



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DESARROLLO DE UNA RED IOT PARA EL MONITOREO DE VARIABLES DE UN  
SISTEMA DE AGUA, EN LA JUNTA SANA CUENDINA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Electrónico

AUTORES: Lizeth Carolina Limaico Gualoto  
Daniel Alfonso Nacimba Guanoliquin

TUTORA: Verónica Emma Soria Maldonado

Quito-Ecuador

2022

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros Lizeth Carolina Limaico Gualoto con documentos de identificación N° 1722803739 y Daniel Alfonso Nacimba Guanoliquin con documento de identificación N° 1723958474, manifestamos que:


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

Quito, 23 de febrero del 2022

Atentamente,



.....  
Lizeth Carolina Limaico Gualoto  
1722803739



.....  
Daniel Alfonso Nacimba Guanoliquin  
1723958474

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

Nosotros Lizeth Carolina Limaico Gualoto con documentos de identificación N° 1722803739 y Daniel Alfonso Nacimba Guanoliquin con documento de identificación N° 1723958474, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del proyecto técnico: “Desarrollo de una red IoT para el monitoreo de variables de un sistema de agua, en la junta Sana Cuendina”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.


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

Quito, 23 de febrero del 2022

Atentamente,



.....  
Lizeth Carolina Limaico Gualoto  
1722803739



.....  
Daniel Alfonso Nacimba Guanoliquin  
1723958474

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Verónica Emma Soria Maldonado con documento de identificación N° 1715185961, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE UNA RED IOT PARA EL MONITOREO DE VARIABLES DE UN SISTEMA DE AGUA, EN LA JUNTA SANA CUENDINA, realizado por Lizeth Carolina Limaico Gualoto con documentos de identificación N° 1722803739 y por Daniel Alfonso Nacimba Guanoliquin con documento de identificación N° 1723958474, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 23 de febrero del 2022

Atentamente,



.....  
Ing. Verónica Emma Soria Maldonado, Msc.

1715185961

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de titulación dedico a Dios por guiarme a lo largo de este camino y brindarme la fuerza necesaria para vencer cualquier obstáculo, a mi amada Madre María Gualoto por ser un pilar fundamental en mi vida por creer en mí y brindarme la oportunidad de estudiar y poder cumplir uno de mis grandes sueños, a mi abuelita María Morales por apoyarme en todo el transcurso de mi carrera, a mis hermanos Andrés y Javier por ser tan comprensivos, a mis hijos Ammy, Martín y a mi sobrino Nicolás por ser mi gran inspiración para seguir adelante, a mi amiga Valeria Ponce por siempre estar a mi lado y motivarme a culminar mis estudios y a mi ángel del cielo Juan Carlos Lagos por ser un amigo tan especial en mi vida.

*Lizeth Carolina Limaico Gualoto*

Este trabajo está dedicado con mucho cariño a Dios y a toda mi familia, de manera especial a mis padres que me han brindado la oportunidad de estudiar y todo su apoyo incondicional a lo largo de mi vida de estudiante, a mis abuelitos Daniel y Anita quien con sus palabras y ejemplo me han inspirado a seguir adelante para no rendirme, a mi hermano Elian quien me ha apoyado y a todos los amigos que he conocido.

*Daniel Alfonso Nacimba Guanoliquin*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco de manera infinita a mi madre María Gualoto por su sacrificio, esfuerzo y confianza que me ha permitido llegar cumplir uno de mis grandes sueños. Gracias a todos mis docentes por haber compartido sus conocimientos a lo largo de mi carrera y sobre todo por ser excelentes ser humanos, en especial a mi Ingeniera Verónica Soria tutora de nuestro proyecto de titulación quien ha guiado con paciencia y amor. De igual forma agradezco al señor Daniel Guanoliquin por permitirnos realizar el proyecto en el barrio Sana Cuendina. Agradecida con todos mis amigos por su motivación en especial a Daniel Nacimba por ser mi compañero de proyecto de titulación y brindarme todo su apoyo y confianza en esta última etapa,

*Lizeth Carolina Limaico Gualoto*

Mi gratitud va dirigida a mis padres Edwin Nacimba y Nelly Guanoliquin, quienes se han esforzado de manera inalcanzable para poder educarme, enseñarme el valor del estudio y su tiempo.

Un agradecimiento especial a nuestra tutora Ing. Verónica Soria por brindarnos sus conocimientos y su apoyo en el desarrollo de este trabajo de grado.

*Daniel Alfonso Nacimba Guanoliquin*

## ÍNDICE

<b>CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	<b>I</b>
<b>CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> .....	<b>II</b>
<b>CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b> .....	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>VI</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>XIII</b>
<b>1. ANTECEDENTES</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Planteamiento del problema</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. Justificación</b> .....	<b>1</b>
<b>1.3. Objetivos</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3.1. Objetivo General</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3.2. Objetivos Específicos</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4. Marco Conceptual</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4.1. Tecnología Lora implementada para Internet de las cosas</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4.2. Tecnología LPWAN desarrollada para Internet de las cosas</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4.3. LoRaWAN desarrollada para tecnología Lora</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4.4. Arquitectura de la red LoRaWAN</b> .....	<b>5</b>
<b>1.4.5. Modulación LoRa</b> .....	<b>5</b>
<b>1.4.6. Clases de dispositivos LoRa</b> .....	<b>6</b>
<b>1.4.7. Seguridad LoRaWAN</b> .....	<b>7</b>
<b>1.4.8. Sensor de Flujo de agua</b> .....	<b>8</b>
<b>1.4.9. Plataforma ThingSpeak para IoT</b> .....	<b>8</b>
<b>1.4.10. Computación en la nube para infraestructuras IoT</b> .....	<b>8</b>
<b>1.5. Situación actual de registro y emisión de facturas del consumo de agua potable</b> .....	<b>9</b>
<b>1.5.1. Lectura analógica del consumo de agua</b> .....	<b>9</b>
<b>1.5.2. Emisión de facturas mensuales de las acometidas de agua</b> .....	<b>9</b>

1.5.3. Proceso y lectura de facturación.....	10
<b>2. DELIMITACIÓN DE LOS USUARIOS Y EL ANÁLISIS DEL ÁREA DE COBERTURA</b>	<b>11</b>
2.1. Arquitectura de la red IoT.....	12
2.2. Topología de la red LoRaWAN .....	12
2.2.1. Topología punto a punto .....	12
2.3. Esquema del Transmisor de la red LoRa.....	13
2.3.1. Diagrama de flujo Transmisor .....	13
2.3.2. Esquema del Receptor.....	14
2.3.3. Diagrama de flujo del Receptor.....	15
2.4. Cálculos para el presupuesto del diseño de la red en una zona rural .....	16
2.5. Cálculos para el radioenlace .....	17
2.6. Simulación del área de cobertura Radio Mobile .....	20
2.7. Simulación de área de cobertura ICS Telecom .....	24
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>26</b>
<b>3. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE LECTURA Y TRANSMISIÓN DE DATOS CON EL PROTOCOLO LORAWAN.....</b>	<b>26</b>
3.1. Selección de dispositivos para la red .....	26
3.1.1. Hardware .....	26
3.1.2. Software .....	29
3.2. Estructura y funcionamiento de la programación de los módulos Heltec Wifi LoRa	32
29	
3.2.1. Programación del receptor .....	29
3.2.2. Programación del transmisor .....	31
3.3. Enlace del proyecto a la plataforma web Thingspeak.....	36
3.4. Montaje de los equipos de transmisión y recepción .....	36
3.5. Calibración del sensor de caudal YF-S201 .....	39
3.6. Prueba de eficiencia del prototipo .....	40
Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.....	41
<b>4. ANÁLISIS DEL PROTOTIPO DE LA RED IOT.....</b>	<b>43</b>
4.1. Pruebas de funcionamiento del prototipo en la vivienda.....	43
4.2. Estudio de Costos.....	49
4.2.1. Investigación del costo de la implementación del prototipo de monitoreo ....	49

4.2.2. Costo de los materiales .....	50
4.2.3. Computo de los costos del proyecto.....	51
4.2.4. Computo de beneficio.....	51
4.2.5. Computo de la relación costo beneficio.....	51
4.3. Explicación del funcionamiento del prototipo a los representantes de la junta de agua potable.....	52
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>53</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>EXISTEN ALGUNAS MEJORAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO LORA EN ADAPTAR UNA BATERÍA CON LA FINALIDAD QUE CUANDO EXISTA UN CORTE DE ENERGÍA LA BATERÍA ENTRE EN FUNCIONAMIENTO Y EL TRANSMISOR SIGA GENERANDO DATOS HACIA EL RECEPTOR.....</b>	<b>54</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>55</b>

### *ÍNDICE DE FIGURAS*

Figura 1: bandas de frecuencias de regiones.....	4
Figura 2: arquitectura lorawan.....	5
Figura 3: Detalle de cobros.....	10
Figura:4 proceso de lectura y facturación.....	10
Figura 5: delimitación gráfica de los nodos.....	11
Figura 6: diagrama de bloque general .....	12
Figura 7: topología de la red estrella .....	13
Figura 8: módulo de transmisor.....	13
Figura 9 diagrama de flujo .....	14
Figura 10: módulo del receptor .....	15
Figura 11: diagrama de flujo .....	15
Figura 12: radio enlace .....	16
Figura 13: parámetros para el margen de desvanecimiento .....	19
Figura 14: parámetros del nodo base .....	20
Figura 15: coordenadas del nodo base.....	21
Figura 16: resultados del radio enlace .....	21

Figura 17: rango de intensidad de la señal de la antena receptora .....	22
Figura 18: cuadro comparativo.....	22
Figura 19: parámetros de la antena nodo 1 .....	23
Figura 20: coordenadas del nodo receptor .....	23
Figura 21: área de cobertura.....	23
Figura 22: resultados del enlace .....	24
Figura 23: área de cobertura.....	25
Figura 24: área de cobertura.....	25
Figura 25: características de los dispositivos lora.....	26
Figura 26: comparación entre sensores de flujo de agua. ....	27
Figura 27: antena omnidireccional. ....	28
Figura 28: servidor web.....	28
Figura 29: configuración de la librería. ....	30
Figura 30: credenciales de conexión.....	30
Figura 31: inicialización de variables para los nodos .....	30
Figura 32: variables de lora. ....	31
Figura 33: monitoreo de variables en el serial de arduino. ....	31
Figura 34: configuraciones básicas de comunicación.....	32
Figura 35: librería de múltiple comunicación. ....	32
Figura 36: variables del programa. ....	33
Figura 37: función de la interrupción. ....	33
Figura 38: función del sensor de caudal. ....	34
Figura 39: función void setup.....	34
Figura 40: función void loop .....	35
Figura 41: función para enviar mensaje.....	35
Figura 42: módulos lora. ....	36
Figura 43: caja de protección. ....	37
Figura 44: armado del prototipo. ....	37
Figura 45: instalación del nodo final. ....	38
Figura 46: instalación del sensor. ....	39
Figura 47: esquema de conexión. ....	39
Figura 48: relación entre la intensidad de la señal recibida. ....	40
Figura 49: variación de la señal. ....	42

Figura 50: módulo del transmisor.....	43
Figura 51: módulo transmisor. ....	44
Figura 52: serial de arduino.....	44
Figura 53: monitoreo de consumo de agua.....	44
Figura 54: monitoreo de la intensidad de la señal de lora.....	45
Figura 55: lectura analógica inicial del medidor.....	45
Figura 56: lectura analógica final del medidor. ....	46
Figura 57: grafica del consumo de agua durante la prueba.....	48
Figura 58: grafica del consumo de agua durante el último día de prueba.....	49

## **RESUMEN**

El presente proyecto técnico propone diseñar un prototipo funcional para la lectura del consumo de agua potable de los usuarios de la junta SANA CUENDINA, que está ubicada en la parroquia de Amaguaña barrio Cuendina que brinda el servicio a 560 familias del servicio de agua.

El proyecto innova usando las nuevas tecnologías de comunicación disponibles, para el desarrollo del prototipo se usó LoRa, con base en IoT para poder monitorear, de forma más exacta los datos obtenidos de las lecturas de agua, con el fin de mejorar procesos, usando equipos de bajo consumo de potencia y costo, esto permite ahorrar pagos extras a la persona encargada de tomar las lecturas de agua de la junta administradora de agua

Para el monitoreo del consumo de agua de los usuarios se usó una red modular punto a punto para establecer una red LoRaWAN de dispositivos LoRa 32 (módulos de comunicación), los cuales son nodos que se encargan de procesar y enviar los datos obtenidos por los sensores de caudal que están conectados a los módulos, permitiendo disminuir el tiempo de operación en las lecturas de las variables y envió de datos a la oficina donde se generan las facturas del consumo de agua, para esto se delimito una zona de prueba de cobertura de 1km a la redonda de la oficina.

El prototipo propuesto cumple con los requerimientos de la junta de agua: ahorro de costos de consumo, exactitud en el registro de lectura, comunicación eficiente entre el receptor y Transmisor.

## **ABSTRACT**

The current technical project proposes to design a functional prototype for the reading of drinking water consumption amount by users from the SANA CUENDINA Board, which is located in Amaguaña parish, Cuendina neighborhood that provides the water service to 560 families.

The project is innovated by using the new communication technologies available, it was used LoRa, based on IoT for the development of the prototype in order to be able to monitor, more accurately, the data obtained from the readings of water consumption amount, in order to improve processes by using low power and cost equipment, this saves extra payments to the person taking water readings consumption amounts from the water management board.

A modular star network was used to monitor user water consumption to establish a LoRaWAN network of Lora 32 devices (communication modules) which are nodes that process and send the data obtained by the flow sensors that are connected to the modules by allowing to decrease the operating time in the readings of the variables and sending data to the office where the water consumption bills are generated, a testing zone 5km surrounding area from the office was limited for this purpose.

The proposed prototype meets the requirements of the water board: savings in consumption costs, accuracy in the reading register, efficient communication between the receiver and the Transmitter.

## **INTRODUCCIÓN**

Este trabajo tiene como finalidad proponer un prototipo de lectura y transmisión de datos, empleando LoRa como medio de comunicación entre nodos y de esta manera dar una solución práctica para el registro de consumo de agua en la Junta Sana Cuendina.

El primer capítulo se detalla el planteamiento del problema, justificación, los objetivos, el marco conceptual y el método de registro de emisión de facturas del consumo de agua potable

El segundo capítulo se determina los lugares donde se colocará los dispositivos correspondientes a utilizarse para efectuar la red de comunicación, tomando en cuenta las variables de transmisión y recepción como el alcance, lugar y la zona de cobertura, que cubre la red LoRaWAN.

El tercer capítulo es diseñar, construir y probar el prototipo en cada acometida previamente seleccionada con el fin de calibrar los sensores de ser necesario, los datos obtenidos por los nodos serán procesados y enviados a la estación base.

En el cuarto y último capítulo se realiza una comparación de las lecturas analógicas con el sistema propuesto y se determina la viabilidad del prototipo diseñado para la Junta de agua potable.

