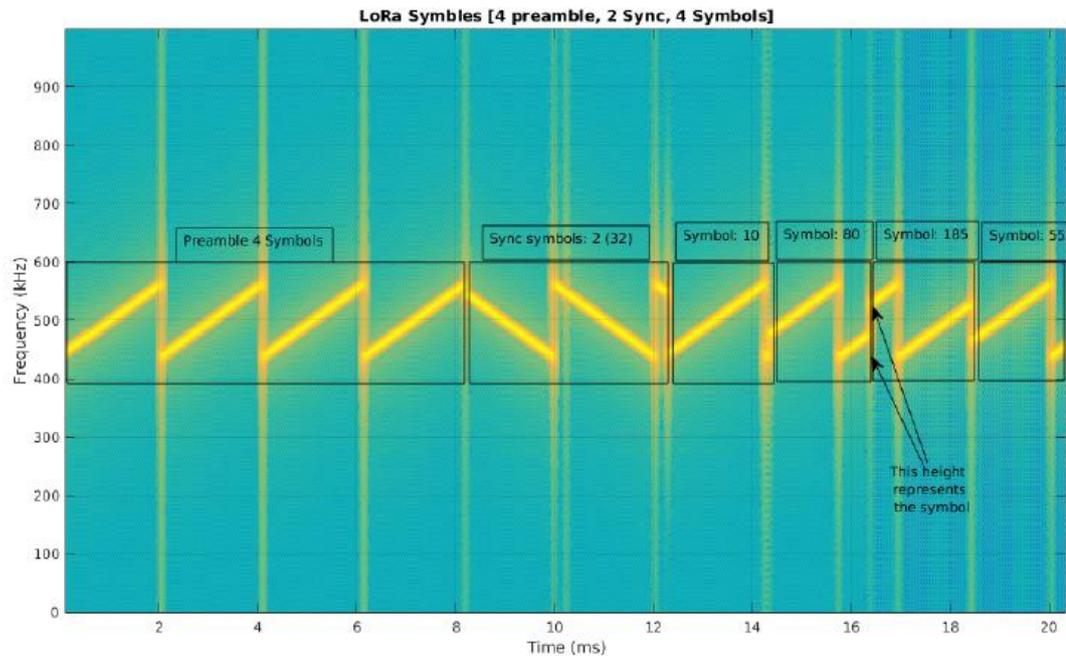


Figura N° 7: Ejemplo de la señal modulada con LoRa.

Fuente: (Andreu, 2019)

2.2.4.2. Tecnologías usadas por LoRaWAN

Cobertura y Presupuesto de Enlace: La característica clave en el estándar LoRaWAN es LoRa, que forma parte de la capa física y describe la modulación que mantiene la capacidad de largo alcance en LoRaWAN. (Tsavalos & Abu Hashem, 2018).

LoRa se basa en la técnica de espectro expandido chirrido (CSS). En comparación con los esquemas de modulación utilizados por otros sistemas inalámbricos, como la frecuencia de cambio de frecuencia (FSK), LoRa mantiene el mismo bajo nivel de consumo de energía y logra una comunicación de mayor alcance. Como técnica de modulación, el espectro extendido de chirrido ofrece características importantes, como rangos muy largos similares a los que ofrecen las redes de banda estrecha, alta robustez contra la interferencia y pérdidas de propagación. El beneficio de usar Lora es que toda



una ciudad o región se puede cubrir mediante la implementación de una sola puerta de enlace.(Tsavalos & Abu Hashem, 2018).

Esto se demostró durante una investigación realizada por la Universidad de Aalborg en colaboración con la red celular comercial de Telenor, para probar la cobertura de diferentes tecnologías, incluida LoRaWAN en 7800 de áreas rurales y urbanas. (Tsavalos & Abu Hashem, 2018).

Las estaciones base fueron compatibles con antenas omnidireccionales de 10 dBi y la potencia de transmisión utilizada fue de 14 dBm, que es el valor máximo permitido por LoRa. El modelado de canales depende del entorno que influye en la propagación de la señal mediante el desvanecimiento a gran escala, el desvanecimiento a pequeña escala y la pérdida de trayectoria. El modelo de propagación utilizado fue el modelo macro no de línea de vista 3GPP. El resultado muestra que LoRa proporciona una cobertura completa en entornos exteriores de hasta 11 km con una pérdida de acoplamiento baja igual a 144 dB. La máxima pérdida de acoplamiento lograda fue de 155.5 dB con una capacidad de corte del 24% para ambientes interiores profundos.(Tsavalos & Abu Hashem, 2018).

La idoneidad de LoRa para fines industriales con respecto a la cobertura es razonable dado el hecho de que un área de 5 km de radio podría cubrirse fácilmente para conectar cientos de dispositivos finales (capacidad de gran escala) a bajo costo.(Tsavalos & Abu Hashem, 2018).

El Consumo de Energía: El dispositivo final transmite paquetes de enlace ascendente a las puertas de enlace, es decir, los dispositivos transmiten cuando los datos están listos para enviarse, ya sea que esta transmisión sea programada o esté basada en acciones utilizando un mecanismo de acceso al medio que tenga un uso reducido del ancho de

banda. Además, no hay sincronización entre los dispositivos finales y las puertas de enlace. Esta asincronización ahorra energía considerablemente si se compara con otras tecnologías (es decir, sistemas celulares) en los que los dispositivos móviles se activan regularmente para actualizar la red sobre su situación (estación base, área de enrutamiento o área de ubicación) y analizan en busca de mensajes que puedan mostrarse. Alcanzado para la transmisión de enlace descendente. LoRa resuelve esto permitiendo solo la transmisión de enlace descendente después de la transmisión de enlace ascendente, ya que se especifica en tres clases que se explicarán a partir de ahora. Evitar la transmisión del enlace descendente en la medida de lo posible y el uso de un mecanismo de acceso de tipo medio aumenta la vida útil de la batería, que puede durar diez años en LoRaWAN. (Tsavalos & Abu Hashem, 2018).

Clase A: Los dispositivos finales de la clase A que tienen dos ranuras para la transmisión de enlace descendente después de una transmisión de enlace ascendente, por lo que los dispositivos finales consumen la menor potencia para sus operaciones en comparación con otras clases. (Tsavalos & Abu Hashem, 2018).

La ventana de transmisión de enlace ascendente está dedicada a dispositivos finales de acuerdo con su necesidad de manera similar al protocolo Aloha.

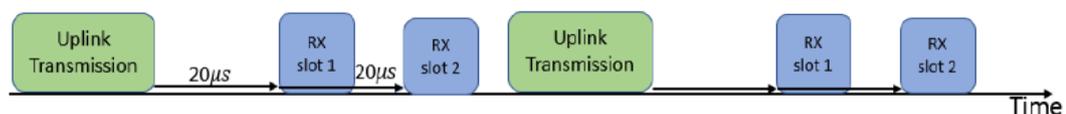


Figura N° 8: Dispositivos Finales de Clase A

Fuente: (Tsavalos & Abu Hashem, 2018)

Clase B: En esta clase, se realiza una modificación en términos de ranuras de recepción. La puerta de enlace puede dedicar una ventana de transmisión de enlace

descendente más (ranura de ping) según su necesidad en un tiempo predefinido y sincronizarse mediante marcos de baliza.(Tsavalos & Abu Hashem, 2018)

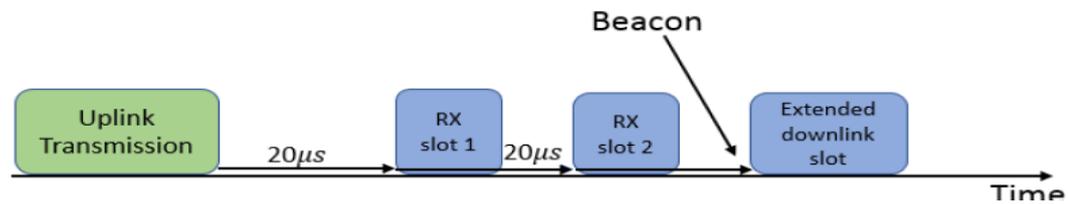


Figura N° 9: Dispositivos Finales de Clase B

Fuente: (Tsavalos & Abu Hashem, 2018)

Clase C: Los dispositivos terminales de clase C, permiten una transmisión de enlace descendente constante después de la transmisión de enlace ascendente. Los dispositivos finales consumen más energía, pero proporcionan menos latencia en el sistema. (Tsavalos & Abu Hashem, 2018)

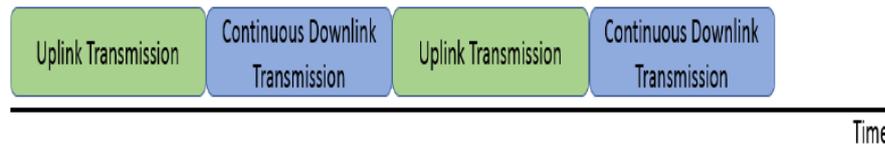


Figura N° 10: Dispositivos finales de clase C

Fuente: (Tsavalos & Abu Hashem, 2018)

Todas las clases ofrecen transmisión bidireccional. Pero no es necesario que los paquetes sean reconocidos. En el caso de dispositivos terminales de Clase A, los acuses de recibo deben enviarse durante la primera o la segunda ranura de recepción, de lo contrario, los acuses de recibo nunca se recibirán. Los dispositivos finales transmiten paquetes cuando están listos. Además, LoRaWAN ha confirmado o confirmado tipos de mensajes.(Tsavalos & Abu Hashem, 2018)

La clase A está disponible de forma predeterminada en todos los dispositivos finales. El diseño de estas clases tiene una influencia significativa en la duración de la batería.



Los dispositivos finales solo se activarán en intervalos de tiempo estrictamente predefinidos cuando tengan datos para enviar, lo que ahorra energía en comparación con la frecuente necesidad de sincronización en los sistemas celulares.(Tsavalos & Abu Hashem, 2018)

Se puede observar en este punto que LoRaWAN permite opciones de variantes que son adecuadas para diferentes aplicaciones. Esta característica otorga un equilibrio entre el consumo de energía y la latencia cuando el sistema tiene una latencia baja en el costo de un mayor consumo de energía y viceversa.(Tsavalos & Abu Hashem, 2018).

2.2.4.3. Tasa de datos adaptativa

LoRaWAN permite que los dispositivos finales utilicen una de las velocidades de datos dedicadas que se conocen como tasas de datos adaptables. Esto se puede hacer en cooperación entre los dispositivos finales y la puerta de enlace, bajo la condición de dispositivos finales casi estáticos porque los cambios en el canal de radio deberían ser demasiado lentos. (Tsavalos & Abu Hashem, 2018).

La velocidad de datos adaptable significa que la red puede optimizar y reducir el consumo de energía y utilizar el espectro de manera eficiente al usar solo el ancho de banda necesario para enviar datos. Sin embargo, esta característica califica a la red para tener una capacidad muy alta. Esto es adecuado para redes industriales debido al efecto directo en la duración de la batería de los nodos y la capacidad de la red.(Tsavalos & Abu Hashem, 2018).

Las velocidades de datos adaptables se pueden realizar mediante nodos finales o puertas de enlace a través de comandos MAC. Desde este aspecto, hay tres factores que juegan un papel importante para obtener la decisión correcta: potencia de transmisión,

factor de expansión y ancho de banda. Por lo tanto, el esquema de modulación utilizado para LoRa (espectro de dispersión del chirrido) tiene un significado esencial. (Tsavalos & Abu Hashem, 2018).

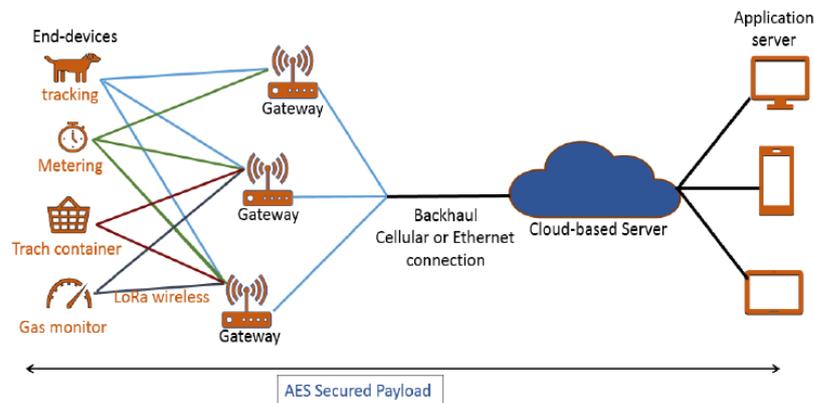


Figura N° 11: Arquitectura de Red de LoRaWAN

Fuente: (Tsavalos & Abu Hashem, 2018)

2.2.4.4. Parámetros de ancho de banda de LORAWAN en la región 2.

La banda ISM de 915 MHz (902 - 928) MHz. se dividirá en los siguientes planes de canales. (Lora Alliance, 2016).

