



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
SEDE AZOGUES

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Tesis previa a la obtención del grado académico de Ingeniero Electrónico

TEMA:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED LPWAN PARA MEDIR EL
CONSUMO DE AGUA POTABLE DOMICILIARIA UTILIZANDO LA
TECNOLOGÍA LORA DE BAJO COSTO PARA LA JUNTA
ADMINISTRATIVA DE AGUA DEL SECTOR DE GULANZA DE LA
PARROQUIA BIBLIÁN – CANTÓN BIBLIÁN”**

DIRECTOR:

Ing. Diego Efraín Verdugo Ormaza. MSc

AUTOR:

José Gustavo Lema Morocho

AZOGUES – ECUADOR

2020



CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, José Gustavo Lema Morocho con documento de identidad Nro. 1719483271 manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Católica de Cuenca la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor de trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED LPWAN PARA MEDIR EL CONSUMO DE AGUA POTABLE DOMICILIARIA UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA LORA DE BAJO COSTO PARA LA JUNTA ADMINISTRATIVA DE AGUA DEL SECTOR DE GULANZA DE LA PARROQUIA BIBLIÁN – CANTÓN BIBLIÁN”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Católica de Cuenca, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Católica de Cuenca.

Azogues, enero 2020

José Gustavo Lema Morocho

C.I. 1719483271



APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de grado, presentado por el Sr. José Gustavo Lema Morocho para optar por el título de INGENIERO ELECTRÓNICO, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Azogues, a los 23 días del mes de enero de 2019.

Ing. Diego Efraín Verdugo Ormaza. MSc

C.I. 0301527859



CERTIFICADO DE AUTORÍA

El presente trabajo investigativo de proyecto profesional de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico, cuyo tema es “*Diseño e implementación de una red LPWAN para medir el consumo de agua potable domiciliaria utilizando la tecnología lora de bajo costo para la junta administrativa de agua del sector de Gulanza de la parroquia Biblián - cantón Biblián*”, corresponden al trabajo de investigación del autor, además certifico que he cumplido con todas las observaciones realizadas por el tribunal evaluador, por lo que las ideas, opiniones vertidas en el presente, son de exclusiva responsabilidad del autor.

Estudiante:

José Gustavo Lema Morocho

C.I. 1719483271



DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado en primer lugar a Dios, por ser mi guía y fortaleza y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres Patricio Lema y Dolores Morocho quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy una meta más en mi vida e inculcar valores de superación y a no temer las adversidades que nos da la vida.

A mi esposa y mi hijo por ser la razón de mi felicidad y por creer en mi capacidad, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado brindándome su comprensión, cariño y amor.

A mis hermanos y hermana quienes con su palabra de aliento no me dejaban caer para que siguiera adelante brindándome su apoyo con ideas y proyectos viables para el bien.

A mis abuelitos José Miguel Lema y María Angelita Lema y demás familiares que me apoyaron y creyeron siempre en mí que cumpliría con mis metas.

A mis compañeros por compartir momentos de alegría y aprendizaje que la vida nos enseña cada día.

A todos ustedes. **Gracias.**



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera profesional brindándome fuerza y sabiduría para superar aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A todos los catedráticos de la Universidad Católica y todo el personal que integran la misma, por el apoyo incondicional que me han brindado de manera especial al Ing Diego Verdugo tutor de mi proyecto de investigación quien me ha guiado con su paciencia y rectitud como docente y a la Junta Administradora de Agua Potable de la Comunidad de Gulanza por su aporte y colaboración en el proyecto.

A mi amigo Luis y futuros colegas, Edwin, Homero por su perseverancia y dedicación para realizar este trabajo de tesis y sobre todo por su mano amiga de apoyo.

A mis padres por brindarme siempre su apoyo incondicional y enseñarme que los sueños se logran con esfuerzo y dedicación

Gracias por ayudarme a conseguir mis propósitos.



RESUMEN

Internet constituye una plataforma, para desarrollo de nuevas promesas tecnológicas de gran impacto e importancia para su futuro, ofreciendo soluciones a diversos problemas. El internet de las cosas, propone una infraestructura de integración e interconexión de dispositivos y personas, donde se gestione y administre pertinente y autónomamente, el intercambio de información o se agregue dispositivos, a la cual todos podemos acceder.

Es imprescindible ante la variedad de dispositivos IoT, optimizar el uso de recursos en tecnologías de comunicación. En nuestro caso, buscamos una para el envío de información entre diversos puntos de enlace para formar una red, con un nivel de cobertura de largo alcance, bajo consumo de energía, implementación y costo accesibles, ante esto LoPy de Pycom constituye la mejor opción.

Este proyecto propone el diseño de una **red LPWAN** bajo el protocolo de comunicación **LoRa/LoRaWAN**, empleando un servidor *LoraServer* y dispositivos *LoPyv.4*, que forman los *nodos* y *Gateways* en una topología de red de datos tipo estrella, que pretende gestionar el *consumo de agua potable de la Comunidad de Gulanza del Cantón Biblián*, mediante una *interfaz gráfica creada en Node Red*, permitiendo analizar y visualizar el consumo de la población en tiempo real, mejorando de esta manera los procesos de medición, y acceso oportuno a la información de consumo, con una tecnología del futuro, de la cual podemos beneficiarnos y adaptarla a nuestras necesidades.

Palabras Clave: Red LPWAN, protocolo de comunicación LoRa, servidor de comunicaciones LoRaServer, interfaz gráfica Node Red, Nodos y Gateways con dispositivos LoPyv.4.



A B S T R A C T

The Internet represents a platform for the development of new technological potentials with great impact and relevance for its future, offering solutions to several problems. The Internet of Things (IoT) provides an infrastructure for integrating and interconnecting devices and people, where the exchange of information or the installation of devices is managed and administered in a relevant and independent way, and where everyone can access it.

It is essential, given the wide range of IoT devices, to optimize resource use in communication technologies. In our case, we are seeking one for sending information between several link points in order to create a network, with a long-range level of coverage, low power consumption, accessible implementation and cost, for which Pycom's Lopy is the best option.

This project proposes the design of a **LPWAN network** based on the **LoRa/LoRaWAN** communication protocol, using a LoraServer and LoPyv.4 devices, which together are nodes and gateways in a star type data network topology, which aims to manage the drinking water consumption of the Gulanza Community of the Biblián Cantón, through a graphic interface developed in Node Red, by allowing to analyze and display in real-time the consumption of the population, thus optimizing the measurement processes, and timely access to the information, with a modern technology, to benefit and adapt it to our needs.