## ***CAPITULO I***

### **1. ANTECEDENTES**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

El principal problema que se ha podido detectar luego de recopilar información, se encuentra al momento de tomar las mediciones de consumo de agua, las cuales pueden ser registradas de forma errónea o cuando existe una pérdida de datos, ya que hoy en día existe una persona contratada por la Junta de agua que realiza este trabajo de forma manual a quien le toma entre 3 y 4 días realizar este proceso, cubriendo todo el barrio Cuendina, teniendo en cuenta que en ocasiones no terminan de tomar todas las lecturas de los 560 usuarios que hacen uso del servicio de agua, dando como resultado que tenga que recorrer una área extensa y en ocasiones a lugares de difícil acceso, además esto genera gastos extras de movilidad los cuales son cubiertos por la junta de agua potable, después los datos obtenidos son entregados a la secretaría de la empresa SANA CUENDINA, la cual se encarga de realizar las correspondientes facturas a cada usuario, este proceso se realiza de manera manual, debido a esto se genera inconvenientes y retrasos en la facturación del consumo del agua, se añade el incremento de tiempo a la entrega de las facturas a los usuarios, todo esto provoca malestar y reclamos por parte de las personas, al momento de cancelar las facturas de consumo de agua debido que en ocasiones los pagos son excesivos y los usuarios son los más afectados.

¿Los sensores y LoRa podrán evitar los errores en la toma de mediciones y mejorar el proceso de facturación de la junta de agua potable “Sana Cuendina” que favorecerá a los miembros de la Junta?

#### **1.2. Justificación**

Dentro del avance de las redes de comunicación se propone el diseño de una red IoT (Internet de las cosas), para el monitoreo de variables que se localizan en sitios de larga distancia o de difícil acceso, para esto se busca usar dispositivos de bajo consumo de energía y potencia.

Se propone diseñar un prototipo basado en tecnología LoRa, el cual se pueda comunicar con otros dispositivos dentro de una Red LoRaWAN, dentro de una zona de cobertura de cinco km aproximadamente y este se encargará de realizar las mediciones del caudal de agua en tiempo real, estos datos podrán ser visualizados de manera gráfica en el servidor WEB.

Existen varias tecnologías de radio comunicación, que permiten realizar conexiones de alcances cortos como: Wifi, Zigbee, Bluetooth, etc, estos son poco útiles al momento de requerirse en enlaces de largo alcance.

La aparición de nuevas conectividades de IoT inalámbricas llamadas redes ‘LPWAN (Low Power Wide Area Networks)’, son adecuados para dar servicios de soporte para comunicaciones de largo alcance (Km), para dispositivos de bajo consumo de energía de operación la cual debe durar varios años con una sola batería. La compensación es una baja velocidad de datos proporcionados por estas tecnologías, desde 300 bps hasta 5 Kbps (con un ancho de banda de 125 KHz) en modulación LoRa.(SAADAN and REMOND 2016)

El uso de las redes LPWAN cubren aplicaciones dentro de las ciudades inteligentes que van desde: parqueaderos inteligentes, alumbrado público, gestión de suministros, redes eléctricas, medición de agua, estos son algunos ejemplos de aplicaciones.

El proyecto usa la tecnología LoRa debido a que se le ha agregado una capa MAC, para estandarizar y extender la capa de comunicación física LoRa a las redes de internet. Esta capa se denomina especificación LoRaWAN (LoRa para redes de área amplia). La especificación es de código abierto y está respaldada por LoRa Alliance.

El protocolo LoRaWAN incluye varias características clave de la red inalámbrica, como cifrado y seguridad E2E, optimización de velocidad de datos adaptativa, calidad de servicio y otras aplicaciones de comunicación avanzada.(SAADAN and REMOND 2016)

Para realizar el proyecto es necesario conocer cuál es la disposición del uso de bandas en el Ecuador, por esto nos referimos a lo que dice el plan nacional de asignación de frecuencias Arcotel de 2017, se menciona lo siguiente, en Ecuador se puede trabajar en el rango de bandas desde 915-928 MHz, las cuales son las que operan a título secundario para los servicios de redes privadas como es el caso de nuestro proyecto, quiere decir que se puede usar este espectro radioeléctrico mientras no interfieran con las frecuencias, que brindan un servicio primario como televisión y radio.

Se deja en consideración este proyecto a la junta de agua potable y los miembros, la viabilidad de implementación para el beneficio de 560 familias que en la actualidad hacen uso del servicio de agua potable.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

- Desarrollar un prototipo de lectura de caudal de agua y una red inalámbrica mediante LoRa y sensores para el monitoreo del consumo de agua de los usuarios en la junta de agua potable “SANA CUENDINA”

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Identificar el método de registro e ingreso de las lecturas al sistema de facturación para la determinación del tiempo que toma este proceso.
- Delimitar el número de usuarios considerando las distancias con los cuales se harán las pruebas de transmisión, para la comprobación de la comunicación entre los nodos y la estación base.
- Desarrollar un prototipo de lectura y transmisión de datos, con la tecnología LoRa para la determinación de la eficiencia del sistema.
- Comprobar la viabilidad del prototipo al momento de registrar y enviar los datos de las lecturas para la comparación con las lecturas analógicas.

### **1.4. Marco Conceptual**

#### **1.4.1. Tecnología Lora implementada para Internet de las cosas**

Lora (Long Range) es un protocolo de comunicación inalámbrica diseñada para tecnologías LPWAN, que se ajusta a las necesidades del Internet de las cosas y se desarrolla a una velocidad impresionante, donde existe el nexo entre el mundo físico y virtual a través de dispositivos inteligentes, que permiten enviar y recibir datos y son almacenados en la plataforma de IoT. (Crizul and Gómez 2021). Utiliza un tipo de modulación de

radiofrecuencia ideal para conexiones de largas distancias y bajo consumo de electricidad. (Silva and Coello 2020). Las bandas de frecuencia que utiliza la tecnología Lora se observan en la Figura 1.

Figura 1: Bandas de frecuencias de regiones

<b>Bandas de frecuencia por regiones</b>	
<b>Región</b>	<b>Banda de frecuencia (MHz)</b>
Estados Unidos y América	902- 928
Europa	863-870
China (Asia)	779-787

Frecuencias utilizadas por las regiones del mundo, Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

#### **1.4.2. Tecnología LPWAN desarrollada para Internet de las cosas**

Es una técnica básica de transporte que cumple requisitos para la implementación de IoT, son redes inalámbricas que transmiten pequeñas cantidades de datos a grandes distancias y conectan dispositivos de baja potencia, con un reducido consumo energético. (Song et al. 2017)

Entre las características principales de LPWAN se tiene:

- El alcance geográfico soporta mayor número de dispositivos conectados en un área amplia que cubre distancias en el rango de Kilómetros y no de metros lo que permite que su uso sea eficiente
- Bajo consumo energético de dispositivos con un costo reducido ideal para redes LPWAN, el tiempo de duración es como mínimo 10 años.
- Las redes LPWAN utiliza la banda de 863 a 870 MHz diseñada para la comunicación de redes (Valarezo and Criollo 2017)

#### **1.4.3. LoRaWAN desarrollada para tecnología Lora**

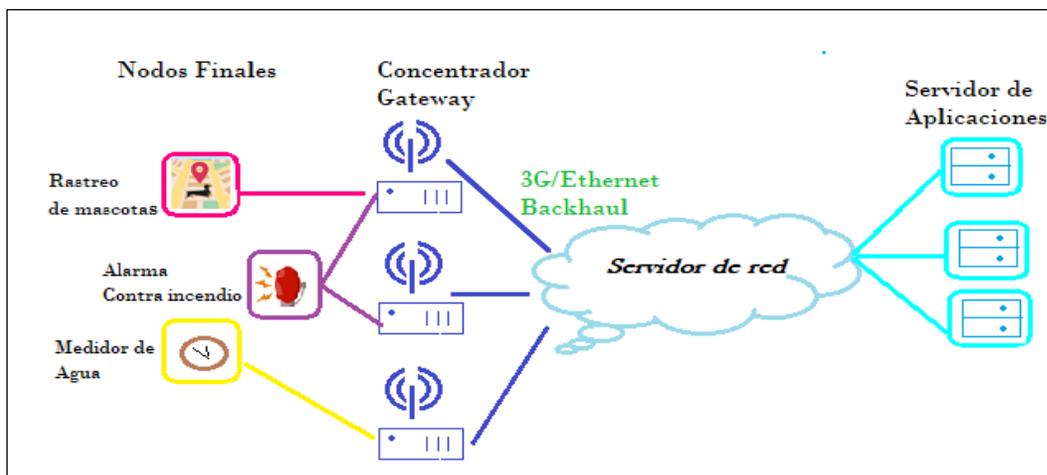
LoRaWAN es un protocolo de red de capa de control de acceso a medios (MAC) se utiliza para modulación LoRa, como canal de transmisión en redes de área amplia y baja potencia, es una especificación de redes LPWAN correspondiente a capa 2 (enlace de red) define cómo los dispositivos usan el hardware LoRa, este es usado para comunicar y administrar diferentes

dispositivos LoRa son utilizados en distintas áreas este gestiona sus canales y parámetros de conexión: canal, ancho de banda, cifrado de datos, entre otros (Cárdenas, Gonzáles, and Retamal 2018)

#### 1.4.4. Arquitectura de la red LoRaWAN

Generalmente la red tiene una topología estrella-estrella en la que las puertas de enlace (gateways) retransmiten los datos desde los dispositivos finales a un servidor central. Los gateways están conectados al servidor a través de conexiones IP y actúan como un puente convirtiendo paquetes radio en paquetes IP y viceversa.(Madero 2021), esta estructura básica de LoRaWAN se muestra en la Figura 2.

Figura 2: Arquitectura LoRaWAN



Componentes de la Estructura LoRaWAN, Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

#### 1.4.5. Modulación LoRa

El protocolo trabaja con una modulación de radio frecuencia o radar, llamada chirp de espectro ensanchado (CSS), teniendo como ventajas la velocidad y sensibilidad en la transmisión de datos, alta tolerancia frente a las interferencias; los nodos finales no requieren altos consumos de energía para funcionar esto lleva a que la vida útil de las baterías tenga mayor duración aproximadamente de hasta diez años, de esta manera la tecnología Lora, ofrece un sistema más confiable donde la modulación aplica un sistema de corrección de errores la cual permite mejorar la señal de la red.

Para usar Lora es necesario conocer el factor de ensanchamiento (SF), se considera seis tipos de factores de dispersión desde SF7 a SF12, donde se toma cuenta el valor más alto de dispersión si se quiere que la señal viaje más lejos sin que se produzcan errores de al momento de recibir la información en el receptor.

A continuación, se detalla en la Tabla 1 los SF usados al momento de enviar los mensajes, además se incluye la tasa de bits, el alcance considerado el cual dependerá si es un campo abierto o en una zona con relieves elevados, además de incluir el tiempo en que la señal enviada se mantiene en el aire (TOA).

Tabla 1 Factores de difusión de Lora

Factor de ensanchamiento Para UL a partir de 125 KHz	Tasa de Bit	Rango (Depende del terreno)	Tiempo en el aire
SF10	980 bps	8 km	371 ms
SF9	1760 bps	6 km	185 ms
SF8	3125 bps	4 km	103 ms
SF7	5470 bps	2 km	61 ms

Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

Entonces la modulación Lora es altamente robusta y muy confiable a la existencia de otras interferencias que se encuentran en el mismo espacio de radio frecuencia, siendo muy fiable para el uso en entornos con muchos edificios o zonas suburbanas.

#### 1.4.6. Clases de dispositivos LoRa

Los nodos finales se dividen en tres clases según las funcionalidades que soportan, tomando en cuenta que deben cumplir con funciones de las mismas clases y pueden coexistir en la misma red.

- **Clase A**

Esta clase tiene comunicación bidireccional, los dispositivos finales tras enviar un paquete (uplink), abre dos ventanas de recepción (downlink) si la primera ventana ya ha recibido los datos la segunda ventana se deshabilita, esta clase es la más eficiente por su bajo consumo de energía ya que solo requiere enviar datos, pero tiene el mayor tiempo de latencia. (Monfort 2017)

- **Clase B**

Esta clase tiene comunicación bidireccional, estos dispositivos añaden la capacidad de recibir datos (downlink) sin necesidad de enviar un paquete (uplink), de esta manera la aplicación puede enviar datos a los dispositivos finales de manera programada.

Para poder abrir la ventana de recepción en el dispositivo final, el Gateway envía balizas (beacon) sincronizadas en el tiempo, permitiendo conocer cuando está escuchando el dispositivo final, por esta razón su consumo de energía es mayor a la de la clase A. (Moya Quimbita 2018)

- **Clase C**

En estos dispositivos están en modo de recepción permanente y se interrumpe cuando se produce una transmisión, tiene una mejor latencia de conexión entre los dispositivos finales y las pasarelas a cambio de un mayor consumo energético respecto a las otras clases antes mencionadas lo que con lleva a usar una fuente de alimentación externa. (Monfort 2017)

#### **1.4.7. Seguridad LoRaWAN**

En la tecnología LoRaWAN la seguridad de alto nivel forma un papel fundamental, para él envío seguro de datos a través de la red. Proporciona dos capas de seguridad y otra parte para aplicación. La seguridad en la capa de red garantiza la autenticidad del nodo de red, mientras que en la capa aplicación los datos se encuentran encriptados entre el servidor de aplicación y el nodo. (Madero 2021)

#### **1.4.8. Sensor de Flujo de agua**

Se denomina flujo al movimiento de fluidos por canales, el caudal es la cantidad de material, en peso o volumen, que fluye por unidad de tiempo. La medida de caudal está presente en todos los procesos de transporte de materia y energía mediante fluidos, bien sea para control de dichos procesos, como simple indicación o bien con la finalidad de determinar tarifas como sucede en los casos de agua, gas, gasolina, crudos entre otros.(Pállas 2003)

#### **1.4.9. Plataforma ThingSpeak para IoT**

ThingSpeak es una plataforma de código abierto de Internet de las cosas de MathWorks, este permite agregar, visualizar y analizar los datos en tiempo real. En la nube puede integrarse con Matlab, Arduino, fotón y electrón de partículas, módulo Wifi ESP8266, Raspberry pi, LoRaWAN, IoT, libelium y bechhoff, permite crear canales públicos o privados según los requerimientos del usuario, es una aplicación muy sencilla de utilizar.(ThingSpeak 2020)

#### **1.4.10. Computación en la nube para infraestructuras IoT**

La computación en la nube es la provisión de servicios tecnológicos ofrecidos a través de la red como correo electrónico, almacenamiento, uso de aplicaciones etc. Los cuales son accesible por un navegador web.(Panchana 2017). Los diferentes dispositivos IoT que integran la red de comunicación LoRaWan, permiten enlazar sensores inalámbricos que se encargan de procesar y analizar datos que son transmitidos al Gateway (puerta de enlace) para almacenarlos en un servidor en la nube lo que facilita el trabajo y puedan ser tratados según las necesidades del usuario. Consta de tres tipos de nubes que se detallan de una manera rápida a continuación.(Martinez and Moreno 2021)

- **Nube Pública**

La estructura de esta se encuentra disponible para el público general, grupos industriales, empresariales son operadas y gestionadas por centros educativos, proveedores de servicios de centros de datos, el responsable de la seguridad y operaciones es el proveedor que oferta el servicio de la nube, está red cuenta con protocolos de seguridad para poder ver los datos.(Giuseppe 2017)

- **Nube Privada**

La infraestructura es íntegramente gestionada por administradores de organizaciones que tienen sus propias bases de datos, dentro de las empresas que manejan y gestionan su propia información, normalmente no están disponibles para todo el público. (Giuseppe 2017)

- **Nube Híbrida**

Es una combinación de los modelos de nube privada y nube pública, estas se mantienen como entidades separadas pero están unidas por tecnología estandarizada o propietaria las cuales permiten la portabilidad de datos y aplicaciones.(Hernández and Florez 2014)

## **1.5. Situación actual de registro y emisión de facturas del consumo de agua potable**

### **1.5.1. Lectura analógica del consumo de agua**

El registro de lectura se realiza de forma manual y en horas hábiles donde una persona autorizada y plenamente identificada por la empresa se dirige a cada casa, tomando los datos generados cada 28 días de cada mes. El funcionamiento del medidor de agua consiste en una aguja que generalmente es de bajo flujo que gira más rápido o lento de acuerdo con el uso de agua, marca, registra y muestra los datos en un contador mecánico en metros cúbicos

### **1.5.2. Emisión de facturas mensuales de las acometidas de agua**

La Junta de agua potable brinda el servicio de agua potable como entidad administrativa permanente, tienen un sistema para calcular y realizar cobros de consumo de agua, estas facturas son emitidas con el nombre y apellido del usuario.