- Upstream: 64 canales numerados del 0 al 63 utilizando LoRa 125 kHz BW que varía de DR0 a DR3, usando la velocidad de codificación 4/5, comenzando en 902.3 MHz e incrementándose linealmente por 200 kHz a 914.9 MHz
- Upstream: 8 canales numerados del 64 al 71 utilizando LoRa 500 kHz BW en DR4 comenzando en 903.0 MHz e incrementándose linealmente en 1.6 MHz a 914.2 MHz
- Downstream: 8 canales numerados del 0 al 7 utilizando LoRa 500 kHz BW en (DR8 a DR13) comenzando en 923.3 MHz e incrementándose linealmente en 600 kHz a 927.5 MHz

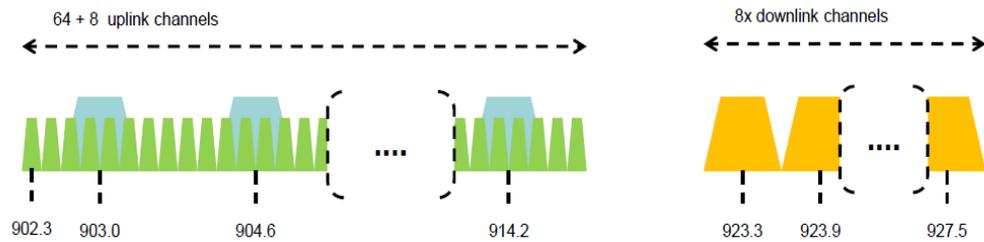


Figura N° 12: Canal de frecuencias en la región 2 (902 - 928) MHz.

Fuente: (Lora Alliance, 2016)

Los dispositivos finales de banda ISM de 915 MHz deben usar los siguientes parámetros predeterminados:

Potencia de salida de transmisión radiada predeterminada: 20 dBm.

- Los dispositivos, cuando se transmite con 125 kHz, BW puede utilizar un máximo de +30 dBm. La transmisión nunca durará más de 400 ms.
- Los dispositivos, cuando transmiten con 500 kHz BW pueden usar un máximo de +26 dBm

Los dispositivos finales US902-928 deben poder operar en la banda de frecuencia de 902 a 928 MHz y deben presentar una estructura de datos de canal para almacenar los parámetros de 72 canales. Una estructura de datos de canal corresponde a una frecuencia y un conjunto de velocidades de datos utilizables en esta frecuencia. (Lora Alliance, 2016)

Si utiliza el procedimiento de activación por aire, el dispositivo final debe transmitir el mensaje ingreso requerido alternativamente en un canal aleatorio de 125 kHz entre los 64 canales definidos con DR0 y un canal aleatorio de 500 kHz entre los 8 canales definidos con DR4. El dispositivo final debe cambiar el canal para cada transmisión. (Lora Alliance, 2016)



2.2.4.5. Seguridad en LORAWAN

LoRaWAN utiliza diferentes claves de autenticación durante el proceso de conexión entre dispositivos finales y puertas de enlace. Todas las claves tienen una longitud igual a 128 bits y se cifran utilizando el Estándar de cifrado avanzado (AES). Las claves se describen a continuación:(Tsavalos & Abu Hashem, 2018).

- La clave de integridad de sesión de red de servicio, es una clave de dispositivo final utilizada para verificar el Código de Integridad de Mensaje (MIC) de los datos de medio enlace ascendente y todos los datos de enlace descendente.
- La clave de sesión de cifrado de red, es una clave específica para que el dispositivo final descifre y cifre los comandos MAC en la transmisión de enlace ascendente y de enlace descendente.
- La clave de sesión de aplicación, es una clave de dispositivo final que es utilizada por el servidor de aplicaciones y el dispositivo final para cifrar y descifrar datos entre ellos. Estos datos están cifrados punto a punto, lo que significa que los datos están protegidos en un salto entre el dispositivo final y el servidor de aplicaciones. En caso de que una tercera parte interfiera y cambie los datos en tránsito, se creará una reacción en el servidor de aplicaciones que será tomada en cuenta por el servidor de red para evitar que se reenvíe.

Estas claves son singulares para cada sesión y para cada dispositivo final y se generan cuando se activan los dispositivos finales. Dependiendo del tipo de activación del dispositivo, las claves deben generarse y almacenarse de una manera específica para protegerse de partes malintencionadas. LoRa también forma parte del procedimiento de seguridad porque la técnica CSS, es robusta contra la interferencia de ruido y también es robusta contra usuarios malintencionados. Este método se utiliza en el caso más crítico



para proteger el contenido de los datos para la comunicación militar, lo que hace que este estándar sea más atractivo para las redes industriales de LPWAN.(Tsavalos & Abu Hashem, 2018).

2.2.5. SIGFOX

Sigfox es un operador de red LPWAN que ofrece una solución de conectividad IoT de extremo a extremo basada en sus tecnologías patentadas. Sigfox implementa sus estaciones base patentadas equipadas con radios cognitivas definidas por software y las conecta a los servidores de back-end utilizando una red basada en IP. Los dispositivos finales se conectaron a estas estaciones base mediante la modulación de modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK) en una portadora de banda ISM sub GHz de banda ultra estrecha (100 Hz) Sigfox utiliza bandas ISM sin licencia, por ejemplo, 868 MHz en Europa, 915 MHz en América del Norte y 433 MHz en Asia. Al emplear la banda ultra estrecha, Sigfox utiliza el ancho de banda de frecuencia de manera eficiente y experimenta niveles de ruido muy bajos, lo que lleva a un consumo de energía muy bajo, una alta sensibilidad del receptor y un diseño de antena de bajo costo a expensas del rendimiento máximo de solo 100 bps. Inicialmente, Sigfox solo admitía la comunicación de enlace ascendente, pero luego evolucionó a tecnología bidireccional con una asimetría de enlace significativa. La comunicación de enlace descendente, es decir, los datos de las estaciones base a los dispositivos finales solo pueden ocurrir después de una comunicación de enlace ascendente. El número de mensajes a través del enlace ascendente está limitado a 140 mensajes por día. La longitud máxima de carga útil para cada mensaje de enlace ascendente es de 12 bytes. Sin embargo, el número de mensajes a través del enlace descendente está limitado a cuatro mensajes por día, lo que significa que no se admite el reconocimiento de cada mensaje de enlace ascendente. La longitud



máxima de carga útil para cada mensaje de enlace descendente es de ocho bytes. Sin el soporte adecuado de los acuses de recibo, la fiabilidad de la comunicación de enlace ascendente se garantiza utilizando la diversidad de tiempo y frecuencia, así como la duplicación de la transmisión. Cada mensaje del dispositivo final se transmite varias veces (tres por defecto) a través de diferentes canales de frecuencia. Para este propósito, en Europa, por ejemplo, la banda entre 868.180 MHz y 868.220 MHz se divide en 400 canales ortogonales de 100 Hz (entre ellos, 40 canales están reservados y no se usan). Como las estaciones base pueden recibir mensajes simultáneamente en todos los canales, el dispositivo final puede elegir aleatoriamente un canal de frecuencia para transmitir sus mensajes. Esto simplifica el diseño del dispositivo final y reduce su costo. (Mekki et al., 2019).

2.2.6. NB IoT.

NB-IoT es una tecnología de banda estrecha IoT especificada en la versión 13 del 3GPP en junio de 2016. NB-IoT puede coexistir con GSM (sistema global para comunicaciones móviles) y LTE (evolución a largo plazo) bajo bandas de frecuencia con licencia (por ejemplo, 700 MHz, 800 MHz y 900 MHz). NB-IoT ocupa un ancho de banda de frecuencia de 200 KHz, que corresponde a un bloque de recursos en la transmisión GSM y LTE (Mekki et al., 2019). Con esta selección de banda de frecuencia, son posibles los siguientes modos de operación, como se muestra en la Figura 13:

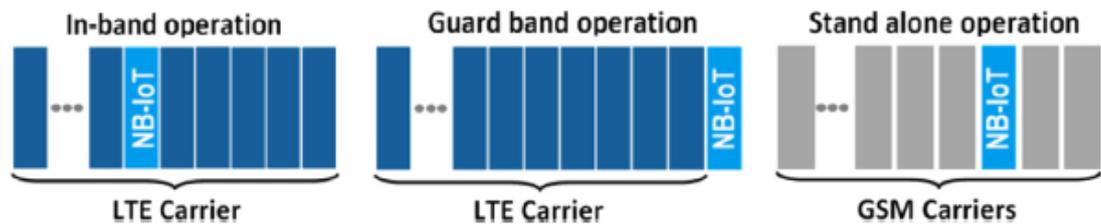


Figura N° 13: Modo de operación para NB-IoT.

Fuente: (Mekki et al., 2019)

- **Operación independiente:** un posible escenario es la utilización de bandas de frecuencias GSM actualmente utilizadas.

- **Operación de banda de protección:** utilizando los bloques de recursos no utilizados dentro de la banda de protección de un operador LTE.

- **Operación dentro de banda:** utilizando bloques de recursos dentro de un operador LTE.

Para la operación autónoma, los portadores GSM en la parte derecha de la Figura 13 se muestran como un ejemplo para indicar que la operación es posible en el despliegue de NB-IoT. De hecho, el 3GPP recomienda la integración de NB-IoT junto con las redes celulares LTE. NB-IoT puede ser compatible con solo una actualización de software además de la infraestructura LTE existente. (Mekki et al., 2019).

El protocolo de comunicación NB-IoT se basa en el protocolo LTE. De hecho, NB-IoT reduce las funcionalidades del protocolo LTE al mínimo y las mejora según sea necesario para las aplicaciones de IoT. Por ejemplo, el sistema de back-end LTE se usa para transmitir información que es válida para todos los dispositivos finales dentro de una celda. A medida que el sistema de back-end de transmisión obtiene recursos y consume



energía de la batería de cada dispositivo final, se mantiene al mínimo, tanto en tamaño como en su aparición. Fue optimizado para mensajes de datos pequeños e infrecuentes y evita las características no requeridas para el propósito de IoT, por ejemplo, mediciones para monitorear la calidad del canal, la agregación del operador y la conectividad dual. Por lo tanto, los dispositivos finales requieren solo una pequeña cantidad de batería, por lo que es rentable.(Mekki et al., 2019).

En consecuencia, la tecnología NB-IoT puede considerarse como una nueva interfaz aérea desde el punto de vista de la pila de protocolos, mientras se construye sobre la infraestructura LTE bien establecida. NB-IoT permite la conectividad de hasta 100 K dispositivos finales por celda con el potencial de ampliar la capacidad al agregar más portadores NB-IoT. NB-IoT utiliza el acceso múltiple por división de frecuencia de una sola portadora (FDMA) en el enlace ascendente y FDMA ortogonal (OFDMA) en el enlace descendente, y emplea la modulación de modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK). La velocidad de datos está limitada a 200 kbps para el enlace descendente y a 20 kbps para el enlace ascendente. El tamaño máximo de carga útil para cada mensaje es de 1600 bytes. Como se discutió en la tecnología NB-IoT puede alcanzar 10 años de vida útil de la batería al transmitir 200 bytes por día en promedio.(Mekki et al., 2019).

La mejora de NB-IoT continúa con la versión 15 del 3GPP. De acuerdo con el plan actual del 3GPP, el NB-IoT se ampliará para incluir métodos de localización, servicios de multidifusión (por ejemplo, actualización de software de dispositivos finales y mensajes relacionados con un grupo completo de dispositivos finales), movilidad, así como más detalles técnicos para mejorar las aplicaciones. de la tecnología NB-IoT.(Mekki et al., 2019).

2.2.7. LG 01-S Gateway con tecnología LoRa

El LG01-S es un LoRa Gateway de un solo canal de código abierto. Le permite conectar la red inalámbrica LoRa a una red IP a través de WiFi, Ethernet, celular 3G o 4G. El LoRa inalámbrico permite a los usuarios enviar datos y alcanzar rangos extremadamente largos a bajas velocidades de datos. Proporciona comunicación de espectro extendido de rango ultra largo e inmunidad de alta interferencia. (Dragino, n.d.)

LG01-S puede admitir el **protocolo LoRaWAN** en frecuencia única y el protocolo de transmisión LoRa personalizado. LG01-S tiene interfaz WiFi, puerto Ethernet y puerto USB host. Estas interfaces proporcionan métodos flexibles para que los usuarios conecten sus redes de sensores a Internet. (Dragino, n.d.)