Keywords: LPWAN network, LoRa communication protocol, LoRaServer communications server, graphic interface Node Network, Nodes and Gateways with LoPyv devices.4.



ÍNDICE GENERAL

R E S U M E N	VII
A B S T R A C T	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XIX
CAPÍTULO 1	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.3 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	3
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	4
1.5 HIPÓTESIS.....	5
1.6 JUSTIFICACIÓN	5
CAPÍTULO 2	7
2.1. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.....	7
2.2. MEDIDORES O CONTADORES DE AGUA	8
2.2.1. MEDICIÓN POR VELOCIDAD O TURBINA	9



2.2.2. MEDICIÓN VOLUMÉTRICA O DESPLAZAMIENTO POSITIVO	10
2.3. SMART METER	12
2.4. INTERNET DE LAS COSAS (IOT).....	14
2.5. RED DE SENSORES INALÁMBRICOS (WSN)	15
2.6. RED DE BAJA POTENCIA DE RED AMPLIA “LOW POWER WAN (LPWAN)”	16
2.6.1. CARACTERÍSTICAS DE UNA RED LPWAN.....	16
2.7. COMPARATIVA ENTRE LAS TECNOLOGÍAS ACTUALES	17
2.8. TECNOLOGÍAS LORA Y LORAWAN	17
2.8.1. LORA.....	18
2.8.2. LORAWAN	23
2.9. TOPOLOGÍA DE UNA RED LORAWAN	26
2.10. TIPOS DE CONEXIÓN DE NODOS LORA	26
2.11. CLASES DE NODOS O DISPOSITIVOS LORAWAN	28
2.12. ESTRUCTURA DE PAQUETES LORA.....	29
2.13. MODOS DE ACTIVACIÓN DE UN DISPOSITIVO FINAL O NODO LORA	31
2.14. CANAL Y ESPECTRO DE RADIOFRECUENCIA DE LORA.....	33
2.15. SEGURIDAD LORAWAN	36
CAPÍTULO 3	37
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	37
3.2. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED LORA	38



3.3. DISPOSITIVOS RELACIONADOS CON EL IOT	38
3.3.1. ARDUINO	38
3.3.2. DRAGINO LORA (SHIELD).....	40
3.3.3. SEMTECH 1276 “LORA”	41
3.3.4. MÓDULO LORA BEE.....	42
3.3.5. MÓDULO LORA LIBELIUM.....	43
3.3.6. ESCUDO O RADIO MULTIPROTOCOLO	44
3.3.7. LOPY4	46
3.3.8. TARJETA DE EXPANSION LOPY	48
3.4. SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO.....	49
3.5. SELECCIÓN DE ANTENA DE ENLACE.....	50
3.6. SELECCIÓN DEL SENSOR DE AGUA	51
3.6.1. SENSOR DE FLUJO YF-S201	52
3.7. SELECCIÓN DEL SOFTWARE	53
3.7.1. SERVIDORES DE RED LORAWAN	53
3.7.2. ATOM.....	55
CAPÍTULO 4.....	56
4.1. ARQUITECTURA DEL SISTEMA	56
4.2. ARQUITECTURA DE HARDWARE	57
4.2.1. NODO	58
4.2.2. GATEWAY	62
4.2.3. MONTAJE DE LOS EQUIPOS	63
4.3. ARQUITECTURA DE SOFTWARE.....	65



4.3.1. SERVIDOR CHIRPSTACK O LORA SERVER	66
4.3.2. APLICACIÓN DE INTERFAZ DE USUARIO (UI) Y BASE DE DATOS (DB)	67
4.4. DESARROLLO DE SOFTWARE.....	68
4.4.1. SOFTWARE DEL GATEWAY	68
4.4.2. SOFTWARE DEL NODO	70
4.5. CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS CON LORASERVER.....	72
4.5.1. REGISTRO GATEWAY – LORA SERVER.....	73
4.5.2. REGISTRO NODO – LORA SERVER	75
4.6. INTERFAZ DE VISUALIZACIÓN	79
4.7. COMUNICACIÓN NODE RED – BASE DE DATOS	82
4.8. DESARROLLO DEL FLUJO COMPLETO EN NODE- RED.....	86
4.8.1. FLUJOS DE NODOS PARA FUNCIONALIDADES DE LA INTERFAZ	92
4.8.2. FLUJOS DE INSERCIÓN DE DATOS, REPRESENTACIONES GRAFICAS Y ESTADISTICAS DEL CONSUMO DE CAUDAL	93
4.9. IMPLEMENTACIÓN Y UBICACIÓN DE LOS NODOS Y EL GATEWAY EN LA ZONA	97
4.9.1. ESCENARIO 1	99
4.9.2. ESCENARIO 2	99
4.10. DISEÑO DE LA RED EN RADIO MOBILE.....	101
4.11. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN EN RADIO MOBILE	106
CAPÍTULO 5	112
5.1 PRUEBAS DE CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE FLUJO	113



5.2	PRUEBAS DE ENLACES ENTRE EL GATEWAY Y NODO LORA.....	114
5.3	PLATAFORMAS PARA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN	115
5.3.1.	PRUEBAS DE RECEPCIÓN DE DATOS EN EL SERVIDOR DE COMUNICACIÓN	116
5.3.2.	VALIDACIÓN DE DATOS EN EL SERVIDOR DE BASE DE DATOS	117
5.4	PRUEBAS DE CONSUMO DE CAUDAL EN EL SISTEMA DE SUPERVISIÓN	118
5.5	ENSAYOS DE ENLACE Y COBERTURA EN LOS EQUIPOS DE LA RED LORA	123
5.6	COSTO DE IMPLEMENTACIÓN	123
CAPÍTULO 6	.....	127
6.1	CONCLUSIONES	127
6.2	RECOMENDACIONES	128
BIBLIOGRAFÍA	.....	129
ANEXO A	.....	135
ANEXO B	.....	137
ANEXO C	.....	143
ANEXO D	.....	144
ANEXO E	.....	145
ANEXO F	.....	146