La empresa SANACUENDINA maneja rubros que se muestra en la Figura 3.las normas estipuladas por la misma estable para los usuarios el plazo máximo de 15 días de pago. La recaudación de los rubros se realiza en la oficina de la Junta de Agua.

Figura 3:. Detalle de Cobros

Detalles de cobranza			
Conceptos	metros cúbicos	Valor a pagar	Descripción
Cuota fija de servicio	Hasta 15	\$ 4,0	Consumo mínimo
Cuota variable de servicio	Más de 15	\$ 0,3	Incremento del valor a la cuota fija
Pagos por mora		10%	Del valor de la factura
Pagos por reconexión		\$ 10,0	
Contratación de servicio		\$ 350,0	Por nueva acometida

Conceptos de cobros administrativos. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

### 1.5.3. Proceso y lectura de facturación

La junta administradora de agua potable y alcantarillado de “SANACUENDINA” designa a una persona para la entrega de facturas a los usuarios, toma alrededor de cinco días hábiles realizar la entrega a todos los usuarios de la junta de agua potable como se muestra en la Figura 4.

Figura:4 Proceso de Lectura y facturación

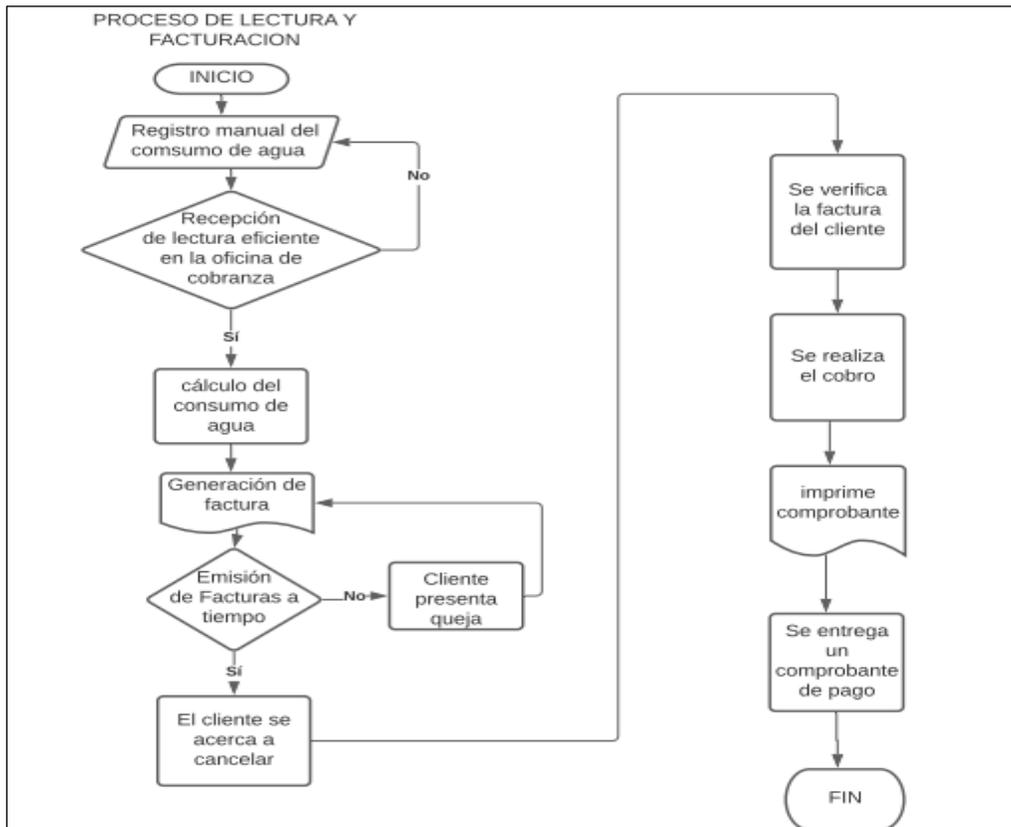


Diagrama del proceso de facturación. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

## CAPITULO II

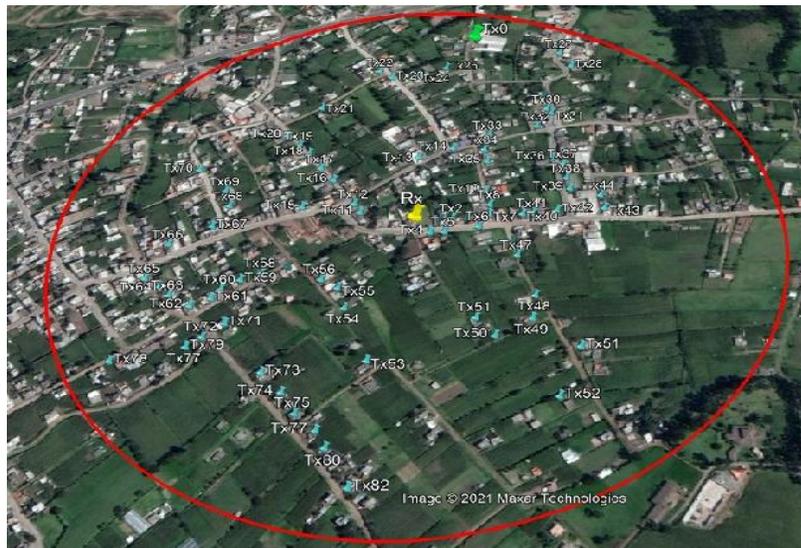
### 2. Delimitación de los usuarios y el análisis del área de cobertura

#### Ubicación de la red LoRaWAN

El prototipo de la red se efectuará en Pichincha en la capital de Quito en la parroquia de Amaguaña en el Barrio Cuendina con 560 usuarios. Para el desarrollo de la infraestructura se toma en cuenta el área con mayor cantidad de usuarios que acceden al servicio de agua potable debido a que se cubriría un mayor porcentaje de usuarios que en un futuro podrían acceder a la implementación del proyecto, por lo tanto, se determina la zona centro del barrio en donde el nodo base RX tiene como coordenadas Latitud  $0^{\circ}22'29,8''$ , Longitud  $78^{\circ}28'58,3''$  este se encuentra en la oficina de la junta de agua y el nodo 1 tx0 con coordenadas Latitud  $0^{\circ}22'16,9''$ , Longitud  $78^{\circ}28'58,3''$ .

que se ubica en el lugar más alejado donde se necesita colocar a una altura aproximada de 5 metros para que facilite la comunicación entre los módulos como se observa en la Figura 5.

Figura 5: Delimitación gráfica de los nodos



Ubicación de los nodos en el Barrio Cuendina Fuente. Google Earth

## 2.1. Arquitectura de la red IoT

### Desarrollo del diagrama de bloque general

En la Figura 6 se muestra un diagrama de bloques, donde se comienza con la obtención de datos del sensor para luego ser transmitido por medio del módulo LoRa y pueda ser receptados por el Gateway, para posteriormente ser almacenados en la plataforma Thingspeak y por último ser visualizados los datos obtenidos por el sistema.

Figura 6: Diagrama de Bloque General

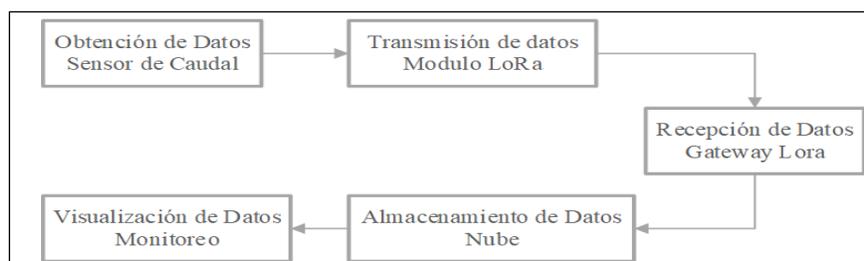


Diagrama de bloques del sistema

## 2.2. Topología de la red LoRaWAN

### 2.2.1. Topología punto a punto

Para la conexión se ha seleccionado la topología punto a punto, que consta de elementos principales como: los dispositivos finales, el gateway y el servidor central de la red. En comparación con el resto de las configuraciones, esta permite a los módulos finales ser más simples y debido a que la estación base es quien se encarga de manejar el procesamiento, se logra tener bajos consumos de energía permitiendo hasta 10 años de duración de la batería.

En la Figura 7 se presenta el diseño de la topología de la red que está constituida por el nodo sensor que es el encargado de medir, procesar y transmitir la información mediante el protocolo LoRaWAN. Para esto se utiliza un identificador en donde el gateway publica la información en un servidor que se encuentra en la nube y puede ser visualizado mediante una interfaz gráfica en tiempo real, en la que se monitorea el consumo de agua potable en metro cúbicos. El monitoreo se realiza desde la junta de agua SANA CUENDINA.

Figura 7: Topología de la red estrella

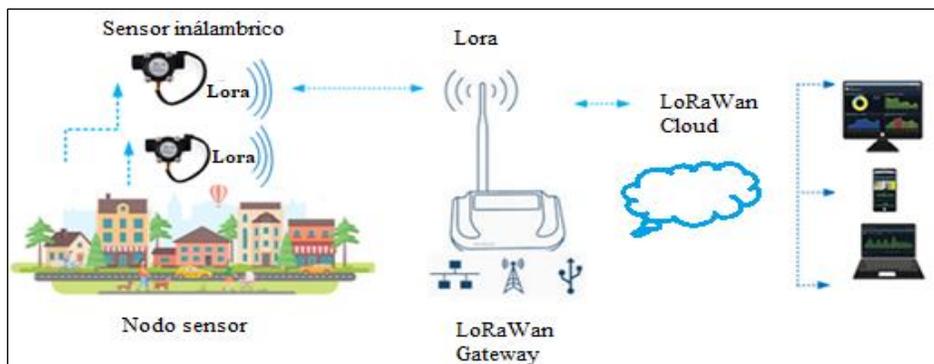
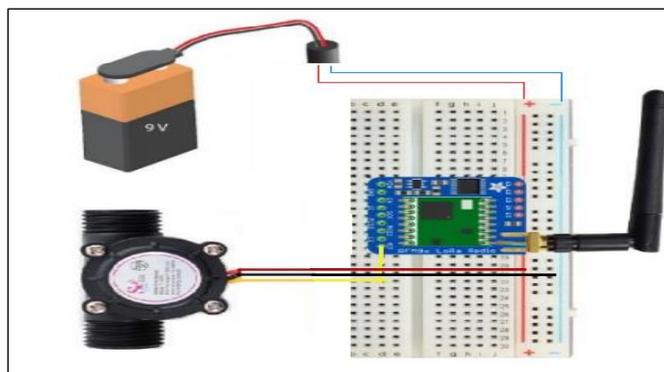


Diagrama de la red LoRaWAN. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

### 2.3. Esquema del Transmisor de la red LoRa

La conexión del módulo de transmisión está implementada con un sensor de caudal YF-S201 se utilizó por el voltaje de funcionamiento, el trabajo de caudal de 1 a 30 litros por minuto y su precisión del 2%, posee un módulo LoRa y una fuente de alimentación con sus respectivas conexiones en un proto board como se observa en la Figura 8.

Figura 8: Módulo de Transmisor

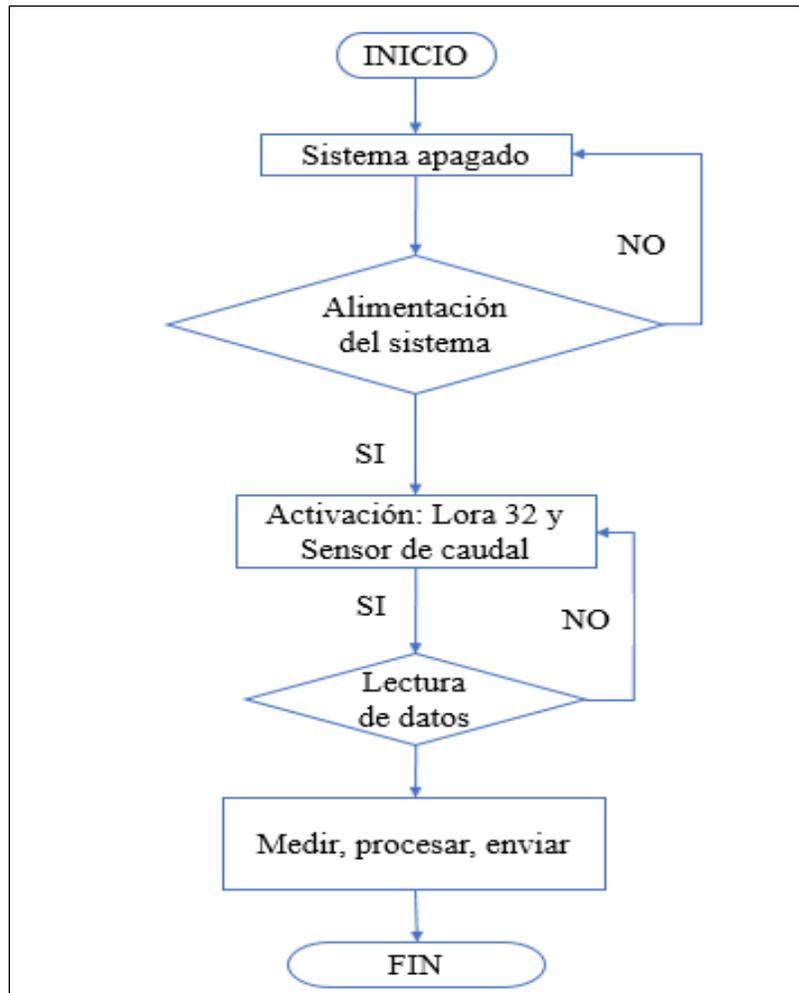


Conexión entre el módulo de procesamiento y el sensor. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

#### 2.3.1. Diagrama de flujo Transmisor

En la Figura 9 se presenta el proceso lógico del transmisor que se lleva a cabo para la adquisición y transmisión de los datos censados. El prototipo que se encuentra en la acometida es el encargado de recoger los datos enviados por el sensor de caudal, esta información ingresa al dispositivo LoRa la cual se encarga de procesar y guardar la información en una variable y enviarlo hacia el Gateway.