LG01-S ejecuta el sistema Open Source OpenWrt, el usuario puede modificar el archivo fuente o compilar el sistema para admitir sus aplicaciones personalizadas. (Dragino, n.d.)



Figura N° 14: Imagen del Gateway LG01-s (modulo servidor)

Fuente: (Dragino, n.d.)



2.2.7.1. Características:

- Sistema de código abierto OpenWrt.
- Bajo consumo de energía
- Actualización de firmware vía web
- Software actualizable a través de la red
- Aprovisionamiento automático
- Servidor web incorporado
- Administrado por Web GUI, SSH a través de LAN o WiFi
- Admite WiFi AP, cliente o modo Ad-Hoc (malla)
- Conexión a Internet a través de LAN, WiFi, 3G o 4G
- El diseño a prueba de fallos proporciona un sistema robusto
- Arduino IDE compatible. Fácil de programar
- Banda LoRa disponible a 433/868/915/920 MHz
- Alcance máximo en LoRa: 5 ~ 10 km
- RSSI: -30, -120 (dBm)

2.2.7.2. Aplicaciones:

- Sistemas inalámbricos de alarma y seguridad
- Domótica y Automatización de Edificios
- Lectura automatizada de medidores
- Monitoreo y control industrial
- Sistemas de riego de largo alcance
- Rastreador GPS, etc.

Dragino LoRa Gateway for IoT Applications

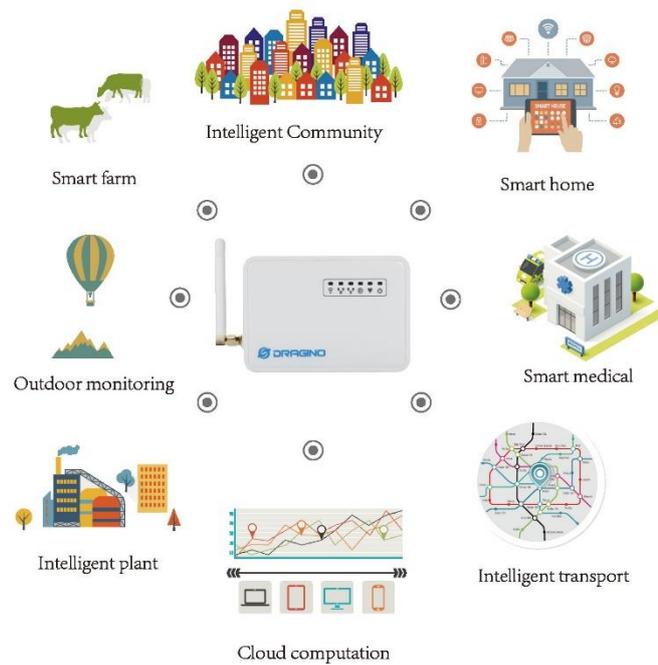


Figura N° 15: Gateway para aplicaciones IoT.

Fuente: (Dragino, n.d.)

MCU / LoRa Side:

- MCU: ATmega328P
- Flash: 32 KB, RAM: 2 KB
- Chip LoRa: SX2176 / 78

Interfaces:

- 10M / 100M Puertos RJ45 x 2
- WiFi: 802.11 b / g / n
- LoRa Wireless
- Entrada de energía: 12V DC
- Conector host USB 2.0 x 1
- Interfaz interna del host USB 2.0 x 1

- Terminal de tornillo de 14 posiciones(Dragino, n.d.)

2.2.8. Dragino LoRa shield

El Shield de LPWAN es un transceptor de largo alcance en un factor de forma de Arduino Shield y se basa en la biblioteca de código abierto. Permitiendo al usuario enviar datos y alcanzar rangos extremadamente largos a bajas tasas de datos. Proporciona un espectro de espectro ultra largo. Comunicación y alta inmunidad a interferencias minimizando el consumo de corriente eléctrica. El Shield, es basado en SX1276 / SX1278, se enfoca en aplicaciones de redes de sensores inalámbricos profesionales tales como sistemas de irrigación, medición inteligente, ciudades inteligentes, detección de teléfonos inteligentes, automatización de edificios, etc. Utilizando la técnica de modulación LoRa puede lograr una sensibilidad de más de -148dBm utilizando un cristal de bajo costo y una lista de materiales. La alta sensibilidad combinada con el amplificador de potencia integrado de +20 dBm produce un presupuesto de enlace líder en la industria que lo hace óptimo para cualquier aplicación que requiera rango o robustez. LoRa también proporciona ventajas significativas tanto en el bloqueo como en la selectividad sobre las técnicas de modulación convencionales, resolviendo el compromiso de diseño tradicional entre rango, inmunidad a interferencias y consumo de energía.(Crespo, 2018).



Figura N° 16: Shield LPWAN.

Fuente:(Crespo, 2018)



Estos dispositivos también admiten modos FSK de alto rendimiento para sistemas que incluyen WMBus, IEEE802.15.4g, también ofrece un excepcional ruido de fase, selectividad, linealidad del receptor y IIP3 para un consumo de corriente significativamente menor que los dispositivos de la competencia, brindando las siguientes especificaciones técnicas:

- Presupuesto de enlace máximo de 168 dB.
- Salida de RF constante de +20 dBm - 100 mW vs.
- PA de alta eficiencia de +14 dBm.
- Velocidad de bits programable hasta 300 kbps.
- Alta sensibilidad: hasta -148 dBm.
- Parte frontal a prueba de balas: IIP3 = -12.5 dBm.
- Excelente inmunidad al bloqueo.
- Baja corriente de RX de 10.3 mA, retención de registro de 200 nA.
- Sintetizador totalmente integrado con una resolución de 61 Hz.
- FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRaTM y modulación OOK.
- Sincronizador de bits incorporado para la recuperación del reloj.
- Detección de preámbulos.
- Rango dinámico de 127 dB RSSI.
- Sentido RF automático y CAD con AFC ultrarrápido.
- Motor de paquetes de hasta 256 bytes con CRC.(Crespo, 2018).

2.2.9. Sensor DHT11 (temperatura y humedad)

El DHT11 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y fácil uso. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee



salida analógica). Utilizado en aplicaciones académicas relacionadas al control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo ambiental en agricultura y más.(Naylampmechatronics, n.d.).

Utilizar el sensor DHT11 con las plataformas Arduino/Raspberry Pi/Nodemcu es muy sencillo tanto a nivel de software como hardware. A nivel de software se dispone de librerías para Arduino con soporte para el protocolo "Single bus". En cuanto al hardware, solo es necesario conectar el pin VCC de alimentación a 3-5V, el pin GND a Tierra (0V) y el pin de datos a un pin digital en nuestro Arduino. Si se desea conectar varios sensores DHT11 a un mismo Arduino, cada sensor debe tener su propio pin de datos. Quizá la única desventaja del sensor es que sólo se puede obtener nuevos datos cada 2 segundos. Cada sensor es calibrado en fábrica para obtener unos coeficientes de calibración grabados en su memoria OTP, asegurando alta estabilidad y fiabilidad a lo largo del tiempo. El protocolo de comunicación entre el sensor y el microcontrolador emplea un único hilo o cable, la distancia máxima recomendable de longitud de cable es de 20m., de preferencia utilizar cable apantallado. Proteger el sensor de la luz directa del sol (radiación UV).(Naylampmechatronics, n.d.).

En comparación con el DHT22 y DHT21, este sensor es menos preciso, menos exacto y funciona en un rango más pequeño de temperatura / humedad, pero su empaque es más pequeño y de menor costo.(Naylampmechatronics, n.d.).

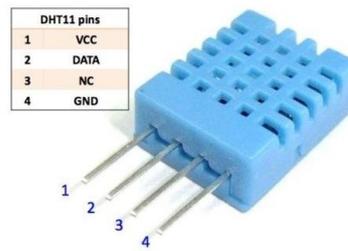


Figura N° 17: Sensor de temperatura y humedad - DHT11.

Fuente: www.naylammechatronics.com

2.2.10. ThingSpeak

ThingSpeak es un servicio de plataforma de análisis de IoT que le permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en vivo en la nube. Puede enviar datos a ThingSpeak™ de sus dispositivos, crear visualizaciones instantáneas de datos en tiempo real, y enviar alertas mediante servicios web como Twitter® y Twilio®. Con el análisis MATLAB® dentro de ThingSpeak, puede escribir y ejecutar código MATLAB para realizar pre-procesamiento, visualizaciones y análisis. ThingSpeak permite a los ingenieros y científicos crear prototipos y construir sistemas IoT sin configurar servidores o desarrollar software web.(MATHWORKS, n.d.).



Figura N° 18: Interfaz WEB de ThingSpeak.

Fuente: (MATHWORKS, n.d.)



2.2.11. Arduino

Arduino es una plataforma abierta que facilita la programación de un microcontrolador. Los microcontroladores nos rodean en nuestra vida diaria, usan los sensores para escuchar el mundo físico y los actuadores para interactuar con el mundo físico. Los microcontroladores leen de los sensores y escriben sobre los actuadores.(Arduino, 2018).

El hardware de Arduino consiste en una placa con un microcontrolador generalmente Atmel AVR con puertos de comunicación y puertos de entrada/salida. Los microcontroladores más usados en las plataformas Arduino son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, ATmega8 por su sencillez, pero se está ampliando a microcontroladores Atmel con arquitectura ARM de 32 bits y también a microcontroladores de Intel.(Arduino, 2018).

Por otro lado Arduino nos proporciona un software consistente en un entorno de desarrollo (IDE) que implementa el lenguaje de programación de arduino, las herramientas para transferir el firmware al microcontrolador y el bootloader ejecutado en la placa. La principal característica del software y del lenguaje de programación es su sencillez y facilidad de uso.(Arduino, 2018).

Arduino promete ser una forma sencilla de realizar proyectos interactivos para cualquier persona. Para alguien que quiere hacer un proyecto, el proceso pasa por descargarnos e instalar el IDE buscar un poco por internet y simplemente hacer “corta y pega” del código que nos interese y cargarlo en nuestro HW. Luego hacer los cableados correspondientes con los periféricos y ya tenemos interaccionando el software con el

Hardware. Todo ello con una inversión económica mínima: el coste del Arduino y los periféricos. (Arduino, 2018).



Figura N° 19: Arduino Uno.

Fuente: (Arduino, 2018)

2.2.12. Actuador

Los Actuadores, son otros dispositivos que dentro del *IoT* tienen la función de actuar, precisamente, cuando se sobrepasa en más o en menos un límite previamente parametrizado. El **actuador** es el dispositivo final, lógico, transforma las señales eléctricas de aviso en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Por ejemplo, un motor básico que se puede utilizar para mover o controlar un mecanismo o sistema, basado en un conjunto específico de instrucciones.(Tuatara, 2015).

Los actuadores pueden realizar una función electromecánica, es decir, hacer que las cosas sucedan. Un tipo de actuador es una válvula, utilizada para controlar el sistema hidráulico. Hay tres tipos de actuadores utilizados en la *IoT*:

- Hidráulica: utiliza la presión del líquido para realizar el movimiento mecánico, se emplean cuando se necesita potencia.



- Neumáticos: utiliza aire comprimido a alta presión para permitir el funcionamiento mecánico.
- Eléctrico: impulsado por un motor que convierte la energía eléctrica para el funcionamiento mecánico.(Tuatara, 2015).

La función básica de un actuador es recibir una señal, y en base a esa señal, realice una acción de conjunto. Los actuadores no procesan los datos, sino que ejecutan directivas, acción realizada por el actuador causada por una señal desde el controlador.(Tuatara, 2015).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. Hardware

- Ordenador para programación (laptop).

Modelo: HP 250

Procesador: Intel(R) Core(TM) i5-2430 2.40GHz

Memoria instalada (RAM): 4.00GB de RAM.

Tipo de sistema: Sistema Operativo de 64 bits Windows 10

- Tuberías PVC de 2”.
- 3 electroválvulas de 2”.
- 3 sensores de temperatura y humedad.
- 1 Dragino Gateway.
- 3 Módulos nodos LoRa.
- Baterías de 5 v.
- Módulo de relés.

3.1.2. Software

- Sistema Operativo de 64 bits Windows 10.
- Microsoft Office 2016 profesional.



- Block de notas de Windows.
- Arduino IDE.
- Navegador google Chrome.