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 Sistema de abastecimiento de agua potable.</i>	7
<i>Figura 2.2 Medidor Residencial o de Micro Medición de Agua.</i>	8
<i>Figura 2.3 Contador de agua residencial.</i>	9
<i>Figura 2.4 Componentes de un contador de chorro único.</i>	9
<i>Figura 2.5 Componentes de un contador de chorro múltiple.</i>	10
<i>Figura 2.6 Partes de un medidor de pistón oscilante.</i>	11
<i>Figura 2.7 Partes de un medidor de disco oscilante.</i>	11
<i>Figura 2.8 Contadores Inteligentes.</i>	12
<i>Figura 2.9 Sistema de medición inteligente.</i>	13
<i>Figura 2.10 Red IoT.</i>	14
<i>Figura 2.11 Arquitectura de una red WSN con un Gateway y nodos distribuidos.</i>	15
<i>Figura 2.12 Tipos de Tecnologías IoT.</i>	16
<i>Figura 2.13 Señal Portadora CSS.</i>	18
<i>Figura 2.14 Diferencia entre tipos de Factor de propagación (SF) en una transmisión de datos.</i>	19
<i>Figura 2.15 Funcionamiento de la Modulación LoRa.</i>	19
<i>Figura 2.16 Tipos de SF en relación a velocidad y distancia</i>	21
<i>Figura 2.17 Funcionamiento de la pila LoRaWAN.</i>	23
<i>Figura 2.18 Arquitectura de una red LoRaWAN.</i>	24
<i>Figura 2.19 Topología tipo estrella.</i>	26
<i>Figura 2.20 Modo de conexión P2P.</i>	27
<i>Figura 2.21 Modo de conexión Híbrido.</i>	28
<i>Figura 2.22 Envío de paquetes en Clase A.</i>	28
<i>Figura 2.23 Envío de paquetes en Clase B.</i>	29
<i>Figura 2.24 Envío de paquetes en Clase C.</i>	29
<i>Figura 2.25 Modo de Activación sobre el aire.</i>	32
<i>Figura 2.26 Modo de activación por personalización &El Autor.</i>	33
<i>Figura 2.27 Envío de paquetes en un solo canal.</i>	34
<i>Figura 2.28 Mensaje enviado en 3 canales.</i>	35



Figura 2.29 Ciclo de uso en tres canales mediante dos sub – bandas.	35
Figura 2.30 Niveles de seguridad LoRaWAN.	36
Figura 3.1 Placa de desarrollo Arduino Uno.	39
Figura 3.2 Arquitectura Arduino armada con varias Shields.	40
Figura 3.3 LoRa Dragino.	40
Figura 3.4 Transceptor LoRa 1276.	41
Figura 3.5 Modulo Transmisor LoRa Bee.	43
Figura 3.6 Módulo LoRa Libelium SX 1272.	44
Figura 3.7 Escudo de Radio Multiprotocolo.	45
Figura 3.8 Tipos de Radio Multiprotocolo para Arduino, Raspberry y Libelium.	45
Figura 3.9 Descripción física Lopy versión 4 como dispositivo LoRa.	46
Figura 3.10 Módulo de ampliación universal montable de Lopy4	48
Figura 3.11 Antena Omnidireccional de alta ganancia de 915MHz para Lopy.	51
Figura 3.12 Sensor de flujo de agua con efecto Hall YF –S201.	53
Figura 3.13 Tipos de servidores LoRaWAN.	54
Figura 3.14 Interfaz Atom.	55
Figura 4.1 Arquitectura del Sistema.	57
Figura 4.2 Arquitectura de hardware.	58
Figura 4.3 Arquitectura del Nodo	59
Figura 4.4 Esquema de conexión del nodo LoPy y sensor de Flujo YFS-201	59
Figura 4.5 Esquema Electrónico de la placa de acoplamiento LoPy y Sensor de flujo.	60
Figura 4.6 Diseño final de la placa de integración.	61
Figura 4.7 Arquitectura del Gateway.	62
Figura 4.8 Esquema de Conexión del Gateway LoPy.	63
Figura 4.9 Nodo LoRa ensamblado.	64
Figura 4.10 Gateway LoRa ensamblado.	64
Figura 4.11 Diagramas de bloques iteraciones y relaciones de los elementos de la arquitectura de la red LPWAN LoRa propuesta originalmente	65
Figura 4.12 Gateway Lora ensamblado.	67
Figura 4.13 Diagrama de Flujo del funcionamiento del Gateway.	70
Figura 4.14 Arquitectura del Servidor LoRa Server.	72
Figura 4.15 Creación del Servidor de Red.	73
Figura 4.16 Creación del Perfil para la Puerta de Enlace.	74
Figura 4.17 Configuración del Gateway	74
Figura 4.18 Detalle de Frames recibidos y/o Transmitidos.	75



Figura 4.19 Creación de perfil de Servicio.	75
Figura 4.20 Creación de Aplicación.	76
Figura 4.21 Códec del dispositivo. (JavaScript Personalizado).	77
Figura 4.22 Creación de un Nodo.	77
Figura 4.23 Parámetros de configuración y visualización de los nodos creados.	78
Figura 4.24. Integración de Base de datos (InfluxDB) con LoRa Server.	78
Figura 4.25 Datos Capturados de los Nodos.	79
Figura 4.26 Arquitectura de Node.js apoyado en JavaScript y tecnologías del lado del navegador como Node Red.	80
Figura 4.27 Esquema de flujos con nodos y componentes del entorno en Node Red.	80
Figura 4.28 Diagrama de flujo de comunicación del sistema LoRa.	82
Figura 4.29 Paquete InfluxDB descargado en Node-Red.	84
Figura 4.30 Izq. Nodos de representación gráfica de datos, Centro. Ejemplo de página UI. Der. Nodos de programación modular.	85
Figura 4.31 Edición del nodo Function en el flow de la interfaz web.	86
Figura 4.32 Izq. Configuración y programación del nodo Template, Der. Edición del Nodo Delay. Dentro del flujo de la interfaz web.	87
Figura 4.33 Izq. Configuración del nodo Join en el flujo de la interfaz web, Der. Edición del nodo Chart. En el flujo de la interfaz web.	88
Figura 4.34 Configuración del nodo InfluxDB (1), para consultas de datos por SQL a través de la propiedad msg.query (2).	89
Figura 4.35 Configuración de nodo Influxdb, e inserción de datos mediante nodo de función.	90
Figura 4.36 Flujo de bloques de Node Red para la funcionalidad de credenciales de acceso a la interfaz web.	92
Figura 4.37 Esquema de los nodos modular para la funcionalidad de registro de usuarios en la interfaz de monitoreo.	93
Figura 4.38 Flujo de nodos de estructuración e inserción de datos en Influxdb.	93
Figura 4.39 Flujo de inserción de consumos promediales en la plataforma de base de datos Influxdb mediante Node Red.	94
Figura 4.40 Flujo de nodos completo de reportes globales de consumo de caudal proveído en la interfaz de monitoreo web.	94
Figura 4.41 Flujos de nodos para representación histórica de consumo de agua potable en Node Red en la interfaz de monitoreo web.	95
Figura 4.42 Flujos de análisis de reportes de consumo por usuario en la interfaz de monitoreo web.	96
Figura 4.43 Interfaz de monitoreo web de la red LPWAN LoRa para medición de consumo de agua potable.	96
Figura 4.44 Despliegue de formularios de análisis para consumo de caudal de agua potable.	97