Figura 9 Diagrama de Flujo



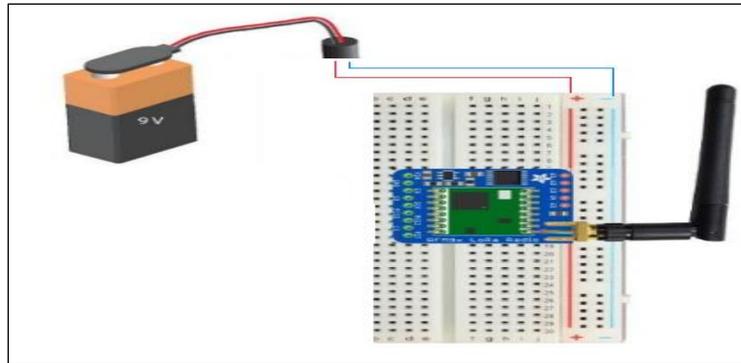
Proceso del sistema de Transmisión. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

### 2.3.2. Esquema del Receptor

La conexión del receptor se observa en la Figura 10 el módulo de recepción está conectado a una fuente de alimentación y a la antena LoRa como se ve en el diagrama esquemático la cual brinda un alcance inalámbrico a los dispositivos, posee una ganancia de 10 dBi, y el cable tiene pérdidas de 0.075 dB.

Además, el módulo tiene integrada una antena Wifi omnidireccional con ganancia de 20 dB, mediante la cual se conecta con la red de la junta de agua y esto permite subir los datos a la nube donde son procesados.

Figura 10: Módulo del Receptor



Conexión entre el módulo de procesamiento y la fuente de alimentación. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

### 2.3.3. Diagrama de flujo del Receptor

El módulo receptor es el encargado de recolectar los datos enviados por el transmisor y este es encargado de almacenar en la base de datos de la plataforma thingspeak para ser visualizados de forma gráfica como se muestra la Figura 11.

Figura 11 Diagrama de Flujo

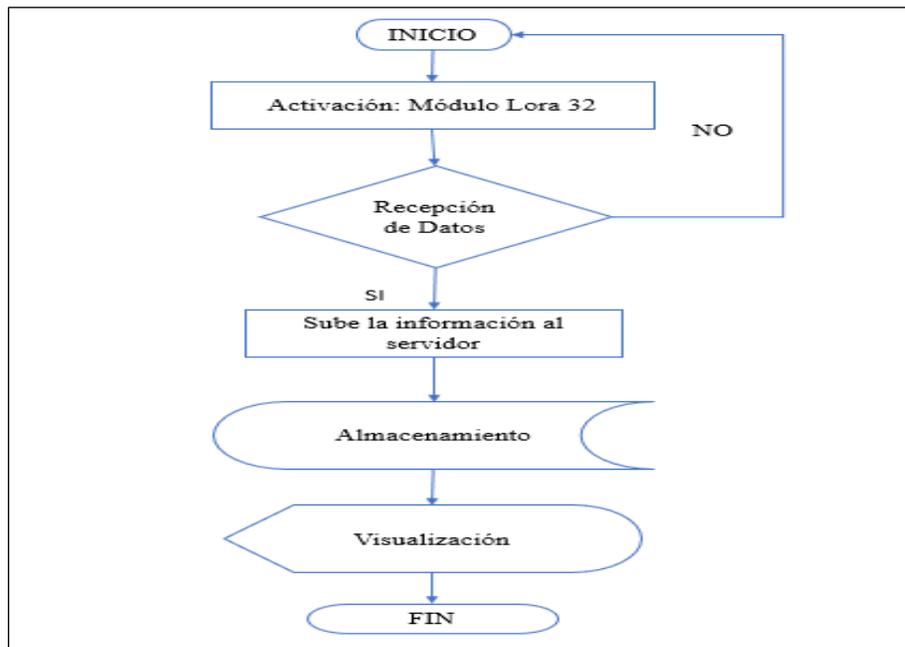


Diagrama de Flujo del receptor. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

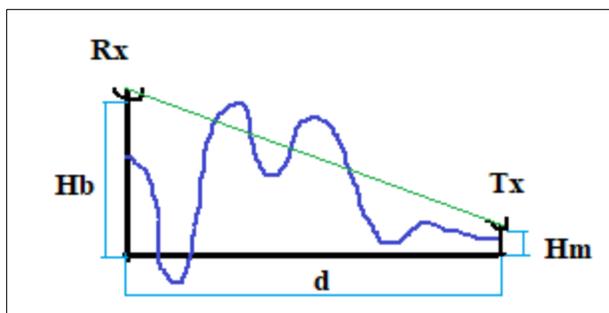
## 2.4. Cálculos para el presupuesto del diseño de la red en una zona rural

Para realizar los cálculos del enlace se ha emplea el modelo de propagación de Okumura-Hata ya que este trabaja en un rango de frecuencia desde 150MHz hasta 1500MHz óptimo para trabajar con los módulos de lora el cual trabaja a 915MHz a diferencia de los otros modelos que trabajan a otras frecuencias distintas y este modelo es óptimo para entornos rurales.

- Frecuencia a partir de 150 hasta los 1500MHz.
- Distancia del transmisor al receptor a partir de 1 a 20Km.
- Altura de la antena base desde 30 a 200 m.
- Altura de la antena móvil desde 1 a 10m.

Como se muestra en la Figura 12. los parámetros solicitados por el modelo de Okumura-Hata.(García 2014)

Figura 12 Radio enlace



Estructura de un enlace punto a punto. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

Se emplea un enlace punto a punto para conectar dos nodos específicos con el fin de calcular las pérdidas de propagación a gran escala, como se observa en la EC.1. (Zachaeus, Ogunremi, and Ojedokun 2019)

$$L(dB) = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log h_b - a(h_m) + [(44,9 - 6,55 \log h_m)] \log d \quad \text{EC.1}$$

El factor de corrección para la altura de la antena móvil se presenta en la EC.2. para poder calcular se tomó en cuenta los parámetros como la frecuencia de 915 MHz que trabaja la antena del módulo de LoRaWan, la distancia del nodo más lejano de 0.412 Km ya que este es el nodo más lejano del receptor, la altura de este es de 6.75 m dicho valor se considera para una mejor recepción al igual que el transmisor con una altura de 5.5m.

$$a(h_m) = (1,1 \log f - 0,7)h_m - (1,53 \log f) \quad \text{EC. 2}$$

**Donde:**

$$f = 915 \text{ MHz}$$

$$d = 0.412 \text{ Km (última casa del Barrio Sana Cuendina Centro)}$$

$$h_b = 6,75\text{m (altura de la antena receptora medida de pruebas de cobertura)}$$

$$h_m = 5,5\text{m (altura móvil del transmisor medida de pruebas de cobertura)}$$

**Calculando:**

$$a(h_m) = (1,1 \log 915 - 0,7)5 - (1,53 \log 915)$$

$$a(h_m) = 8,26$$

$$L(\text{dB}) = 69,55 + 26,16 \log 915 - 13,82 \log 6,75 - 8,26 + [(44,9 - 6,55 \log 6,75)] \log 0,412$$

$$L(\text{dB}) = 112,100$$

La pérdida máxima que puede alcanzar el sistema es de 112, 100 dB, para tener una buena comunicación en entornos rurales.

## 2.5. Cálculos para el radioenlace

Es necesario calcular la potencia de recepción y considerar los siguientes parámetros de la antena como potencia de transmisión (20 dBm), ganancia transmisión (10 dBi), ganancia de recepción (10 dBi), pérdidas de conectores (0.5) (Zachaeus et al. 2019) y las pérdidas de Okumura Hata (112.100 dB) ya antes calculadas, estos valores se aplican en la EC.3.

$$Prx(\text{dB}) = Ptx(\text{db}) + Gtx(\text{db}) + Grx(\text{db}) - Lp(\text{db}) - Lad(\text{db}) \quad \text{EC. 3}$$

$$Prx(\text{dB}) = 20 + 10 + 10 - 112,100 - 2$$

$$Prx(\text{dBm}) = -74,1$$

Se ha obtenido un resultado de -74,1 dBm, siendo este un valor aceptable para la transmisión de datos debido a que la sensibilidad del módulo LoRaWAN es de -98 dBm concluyendo así que es un sistema confiable.

- Indisponibilidad del sistema como se muestra en la EC.4 está se produce cuando la señal recibida no alcanza el nivel de calidad mínimo requerido produciendo una interrupción del sistema y este sirve para posteriores cálculos.

**Donde:**

**1 – R = indisponibilidad del sistema**

**D = 0.412 Km (nodo más alejado)**

**0.0001 y 400 constantes**

**Calculando:**

$$(1 - R) = \frac{0,0001 * D}{400} \quad \text{EC. 4}$$

$$(1 - R) = \frac{0,0001 * 0.412}{400}$$

$$(1 - R) = 103 * 10^{-9}$$

- Margen de umbral (MU) Esta dada por la mínima cantidad de potencia en la recepción utilizando la EC.5 se tiene como dato el valor de -98dB que es la sensibilidad del módulo LoRa

**Donde:**

**MU = sensibilidad de LoRa**

**Prx = -74,10 (potencia recibida de receptor)**

**Ur = (sensibilidad del módulo LoRa)**

**Calculando:**

$$MU = Prx - Ur \quad \text{EC.5}$$

$$MU = -74,10 - (-98)$$

$$MU = 23,90$$

- Cálculo de margen de desvanecimiento (MD)

El factor toma en cuenta las propiedades no óptimas y menos predecibles de la propagación de ondas radiales, considerando la fiabilidad del sistema, se empleó la siguiente tabla con los parámetros necesarios para calcular en la EC.6. como se muestra la Figura 13.

Figura 13 Parámetros para el margen de desvanecimiento

<b>A=Factor de rugosidad</b>
4 sobre agua o un terreno muy liso
1 sobre un terreno promedio
0,25 sobre un terreno muy áspero y montañoso
<b>B=Factor para convertir la peor probabilidad mensual en una probabilidad anual.</b>
1 para pasar una disponibilidad anual a peor base mensual
0,5 para áreas calientes y húmedas
0,25 para áreas continentales promedio
0,125 para áreas muy secas y montañosas

Valores característicos para A y B. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimbal

**Calculando:**

$A=1; B=0,25 \text{ } MU \geq MD$ , se cumple

$$MD = 30 * \log D + 10 * \log(6 * A * B * f) - 10 * \log(1 - R) - 70 \tag{EC.6}$$

$$MD = 30 * \log(0,412) + 10 * \log(6 * 1 * 0,25 * 915) - 10 * \log(103 * 10^{-9}) - 70$$

$$MD = 16.95$$

$23,90 \geq 16.95$  ; se cumple

- Confiabilidad del enlace señal el tiempo probabilístico en el cual un radioenlace se mantiene transmitiendo la información como se muestra en la EC-7.

$$C = (1 - P) * 100 \tag{EC.7}$$

$$C = (1 - 103 * 10^{-9}) * 100$$

$$C = 99,999989\%$$

## 2.6. Simulación del área de cobertura Radio Mobile

- **Datos del nodo Transmisor**

Para simular el radio enlace se utilizó el software RadioMobile. En la Figura 14 se observan los parámetros de la antena receptora, en la Figura 15 se muestra las coordenadas: Latitud  $0^{\circ}22'29,8''$ , Longitud  $78^{\circ}28'58,3''$ , en la Figura 16 se observa los datos obtenidos del sistema: sensibilidad, potencia, pérdidas de los conectores y características de las antenas.

Figura 14 Parámetros del nodo base

The screenshot shows the 'Propiedades de las redes' dialog box. On the left, a list of networks is shown, with 'NODO BASE' selected. The main area is divided into tabs: 'Parámetros', 'Topología', 'Miembros', 'Sistemas', and 'Estilo'. The 'Parámetros' tab is active, displaying the following settings:

- Nombre de la red: NODO BASE
- Refractividad de la superficie (Unidades-N): 301
- Frecuencia mínima (MHz): 668
- Conductividad del suelo (S/m): 0,005
- Frecuencia máxima (MHz): 915
- Permitividad relativa al suelo: 15
- Polarización:  Vertical,  Horizontal
- Clima:  Ecuatorial,  Continental sub-tropical,  Marítimo sub-tropical,  Desierto,  Continental templado,  Marítimo templado sobre la tierra,  Marítimo templado sobre el mar
- Modo estadístico:  Intento (% de tiempo: 50),  Accidental (% de: 50),  Móvil (ubicaciones: % de situaciones: 70),  Difusión

Parámetros de la antena del nodo base. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

Figura 15 Coordenadas del nodo base

Coordenadas

Latitud 00 ° 22 ' 29,8 " S

Longitud 078 ° 28 ' 58,3 " O

Latitud -0,374947

Longitud -78,48286

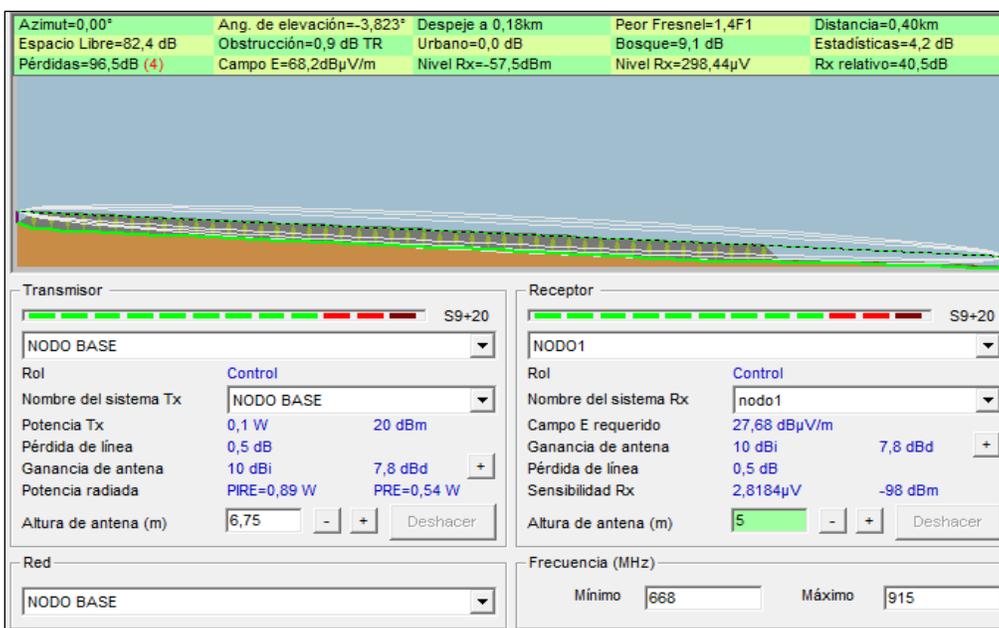
QRA FI09SP

OK

Cancelar

Coordenadas de la antena nodo base. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

Figura 16 Resultados del radio enlace



Valores de la simulación entre el nodo base y el nodo 1. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

Los datos obtenidos por el software Radio Mobile y los calculados se muestran en la Figura 18. Como se puede observar las pérdidas de propagación del enlace de Radio Mobile da un valor de 96.5 dB obteniendo niveles de pérdidas similares a los calculados teóricamente y la potencia recibida tanto los calculados como los simulados tiene excelente intensidad de la

señal ya que se encuentra en el rango de -70 a -10 dBm como nos muestra la Figura 17.(Kadhim and Salih 2014)

Figura 17 Rango de intensidad de la señal de la antena receptora

<b>RX nivel (dBm)</b>	<b>Fuerza</b>
-120 a -95	Pobre
-95 a -83	Buena
-85 a -70	Muy Buena
-70 a -10	Excelente

Intensidad de la señal. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

Figura 18 Cuadro comparativo

	<b>Calculados</b>	<b>Enlace Radio Mobile</b>
<b>Pérdidas de propagación</b>	112,1 dB	96,5 dB
<b>Potencia Recibida</b>	74,1 dBm	57 dBm

Cuadro comparativo de los valores calculados y simulados. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

Se observo que la diferencia entre estos valores se da a que, para obtener un valor calculado se toman datos reales para resolver mediante fórmulas, a diferencia de los simuladores que utilizan información ideal de los equipos y perfiles geográficos.