3.2. DISEÑO, NIVEL Y TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Diseño de la investigación

Esta investigación es experimental ya que se utilizará experimentos y los principios encontrados en el método científico. Los experimentos pueden ser llevados a cabo en un laboratorio de telecomunicaciones. Estos generalmente involucran un número relativamente pequeño de procesos y abordan una pregunta bastante enfocada. Los experimentos son más efectivos para la investigación explicativa y frecuentemente están limitados a temas en los cuales el investigador puede manipular la situación en la cual los elementos se hallan. Los experimentos se realizarán enviando y recibiendo información desde el cliente al servidor, un cliente puede tener un actuador o un sensor, el servidor también podrá usar un sensor o un actuador, lo importante es que los valores de un sensor en un cliente puedan reflejarse en el lado del servidor y éste luego pueda procesar los datos para tomar decisiones. La evaluación del desempeño tiene dos aspectos principales: la eficiencia computacional; y la exactitud del algoritmo, sin embargo, este proceso de validación será definido en el momento de obtener los resultados de la investigación, en su fase final.

3.2.2. Nivel de la investigación

El nivel de la presente investigación es exploratorio, buscando abrir nuevos caminos en el desarrollo del conocimiento humano. Siendo el presente un diseño de un sistema de riego aplicando tecnologías de comunicación de área extensa y baja potencia.



3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. Población

Siendo la población el conjunto de las entidades, o cosas respecto a las cuales se basa las conclusiones de una investigación, para nuestro caso la población total consta de una parte de la “PARCELA N° 453 de la irrigación Majes – Sigvas I – el pedregal - Arequipa” El área total es de 15000 metros cuadrados con las siguientes medidas (300 metros de largo y 50 metros de ancho).

3.3.2. Muestra

Se define la muestra como parte que se estudia y es representativa de la población, es decir un segmento que tiene las características y propiedades de la población, por tanto, se considerará como un muestreo no probabilístico y estará conformada por una sola hectárea y media de prueba y donde se obtendrán muestras en 3 puntos determinados. La muestra no servirá para hacer generalizaciones, pero sí para el estudio exploratorio. Por tanto las muestras fueron tomadas en 3 puntos de la población total, primer punto denominado modulo cliente 1 ubicado a 40 m. con respecto al módulo servidor, sus coordenadas son: (LAT.: -16.386158, LONG.: -72.169131), Segundo punto denominado modulo cliente 2 ubicado a 130 m. con respecto al módulo servidor, sus coordenadas son: (LAT.: -16.386671, LONG.: -72.169457) Y tercer punto denominado modulo cliente 3 ubicado 260 m. con respecto al módulo servidor, sus coordenadas son: (LAT.: -16.387379, LONG.: -72.170019) Cabe resaltar que la ubicación del módulo servidor se encuentra en una caseta en el extremo de la población total, con las siguientes coordenadas (LAT.: -16.386286, LONG.: -72.168342).

3.4. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Ubicación

El proyecto y las pruebas del prototipo se realizaron específicamente en la parcela N° 453, del asentamiento El Alto – Irrigación Majes - Sigvas I del distrito de Majes, Provincia Caylloma – Arequipa.

Dadas por las siguientes coordenadas.

LATITUD: -16.386250° , LONGITUD: -72.168480°



Figura N° 20: Ubicación de la parcela N° 453 en la Irrigación Majes sigvas I.

Fuente: Google Earth.



3.5. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la presente investigación se diseñó e implementó un sistema de comunicación de largo alcance en una red de área amplia, pero usando baja potencia, esta investigación consta de cuatro etapas que se describen a continuación.

1ª etapa: en esta etapa trata esencialmente en la búsqueda de información, consulta bibliográfica y sitios web, sobre plataformas de desarrollo, elección de componentes y técnicas o métodos de implementación para el diseño de la red.

2ª etapa: comprende el diseño de la red acorde al modelo de comunicación LoRaWAN.

3º etapa: ya diseñada la topología de la red, se inicia con la implementación del sistema planteado con los materiales y/o componentes requeridos

4ª etapa: comprende la obtención de datos y el proceso de verificación, que consiste en analizar los resultados, para luego ver el funcionamiento a través de la nube.

3.6. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos se refiere a cómo y qué medios se usan para la obtención de la información, que será de utilidad para la corroboración de nuestras hipótesis, por lo tanto, resumimos este apartado de la siguiente forma:

Tabla N° 2: Técnicas e instrumentos para recolección de datos.

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Consultas bibliográficas y de bases de datos.	Papers, foros, blogs, libros, video-tutoriales y más fuentes de información publicadas en Internet.
Observación de pruebas finales.	Fotografías, capturas a la pantalla, comunicación LoRaWAN, memorias de almacenamiento, Arduino y apuntes de simulaciones.

Elaborado por el equipo de trabajo

3.7. PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO

Como bien se indica en el objetivo de esta investigación, es diseñar e implementar un sistema de riego basado en internet de las cosas aplicando la tecnología LPWAN, en tal sentido, en esta sección se presentara el procedimiento para el diseño del prototipo el cual cuenta con cuatro módulos de comunicación mediante la tecnología ya mencionada, la distribución de éstas, es colocando un módulo en el canal de riego el cual tendrá la función de servidor (en adelante especificado como, módulo servidor), recibiendo la información enviada por los sensores del segundo, tercer y cuarto módulo (en adelante descrito como, módulo cliente1, modulo cliente 2, modulo cliente 3); el cual será dispuesto al interior del cultivo emitiendo los rangos de temperatura y humedad. Además de recibir la información enviada por los módulos clientes, el módulo servidor tiene el trabajo de



procesar la información y a partir de ella, tomará la decisión de activar o desactivar las electroválvulas para dar ingreso al agua. Los actuadores entonces son las electroválvulas que necesitan de un circuito de potencia para que puedan funcionar.

Teniendo en cuenta que únicamente se consideró, las variables de humedad y temperatura. Considerando que el rango de Humedad se toma de 0% a 100%, siendo 0 un punto totalmente árido y 100% un punto totalmente húmedo. En el sistema que se desarrolló se toma como referencia el 60% de humedad, quiere decir que, si el cliente recopila un valor menor a 60% de humedad, el actuador (electro válvula) tiende a encenderse y si en caso opuesto la humedad sea mayor del 60% el actuador tiende a apagarse.

La temperatura se considera solo como un dato y no se toman acciones a partir de ello, quiere decir que, el modulo servidor no tomará alguna decisión para activar o desactivar el actuador (electroválvula) basándose en la temperatura, pero si nos servirá para monitorear dicha variable.

Se debe tener en cuenta que el agua para el riego de los cultivos en la irrigación MAJES-SIGUAS I solo es accesible en un horario determinado siendo desde las 7:00 – 17:00 horas aproximadamente y a su vez no está permitido el almacenaje de dicho elemento tipo reservorio.

Para alimentar los módulos cliente se consideró una batería de 5 v. y 1 ampere para su funcionamiento.

El sistema que se desarrolló está ubicado en una zona que no está propensa a descargas eléctricas, así que no se consideró la puesta tierra, como método de protección a los equipos.

El presente proyecto de investigación está orientado al despliegue del internet de las cosas aplicando tecnologías LPWAN, sin estudiar a profundidad las propiedades de los cultivos.

3.8. DISEÑO DE LA RED

3.8.1. Módulo cliente

El módulo cliente como bien se mencionó, tiene la función de transmitir los datos obtenidos mediante el sensor de temperatura y humedad. El módulo está compuesto por una placa de Arduino UNO R3, junto al Shield para la transmisión con la tecnología LORAWAN y adicionado con un sensor DHT11.

Las conexiones realizadas en placa de Arduino fueron de la siguiente manera.

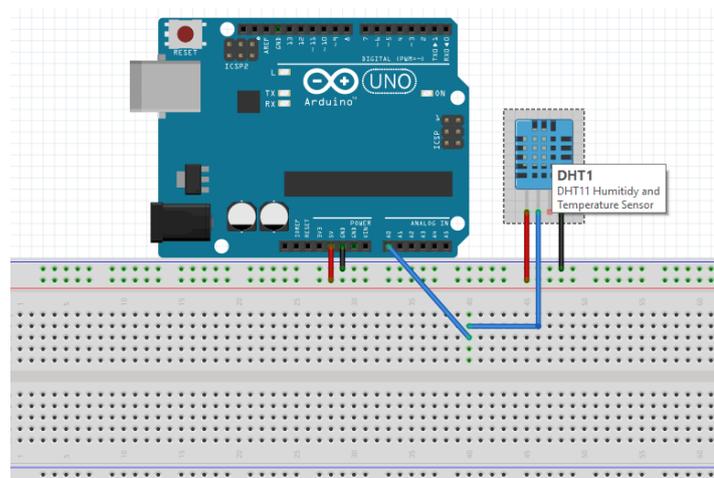


Figura N° 21: Diagrama gráfico de las conexiones en la placa Arduino.

Elaborado por el equipo de trabajo

El sensor DHT11 viene siendo un componente digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y fácil uso. En cuanto al hardware, solo es necesario conectar el pin VCC de alimentación a 3-5V, el pin GND a Tierra (0V) y el pin de datos a un pin digital en nuestro Arduino (ver figura 13). Es posible conectar varios sensores DHT11 a un

mismo Arduino, cada sensor debe tener su propio pin de datos. El protocolo de comunicación entre el sensor y el microcontrolador emplea un cable, la distancia máxima recomendable de longitud de cable es de 20m.

En la siguiente imagen se puede observar el cliente provisto de un cable de alimentación, conectado una fuente de poder basada en una batería, se puede apreciar otros cables que ingresan debajo de la manta protectora de un sistema de riego por goteo para el cultivo del zapallo; éstos cables están conectando las entradas analógicas del microcontrolador con los sensores de temperatura y humedad.



Figura N° 22: Cliente ubicado junto a la manta protectora.

Elaborado por el equipo de trabajo

La siguiente imagen hace un acercamiento para el detalle del cable que conecta los sensores debajo de la manta protectora del sistema de riego por goteo.



Figura N° 23: Cables que conectan a los sensores ubicados debajo de la manta protectora.

Elaborado por el equipo de trabajo

Cuando se levanta la manta protectora del sistema de riego se puede observar que los sensores se ubican junto a la manguera de riego por goteo, esta ubicación es más conveniente para el funcionamiento del sistema.

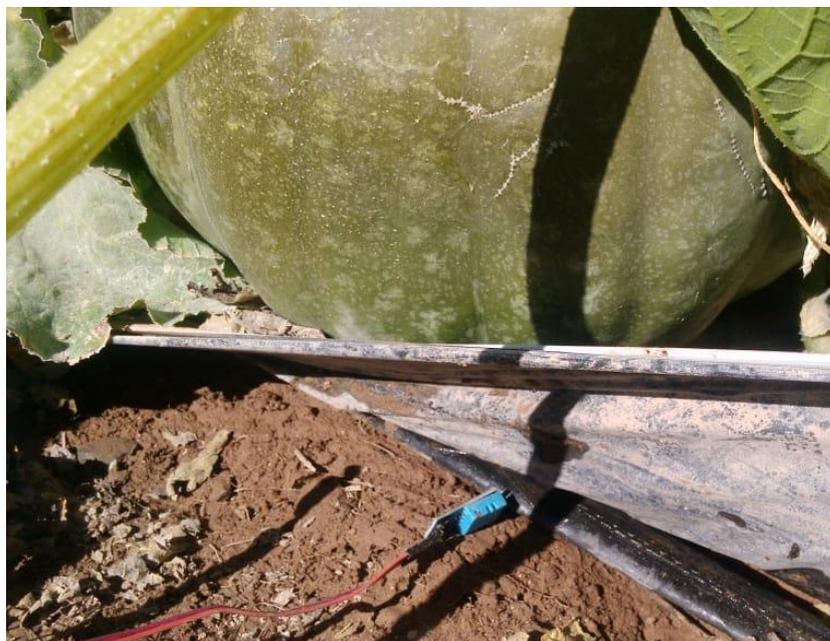


Figura N° 24: Sensores ubicados junto a la manguera de riego por goteo.

Elaborado por el equipo de trabajo

Se puede apreciar en la siguiente figura que el cliente está en el suelo de cultivo y la línea de vista con el servidor no se establece, pero la conectividad es satisfactoria.



Figura N° 25: No existe línea de vista entre el cliente y el servidor.

Elaborado por el equipo de trabajo

También se realizaron pruebas en una zona elevada para poder realizar la conexión entre el servidor y cliente, se puede apreciar en la siguiente figura que el servidor está en una zona elevada y aun así la línea de vista con el cliente no se establece. Sin embargo, en ambos casos, cuando el servidor está ubicado junto a la válvula de agua, o si está ubicado en una zona elevada, la conectividad es satisfactoria gracias a esta nueva tecnología de comunicación.