Figura 4.45 Software Google Earth y Radio Mobile	98
Figura 4.46 Ubicación del Gateway en una de las viviendas de los abonados del servicio.	98
Figura 4.47 Perfil de elevación del nodo 1.	99
Figura 4.48 Perfil de elevación del nodo 2.	99
Figura 4.49 Topografía de la Red LoRaWAN, ubicación de Nodos y Gateways para la Junta de Agua Potable del Sector de Gulanza.	101
Figura 4.50 Ubicación del lugar a implementar los equipos nodos y Gateways.	101
Figura 4.51 Asignación de los Nodos y Gateway en base a sus coordenadas.	103
Figura 4.52 Ubicación de los dispositivos en el mapa.	103
Figura 4.53 Parámetros de configuración de los equipos.	104
Figura 4.54 Configuración de la topología de la red.	104
Figura 4.55 Agregación de Nodos respectivamente según su Gateway.	105
Figura 4.56 Configuración de parámetros de los equipos a implementar.	106
Figura 4.57 Radio Enlaces entre los Nodos y el Gateway.	107
Figura 4.58 Perfil del enlace entre el Gateway y el primer Nodo.	108
Figura 4.59 Perfil del enlace entre el Gateway y el segundo Nodo.	108
Figura 4.60 Perfil de enlace de los dos Nodos respecto al Gateway.	109
Figura 4.61 Simulación e integración de toda la red con sus Gateways y Nodos.	109
Figura 5.1 Maqueta a escala para las pruebas de calibración.	113
Figura 5.2 Ajustes de calibración del sensor para adaptación con el nodo mediante Atom.	114
Figura 5.3 Consumo de nodos y Gateway de la red LPWAN LoRa.	114
Figura 5.4 Habitación del canal de datos entre nodo y Gateway mediante Atom.	115
Figura 5.5 Visualización de datos en LoRa Server, y características técnicas de la comunicación.	116
Figura 5.6 Base de datos LORA y tabla de registro de datos en InfluxDB.	117
Figura 5.7 Datos registrados en InfluxDB por consultas SQL.	117
Figura 5.8 Comprobación de recolección de datos entre LoRaServer e InfluxDB en tiempo real.	118
Figura 5.9 Análisis estadístico de consumo de agua potable en el formulario de Reportes Generales.	119
Figura 5.10 Sección de recaudaciones del sistema y gastos por consumo de agua potable.	119
Figura 5.11 Formulario para reportes generales de consumo de caudal de agua potable de la población.	120
Figura 5.12 Recolección de datos en tiempo real en la interfaz gráfica.	120
Figura 5.13 Formulario de registro de usuarios y asignación de medidores por id.	121
Figura 5.14 Interfaz de acceso a reportes de usuario.	121
Figura 5.15 Interfaz de visualización de reportes consumo de caudal por usuario.	122
Figura 5.16 Corroboración de calibración y precisión de lectura de los medidores del sistema.	123
Figura 5.17 Corroboración de calibración y precisión de lectura de los medidores del sistema.	123



<i>Figura B. 1 Disposición de equipos para montar la arquitectura de la red LPWAN.....</i>	<i>137</i>
<i>Figura B. 2 Partes del circuito de adaptación para módulo Lopy4 y sensor de flujo en el nodo 1 y nodo 2.....</i>	<i>137</i>
<i>Figura B. 3 Implementación del nodo 1 de la arquitectura de red LPWAN LoRa.....</i>	<i>138</i>
<i>Figura B. 4 Ubicación e implementación del Nodo 2 en línea de vista al Gateway, de la red LPWAN LoRa.....</i>	<i>139</i>
<i>Figura B. 5 ubicación e instalación del Gateway en la arquitectura de red LPWAN LoRa.....</i>	<i>139</i>
<i>Figura B. 6 Implementación completa del Gateway en la vivienda, con ello la red LPWAN LoRa queda armada y lista para operar.....</i>	<i>140</i>
<i>Figura B. 7 Verificación y validación de funcionamiento de los nodos mediante la luz señalizadora intermitente del módulo LoPy v.4.....</i>	<i>140</i>
<i>Figura B. 8 Enlaces con Gateway y nodos en LoRaServer.</i>	<i>141</i>
<i>Figura B. 9 Pruebas realizadas en TTN con la red propuesta.</i>	<i>142</i>
<i>Figura B. 10 Monitoreo de consumo de agua potable y valores de los parámetros característicos del proceso en el sistema, gestionados por Node Red.....</i>	<i>142</i>



ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1 Comparativa entre tecnologías actuales.</i>	17
<i>Tabla 2.2 Tipos de factor de dispersión.</i>	20
<i>Tabla 2.3 Tipos de velocidades de Codificación LoRa.</i>	22
<i>Tabla 2.4 Estructura de un mensaje Uplink.</i>	30
<i>Tabla 2.5 Estructura de un mensaje Uplink.</i>	30
<i>Tabla 2.6 Estructura Payload.</i>	30
<i>Tabla 2.7 Tipo de mensajes LoRaWAN.</i>	30
<i>Tabla 2.8 Espectro de frecuencias según la región.</i>	33
<i>Tabla 3.1 Características de la placa Arduino.</i>	39
<i>Tabla 3.2 Características físicas y técnicas de LoRa Shield Dragino de Arduino.</i>	41
<i>Tabla 3.3 Características Transceptor 1276 LoRa.</i>	42
<i>Tabla 3.4 Características LoRa Bee.</i>	42
<i>Tabla 3.5 Características modulo LoRa Libelium.</i>	44
<i>Tabla 3.6 Características radio multiprotocolo.</i>	45
<i>Tabla 3.7 Características técnicas de Lopy V.4.</i>	47
<i>Tabla 3.8 Características del módulo de expansión universal de Lopy</i>	48
<i>Tabla 3.9 Comparación de módulos LoRa para elección</i>	49
<i>Tabla 3.10 Características de antena 365-LORASIGFOXANTKIT.</i>	51
<i>Tabla 3.11 Características del Sensor YF-S201.</i>	53
<i>Tabla 4.1 Parámetros de configuración del Gateway.</i>	69
<i>Tabla 4.2 Parámetros de configuración del Nodo</i>	71
<i>Tabla 4.3 Tarifas y sus correspondientes Límites de consumo volumétrico.</i>	91
<i>Tabla 4.4 Límites de caudales máximo y mínimo para cada usuario, para la concepción de la interfaz web.</i>	91
<i>Tabla 4.5 Lista de Usuarios según la Red de Agua.</i>	100
<i>Tabla 4.6 Coordenadas de ubicación a implementar, del Gateway y los nodos.</i>	102
<i>Tabla 4.7 Información de datos de la simulación de los enlaces de toda la red definidos para cada Gateway como mínimo tres nodos para la Junta Administrativa de Agua Potable de Gulanza.</i>	110
<i>Tabla 4.8 Niveles de calidad de la Intensidad del RSSI.</i>	111



<i>Tabla 5.1 Presupuesto estimado para la red de prueba LPWAN LoRa (Nodo).</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 5.2 Presupuesto estimado para la red de prueba LPWAN LoRa (Gateway).</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 5.3 Diseño de enlace a los estaciones.</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 5.4 Costo total del proyecto.</i>	<i>125</i>



CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN

La constante expansión de las redes inalámbricas y el crecimiento que se viene dando en el desarrollo del campo de las comunicaciones móviles ha motivado la búsqueda de nuevas soluciones de conectividad. Dicho crecimiento ha sido continuo y se ha dado a paso acelerado, en tal medida es que se ha desarrollado la tecnología IoT que se centra en LoRaWAN (acrónimo de Long Range Wide Area Network) y en LPWAN (en inglés, Low Power Wide Area Network), redes de largo alcance y bajo consumo.

La mayoría de estas estaciones están alejadas entre sí, lo que trae como resultado que no sea fácil obtener esta información en tiempo real desde cualquier ubicación. Nuestro trabajo está enfocado en el despliegue de una red LPWAN (redes de baja potencia y área amplia) con tecnología LoRa, conocida como LoRaWAN, la cual ofrece un sistema de comunicación inalámbrico de largo alcance y bajo costo, esta red es usada particularmente para monitoreo de sensores. Además, una de las características más relevante es la utilización del espectro en bandas ISM (Industrial, científica y médica) y larga duración de los dispositivos conectados a la red a través de baterías.

Posteriormente, se realizará el estudio pertinente y la aplicación de LoRa/LoRaWAN con los equipos necesarios para poder limitar o favorecer su uso dentro de la Comunidad de Gulanza para medición del consumo de agua potable, en donde se implementará una red IoT que permitirá monitorear, sin pérdida de datos, las variables adquiridas por un módulo IoT llamado LoPy v.4.

El sistema a implementar consiste en un prototipo de red LPWAN comunicado bajo el protocolo LoRa, cuyos elementos serán dispuestos en una topología en estrellas para su comunicación. Para ello es empleada varias plataformas tanto de hardware como de software como la tarjeta de desarrollo LoPy v.4, la plataforma de diseño gráfico Node Red, una base de datos de código abierto InfluxDB y un servidor de comunicación LoRaServer, con estos implementos se propone armar



una arquitectura de monitoreo de consumo de caudal de agua en tiempo real que permite analizar y estudiar el comportamiento de los consumidores del servicio.

1.2 ANTECEDENTES

Las redes de área amplia y baja potencia (LPWAN) desempeñan un papel importante en el internet de las cosas (IoT), proporcionando conectividad a largo alcance y bajo consumo energético logrando dar solución en diversos campos de la vida como la agricultura, industria, etc. Una de las tecnologías asociadas a esta red es LoRa una alternativa de comunicación inalámbrica, basada en el protocolo LoRaWAN. Sin embargo, al ser una tecnología no muy conocida, son pocas aplicaciones que se han desarrollado, por lo que se han encontrado diversos proyectos que sugieren el diseño y la aplicación, para el monitoreo del consumo de agua mediante el uso de esta tecnología de bajo costo denominada LoRaWAN.

En 2017 se hizo una investigación titulada “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 Guayaquil en donde se propuso aplicar esta tecnología, con el objeto de brindar una mejor calidad de servicio básico, como es el servicio de agua potable, mediante el uso de sensores que permiten obtener datos reales del consumo de agua en una vivienda. Donde dicha información es transmitida y receptada con la ayuda de nodos LoRaWAN y de Gateways, cuya tecnología cuenta con alta velocidad, seguridad y bajo consumo energético, de esta manera interpretarlas y ser visualizadas a través del uso de una plataforma por medio de internet, dando como resultado de esta investigación, una tasa aproximada del 62% de las viviendas que puede dar soporte lo que conlleva a que la transmisión, es óptima para ser implementada en la urbanización escogida.

En Bogotá en 2017 se realizó la “IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SENSORES INALAMBRICOS LPWAN MEDIANTE MODULOS LORA PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN 2 RIOS”, el cual permitió evaluar la calidad de agua tomando como parámetros la conductividad eléctrica, pH, temperatura del agua mediante el uso de módulos LoRa, los cuales son los encargados de establecer la comunicación, debido a su largo alcance y bajo



consumo de energía, por lo que los hacen una tecnología adecuada para este proyecto. En este sentido es esencial la adquisición, diseño y construcción de sensores y circuitos de acondicionamiento, que permiten obtener de forma visualizada, mediante una interfaz gráfica dicha información realizada en java. La implementación de este sistema permitió, determinar la calidad del agua no obstante se requiere el uso de más sensores en cada nodo, para obtener mayor información de este modo considerar, si es apta para el consumo humano y tomar decisiones correctas para el control del agua.