- **Datos del nodo Receptor**

En la Figura 19 se observan los parámetros de la antena receptora como es la frecuencia mínima y máxima a la que trabaja, en la Figura 20 se muestra las coordenadas: Latitud 0°22'16,9'', Longitud 78°28'58,3'', la Figura 16 muestra los valores del radio enlace: pérdidas de propagación, sensibilidad, potencia, pérdidas de los conectores y características de las antenas.

Figura 19 Parámetros de la antena nodo 1

The screenshot shows a software interface for configuring antenna parameters. On the left, a list titled 'Lista de todas las redes' contains 'NODO BASE' and 'Red 2' (highlighted in blue), followed by 'Red 3' through 'Red 11'. The main window has several tabs: 'Parámetros' (selected), 'Topología', 'Miembros', 'Sistemas', and 'Estilo'. At the top right are buttons for 'Parámetros por defecto', 'Copiar Red', 'Pegar Red', 'Cancelar', and 'OK'. The 'Parámetros' tab contains the following fields:

Nombre de la red	Refreactividad de la superficie (Unidades-N)	301
Red 2	Conductividad del suelo (S/m)	0,005
Frecuencia mínima (MHz)	668	
Frecuencia máxima (MHz)	915	
	Permitividad relativa al suelo	15

Parámetros de la antena receptora. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

Figura 20 Coordenadas del nodo receptor

The screenshot shows a dialog box titled 'Coordenadas' with a close button (X) in the top right corner. It contains the following fields and buttons:

Latitud	00	°	22	'	16,9	"	S	OK
Longitud	078	°	28	'	58,3	"	O	Cancelar
Latitud	-0,371367							
Longitud	-78,48286							
QRA	FI09SP							

Coordenadas del nodo1. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

- **Área de cobertura del enlace en Radio Mobile**

El área de cobertura para el enlace se muestra en la Figura 21 del software Radio Mobile.

Figura 21 Área de cobertura



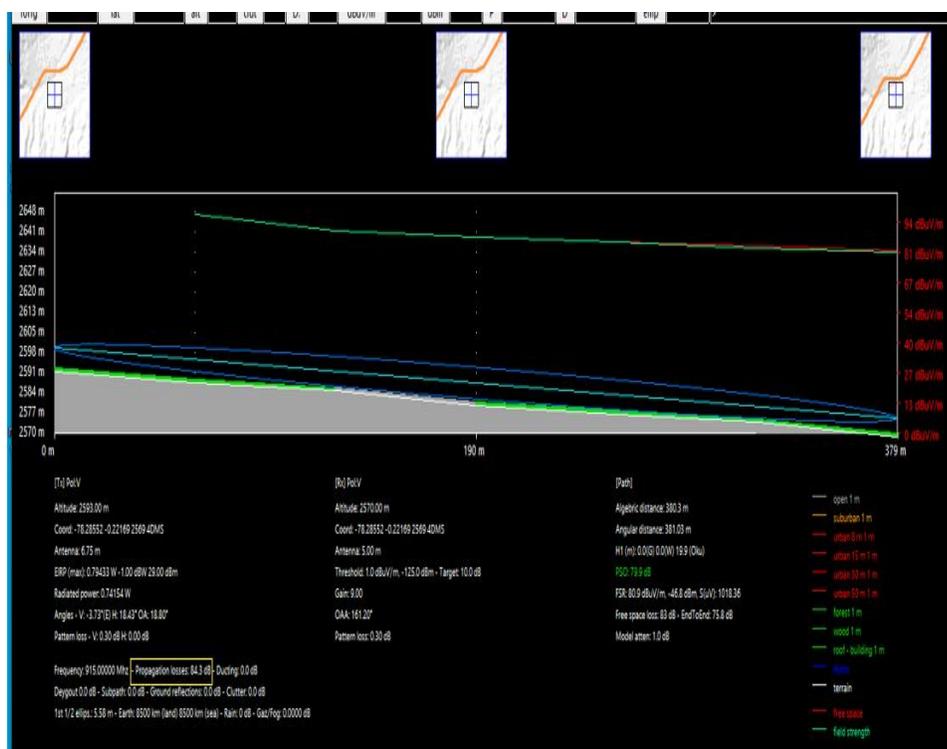
Zona de cobertura Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

El área de cobertura del enlace muestra la simetría y viabilidad de enlace entre los nodos del transmisor y receptor.

## 2.7. Simulación de área de cobertura ICS Telecom

Se realizó otra simulación en el software ICS Telecom con la finalidad de comparar los datos obtenidos entre las simulaciones del radioenlace como se muestra en la Figura 22 para ver las pérdidas de propagación.

Figura 22 Resultados del enlace



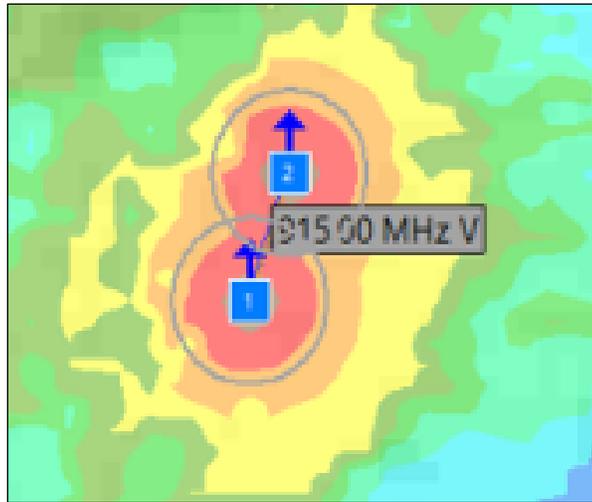
Valores de la simulación Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

En la simulación del Software ICS TELECOM se puede encontrar parámetros de pérdida de espacio libre, obstrucción, Nivel de Rx y Ganancia del sistema.

- **Área de cobertura enlace ICS TELECOM**

El área de cobertura para el enlace se muestra en la Figura 23 del software ICS Telecom.

Figura 23 Área de cobertura



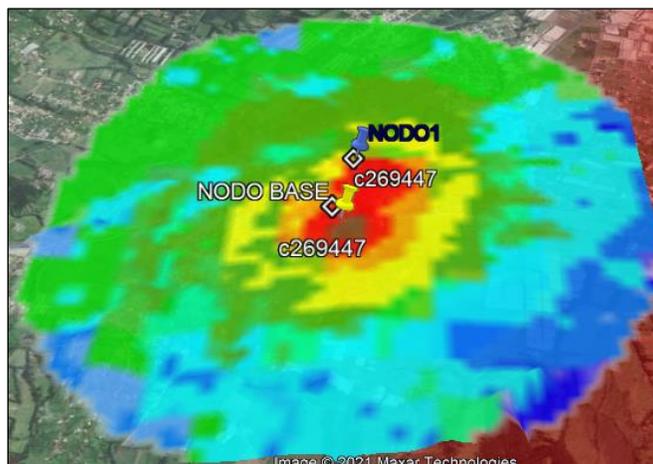
Zona de cobertura Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

El área de cobertura del enlace simulada por el software de ICS TELECOM muestra una buena comunicación entre los nodos de transmisión y recepción para el radioenlace.

- **Área de cobertura en Google Earth Pro**

El área de cobertura del enlace en Google Earth se muestra en la Figura 24

Figura 24 Área de cobertura



Ubicación del radio de cobertura en el Barrio Cuendina Fuente. Google Earth

## CAPITULO III

### 3. Implementación del prototipo de lectura y transmisión de datos con el protocolo LoRaWAN

#### 3.1. Selección de dispositivos para la red

##### 3.1.1. Hardware

- Módulos LoRa

En la Figura 25 se presenta las características de los diferentes módulos que se encuentran en el mercado.

Figura 25 Características de los dispositivos LoRa

Característica	LoRa Shield Dragino	TIGO LoRa 32	Heltec Wifi Lora 32 (v2)
Temperatura	-40- 80°	-40 – 80°	-40 – 80°
Potencia de salida Max.	20dBm	19dBm± 1dB	19.5dBm± 1dB
Librería	No	No	Si
Tecnología de comunicación	LoRa	LoRa/Wifi/bluetooth	LoRa/Wifi/bluetooth
Antena (Interfaz)	Coaxial SMA	IPEX	IPEX
Chip LoRa	Incluido	Incluido	Incluido
CPU	-	ESP32	ESP32

Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

Luego de analizar los diversos dispositivos, se ha llegado a la conclusión que el módulo Heltec Wifi Lora 32 (v2) es útil para la aplicación de este proyecto dado que trabaja con frecuencias bajas de 915 MHz considerando que se encuentra dentro del uso determinado de bandas libres, además consta con un chip SX1276, conectividad WIFI y Bluetooth, su velocidad de transmisión de datos es de 150 Mbps, potencia de transmisión de 20 dBm con una sensibilidad de -98dBm en la receptor, posee un tarjeta Lora 32 y una antena Lora. Descartando así a LoRa Dragino por basarse en Arduino Nano, además de no poseer librerías de fábrica ni CPU.(ESP 2021)

- **Sensor de Caudal**

Para poder determinar el sensor de caudal de agua, se ha realizado un análisis comparativo con algunos sensores en la Figura 26 considerando su costo y accesibilidad.

Figura 26 Comparación entre sensores de flujo de agua.

Característica	1/2" YF-S201 	2" YF-DN50 
Voltaje de operación	5V-18V DC	5V-18V DC
Corriente	15mA (5V)	15mA (5V) Max
Pulso por litro	450	12
Volumen por pulso	2.25mL	83.3mL
Presión máxima	1.75MPa (17 bar)	1.75MPa (17 bar)
Temperatura	-25° -80°C	5°-80°C
Compatibilidad	Arduino, PIC, PLC, Raspberry	Arduino, PIC, PLC, Raspberry

Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

Ambos sensores se encargan de medir el gasto volumétrico dentro de una tubería para conocer el consumo del agua. Por las características presentadas se ha elegido el sensor de caudal 1/2" YF –S201, por su costo y su tamaño; además tiene una precisión de hasta 10% en una buena calibración. Se basa en la siguiente EC.8:

$$\text{Flujo del agua en L/ min} = \frac{\text{Pulsaciones del sensor[Hz]}}{7.5} \quad \text{EC.8}$$

- **Antena Omnidireccional para módulo LoRa**

Esta antena como se muestra la Figura 27 brinda un alcance inalámbrico a los dispositivos, posee una ganancia de 10 dBi, el cable tiene pérdidas de 0.5 dB polarización tanto horizontal como vertical con salida omnidireccional y ganancias altas que permiten mejorar la señal.

Figura 27 Antena Omnidireccional.

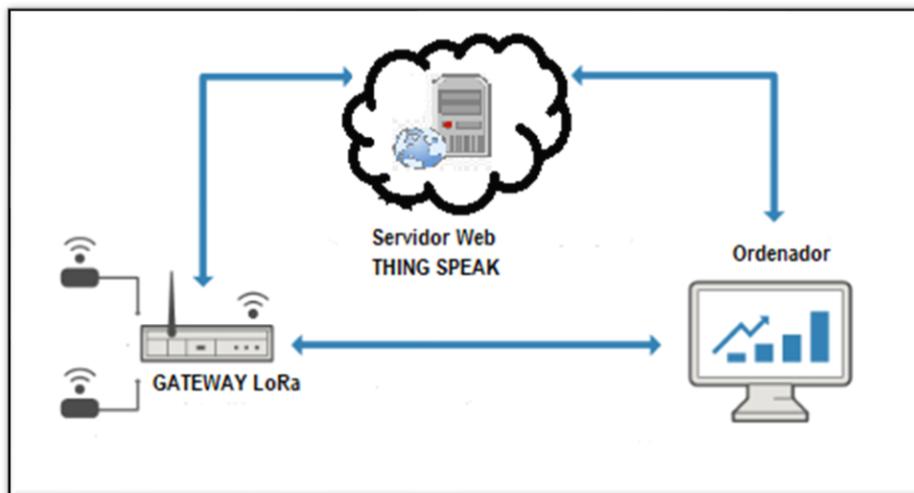


Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

### Servidor Web

Para analizar y almacenar la información enviada por parte de los dispositivos finales se utilizó la plataforma ThingSpeak, la cual permite visualizar los datos en tiempo real, la plataforma maneja una configuración de canales los cuales son públicos y privados, donde existen diferentes zonas donde se visualizan los datos adquiridos, además permite importar o exportar los datos como muestra la Figura 28.

Figura 28 Servidor Web



Conexión entre el servidor y el Gateway. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

### **3.1.2. Software**

Para la programación se empleó el entorno de desarrollo de Arduino que permite escribir o leer el código, en este caso para la placa Heltec Wifi LoRa 32(V2), desde la cual se transfiere la información hacia una plataforma ThingSpeak por cuanto recoge, almacena y analiza flujo de datos del sensor en tiempo real.