Figura N° 26: Servidor ubicado en una zona elevada.

Elaborado por el equipo de trabajo



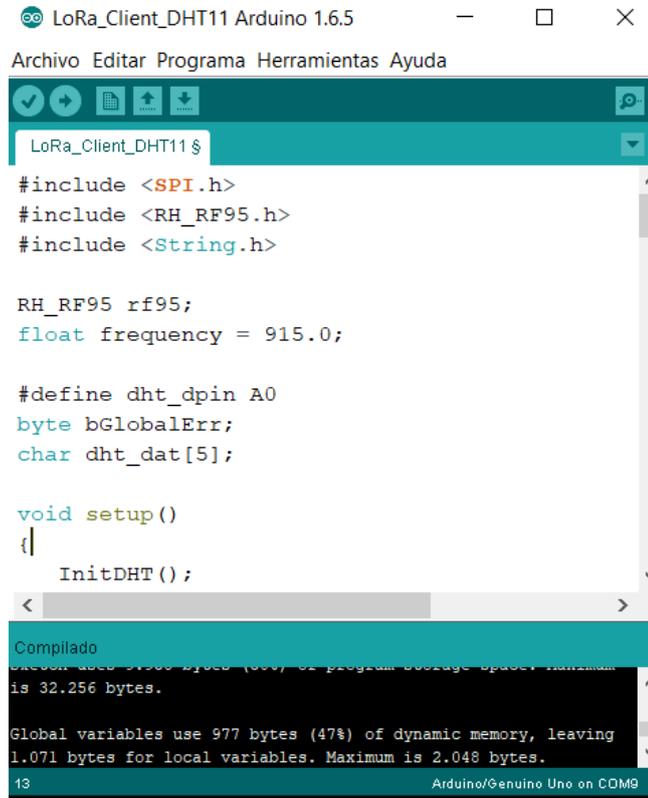
Figura N° 27: Servidor ubicado junto a la válvula de agua.

Elaborado por el equipo de trabajo

3.8.1.1. Programación del modulo.

La programación realizada consta de 120 líneas incluyendo las líneas de comentario, el tamaño es de 977 bytes. Para cargar la programación al Arduino se conecta al COM9

de la computadora, tal como indica en la figura siguiente. La programación cuenta con las siguientes librerías las cuales son: **SPI**, **RH_RF95** y **String**.



```
LoRa_Client_DHT11 Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
LoRa_Client_DHT11 $
#include <SPI.h>
#include <RH_RF95.h>
#include <String.h>

RH_RF95 rf95;
float frequency = 915.0;

#define dht_dpin A0
byte bGlobalErr;
char dht_dat[5];

void setup()
{
  InitDHT();
}

Compilado
Sketch uses 3156 bytes (60%) of program storage space. Maximum is 32.256 bytes.
Global variables use 977 bytes (47%) of dynamic memory, leaving 1.071 bytes for local variables. Maximum is 2.048 bytes.
13 Arduino/Genuino Uno on COM9
```

Figura N° 28: Programación de la placa Arduino.

Elaborado por el equipo de trabajo

La frecuencia de transmisión se establece a 915 MHz mediante el comando *float frequency = 915.0;* seleccionado esta frecuencia se da inicio a la función *setup ()* – siendo la primera función en ejecutarse dentro de un programa es básicamente, donde se «setean» las funciones que llevará a cabo el microcontrolador. En esta función es donde establecemos algunos criterios que requieren una ejecución única. Comienza la comunicación serial. Además, en las 6 últimas filas de la función se incluyen los siguientes comandos:

```
rf95.setFrequency(frequency);
rf95.setTxPower(13);
rf95.setSpreadingFactor(7);
```



```
rf95.setSignalBandwidth(125000);  
rf95.setCodingRate4(5);  
rf95.setSyncWord(0x34);
```

Las cuales son encargadas de configurar la frecuencia establecida en el inicio, configurar la potencia de transmisión, configurar el factor de propagación, configurar el ancho de banda y también la tasa de codificación.

```
ReadDHT();  
uint8_t data[50] = {0} ;  
data[0] = 1 ;  
data[1] = 1 ;  
data[2] = 1 ;  
data[3] = dht_dat[0];  
data[4] = dht_dat[2];  
rf95.send(data, sizeof(data));
```

En la anterior extracción del código se ejecuta la función ReadDHT en la cual se extrae la información recolectada por los sensores hacia el microcontrolador, posteriormente estos datos se envían con un identificador la cual será utilizada para reconocer en el módulo del servidor.

Los datos recibidos por el sensor se pueden visualizar en conectándose mediante el puerto serial. En este caso solo se muestra únicamente datos del sensor más no del estado de la señal ya que esta función corresponde al servidor.

3.8.2. Módulo servidor

La función del módulo servidor es de recibir los datos enviados por el modulo cliente las cuales corresponden a información recolectada por el sensor; además tiene la acción

de activar y desactivar las electroválvulas conectadas mediante una etapa de potencia a las salidas de este. Los datos recibidos, la acción realizada y el indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI) será mostrada en la conexión serial en un ordenador.

Este módulo comprende de una placa desarrollado por Dragino Technology Co. el mismo que guarda la relación con una placa de Arduino Yun, además la placa Dragino tiene integrado un transpondedor para comunicar en la tecnología LPWAN; el módulo también se adiciona con circuito de potencia para accionar la electroválvula. Cabe resaltar que esta también se comunica con un ordenar mediante la red local ya sea que el módulo esté conectado mediante Wifi o Ethernet.

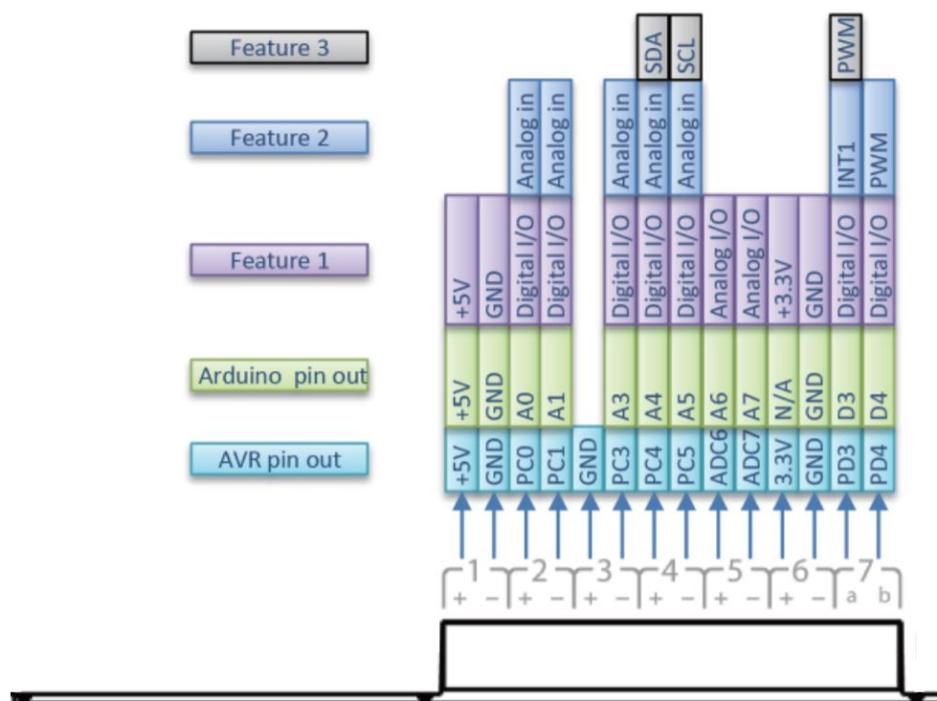


Figura N° 29: Pines de salida de la placa Dragino.

Fuente: (Dragino, n.d.)

Las conexiones realizadas en el módulo servidor se realizaron adicionando al pin A0 de la placa Dragino una etapa de potencia la cual tiene como objeto encender a la electroválvula. Las salidas de la placa Dragino es perfectamente útil para controlar cargas

que no consuman demasiada corriente, como un Led, pero son insuficientes para cargas mayores. Para realizar la conexión con la electroválvula, será necesario conectar un circuito de potencia en la salida. Este circuito es el módulo de relés de arduino, el esquemático se muestra en la figura siguiente.

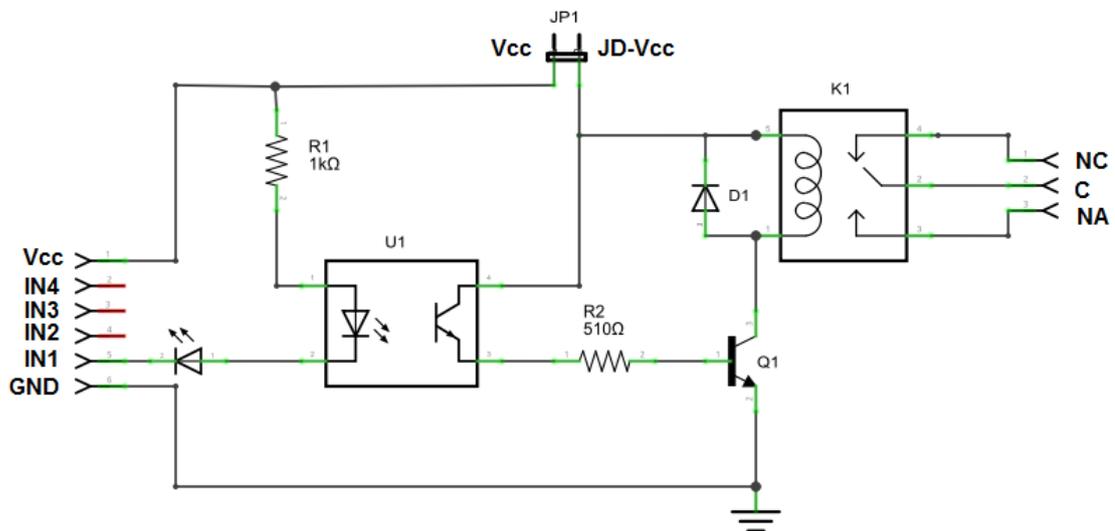


Figura N° 30: Diagrama esquemática del módulo relé.

Fuente: (Ernesto, 2015)

El circuito trata de un módulo relé (o relay) que funcionan a 5 Voltios, capaces de manejar cargas de hasta 10 Amperes en 250 Voltios, convenientemente aislados mediante optoacopladores de las entradas, las que cuentan con leds individuales que sirven como indicadores de estado. la placa tiene un conector de entrada (IN1) y alimentación (GND es masa o negativo y Vcc es el positivo), cuatro leds que indican el estado de las entradas, un jumper selector para la alimentación del relé, optoacoplador del tipo FL817C, diodos de protección, relé marca SONGLE con bobinas de 5V y contactos capaces de controlar hasta 10 Amperes en una tensión de 250V y borneras, con tres contactos (común, normal abierto y normal cerrado), para las salidas de los relés. Se pierde la aislación eléctrica que brindan los optoacopladores, lo que disminuye la posibilidad de daño a la placa si hay algún problema con las cargas de los relés. La corriente consumida por las bobinas de los

relés debe ser provista por la placa. Cada bobina consume unos 90 mA, es muy mínimo de los 500 mA que puede suministrar un puerto USB.

3.8.2.1. Programación del módulo.

La programación realizada consta de 117 líneas incluyendo las líneas de comentario, el tamaño es de 977 bytes. Para cargar la programación al Arduino se conecta al COM9 de la computadora, tal como indica en la siguiente figura. La programación cuenta con las siguientes librerías las cuales son: **SPI**, **RF_RF95**, **Console** y **Process**.

Figura N° 31: Programación de la placa Arduino como servidor.

Elaborado por el equipo de trabajo

La frecuencia de transmisión se establece a 915 MHz mediante el comando *float frequency = 915.0;* seleccionado esta frecuencia se da inicio a la función *setup ()*. En esta función nuestro programa da inicio a la comunicación con el sensor puente, se determina



la función del puerto A0 este será utilizado para el accionamiento de la electroválvula.

También en las 6 últimas filas de la función se incluyen los siguientes comandos:

```
rf95.setFrequency(frequency);  
rf95.setTxPower(13);  
rf95.setSpreadingFactor(7);  
rf95.setSignalBandwidth(125000);  
rf95.setCodingRate4(5);  
rf95.setSyncWord(0x34);
```

Las cuales también son encargadas de configurar la frecuencia establecida en el inicio, configurar la potencia de transmisión, configurar el factor de propagación, configurar el ancho de banda y también la tasa de codificación.