1.3 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En la actualidad, la tecnología IoT o conocido también como el internet de las cosas, ha tenido un gran auge al permitir la interconexión digital de objetos cotidianos con cualquier otro a su alrededor a través de redes inalámbricas, a fin de que estos objetos sean más inteligentes e independientes logrando de esta forma automatizar y controlar diversos procesos y actividades que llevamos a cabo diariamente, hoy en día podemos encontrarnos con una gran variedad de aplicaciones de IoT que se estén usando en diferentes sectores como; industrial, doméstico incluso ciudades inteligentes, mejorando la calidad de vida de las personas (Barrera, 2017). Sin embargo, aún existen ciertas áreas donde el desarrollo tecnológico no ha sido notable, en el caso de los servicios básicos, el agua potable es una de las que menor avance ha presentado en este aspecto. Situación en la que se visto la Comunidad de Gulanza, donde se ha hallado una deficiente toma de las lecturas de los medidores de agua potable, las razones se deben a que la empresa de la Junta Administrativa de Agua Potable de Gulanza que provee el servicio, mantiene un sistema de medición tradicional que a través de hojas de registros realiza dichas mediciones de consumo ocasionando pérdidas de tiempo al ir casa por casa apuntando cada valor, que posteriormente cada registro de lectura debe ser ingresado al sistema para emitir la factura respectiva lo cual por otra parte implica contratación de personal encargado para realizar este trabajo causando molestias y preocupación entre sus consumidores, convirtiéndose en un problema por errores en la facturación o porque no se dispone aún de los valores de consumo en el momento oportuno de emitir dicho cobro, ante la poca confiabilidad de los datos en las lecturas de consumo de agua potable, esto ha conllevado a que se definan nuevas estrategias.



Ante ello surge la necesidad de una herramienta que permita mejorar y dar solución a este problema. Se plantea el uso de un sistema de adquisición de datos mediante una red LPWAN utilizando la tecnología LoRaWAN, ideada para comunicar dispositivos de bajo costo y con un menor consumo de energía, que basado en arquitecturas IoT permite la conectividad inalámbrica de largo alcance a un gran número de dispositivos (aproximadamente de 2 a 15 km, en las bandas de ISM 868-915 MHz). Por medio de esta tecnología lo que se obtendrá serán datos en tiempo real del consumo diario de agua potable, así como también estimar un promedio de cuanto ha consumido el sector, y la posibilidad de visualizar errores en la red por corte de servicio o cualquier problema que pueda tener el cliente.

Para desarrollo de este proyecto se deberá crear los nodos de la red LoRaWAN e implementar los gateways para la transmisión y recepción de datos, los cuales permitirán la respectiva interpretación y visualización de la información pertinente por parte del usuario final a través de internet (Jaramillo W. F., 2017).

1.4 OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Realizar el diseño e implementación de una red de sensores inalámbricos LPWAN para medir el consumo de agua potable en un domicilio, mediante un prototipo apoyado en el protocolo LoRa para la junta administrativa de agua del sector de GULANZA del cantón Biblián.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar el estado del arte sobre redes de sensores inalámbricos, basadas en arquitecturas IoT a fin de conocer su situación actual y proyecciones para realización del proyecto.
- Realizar la selección de los sensores con base a las especificaciones y requerimientos del problema planteado.



- Diseñar e implementar un prototipo, mediante un sistema electrónico de bajo costo y fácil acceso, que permita medir el consumo de agua usando el protocolo LoRa.
- Efectuar pruebas de campo que permiten demostrar la funcionalidad del sistema implementado.

1.5 HIPÓTESIS

Con la implementación de una red LPWAN se mejorará la gestión operativa de medición de consumo de agua potable, haciendo más flexible y eficiente la facturación de su consumo final en los hogares de la comunidad de Gulanza.

1.6 JUSTIFICACIÓN

La sociedad actual se encuentra en una era totalmente digitalizada, donde es imperante encontrarnos con sistemas electrónicos e informáticos en cualquier escenario de nuestro diario vivir que permiten obtener información al instante, incluso automatismo que acortan los tiempos de respuesta de una operación dotando beneficios económicos y una mejor eficiencia a las organizaciones. Es así que cada vez más se ha convertido en una realidad la conexión global de dispositivos a internet, este nuevo paradigma tecnológico hace posible que una sociedad se desarrolle y logre una mejor forma de vida.

Nuestra comunidad de Gulanza, presenta un déficit en la medición del servicio de agua potable, esto ha llevado a ocasionar retrasos en la recolección de datos y lo que es más errores de medición, ya que toda la actividad está a cargo de un personal humano, lo cual se interpreta en pérdidas para la propia empresa y el cliente.

Por lo observado, es necesaria la implementación de una red de comunicación inalámbrica LoRaWAN para el transporte de la información dentro del servicio de agua potable, con lo cual se evitará que el personal este obligado a movilizarse justamente a la fuente de datos del medidor para adquirirlos y luego procesarlos para la facturación. De esta manera se ahorra tiempo y dinero, por la eficiencia del sistema, ya que los dispositivos son de bajo costo y se los puede adquirir y armar fácilmente, siendo una ganancia para la empresa que dota del servicio.



LoRaWAN es una tendencia tecnológica nueva con grandes prestaciones como alta velocidad, amplia cobertura, sistema seguro y de bajo consumo de potencia, todas estas características requieren de un previo estudio sobre su funcionamiento y desarrollo de software para su implementación.



CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

El sistema de abastecimiento de agua potable es aquel que permite proveer de agua, apta para el consumo humano. Para ello, dicho sistema se encarga de realizar un minucioso tratamiento del agua para su potabilización, según su fuente (agua no tratada) esta puede provenir de ríos, manantiales, reservorios de agua de lluvia, aguas subterráneas, etc. En la Figura 2.1 se presenta cada una de las partes que componen un sistema de abastecimiento convencional.