- **Fase de transmisión**

El módulo LoRa es el encargado de recibir los datos provenientes del sensor de caudal, armar las tramas con los valores del consumo de agua y enviar para lograr una comunicación exitosa, se añadió una identificación del dispositivo desde el cual se está transmitiendo y la dirección del receptor, en este caso el nombre del nodo final está definido con el sistema hexadecimal 0xFF y la dirección del Gateway como 0XFD, además de incluir la frecuencia de trabajo que para Ecuador es de 915MHz

- **Fase de recepción**

El nodo de recepción es el responsable de admitir las tramas que proviene del dispositivo final por medio de la modulación de la tecnología LoRa, para el proceso de recibir los datos, también se usó un módulo Heltec wifi LoRa 32 que dentro de sus características tiene conexión Wifi lo que le permite enlazarse a la red de la junta de agua, y luego al servidor.

## **3.2. Estructura y funcionamiento de la programación de los módulos Heltec Wifi LoRa 32**

### **3.2.1. Programación del receptor**

En el proyecto se empleó dos módulos Lora Esp32 los que se encargan de desempeñar diferentes funciones, el primero es el encargado de recibir todos los datos enviados por el sensor de caudal que se encuentra ubicado en la acometida de estudio.

El módulo se ha programado usando el IDE de Arduino y se utilizó las siguientes librerías: Heltec.h la cual permite recibir mensajes para ser visualizados en la pantalla led, el Wifi.h admite a la placa Arduino LoRa32 enlazarse a internet, mediante el router y la librería NTPClient.h obtiene la hora local, la fecha actualizada según la ubicación geográfica del del equipo como se muestra la Figura 29.

Figura 29 Configuración de la librería.

```
#include "heltec.h"
#include <WiFiUdp.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <WiFi.h>
#include "secrets.h"
#include "ThingSpeak.h"
#include <NTPClient.h>
LIBRERIAS
const long utcOffsetInSeconds = -18000;
char daysOfTheWeek[7][12] = {"Domingo", "Lunes", "Martes",
                             "Miercoles", "Jueves", "Viernes", "Sabado"};
```

Inclusión de las librerías en el código. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

En la Figura 30 se muestra la librería secrets.h donde se encuentran las configuraciones de las credenciales privadas y los detalles de conexión como: el nombre del router, la clave de la API y la clave de la canal proporcionada por la plataforma Thingspeak.

Figura 30 Credenciales de conexión.

```
#define SECRET_SSID "FIBRAMAX-DANIEL INTERNET" RED LOCAL
#define SECRET_PASS "2287524802" CLAVE

#define SECRET_CH_ID 1497918 ID DEL CANAL
#define SECRET_WRITE_APIKEY "XAL2NLSDOQXTV4XK" CLAVE DEL CANAL
```

Librería de credenciales. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

Se asigna las variables de tipo string como se muestra en la Figura 31 donde se almacena los datos los cuales provienen del nodo transmisor para posteriormente ser visualizados en la plataforma de thingspeak.

Figura 31 Inicialización de variables para los nodos

```
String number1 = "";
String number2 = "";
String number3 = "";
```

Variables de la programación. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

Se establece la banda de trabajo de 915MH, se coloca la dirección de la puerta de enlace en hexadecimal 0xFF y un temporizador que es el encargado de controlar el intervalo de tiempo que se sube los datos a la nube del servidor mediante wifi como se muestra en la Figura 32.

Figura 32 Variables de LoRa.

```
#define BAND      915E6          BANDA DE TRABAJO

String outgoing;

byte localAddress = 0xFF;      DIRECCIÓN DEL GATEWAY
byte destination = 0xFD;

byte msgCount = 0;
long lastSendTime = 0;
int interval = 2000;          INTERVALO DE TIEMPO
```

Definición de protocolos de comunicación con la nube. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

Como se muestra en la Figura 33 se puede visualizar las lecturas enviadas por el nodo receptor el cual realiza las mediciones y monitorea en tiempo real.

Figura 33 Monitoreo de variables en el serial de Arduino.

```
Serial.println("Received from: 0x" + String(sender, HEX));
Serial.println("Sent to: 0x" + String(recipient, HEX));
Serial.println("Message ID: " + String(incomingMsgId));
Serial.println("Message length: " + String(incomingLength));
Serial.println("Message: " + incoming);
Serial.println("RSSI: " + String(LoRa.packetRssi()));
Serial.println("Snr: " + String(LoRa.packetSnr()));
Serial.println();
```

Datos del serial. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

### 3.2.2. Programación del transmisor

Este segundo módulo tiene como función recopilar todos los valores medidos por el sensor de caudal y mediante una calibración de este es posible leer los valores en metros cúbicos para que sean interpretados en el consumo de agua.

En la Figura 34 se describe el código utilizado en el dispositivo que es el encargado de procesar y enviar los datos del caudalímetro, además se especifica el pin del módulo donde está conectado el sensor, la ID del Gateway 0xFF y el nombre del nodo emisor 0XB2 escritos en hexadecimal y también se especifica el intervalo de tiempo con que los mensajes deben ser enviados hacia el Gateway.

Figura 34 Configuraciones básicas de comunicación

```

Heltec.LoRa Multiple Communication
*/
#include "heltec.h"

#define BAND      915E6           BANDA DE TRABAJO

#define SENSOR    12             PIN DEL SENSOR
String outgoing;

byte localAddress = 0xb2;       DIRECCIÓN DEL GATEWAY
byte destination = 0xFF;       DIRECCIÓN DEL DISPOSITIVO EMISOR

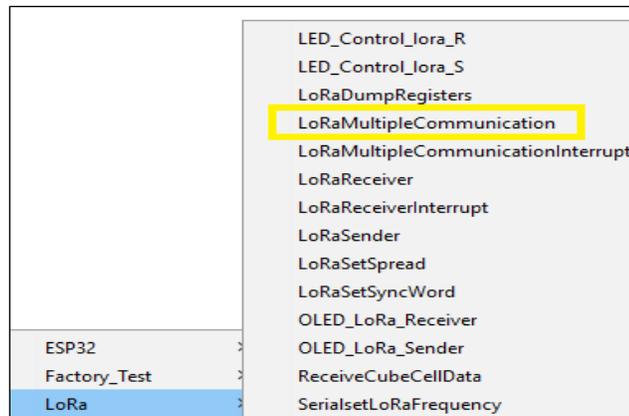
byte msgCount = 0;
long lastSendTime = 0;         INTERVALO DE SALIDA DEL MENSAJE
int interval = 6000;

```

Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

El programa este hecho en base al ejemplo de la librería de múltiple comunicación, que es propuesto por el propio fabricante de LoRa y se encuentra en el IDE de Arduino como se muestra en la Figura 35.

Figura 35 Librería de múltiple comunicación.



Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

En esta sección del código se describe el factor de calibración que va desde 0.5 a 3, debido a que no es un sensor de precisión, esto permite graduar las mediciones, donde cada pulso eléctrico es leído por la entrada digital de nuestro módulo, después de ser calibrado llega a tener una validez de hasta el 10%.

En la Figura 36 se especifica el tipo de variables que son usadas a lo largo de la programación tanto las de tipo volátil que sirven para efectuar las interrupciones, como las variables donde se almacenan los datos enviados por el caudalímetro.

Figura 36 Variables del programa.

```
float calibrationFactor = 1.4;          FACTOR DE CALIBRACIÓN
volatile byte pulseCount;              VARIABLE DE TIPO VOLATIL
byte pulse1Sec = 0;
float flowRate;
unsigned long flowMilliLitres;         VARIABLES
unsigned int totalMilliLitres;
float flowLitres;
float metros3;
```

Definición de las variables para la calibración Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

La Figura 37 describe el funcionamiento de la interrupción, que se encarga de sumar los giros de la turbina del sensor esto sucede en milisegundos.

Figura 37 Función de la interrupción.

```
void IRAM_ATTR pulseCounter()
{
    pulseCount++;
}
```

Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

A continuación, se muestra en la Figura 38 la programación de la función del sensor de caudal, donde se realizó el cálculo para determinar el flujo de agua, consiste en contar el número de pulsos en un período de tiempo, después se multiplica por el valor conocido de volumen de agua y de esta manera se obtiene el consumo de agua

Figura 38 Función del sensor de caudal.

```
void CAUDAL(){
currentMillis = millis();
if (currentMillis - previousMillis > interval){
pulseSec = pulseCount;
pulseCount = 0;
flowRate = ((1000.0 / (millis() - previousMillis)) * pulseSec) / calibrationFactor;
previousMillis = millis();
flowMilliLitres = (flowRate / 60) * 1000;
flowLitres = (flowRate / 60);
totalMilliLitres += flowMilliLitres;
totalLitres += flowLitres;
metros3= (totalLitres*0.001);
//medidor=medidor+metros3;

}
}
```

Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

En la función del setup, se encuentra la librería Heltec.begin encargada de encender la pantalla oled del dispositivo LoRa, y permite comprobar el funcionamiento correcto e inicializa las variables del sensor en 0, se muestra en la Figura 39.

Figura 39 Función void setup.

```
void setup()
{
//WIFI Kit series V1 not support Vext control
Heltec.begin

Serial.println("Heltec.LoRa Duplex");
Heltec.display->init();
Heltec.display->flipScreenVertically();
Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);

delay(1500);
Heltec.display->clear();
Heltec.display->drawString(0, 0, "Heltec.LoRa OK!");
Heltec.display->display();
delay(1000);
//-----sensor caudal-----
pinMode(SENSOR, INPUT_PULLUP);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(SENSOR), pulseCounter, FALLING);
pulseCount = 0;
flowRate = 0.0;
flowMilliLitres = 0;
totalMilliLitres = 0;
previousMillis = 0;
//-----
}
```

Programación de la pantalla oled del módulo LoRa Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

En la función loop de la Figura 40 se muestra procesos que se repiten siempre, como la lectura del caudal, y se almacenan en una nueva variable de tipo string y de esta forma se comienza a armar la trama para enviar los datos.

Figura 40 Función void loop.

```
void loop()
{
  if (millis() - lastSendTime > interval)
  {
    CAUDAL();

    dtostrf(metros3, 1, 4, m3);
    String Metros3(m3);
    sendMessage(Metros3);
    Serial.println(totalLitres);

    Heltec.display->clear();
    Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);
    Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
    Heltec.display->drawString(0, 0, "Enviando caudal modulo 1:");
    Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
    // Heltec.display->drawString(0, 20, String(temp) + " m3");
    Heltec.display->drawString(0, 30, Metros3+" m3");
    //Heltec.display->drawString(0, 40, String(humidity)+" %");
    Heltec.display->display();
  }
  // parse for a packet, and call onReceive with the result:
  onReceive(LoRa.parsePacket());
}
```

Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

La función sendMessage, como se muestra la Figura 41 se encarga de armar y enviar la trama de la siguiente manera, inicializa el paquete, agrega el destino, añade la dirección del módulo que está enviando, coloca una ID al mensaje, se agrega el tamaño de la carga en nuestro caso son 7 caracteres, y lo más importante el outgoing representa el caudal enviando y finaliza el armado de la trama, se incrementa el contador para transmitir un próximo mensaje.

Figura 41 Función para enviar mensaje.

```
void sendMessage(String outgoing)
{
  LoRa.beginPacket(); // start packet
  LoRa.write(destination); // add destination address
  LoRa.write(localAddress); // add sender address
  LoRa.write(msgCount); // add message ID
  LoRa.write(outgoing.length()); // add payload length
  LoRa.print(outgoing); // add payload
  LoRa.endPacket(); // finish packet and send it
  msgCount++; // increment message ID
}
```

Partes de la trama Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

### 3.3. Enlace del proyecto a la plataforma web Thingspeak

Thingspeak es una plataforma muy sencilla de utilizar, está permite recopilar información de los datos de consumo de agua para esto cuenta con un servidor donde se almacenan todos los datos que provienen de los sensores y son visualizados en tiempo real en la plataforma.

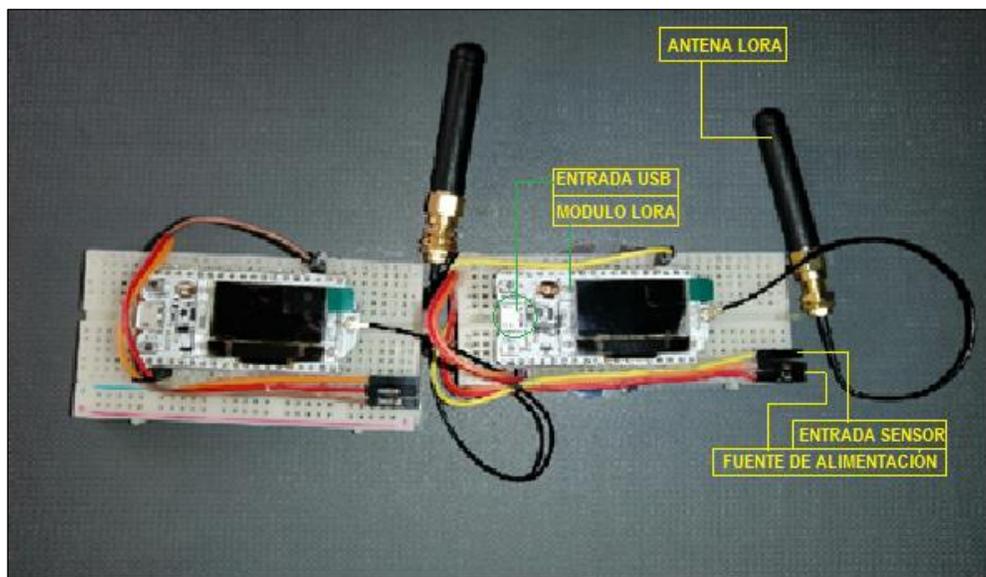
Para poder hacer uso de este servicio se necesita seguir los siguientes pasos:

- Ingresar a la página web <https://thingspeak.com/>
- Registrarse con un nombre de usuario y contraseña
- Elegir el uso en nuestro caso es educativo
- Copiar la clave del canal y la API, esto se muestra en la figura 23 de la programación.
- Configurar los canales donde se quiere visualizar los datos enviados por los módulos

### 3.4. Montaje de los equipos de transmisión y recepción

Para la construcción del prototipo se empleó dos módulos LoRa previamente explicados en la sección anterior, mostrado en la Figura 42 es importante aclarar que no se usó un Gateway por tratarse de un enlace punto a punto, pero si el enlace es estrellas si es necesario utilizar para una mejor comunicación.

Figura 42 Módulos LoRa.



Dispositivos de transmisor y receptor Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

Como son dispositivos de prueba se realizó el montaje sobre un protoboard con la finalidad de revisar y realizar pruebas de funcionamiento y poder evitar fallas del circuito, se conectó los pines de entrada de alimentación GND y 5V del módulo y el pin 12 del sensor de caudal.

A continuación, se instaló el nodo de transmisión y de recepción en los sitios seleccionados a una altura de 5m y 6m respectivamente, los módulos fueron montados en cajas plásticas que tiene las siguientes dimensiones 14x14x6cm, como se muestra en la Figura 43 con la finalidad de proteger de los cambios climáticos y del polvo.