Posteriormente se inicia la función loop, significa lazo o bucle. La función loop en Arduino es la que se ejecuta un número infinito de veces. Al encenderse el Arduino se ejecuta el código del setup y luego se entra al loop, el cual se repite de forma indefinida hasta que se apague o se reinicie el microcontrolador. En esta función en primero se determina si hay la comunicación y posteriormente se recibe los datos recibidos por el modulo cliente, obtenido los datos se determina el identificador que corresponde al módulo cliente en donde, la siguiente acción realizada viene mostrar estos datos a través de la consola; finalmente se realiza una comparación para activar o desactivar las electroválvulas, de la siguiente manera.



```
if ((b >= 15) || (a <= 60))  
{  
    digitalWrite (led,HIGH);  
    Console.println("ACTUADOR IS: ON  
");  
}  
else  
{  
    digitalWrite (led,LOW);  
    Console.println("ACTUADOR IS:  
OFF");  
}
```

Donde a, es los datos correspondientes a la humedad y b corresponde a la temperatura. El propósito de la comparación viene siendo que cuando la temperatura sobre pase los 15 grados Centígrados o la humedad sea menor a 60 %, se activara las electro válvulas, caso contrario permanecerán apagadas.

Para determinar el estado de la señal entre el modulo servidor y cliente es mediante la siguiente línea de comandos;

```
Console.print("RSSI: ");  
Console.println(rf95.lastRssi(), DEC);
```

El indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI por las siglas del inglés Received Signal Strength Indicator), viene siendo una escala de referencia (en relación a 1 mW) para medir el nivel de potencia de las señales recibidas por un dispositivo en las redes inalámbricas (típicamente WIFI o telefonía móvil). La escala tiene al valor 0 (cero) como centro; y representa 0 RSSI o 0 dBm. Aunque teóricamente puede darse el caso de medirse valores positivos, generalmente la escala se expresa dentro de valores negativos; cuanto más



negativo, mayor pérdida de señal. El RSSI indica intensidad recibida, no calidad de señal; ya que esta última se determina contrastando la intensidad de la señal respecto de la relación señal/ruido (Eb/No). Puede interpretarse los siguientes valores en una escala de 0 a -80 RSSI:

- 0: señal ideal, difícil de lograr en la práctica.
- -40 a -60: señal idónea con tasas de transferencia estables.
- -60: enlace bueno; ajustando la transmisión (Tx) se puede lograr una conexión estable al 80%.
- -70: enlace medio-bajo; es una señal medianamente buena, aunque se pueden sufrir problemas con lluvia y viento.
- -80: es la señal mínima aceptable para establecer la conexión; pueden ocurrir caídas que se traducen en corte de comunicación (pérdida de llamada, pérdida de datos), mensajes sms corruptos (ilegibles), etc.

Para establecer comunicación con la placa Dragino se ingresó el siguiente link: http://www.dragino.com/downloads/downloads/YunShield/package_dragino_yun_test_index.json; el cual se agrega en la pestaña *Archivo*, opción preferencias, en la pestaña emergente se ingresa el link en la línea *Additional Boards Manager URLs*; de esta manera se podrá conectar la placa. La conexión viene siendo por el puerto de red, mediante el interfaz de Wifi, con lo que está conectado la placa con la red, estableciéndose la dirección 192.168.0.23.

```
Símbolo del sistema
C:\Users\ >ping 192.168.0.23

Haciendo ping a 192.168.0.23 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.23: bytes=32 tiempo=5ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.23: bytes=32 tiempo=3ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.23: bytes=32 tiempo=4ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.23: bytes=32 tiempo=3ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.0.23:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 3ms, Máximo = 5ms, Media = 3ms

C:\Users\ >arp -a

Interfaz: 192.168.0.14 --- 0xa
Dirección de Internet      Dirección física      Tipo
192.168.0.1                00-00-ca-11-22-33    dinámico
192.168.0.3                48-c7-96-76-05-a9    dinámico
192.168.0.10               70-bb-e9-d7-84-49    dinámico
192.168.0.20               14-96-e5-aa-ab-1f    dinámico
192.168.0.23               a8-40-41-19-36-f4    dinámico
192.168.0.255              ff-ff-ff-ff-ff-ff    estático
224.0.0.22                 01-00-5e-00-00-16    estático
224.0.0.251                01-00-5e-00-00-fb    estático
224.0.0.252                01-00-5e-00-00-fc    estático
224.0.0.253                01-00-5e-00-00-fd    estático
239.255.255.250            01-00-5e-7f-ff-fa    estático
255.255.255.255            ff-ff-ff-ff-ff-ff    estático
```

Figura N° 32: Prueba de ping realizada con la placa Dragino mediante la red local.

Elaborado por el equipo de trabajo

3.9. TOPOLOGÍA FÍSICA Y TOPOLOGÍA LÓGICA

3.9.1. Topología física

La topología física se refiere a las conexiones físicas e identifica cómo se interconectan los dispositivos finales y de infraestructura, como los routers, los switches y los puntos de acceso inalámbrico. Las topologías físicas indican la ubicación del dispositivo en una zona geográfica, edificio, piso, habitación, etc.

En la siguiente imagen se observa la topología física donde se observa el servidor ubicado en la sala de válvulas de riego y el cliente en la zona de cultivo, las distancias aproximadas del módulo cliente 1 – modulo servidor es de 40 m., modulo cliente 2 – modulo servidor de 130 m. y del módulo cliente 3 – modulo servidor de 260 m. aproximadamente.



Figura N° 33: Topología física del entorno de red.

Elaborado por el equipo de trabajo

3.9.2. Topología lógica

La topología lógica se refiere a la forma en que una red transfiere tramas de un nodo al siguiente. Esta disposición consta de conexiones virtuales entre los nodos de una red. Los protocolos de capa de enlace de datos definen estas rutas de señales lógicas. La topología lógica de los enlaces punto a punto es relativamente simple, mientras que los medios compartidos ofrecen métodos de control de acceso al medio deterministas y no deterministas.

Se tiene la topología lógica, la cual consta de una topología de red en estrella la cual se detalla en la siguiente imagen

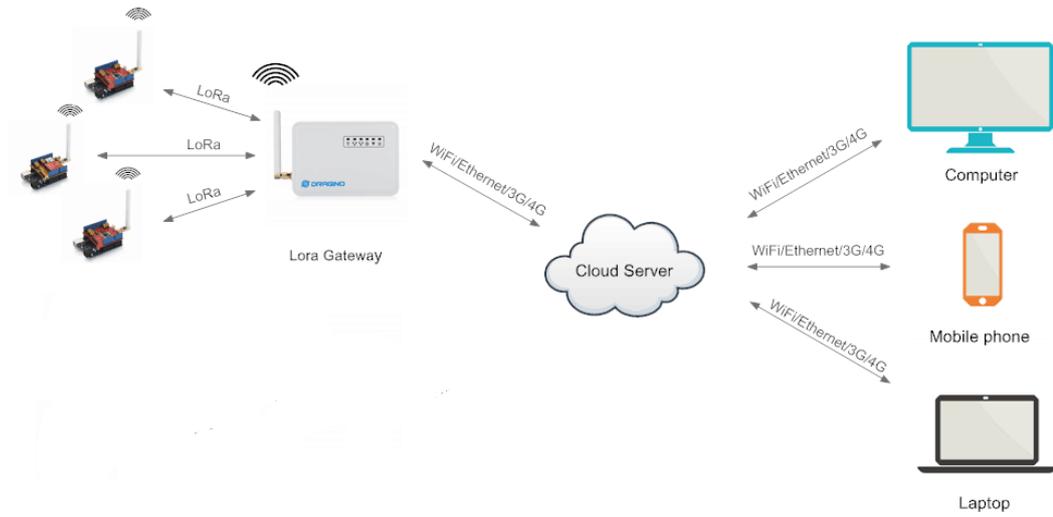


Figura N° 34: Topología de red lógica

Fuente:(Dragino, n.d.)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DATOS OBTENIDOS POR LOS MODULOS CLIENTE.

Los datos obtenidos de humedad y temperatura por los módulos cliente (modulo cliente 1, modulo cliente 2, modulo cliente 3) se muestran a continuación.

En la siguiente figura se muestra los datos obtenidos de humedad y temperatura en el módulo cliente 1. Que está ubicado a 40 m. con respecto al servidor.

```
COM7
LoRa_Simple_Client_DHT11
Humidity and temperature

Current humidity = 33.0%  temperature = 12.7C
```

The screenshot shows a serial terminal window titled 'COM7'. The window contains the following text: 'LoRa_Simple_Client_DHT11', 'Humidity and temperature', and five lines of sensor data: 'Current humidity = 33.0% temperature = 12.7C'. The terminal has a search bar at the top, an 'Enviar' button, and a status bar at the bottom with 'Autoscroll' checked, 'Sin ajuste de línea', and '9600 baudio'.

Figura N° 35: Lectura de los sensores de humedad y temperatura del cliente 1.

Elaborado por el equipo de trabajo

En la siguiente figura se muestra los datos obtenidos de humedad y temperatura en el módulo cliente 2. Que está ubicado a 130 m. con respecto al servidor.

```
COM7
LoRa_Simple_Client_DHT11
Humidity and temperature

Current humidity = 32.0%  temperature = 13.7C
```

Autoscroll Sin ajuste de línea 9600 baudio

Figura N° 36: Lectura de los sensores de humedad y temperatura del cliente 2.

Elaborado por el equipo de trabajo

En la siguiente figura se muestra los datos obtenidos de humedad y temperatura en el módulo cliente 3. Que está ubicado a 260 m. con respecto al servidor.

```
COM7
LoRa_Simple_Client_DHT11
Humidity and temperature

Current humidity = 37.0%  temperature = 11.0C
```

Autoscroll Sin ajuste de línea 9600 baudio

Figura N° 37: Lectura de los sensores de humedad y temperatura del cliente 3.

Elaborado por el equipo de trabajo

En la siguiente tabla se muestra a mayor detalle los datos que se obtuvieron de los 3 clientes en diferentes intervalos de tiempo con fecha 11 de mayo del 2019.

Tabla N° 3: Tabla de recopilación de datos de humedad y temperatura de los 3 módulos cliente en un horario de 7:00 a 17:00 horas.

HORARIO	MODULO CLIENTE 1				MODULO CLIENTE 2				MODULO CLIENTE 3			
	HUMEDAD (%)		TEMPERATURA(°C)		HUMEDAD (%)		TEMPERATURA(°C)		HUMEDAD (%)		TEMPERATURA(°C)	
	MAXIMA	MINIMA	MAXIMA	MINIMA	MAXIMA	MINIMA	MAXIMA	MINIMA	MAXIMA	MINIMA	MAXIMA	MINIMA
07:00 - 11:00	93	33	15	13	90	43	15	13	92	42	15	13
11:00 - 15:00	87	58	17	15	84	55	17	15	86	56	17	15
15:00 - 17:00	89	60	16	14	85	59	16	14	87	60	16	14

Elaborado por el equipo de trabajo

4.2. DATOS OBTENIDOS POR EL SERVIDOR.

Como se ha comprobado que los sensores en el lado del cliente están conectados y están enviando datos al servidor. Entonces se conectó mediante el puerto serial de Arduino servidor hacia el puerto USB de la computadora, para realizar el proceso de verificación o depuración, donde se obtienen los siguientes resultados.

```

dragino-1936f4 at 192.168.0.23 (Arduino Yún)
//////////////////////////////////////////////////////////////////
274
D = 111 :Current humidity = 34%  temperature = 12C
CTUADOR IS: ON
SSI: -48
//////////////////////////////////////////////////////////////////
275
D = 111 :Current humidity = 34%  temperature = 12C
CTUADOR IS: ON
SSI: -49
//////////////////////////////////////////////////////////////////
276
D = 111 :Current humidity = 34%  temperature = 12C
CTUADOR IS: ON
SSI: -49
//////////////////////////////////////////////////////////////////
277
D = 111 :Current humidity = 34%  temperature = 12C
CTUADOR IS: ON
SSI: -49
//////////////////////////////////////////////////////////////////
278
D = 111 :Current humidity = 34%  temperature = 12C
CTUADOR IS: ON
SSI: -48
//////////////////////////////////////////////////////////////////
Autoscroll Sin ajuste de línea 300 baudio

```

Figura N° 38: Lectura de los sensores de humedad y temperatura desde el lado del servidor y el estado del actuador.

Elaborado por el equipo de trabajo

Como se aprecia en el monitor del servidor, se muestra los datos del sensor, se visualiza el estado del actuador para la electroválvula y al final se indica el estado de señal entre los dos módulos (servidor – cliente).