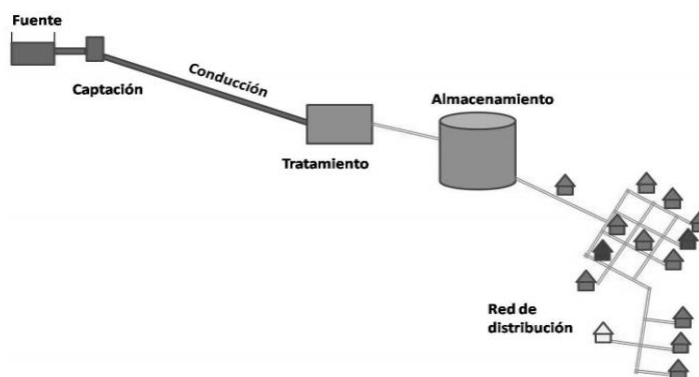


Figura 2.1 Sistema de abastecimiento de agua potable.

Fuente: (Luna, 2012).

El cumplimiento de cada etapa, es de suma importancia para garantizar que la disponibilidad y uso del agua sea saludable y segura. Así puede ser suministrada hasta el domicilio de los habitantes en poblados densos, que pueden ser zonas urbanas o rurales, a través de la red de distribución, gracias a la cual se transporta y surte del líquido vital.

Sin embargo, el almacenamiento, distribución y consumo de agua tratada (agua potable) es un tema de constante debate, ya que de estos depende en gran medida la disponibilidad y



compensaciones del servicio, para tener un bien de calidad y la cantidad suficiente para un adecuado desarrollo de la sociedad (Salazar, 2006). El consumo del líquido vital es un aspecto de mucha relevancia para la estación de abastecimiento, ya que de esta depende definir la capacidad del sistema para surtir de agua potable a la población de consumo.

Diariamente las personas ocupan varios litros de agua para realizar sus tareas cotidianas, ante ello las empresas que facilitan el servicio mediante su sistema de abastecimiento de agua potable, utilizan medidores o contadores para registrar el flujo de agua consumido mismo que está implantado en la red de distribución.

2.2. MEDIDORES O CONTADORES DE AGUA

Estos dispositivos permiten obtener un registro e indicar la cantidad de agua consumida (que por lo general se expresa en **m³** metros cúbicos) por el usuario. Mediante un ramal incorporado en el dispositivo de conteo, por el cual pasa el agua potable que va desde la red de distribución hasta el interior del domicilio, cuyo valor tomado será la base para proveer la facturación respectiva del servicio público que presta la empresa (Páez, 2015).

Aunque existen distintos contadores de agua, en este apartado solo nos centraremos en los de uso residencial o conocidos también como de micro medición (véase la Figura 2.2), los cuales son pequeños y permiten controlar caudales pequeños basados en mecanismos de partes móviles



Figura 2.2 Medidor Residencial o de Micro Medición de Agua.

Fuente: (CONAGUA, 2016).



Los contadores residenciales, permiten mantener un monitoreo continuo del consumo de agua potable en las viviendas (véase la Figura 2.3). En el mercado se dispone de una gran variedad de estos, no obstante, se presentan dos tipos comunes para medir los caudales de agua potable.

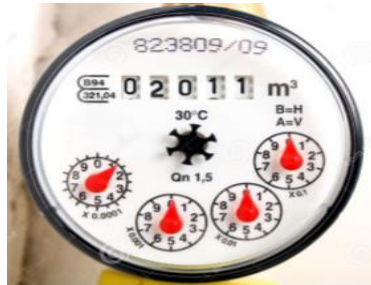


Figura 2.3 Contador de agua residencial.

Fuente: (Barbosa, 2017).

2.2.1. MEDICIÓN POR VELOCIDAD O TURBINA

Se caracterizan por medir el volumen de agua en base a la velocidad del flujo que circula por una sección, a través de la cual se estima el volumen dotado. Existen dos tipos de medidores que utilizan esta medición:

- **Chorro Único:** Básicamente se trata de un rotor tipo turbina que gira alrededor de su propio eje y esta perpendicular al flujo de agua, de manera que el chorro incide directamente sobre la turbina dentro del medidor. En la Figura 2.4 muestra las partes que componen un medidor de chorro único.



Figura 2.4 Componentes de un contador de chorro único.

Fuente: (Martínez, 2013).



- **Chorro Múltiple:** Su estructura es similar a su homólogo de chorro único, la diferencia es que su chorro se distribuye por varios puntos alrededor de la turbina. La Figura 2..5 muestra las partes de cómo está conformada un medidor de chorro múltiple



Figura 2..5 Componentes de un contador de chorro múltiple.

Fuente: (Martínez, 2013).

2.2.2. MEDICIÓN VOLUMÉTRICA O DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Este tipo de medición consiste en una cámara en el cual ingresa el líquido, está circula refiriendo un movimiento rotativo (gira bajo movimiento del agua), al ser el volumen del cilindro un valor conocido es posible medir el volumen total consumido, con tan solo contar el número de revoluciones. En este tipo de medición existen dos tecnologías de medidores volumétricos:

- **Pistón Oscilante:** Consiste de un pistón rotatorio que gira excéntricamente dentro de un cilindro el cual oscila suavemente alrededor de un puente divisor que separa los orificios de entrada de la salida del líquido (véase la Figura 2.6) cuyo movimiento permite obtener el volumen consumido. (CONAGUA, 2016).

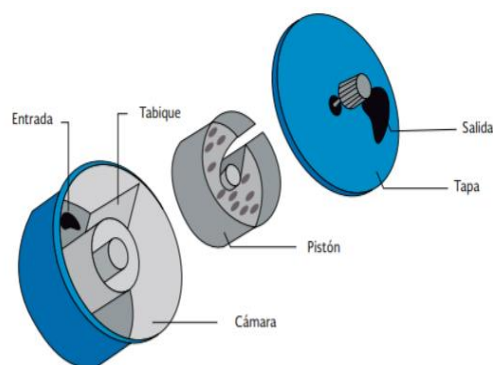


Figura 2.6 Partes de un medidor de pistón oscilante.

Fuente: (CONAGUA, 2016).

- **Disco oscilante o nutativo:** Consiste en una cámara formada por un disco plano o cónico (véase la Figura 2.7) mismo que induce un movimiento circular a través de la introducción de agua permitiendo conocer el volumen consumido en base al número de rotaciones completas del disco (CONAGUA, 2016).