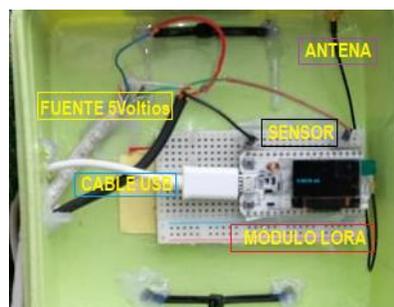
Figura 43 Caja de protección.



Caja de los módulos Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

Como parte final se instaló el prototipo con los cables conectados, dentro de la caja, como se muestra en la Figura 44.

Figura 44 Armado del prototipo.



Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

Se realizó la instalación de los prototipos en las viviendas, tomando en cuenta que las cajas se deben instalar en una parte alta en nuestro caso se usó el poste de la cámara de seguridad de la vivienda, como se muestra en la Figura 45 para la conexión se utilizó cable utp, se realizó previamente la conexión de la toma de alimentación, se presta mayor atención a los conectores que sean lo más discretos posibles.

Figura 45 Instalación del nodo final.



Instalación del prototipo en las acometidas. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

Además, se instaló los sensores, para esto fue necesario desconectar el paso de agua de la acometida, desarmar la instalación de tubería de 1” y colocar el caudalímetro a continuación del medidor de agua, como se muestra en la Figura 46.

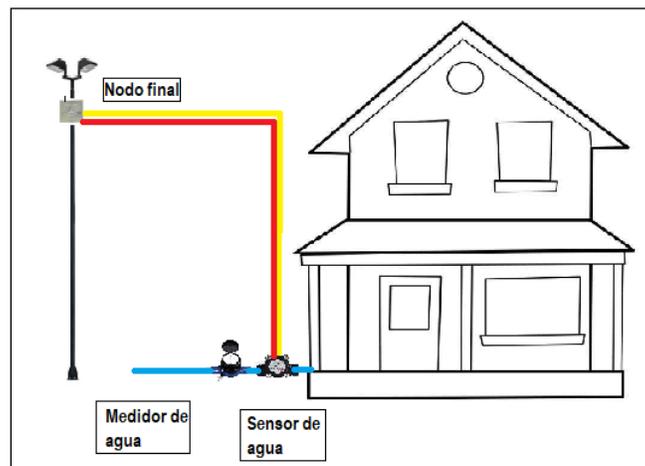
Figura 46 Instalación del sensor.



Instalación del sensor en la acometida. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

En la Figura 47 se muestra un bosquejo final de la conexión entre el transmisor y el receptor.

Figura 47 Esquema de conexión.



Esquema de conexión entre el nodo final y la casa. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

### 3.5. Calibración del sensor de caudal YF-S201

Para iniciar la calibración del sensor, fue necesario tener un recipiente graduado, con el fin de tener una mayor presión en el consumo de agua. La hoja del fabricante indica la siguiente

información, que un litro de agua que atraviesa por el rotor del sensor se obtiene un valor aproximado de 450 pulsaciones, como se muestra en la ecuación 8.

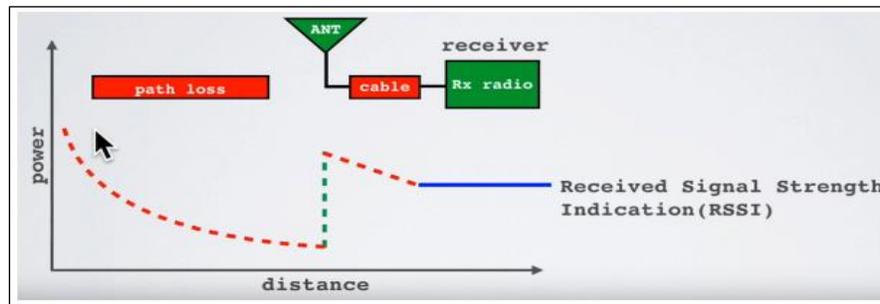
Pasos para la calibración:

- Con la ayuda de un envase graduado se tomó una muestra de agua
- Se comparó las medidas con la del serial de Arduino.
- Si la medida analógica y digital no son iguales se modifica el factor de calibración.
- Se debe repetir los pasos hasta que las medidas sean lo más exactas posibles

### 3.6. Prueba de eficiencia del prototipo

Para poder demostrar si el sistema es eficiente al momento de transmitir los datos se observó la intensidad de la señal recibida (RSSI), que es la potencia en milivatios medida en dBm y es un número negativo como se muestra la Figura 48.(Eslava, Vidal, and Lopez 2014)

Figura 48 Relación entre la intensidad de la señal recibida.



Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

El RSSI se usa como una medida para poder determinar si la red está funcionando correctamente, cuando recibe la información de los nodos, los valores normales de LoRa RSSI se muestran en la Tabla 2 tomando en cuenta que el valor mínimo debe ser de -120dBm para una buena comunicación.

Tabla 2 Valores nominales de intensidad de señal

RSSI	-30 dBm	Señal fuerte
RSSI	-120 dBm	Señal débil

Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

La prueba consistió en determinar el alcance máximo de señal transmitida, entre el Gateway y un nodo ubicado a diferentes distancias, para esto se toma como punto de origen la oficina de la junta de agua y se realiza un desplazamiento con línea de vista.

Se realizó 15 mediciones con una distancia de separación de 50 metros, como se muestra en la Tabla 3 para conocer el alcance máximo de transmisión, los datos visualizando en el serial del programador de Arduino.

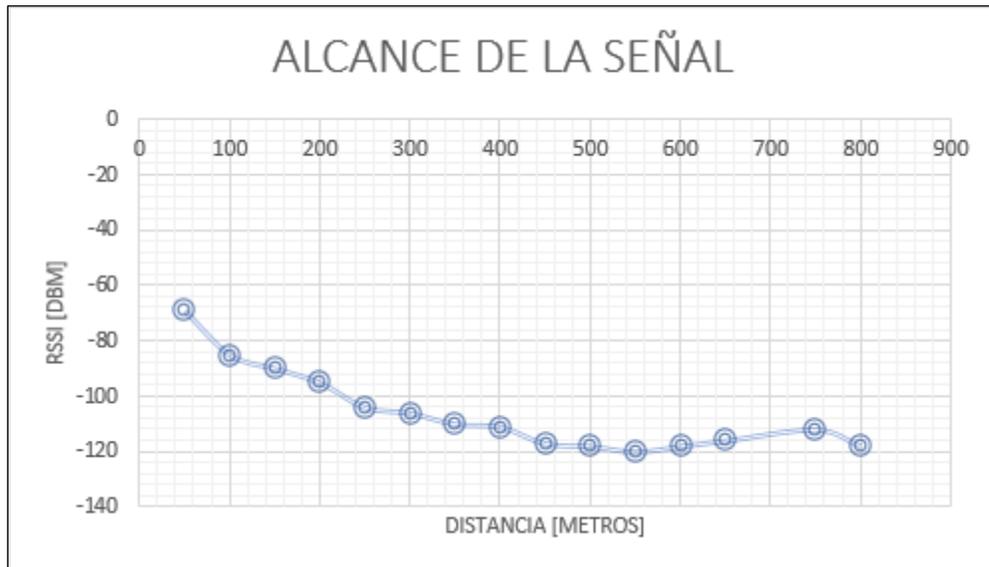
Tabla 3 Valores medidos de la intensidad de señal

<b>Distancia [metros]</b>	<b>RSSI [dBm]</b>
50	-69
100	-85
150	-90
200	-95
250	-104
300	-106
350	-101
400	-111
450	-117
500	-118
550	-120
600	-118
650	-116
750	-112
800	-118

Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

Con la información recopilada se obtuvo una gráfica que permite determinar la relación entre la distancia del nodo de prueba y el Gateway, esto permitió ver la variación de la señal LoRa, a las diferentes distancias, esto se muestra en la Figura 49.

Figura 49 Variación de la señal.



Varianza de la calidad de la señal en dBm. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

## CAPITULO IV

### 4. ANÁLISIS DEL PROTOTIPO DE LA RED IoT

#### 4.1. Pruebas de funcionamiento del prototipo en la vivienda

Luego de tener instalado los módulos se realizó las pruebas de transmisión de datos de los nodos receptor y transmisor lo que se apreció el fallo de comunicación entre estos, debido a las irregularidades del terreno para la cual se realizaron las pruebas de alcance y efectividad explicadas en el capítulo anterior, se comprueba que para una distancia superior de 800 metros de longitud entre el nodo transmisor y receptor la intensidad de señal se desvanece en su totalidad.

Instalado el prototipo en el nodo final se comprueba la comunicación entre nodos por el cual comienza a recibir los datos que está enviando el sensor de caudal por medio del módulo LoRa como se muestra la Figura 50.

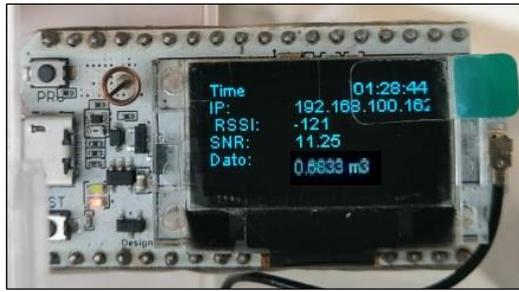
Figura 50 Módulo del Transmisor.



Prototipo transmitiendo datos. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

El nodo de la oficina empezó a recibir los datos a través de la comunicación LoRa como se muestra en la Figura 51 muestra información como: la hora local del país, la IP del módulo, intensidad de la señal y el dato del consumo de agua en metros cúbicos, estos datos son enviados por el transmisor.

Figura 51 Módulo transmisor.



Prototipo de recepción de datos. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

Para comprobar que, si existe transferencia de información recibida por el nodo receptor, puede ser monitoreada mediante el puerto serial de Arduino como lo muestra la Figura 52 los datos son recibidos con un intervalo de 3 segundos.

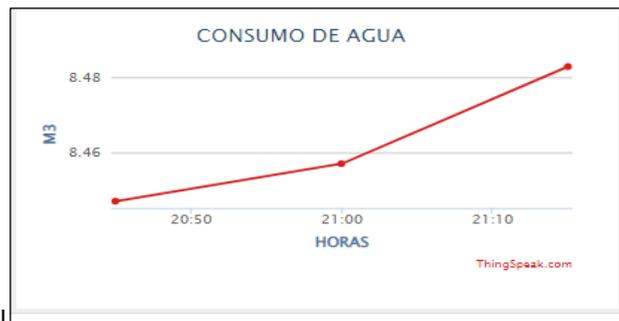
Figura 52 Serial de Arduino.

```
13:07:48
Received from: 0xb2
Sent to: 0xff
Message ID: 244
Message length: 6
Message: 0.0026
RSSI: -118
Snr: 12.25
```

Captura de una trama de datos. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

El dispositivo LoRa de la oficina está programado para subir la información en la nube con un intervalo de dos segundos, por lo que se puede visualizar en la página web, la información de consumo en metros en cúbicos en la Figura 53 y en la Figura 54 muestra el valor del RSSI.

Figura 53 Monitoreo de consumo de agua.



Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

Figura 54 Monitoreo de la intensidad de la señal de LoRa.



Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

Para la etapa de comparación entre las medidas registradas por el prototipo y el medidor de agua, el sistema se pone en funcionamiento durante un tiempo de monitoreo de 3 días desde la fecha de 22 de agosto del 2021 a las 08H00, hasta el 24 de agosto del 2021 de las 20H00. El 22 de agosto se registró la lectura en metros cúbicos del medidor de agua, como base de valor de referencia que permitirá cotejar con los metros cúbicos medidos por el prototipo se muestra en la Figura 55.

En el nodo final se registra una lectura de 04925  $m^3$ , al inicio de la prueba.

Figura 55 Lectura analógica inicial del medidor.



Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

La lectura registrada en el medidor al final de los 3 días se muestra en la Figura 56 se registra una lectura de 04929  $m^3$ , al término de la prueba.

Figura 56 Lectura analógica final del medidor.



Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

El prototipo, en el nodo final inicia su medición en cero, como se muestra en la siguiente Tabla 4 donde se registró los valores medidos en intervalos de una hora empezando a las 08H00 del 22 de agosto del 2021.

Tabla 4 Registro de lecturas en la plataforma

Fecha	Hora	Consumo ( $m^3$ )
22/8/2021	08H00	0,3205
22/8/2021	09H00	0,3431
22/8/2021	10H00	0,3606
22/8/2021	11H00	0,5287
22/8/2021	12H00	0,6165
22/8/2021	13H00	0,7070
22/8/2021	14H00	0,7090
22/8/2021	15H00	0,7190
22/8/2021	16H00	0,8292
22/8/2021	17H00	0,8387
22/8/2021	18H00	0,8850
22/8/2021	19H00	0,8863
22/8/2021	20H00	0,8950

Lecturas realizadas durante el primer día de prueba del prototipo. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

Al termino de los tres días de pruebas del prototipo este registró una medición de 3,9654  $m^3$ , los valores medidos se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5 Registro de lecturas en la plataforma

<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Consumo (m<sup>3</sup>)</b>
24/8/2021	08H00	3,1087
24/8/2021	09H00	3,1089
24/8/2021	10H00	3,1264
24/8/2021	11H00	3,2067
24/8/2021	12H00	3,2300
24/8/2021	13H00	3,2607
24/8/2021	14H00	3,2901
24/8/2021	15H00	3,3143
24/8/2021	16H00	3,3484
24/8/2021	17H00	3,3887
24/8/2021	18H00	3,4035
24/8/2021	19H00	3,4219
24/8/2021	20H00	3,9654

Lecturas realizadas durante el último día de pruebas del prototipo. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

Para determinar el consumo total de agua del medidor analógico ubicado en la acometida del señor Daniel Guanoliquin, al término del tiempo de prueba, es necesario determinar la diferencia de las lecturas analógicas mostradas en la Figura 55 y Figura 56.

***Consumo durante la prueba = Lectura actual – lectura anteriores***

***Consumo durante la prueba = 04929m<sup>3</sup> – 04925m<sup>3</sup>***

***Consumo durante la prueba = 4 m<sup>3</sup>***

En la Tabla 6 se muestra la comparación de las lecturas del medidor analógico de agua y el prototipo en la acometida de estudio.