En el caso de que la humedad del ambiente sea menor a lo descrito en el código (60 %) se procederá a encender el actuador (como se muestra en la figura anterior); sin embargo, si la humedad aumenta y sobre pasa el límite establecido, se procederá a desactivar el actuador, tal como se muestra en la siguiente figura.

```
dragino-1936f4 at 192.168.0.23 (Arduino Yún)
//////////////////////////////////////////////////////////////////
1527
ID = 111 :Current humidity = 85% temperature = 13C
ACTUADOR IS: OFF
RSSI: -39
//////////////////////////////////////////////////////////////////
1528
ID = 111 :Current humidity = 91% temperature = 14C
ACTUADOR IS: OFF
RSSI: -39
//////////////////////////////////////////////////////////////////
1529
ID = 111 :Current humidity = 91% temperature = 14C
ACTUADOR IS: OFF
RSSI: -39
//////////////////////////////////////////////////////////////////
1530
ID = 111 :Current humidity = 93% temperature = 16C
//////////////////////////////////////////////////////////////////
Autoscroll Sin ajuste de línea 300 baudio
```

Figura N° 39: Comportamiento del actuador desde el lado del servidor.

Elaborado por el equipo de trabajo

4.3. VISUALIZACIÓN DE DATOS EN LA NUBE

La visualización de datos que se mostraron anteriormente en el módulo cliente y modulo servidor son desde el monitor del arduino. En el siguiente cuadro se muestran los datos de los sensores subidos a la nube por el modulo servidor y visualizados a través de la plataforma virtual THINGSPEAK en un intervalo de tiempo de 5 minutos, los datos fueron recopilados a horas 07:30 – 07:35.

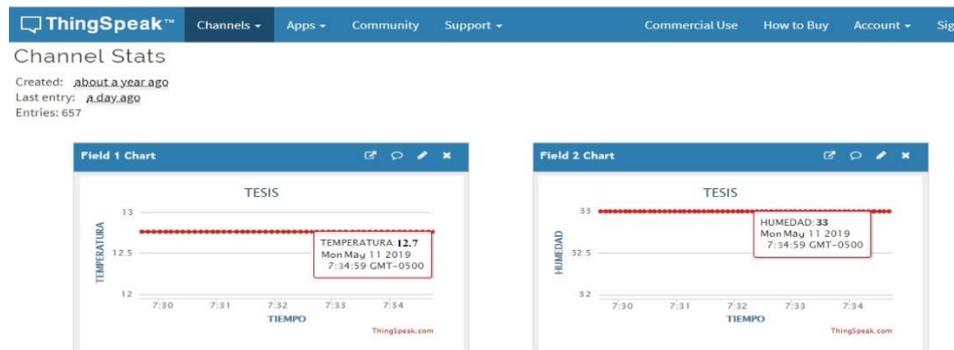


Figura N° 40: Datos capturados por los módulos clientes, subidos a la NUBE por el modulo servidor y visualizados a través de la plataforma THINGSPEAK.

Elaborado por el equipo de trabajo

4.4. DISCUSIÓN

Se deben considerar muchos factores al elegir la tecnología LPWAN adecuada para una aplicación de IoT, incluida la calidad del servicio, la duración de la batería, la latencia, la escalabilidad, la longitud de la carga útil, la cobertura, el alcance, la implementación y el costo. A continuación, se comparan Sigfox, LoRa y NB-IoT en términos de estos factores y sus diferencias técnicas.

4.4.1. Calidad de servicio

Sigfox y LoRa emplean espectros sin licencia y protocolos de comunicación asincrónicos. Pueden rebotar interferencias, trayectos múltiples y desvanecimientos. Sin embargo, no pueden ofrecer la misma QoS proporcionada por NB-IoT. NB-IoT emplea un espectro con licencia y un protocolo síncrono basado en LTE, que son óptimos para QoS a expensas del costo, es decir, las subastas de espectro con licencia LTE superan los 500 millones de euros por MHz. Debido a la QoS y la compensación de costos, NB-IoT se prefiere para aplicaciones que requieren calidad de servicio garantizada, mientras que las aplicaciones que no tienen esta restricción deben elegir LoRa o Sigfox.

4.4.2. Vida útil de batería y latencia

En Sigfox, LoRa y NB-IoT, los dispositivos finales están en modo de suspensión la mayor parte del tiempo fuera de la operación, lo que reduce la cantidad de energía consumida, es decir, la larga vida útil de los dispositivos finales. Sin embargo, el dispositivo final NB-IoT consume energía adicional debido a la comunicación sincrónica y el manejo de QoS, y sus modos de acceso OFDM / FDMA requieren más corriente máxima. Este consumo de energía adicional reduce la vida útil del dispositivo final NB-IoT en comparación con Sigfox y LoRa. Sin embargo, NB-IoT ofrece la ventaja de una baja latencia.

A diferencia de Sigfox, LoRa proporciona la clase C para manejar también latencia bidireccional baja a expensas de un mayor consumo de energía. Por lo tanto, para aplicaciones que son insensibles a la latencia y no tienen una gran cantidad de datos para enviar, Sigfox y la clase A LoRa son las mejores opciones. Para aplicaciones que requieren baja latencia, NB-IoT y clase-C LoRa son las mejores opciones.

Tabla N° 4: Diferencia de costos de Sigfox, Lora y NB IoT.

	COSTO DE ESPECTRO	COSTO DE DESPLIEGUE	COSTO DE DISPOSITIVOS FINALES
SIGFOX	ESPECTRO LIBRE	>4000€/ESTACION BASE	<2€
LORA	ESPECTRO LIBRE	>100€/GATEWAY >1000€/ESTACION BASE	3-5 €
NB-IoT	>500 M. €/MHZ.	>15000€/ESTACION BASE	>20€

Fuente: (Mekki et al., 2019)

4.4.3. Escalabilidad y longitud de carga útil

El soporte de la gran cantidad de dispositivos es una de las características clave de Sigfox, LoRa y NB-IoT. Estas tecnologías funcionan bien con la creciente cantidad y densidad de dispositivos conectados. Se consideran varias técnicas para hacer frente a esta característica de escalabilidad, como la explotación eficiente de la diversidad en un canal, así como en el tiempo y el espacio. Sin embargo, NB-IoT ofrece la ventaja de una escalabilidad muy alta que Sigfox y LoRa. NB-IoT permite la conectividad de hasta 100 mil dispositivos finales por celda en comparación con 50 mil por celda para Sigfox y LoRa. Sin embargo, NB-IoT también ofrece la ventaja de la longitud máxima de carga útil. Como se presenta en la Tabla 5, NB-IoT permite la transmisión de datos de hasta 1600 bytes. LoRa permite enviar un máximo de 243 bytes de datos. Por el contrario, Sigfox propone la longitud de carga útil más baja de 12 bytes, lo que limita su utilización en varias aplicaciones de IoT que necesitan enviar grandes tamaños de datos.

Tabla N° 5: Descripción general de las tecnologías LPWAN: Sigfox, LoRa y NB-IoT.

	SIGFOX	LORAWAN	NB-IOT
Modulación	BPSK	CCS	QPSK
Frecuencia	Sin licencia (banda ISM)	Sin licencia (banda ISM)	Licencia de banda Frecuencia LTE
Ancho de banda	100 Hz.	250 KHz y 125 KHz.	200 KHz.
Velocidad de datos máxima	100 bps.	50 Kbps.	200 Kbps.
Bidireccionalidad	Limitado a Half – Duplex	Si, Half – Duplex	Si, Half – Duplex

(continuación...)

Mensajes máximos por día	140 (UL) 4 (DL)	Ilimitado	Ilimitado
Longitud máxima de carga útil	12 Bytes (UL) 8 Bytes (DL)	243 Bytes	1600 Bytes
Rango	10Km. Área urbana 40Km. Área rural	5Km. Área urbana 10Km. Área rural	1Km. Área urbana 10Km. Área rural
Inmunidad a la interferencia	Muy alta	Muy alta	baja
Autenticación y encriptación	Sin soporte.	AES 128 bits.	Encriptación LTE.
Velocidad de datos adaptativa	No	Si	No
Entrega de datos	Los dispositivos finales no se unen a una sola estación base.	Los dispositivos finales no se unen a una sola estación base.	Los dispositivos finales se unen a una sola estación base.
Localización	Si (RSSI).	Si (TDOA).	No (bajo especificación).
Permite red privada	No	Si	no
Estandarización	La compañía Sigfox está colaborando con ETSI en la estandarización de la red basada en Sigfox.	LoRa – Alliance.	3GPP.

Fuente: (Mekki et al., 2019)



4.4.4. Cobertura de red y rango

La principal ventaja de utilización de Sigfox es que toda una ciudad puede estar cubierta por una sola estación base (es decir, alcance > 40 km). En Bélgica, un país con una superficie total de aproximadamente 30 500 km², la implementación de la red Sigfox cubre todo el país con solo siete estaciones base. Por el contrario, LoRa tiene un rango más bajo (es decir, rango < 20 km) que requiere solo tres estaciones base para cubrir una ciudad entera como Barcelona. NB-IoT tiene el rango más bajo y las capacidades de cobertura (es decir, rango < 10 km). Se centra principalmente en la clase de dispositivos que se instalan en lugares alejados del alcance típico de las redes celulares (por ejemplo, en interiores, en interiores profundos). Además, el despliegue de NB-IoT se limita a las estaciones base LTE. Por lo tanto, no es adecuado para regiones rurales o suburbanas que no se benefician de la cobertura LTE.

4.4.5. Modelo de implementación

Las especificaciones NB-IoT se lanzaron en junio de 2016; por lo tanto, se necesitará tiempo adicional antes de que se establezca su red. Sin embargo, los ecosistemas Sigfox y LoRa están maduros y ahora se están comercializando en varios países y ciudades. LoRa tiene la ventaja de que actualmente se puede implementar en 42 países frente a 31 países para Sigfox. Sin embargo, las implementaciones mundiales de LoRa y Sigfox todavía están en proceso de implementación.

Además, una ventaja significativa del ecosistema LoRa es su flexibilidad. A diferencia de Sigfox y NB-IoT, LoRa ofrece el despliegue de la red local, es decir, la red de área local que utiliza la puerta de enlace LoRa y la operación de la red pública a través de estaciones base. En el campo industrial, se podría utilizar un modelo operativo híbrido

para desplegar una red local LoRa en áreas de fábrica y utilizar la red pública LoRa para cubrir las áreas externas.

4.4.6. Costo

Se deben considerar varios aspectos de costo, como el costo del espectro (licencia), el costo de red / implementación y el costo del dispositivo. La Tabla 4 muestra el costo de Sigfox, LoRa y NB-IoT. Es evidente que Sigfox y LoRa son más rentables en comparación con NBIoT.

En resumen, Sigfox, LoRa y NB-IoT tienen sus respectivas ventajas en términos de diferentes factores de IoT como se muestra en la figura 40.

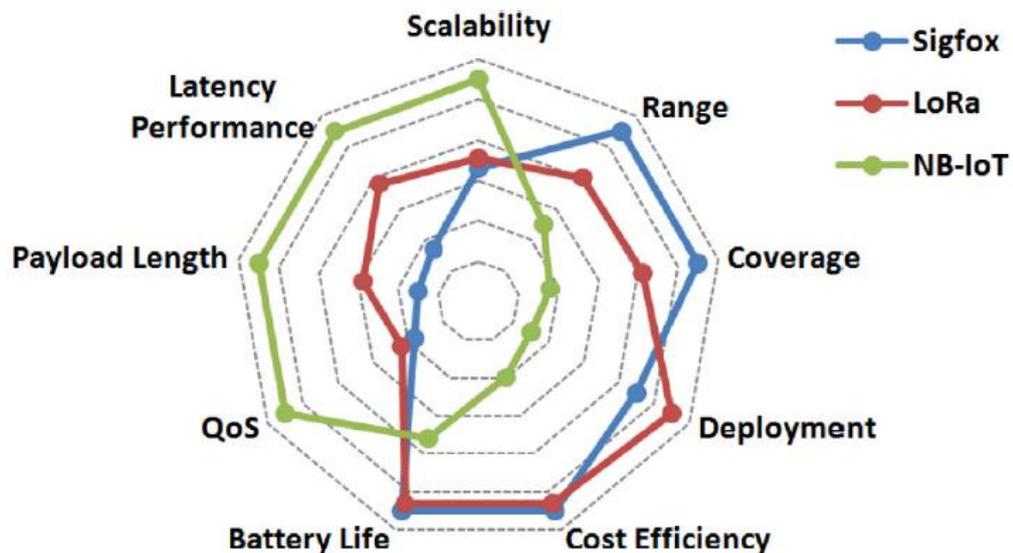


Figura N° 41: Ventajas respectivas de Sigfox, LoRa y NB-IoT en términos de factores de IoT.