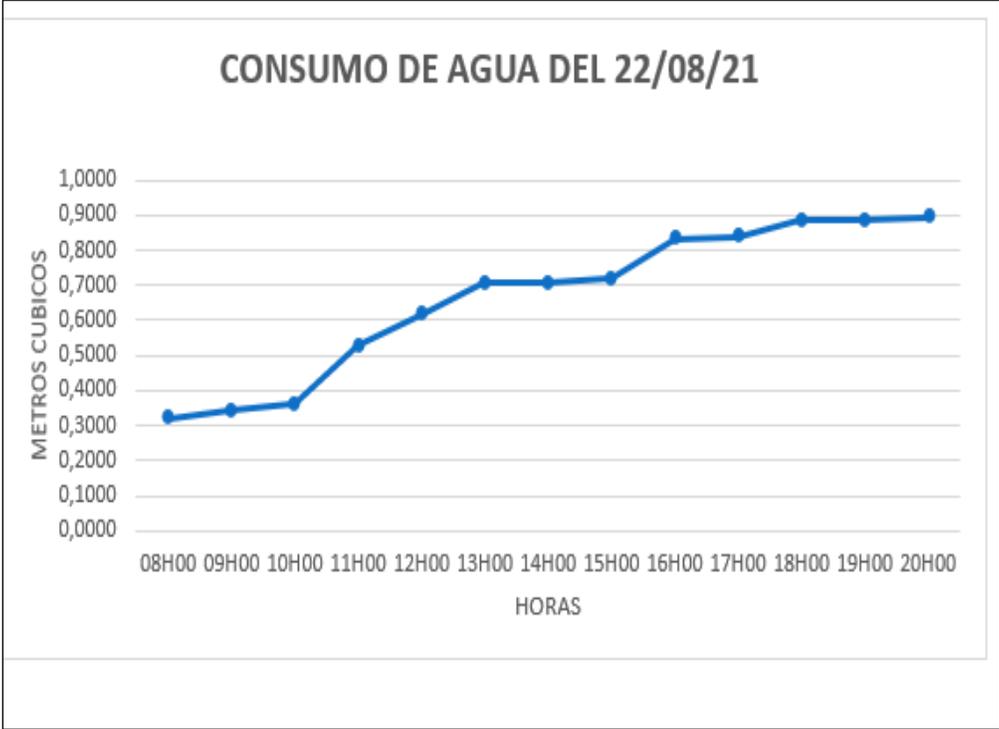
Tabla 6 Comparación entre las lecturas del medidor y el prototipo

<b>Acometida del nodo transmisor</b>			
<b>Medidor [m3]</b>	<b>Prototipo [m3]</b>	<b>Error absoluto</b>	<b>Error relativo (%)</b>
4	3,9654	0,0346	0,865

Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

El error que se muestra en la Tabla 6 es un valor aceptable lo que quiere decir que el sensor del prototipo está bien calibrado y las lecturas con el medidor análogo no tienen mucha diferencia, lo que demuestra el óptimo funcionamiento del prototipo en el nodo de estudio. En la Figura 57, se presenta el consumo diario de la acometida de estudio durante el periodo de prueba.

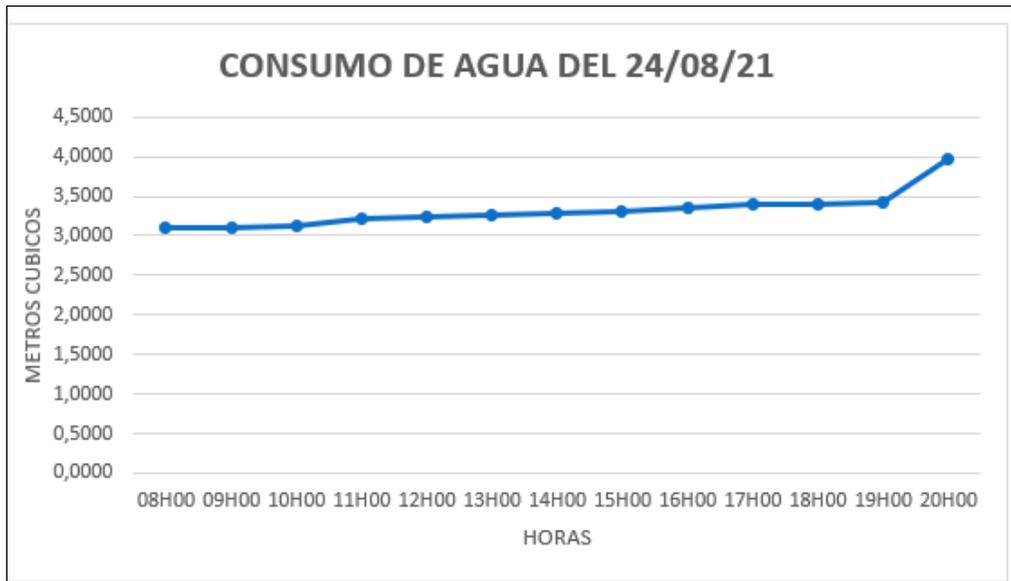
Figura 57 Grafica del consumo de agua durante la prueba.



Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

La Figura 58 muestra el consumo de agua durante el último día de la prueba, muestra una curva de los valores registrados en la plataforma, lo que permite ver que casi se ha obtenido el un valor semejante al mismo valor del medidor análogo.

Figura 58 Grafica del consumo de agua durante el último día de prueba.



Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba

## 4.2. Estudio de Costos

### 4.2.1. Investigación del costo de la implementación del prototipo de monitoreo

Se realizó una evaluación de análisis de costo beneficio siendo una técnica confiable para determinar la fiabilidad del proyecto que se desea implementar en la Junta de agua potable Sana Cuendina puesto que se toma en cuenta factores como beneficios netos y costos totales usando la siguiente Ec.9(Pérez 2015)

$$\frac{C}{B} = \frac{VAI}{VAC}$$

EC.9

**Donde:**

VAI: Beneficios netos

VCA: Costos actuales

Razón costo-beneficio:

- $\frac{C}{B} > 1$  ; Proyecto rentable
- $\frac{C}{B} < 1$  ; Proyecto no rentable
- $\frac{C}{B} = 1$  ; Proyecto no rentable

En el siguiente paso se realiza los cálculos que permiten cotejar con las razones de costo beneficio mostrado en la parte de arriba, para determinar la viabilidad del proyecto.

#### 4.2.2. Costo de los materiales

En la Tabla 7 se muestra la lista de materiales necesarios para el prototipo, además se detalla el costo total de la implementación.

Tabla 7 Lista de precios de materiales

<b>Unidad</b>	<b>Componentes</b>	<b>Precio Unitario \$</b>	<b>Precio Total \$</b>
82	Sensor de Flujo de agua	8	656
1	Mgsystem Gateway Lora Heltec Ht-m00 915MHz	90	90
82	Lora TTGO Oled 915MHz	40	3280
82	Cajas plásticas	4	328
82	Toma corrientes	1,49	122,18
82	Enchufe de corriente	1	82
1	Cable UTP cat 5E para exteriores (305m)	67	67
1	Rollo de cable gemelo	13	13
		<b>TOTAL</b>	<b>4638,18</b>

Precio total del proyecto. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

Por consiguiente, se muestra la suma total de los materiales que se implementaría en el barrio Sana Cuendina con un valor de 4638.18 dólares para 82 usuarios. En el prototipo se generó un gasto de \$106,29 dólares.

En la Tabla 8 se describe el costo de la mano de obra de las personas encargadas de la ejecución del proyecto.

Tabla 8 Costo de la mano de obra

<b>Equipo de trabajo</b>	<b>Tiempo de trabajo</b>	<b>Costo de hora</b>	<b>Total</b>
Trabajador 1	72	1,66	119,52
Trabajador 2	72	1,66	119,52
		<b>TOTAL</b>	<b>239,04</b>

Precio total por horas trabajadas. Elaborado por: Lizeth Limaico & Daniel Nacimba.

El costo de hora de trabajo que recibe un empleado es de 1,66 dólares, de modo que se toma en cuenta la programación e instalación del prototipo de lectura, entonces se empleó 72 horas para efectuar la implementación, dando como resultado un total de 239,04 dólares.

#### 4.2.3. Computo de los costos del proyecto

En la Tabla 7 se realizó la suma de los costos totales de los materiales, además fue necesario añadir el costo de la mano de obra de la Tabla 8 para esto se usó la Ecuación 10 al valor obtenido del cálculo se multiplica por el 30% para la ganancia de la Ecuación 11, dando como resultado la rentabilidad del proyecto.

$$106,29 + 239,04 = 345,04 \quad \text{EC.10}$$

$$345,04 * 30\% = 103,512 \text{ Rentabilidad} \quad \text{EC.11}$$

$$345,04 * 103,512 = 448,55 \text{ por unidad} \quad \text{EC.12}$$

La Ecuación 12 muestra el precio final del producto.

#### 4.2.4. Computo de beneficio

Con los costos obtenidos de los materiales y la mano de obra, se consiguió un valor de venta del producto de \$ 448,55 dólares por unidad, se realizó una proyección para las 82 acometidas de la zona de estudio.

#### 4.2.5. Computo de la relación costo beneficio

Se emplea la Ecuación 13 para determinar el valor de costo beneficio.

$$\frac{C}{B} = \frac{VAI}{VAC} \quad \text{EC.13}$$

$$\frac{C}{B} = \frac{448,55 * 82}{345,04 * 82}$$

$$\frac{C}{B} = 1,29$$

Con los resultados obtenidos de los cálculos, se encuentra la relación de 1,29>1, lo que indica

que el proyecto es rentable

#### **4.3. Explicación del funcionamiento del prototipo a los representantes de la junta de agua potable**

En esta etapa consiste en realizar una explicación del funcionamiento del sistema de la red de monitoreo a las personas que están a cargo de la administración del servicio de agua potable también se muestra el funcionamiento de la plataforma thingSpeak a la persona encargada de generar las facturas.

## CONCLUSIONES

El prototipo presentado en este documento del monitoreo de lectura de agua en tiempo real utiliza tecnología LoRa y arquitectura IoT, censa el consumo de agua que se encuentra en la acometida de un medidor para que los datos se muestren en un módulo Lora y pueda ser transmitido y receptado por otro módulo para que estos datos se visualicen en la pantalla y sean estos mismos subidos a la plataforma ThigSpeak.

Para el diseño de la red se utilizó el software de simulación Radio Mobile para poder simular un enlace punto a punto donde se muestran parámetros como las pérdidas de propagación 96,5dB con una potencia recibida de 57dBm, estos valores son similares los calculados teóricamente con una pérdida de propagación de 112 dB y potencia de recepción 74dBm obteniendo como resultado una excelente intensidad de señal

La lectura de consumo de agua entre el medidor analógico y el prototipo de monitoreo tiene un error absoluto de 0.865 % lo que demuestra que la calibración del prototipo funciona excelente ya que los valores entre ellos son similares.

Se logró realizar una red punto a punto con un alcance de 400 metros obteniendo una intensidad de señal de -111 dBm excelente para el prototipo de monitoreo de consumo de agua con este alcance se estaría cubriendo a todos los usuarios del barrio Sana Cuendina.

Para la implementación de todo el barrio es necesario adquirir un Gateway para poder trabajar en una topología estrella y la red funcione óptimamente caso contrario si a un módulo LoRa le tratamos como gateway todos los datos no se podrían visualizar ya que se necesitan más puertas de enlaces y estos módulos LoRa WAN puedan establecer comunicación entre ellas y no se pierda la intensidad de transmisión.

## **RECOMENDACIONES**

Para obtener datos exactos del medidor es preciso calibrar antes de implementar a la acometida del medidor.

Para una mejor señal de los dispositivos se debe instalar otra antena adicional a la que vienen en el módulo y se debe colocar alturas superiores a los 8 metros para que se obtenga un mayor alcance de cobertura.

Existen algunas mejoras para la implementación del módulo Lora en adaptar una batería con la finalidad que cuando exista un corte de energía la batería entre en funcionamiento y el transmisor siga generando datos hacia el receptor.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cárdenas, Marcelo, Diego Gonzáles, and Camila Retamal. 2018. "Protocolo LoRa Para Implementación IoT En Smart Cities." *Redes De Computadores* 1–5.
- Crizul, Francisco, and Gerardo Gómez. 2021. "Localización En Interiores Utilizando Infraestructura de Internet de Las Cosas."
- Eslava, M., S. Vidal, and J. Lopez. 2014. "Desarrollo e Implementación de Una Interfaz Gráfica de Usuario Para El Cálculo y Comparación de Modelos de Propagación Electromagnética En Exteriores." *Nova Scientia* 7.
- ESP. 2021. "ESP32 Series Datasheet." *Espressif Systems* 1–65.
- García, Francisco. 2014. "Modelos de Propagación Para Comunicaciones Móviles 4G Y 5G."
- Giuseppe, Ercolani. 2017. "Análisis Del Potencial Del Cloud Computing Para Las PYMES : Un Modelo Integrado Para Evaluar Software as a Service (SaaS) En La Nube Pública." *Proyecto de Investigación:*
- Hernández, Nelly, and Andersón Florez. 2014. "Computación En La Nube Cloud Computing." 46–51.
- Kadhim, Laith Awda, and Salih Mohammed Salih. 2014. "Indoor Distributed Antenna System for the University of Baghdad Building." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 5(4):57–68.
- Madero, María José. 2021. "Estudio de Una Red Ciudadana LoRaWAN." 56.
- Martinez, Pedro, and Mónica Moreno. 2021. "Estudio Comparativo de Plataformas Cloud Que Ofrecen Servicios IoT." 1–46.
- Monfort, Ignacio Ordóñez. 2017. "Estudio de La Arquitectura y El Nivel de Desarrollo de La Red LoRaWAN y de Los Dispositivos LoRa." 11.
- Moya Quimbita, Michael Andrés. 2018. "Evaluación de Pasarela LoRa / LoRaWAN En Entornos Urbanos." 40.
- Pállas, Ramón. 2003. *Sensores\_y\_acondicionadores\_de\_senal\_ram.Pdf*. marcombo. Barcelona: 2003.
- Panchana, Flores. 2017. "Estudio Teórico Conceptual Sobre La Computación En La Nube." *Dominio de Las Ciencias* 3(3):689–713. doi: 10.23857/dc.v3i3.
- Perez, Raul. 2015. "Guía Para Realizar Un Buen Análisis Costo - Beneficio - Riesgo Para

- Un Proyecto De Erp Empresarial.” *TCA, Software* 15.
- SAADAN, Nicolas DUCROT Dominique RAY Ahmed, and Olivier HERSENT Gabor POP Guillaume REMOND. 2016. “LoRa Device Developer Guide Orange Connected Objects & Partnerships.” *Orange* 41.
- Silva, David, and Jaffet Coello. 2020. “Diseño e Implementación de Un Sistema de Monitoreo En Tiempo Real de Sensores de Temperatura, Turbidez, Tds y Ph Para La Calidad Del Agua Utilizando La Tecnología Lorawan.” 150.
- Song, Yonghua, Jin Lin, Ming Tang, and Shufeng Dong. 2017. “An Internet of Energy Things Based on Wireless LPWAN.” *Engineering* 3(4):460–66. doi: 10.1016/J.ENG.2017.04.011.
- ThingSpeak. 2020. “IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things.” *ThingSpeak*.
- Valarezo, Wilder, and Andres Criollo. 2017. “Diseño y Estudio Del Uso de Una Red LPWAN (Low Power Wide Área Network) Para La Optimización de La Medición, Comunicación y Corrección de Errores, En El Consumo de Agua Potable: Caso de Estudio En Urbanizaciones Ubicadas En La Periferia de La Ciudad de Gu.” 47.
- Zachaeus, Adeyemo, Owolabi Ogunremi, and Isaac Ojedokun. 2019. “Optimization of Okumura-Hata Model for Long Term Evolution Network Optimization of Okumura-Hata Model for Long Term Evolution Network Deployment in Lagos , Nigeria.” (June 2016). doi: 10.15866/irecap.v6i3.9012.