Fuente: (Mekki et al., 2019)



V. CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó un sistema de riego basado en internet de las cosas aplicando tecnologías LPWAN, usando específicamente el protocolo LORAWAN el cual nos permitió realizar enlaces de radio en una frecuencia de 915 MHz. A una distancia de 260 metros aproximadamente entre el modulo cliente que tiene el sensor y el modulo servidor que contiene al actuador con RSSI= -49 dBm (ver figura 28). Siendo un valor óptimo para la comunicación. Esto sin tener línea de vista entre ambos módulos, evitando la instalación de antenas y/o torres de comunicación.

Una vez implementado el sistema, los datos obtenidos por el modulo cliente 1 fueron:

- HUMEDAD MINIMA = 33 % en el horario de 7:00 – 11:00 horas.
- HUMEDAD MAXIMA = 93 % en el horario de 7:00 – 11:00 horas.

Estos datos quieren decir que al iniciar el día se tuvo la humedad más baja esto debido a que no se tiene accesibilidad al agua durante la noche y por ende el sistema de riego no está en funcionamiento y se tuvo el punto más alto de humedad en el mismo horario ya que a medida que pasa el tiempo en el horario indicado ya se incorpora el servicio de agua y el sistema entra en funcionamiento.

Durante el día restante, en el horario de 11:00 – 17:00 horas la humedad se encuentra en el rango de 58% y de 89 %. Comprobando la efectividad del sistema. Casos similares ocurren con los módulos cliente 2 y 3. (Ver tabla 1).

Se lograron visualizar los resultados en tiempo real en la NUBE a través de la plataforma virtual THINGSPEAK para su monitoreo mediante una PC, Laptop, Smartphone, etc. Con una conexión de internet.



Se implementó una red de sensores, con tecnologías LPWAN, lo que permitirá el bajo consumo de energía eléctrica, pero funcionando a largas distancias, o extensiones amplias. En esta investigación se realizó una configuración de punto multipunto que permite la conexión de 3 módulos cliente y un módulo servidor, sin embargo, es posible extender la red con más dispositivos para formar otros tipos de topologías de red lógicas.



VI. RECOMENDACIONES

Es posible diseñar un sistema de riego basado en Internet de las cosas que podrá ser aplicado en otras zonas de producción agrícola para el control de electroválvulas a distancia, con el procesamiento de variables obtenidas de sensores de humedad y temperatura. La configuración es muy ventajosa en un sistema de riego por goteo, pero se puede aplicar en otros sistemas como aspersión e incluso por gravedad, esto es debido a que los sensores son resistentes al medio ambiente y si fuera necesario reemplazarlos su costo que no es elevado lo que permite un mantenimiento accesible.

Se recomienda incrementar el número de clientes con identificadores diferentes, de esta forma se tendrán más muestras para tomar mejores decisiones al momento de procesar los datos y activar o no una electroválvula.

Aunque el estudio del consumo de energía no es el objetivo de esta investigación, se recomienda hacer los estudios correspondientes. En esta investigación se han usado baterías como fuente de alimentación de los módulos cliente y servidor, estas baterías no se han reemplazado desde que se iniciaron las pruebas por lo que no han causado inconvenientes. El fabricante recomienda reemplazar las baterías cada dos años.



VII. REFERENCIAS

- Andreu, A. (2019). *Modelado de redes Lorawan aplicada a la conservacion preventiva del patrimonio cultural*.
- Arduino. (2018). ¿Qué es Arduino? Retrieved from <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Burbano Ordoñez, C. Y. (2016). *Implementación de una red de sensores inalámbricos LPWAN mediante módulos LoRa para el monitoreo de la calidad del agua en 2 ríos*. Universidad Distrital Francisco José De Caldas.
- Crespo, E. (2018). Arduino y LoRaWAN. Retrieved from LORA SHIELD website: <https://www.aprendiendoarduino.com/2018/03/07/arduino-y-lorawan/>
- Dragino. (n.d.). *Open Source LoRa WiFi Gateway*. 4–6. Retrieved from www.dragino.com
- Egli, P. R. (2016). *Overview of Emerging Technologies For Low Power Wide Area Networks In Internet of Things AND M2M Scenarios*. Retrieved from <https://www.google.com/patents/US20160345265>
- Ernesto, T. (2015). Modulo de 4 relés para Arduino. Retrieved from <https://www.profetolocka.com.ar/2015/05/09/modulo-de-4-reles-para-arduino/>
- Gutiérrez Espíritu, J., & Armas Valencia, J. (2018). *Diseño de un controlador basado en redes neuronales para la irrigación por goteo sobre cultivos en el distrito de Huacho*. Universidad Tecnológica del Perú.
- Huamán Lizana, K. F., & Huamán Colunche, J. W. (2018). *Diseño de un sistema*



automático de riego tecnificado para las áreas verdes de la escuela de ingeniería electrónica y la facultad de ciencias físicas y matemáticas – UNPRG. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

LA ROSA, A. (2018). LPWAN como base de comunicaciones para IoT. Retrieved June 12, 2019, from SETIEMBRE, 2018 website: <https://pandorafms.com/blog/es/que-es-lpwan/>

Lora Alliance. (2016). *LoRaWAN Regional Parameters NOTICE OF USE AND DISCLOSURE.*

MATHWORKS. (n.d.). ThingSpeak. Retrieved from <https://thingspeak.com/>

Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*, 5(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/J.ICTE.2017.12.005>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Plan nacional de atribución de frecuencias (PNAF)*. 36. Retrieved from http://www.mtc.gob.pe/comunicaciones/autorizaciones/servicios_privados/documentos/pnaf_act_feb08.pdf

Naylampmechatronics. (n.d.). Sensor de temperatura y humedad relativa DHT1. Retrieved from Modelo SEN-DHT11 website: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad>

Tsavalos, N., & Abu Hashem, A. (2018). *Low Power Wide Area Network (LPWAN) Technologies for Industrial IoT Applications.* Retrieved from <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/8950859>



Tuatará, T. (2015). Sensores (Sensors) vs Actuadores (Actuators). Retrieved from https://www.tuataratech.com/2015/06/sensores-sensors-vs-actuadores-actuators_8.html

Unión Internacional de Telecomunicaciones, I. (2012). *Descripción general de Internet de los objetos (ITU-T Y.4000/Y.2060 (06/2012))*. 20. Retrieved from <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11559>



ANEXOS

ANEXO 1 - CÓDIGO MODULO CLIENTE

```
#include <SPI.h>
#include <RH_RF95.h>
#include <String.h>

RH_RF95 rf95;
float frequency = 915.0;

#define dht_dpin A0
byte bGlobalErr;
char dht_dat[5];

void setup()
{
  InitDHT();
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) ;
  Serial.println("LoRa_Simple_Client_DHT11");
  if (!rf95.init())
    Serial.println("init failed");
  Serial.println("Humidity and temperature\n\n");
  rf95.setFrequency(frequency);
  rf95.setTxPower(13);
  rf95.setSpreadingFactor(7);
  rf95.setSignalBandwidth(125000);
  rf95.setCodingRate4(5);
  rf95.setSyncWord(0x34);
}
void InitDHT()
{
  pinMode(dht_dpin,OUTPUT);
  digitalWrite(dht_dpin,HIGH);
}

void ReadDHT()
{
  bGlobalErr=0;
  byte dht_in;
  byte i;
  digitalWrite(dht_dpin,LOW);
  delay(30);
  digitalWrite(dht_dpin,HIGH);
  delayMicroseconds(40);
```



```
pinMode(dht_dpín,INPUT);
dht_in=digitalRead(dht_dpín);
if(dht_in){
    bGlobalErr=1;
    return;
}
    delayMicroseconds(80);
    dht_in=digitalRead(dht_dpín);
if(!dht_in){
    bGlobalErr=2;
    return;
}
delayMicroseconds(80);
for (i=0; i<5; i++)
    dht_dat[i] = read_dht_dat();

pinMode(dht_dpín,OUTPUT);
digitalWrite(dht_dpín,HIGH);
byte dht_check_sum =
    dht_dat[0]+dht_dat[1]+dht_dat[2]+dht_dat[3];
if(dht_dat[4]!= dht_check_sum)
    {bGlobalErr=3;}
};

byte read_dht_dat(){
    byte i = 0;
    byte result=0;
    for(i=0; i< 8; i++){
        while(digitalRead(dht_dpín)==LOW);//
        delayMicroseconds(30);//
        if (digitalRead(dht_dpín)==HIGH)
            result |= (1<<(7-i));//
        while (digitalRead(dht_dpín)==HIGH);//
    }
    return result;
}

void loop()
{
    ReadDHT();
    uint8_t data[50] = {0} ;
    data[0] = 1 ;
    data[1] = 1 ;
    data[2] = 1 ;
    data[3] = dht_dat[0];
    data[4] = dht_dat[2];
    rf95.send(data, sizeof(data));
    switch (bGlobalErr)
    {
        case 0:
```



```
Serial.print("Current humidity = ");
Serial.print(dht_dat[0], DEC);
Serial.print(".");
Serial.print(dht_dat[1], DEC);
Serial.print("% ");
Serial.print("temperature = ");
Serial.print(dht_dat[2], DEC);
Serial.print(".");
Serial.print(dht_dat[3], DEC);
Serial.println("C ");

break;
case 1:
  Serial.println("Error 1: DHT start condition 1 not met.");
  break;
case 2:
  Serial.println("Error 2: DHT start condition 2 not met.");
  break;
case 3:
  Serial.println("Error 3: DHT checksum error.");
  break;
default:
  Serial.println("Error: Unrecognized code encountered.");
  break;
}

delay(4000);
}
```



ANEXO 2- CODIGO MODULO SERVIDOR

```
#include <SPI.h>
#include <RH_RF95.h>

#include <Console.h>
#include <Process.h>
#define BAUDRATE 115200

float frequency = 915.0;

RH_RF95 rf95;
int led = A0;
int contador = 1;
void setup()
{
    pinMode(led, OUTPUT);
    Bridge.begin(BAUDRATE);
    Console.begin();
    while (!Console) ;
    Console.println("Start Sketch");

    if (!rf95.init())
    {
        Console.println("LoRa module init failed, Please check hardware connection");
        while(1) ;
    }

    rf95.setFrequency(frequency);
    rf95.setTxPower(13);
    rf95.setSpreadingFactor(7);
    rf95.setSignalBandwidth(125000);
    rf95.setCodingRate4(5);
    rf95.setSyncWord(0x34);

    Console.print("Listening on frequency: ");
    Console.println(frequency);
}

void loop()
{
    if (rf95.available())
    {
        uint8_t buf[RH_RF95_MAX_MESSAGE_LEN];
        uint8_t len = sizeof(buf);

        if (rf95.recv(buf, &len))
        {
```



```
if(buf[0] == 1 & buf[1] == 1 & buf[2] ==1) //Get sensor data from node id 111

{
int newData[4] = {0, 0, 0, 0};
for (int i = 0; i < 2; i++)
{
newData[i] = buf[i + 3];
}
int a = newData[0];
int b = newData[1];
Console.println ("////////////////////////////////////");
Console.println (contador);
Console.print("ID = 111 :");
Console.print("Current humdity = ");
Console.print(a);
Console.print("% ");
Console.print("temperature = ");
Console.print(b);
Console.println("C ");
if ((b >= 15)||(a<=60))
{
digitalWrite (led,HIGH);
Console.println("ACTUADOR IS: ON ");
}
else
{
digitalWrite (led,LOW);
Console.println("ACTUADOR IS: OFF");
}
contador++;
}
if(buf[0] == 1 & buf[1] == 1 & buf[2] == 2) //Get sensor data from node id 112

{
int newData[4] = {0, 0, 0, 0};
for (int i = 0; i < 2; i++)
{
newData[i] = buf[i + 3];
}
int a = newData[0];
int b = newData[1];
Console.println ("////////////////////////////////////");
Console.println (contador);
Console.print("ID = 112 :");
Console.print("Current humdity = ");
Console.print(a);
Console.print("% ");
Console.print("temperature = ");
Console.print(b);
Console.println("C ");
```



```
if ((b >= 15)||a<=60)
{
  digitalWrite (led,HIGH);
  Console.println("ACTUADOR IS: ON ");
}
else
{
  digitalWrite (led,LOW);
  Console.println("ACTUADOR IS: OFF");
}
contador++;
}
Console.print("RSSI: ");
Console.println(rf95.lastRssi(), DEC);
}
else
{
  Console.println("recv failed");
}
}
}
```