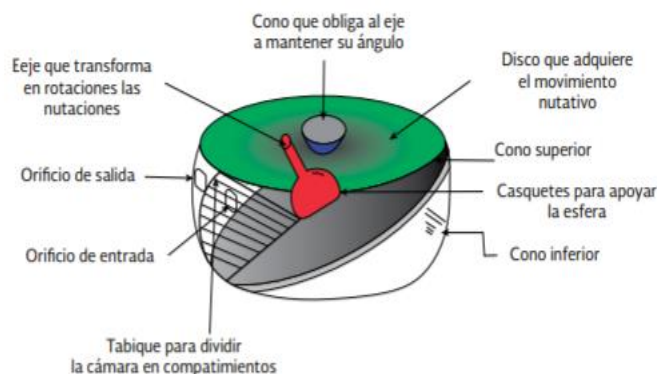


Figura 2.7 Partes de un medidor de disco oscilante.

Fuente: (CONAGUA, 2016).

Por otra parte, se tiene en cuenta que los medidores volumétricos presentan menor error de lectura y mayor amplitud de caudal que los de velocidad, dado que son más exactos en la lectura a lo largo del tiempo y a la previsibilidad de conteo. Esto dado que su error no será por exceso sino por fugas, por el deterioro de los materiales a lo largo de los años de tal manera que un medidor volumétrico pierde recuento y no perjudica al consumidor con recargos, en cambio uno de velocidad tiende a llevar sobre cuentas.

2.3. SMART METER

Un smart meter (véase la Figura 2.8) es un contador inteligente, que permite medir y registrar el consumo de la energía eléctrica, agua o gas convirtiéndola en una herramienta clave para optimizar la gestión de su servicio a través de la monitorización y control remoto de la red, proporcionando información adecuada al usuario, la cantidad del bien consumido, lo que permite tomar decisiones de mejor manera para el uso racional de estos servicios y alcanzar un ahorro monetario en sus planillas (Gabriel, 2014) & (Tecnoaqua, 2015).

Uno de los mayores desafíos que presentan este tipo de redes de servicio de agua potable es la comunicación debido a que cada contador debe transmitir dicha información hacia un punto central de forma segura.



Figura 2.8 Contadores Inteligentes.

Fuente: (Barbosa, 2017).

Sin embargo, existen en el mercado diversas soluciones que permiten realizar esta comunicación como son; las redes de telefonía celular o radiofrecuencia mediante el uso de bandas con licencia o sin licencia, ADSL, satélite o PLC, cuyas alternativas permitan optimizar el servicio prestado (Power Line Communication) (Systems, 2012).

La Figura 2.9 muestra una visión general de cómo debe estar estructurada un sistema de medición inteligente las cuales están divididas en cuatro zonas de interés:

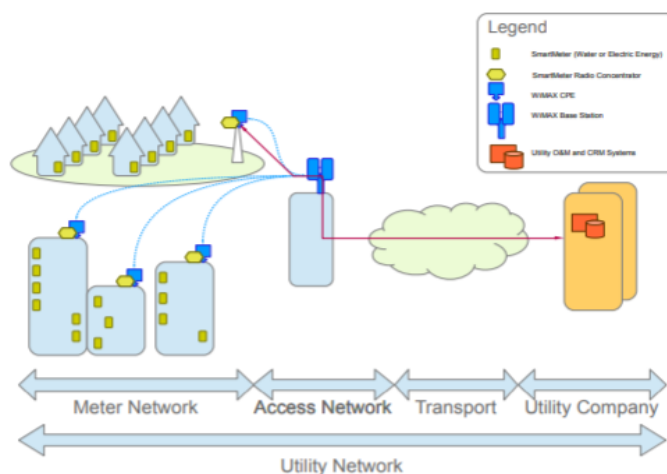


Figura 2.9 Sistema de medición inteligente.

Fuente: (Systems, 2012).

- **Meter Network (Red de medida):** Esta zona permite realizar mediciones de consumo ya sea en hogares y/o industrias mediante el uso de contadores inteligentes y concentradores que recogen la información hacia la red de acceso (Systems, 2012).
- **Access Network (Red de acceso):** Esta zona se encarga de conectar la red de medida con la red de transporte proporcionando de esta forma una amplia cobertura, disponibilidad y ancho de banda necesarios que la red requiere (Systems, 2012).
- **Transport Network (Red de transporte):** Depende del lugar y la infraestructura de la red disponibles en los distintos puntos de interconexión y estaciones base de la red de acceso (Systems, 2012).
- **Utility Company Offices (Oficinas de la Compañía):** En esta zona se transmite los datos de la red a los sistemas de operación, mantenimiento y relación con el cliente (Systems, 2012). No obstante, en la actualidad existen en gran variedad de opciones de diversa capacidad y tamaño en lo que a infraestructura se refiere bajo medición inteligente, hoy en día la de mayor impacto por su sostenibilidad y rentabilidad es el internet de las cosas.



2.4. INTERNET DE LAS COSAS (IOT)

IoT es una tecnología que permite la interconexión de una red de objetos de la vida cotidiana, a menudo están equipados con inteligencia ubicua (Barrera, 2017), consintiendo la integración de diversos sensores y dispositivos capaces de tomar diversas acciones; como la de intercambiar, agregar y procesar información sobre su entorno físico, proporcionando servicios de valor añadido a los usuarios finales que a su vez garantizan el cumplimiento de requisitos de seguridad y privacidad.



Figura 2.10 Red IoT.

Fuente: (Gutiérrez, 2017)

Básicamente la conexión entre dispositivos es de tipo M2M (máquina a máquina) de esta forma gestiona los datos de aquellos dispositivos, pudiendo hacerlo tanto de forma física o directa como remota. La Figura 2.10 presenta de forma general la disposición y posibilidades de uso de una red IoT aplicada a la vida diaria.

Como se observa el internet de las cosas puede aplicarse a diversos campos tales; como la domótica, automatización industrial, en la gestión inteligente de energía, ayudas médicas, redes inteligentes entre otras. Por medio de soluciones de hardware, software y seguridad ayudan a mejorar la calidad de vida de las personas mediante la optimización de los servicios.



2.5. RED DE SENSORES INALÁMBRICOS (WSN)

Una red de sensores inalámbricos o Wireless Sensor Network (WSN), es una red inalámbrica, compuesta por un conjunto de dispositivos denominados “nodos” equipados con diversos sensores y dispositivos de comunicación (véase la Figura 2.11), en algunos casos actuadores capaces de obtener información de su entorno como temperatura, luz, humedad, etc., para luego procesarlo, almacenarlo y comunicar la información hasta un nodo central (llamado Gateway) (Ortiz, 2017).

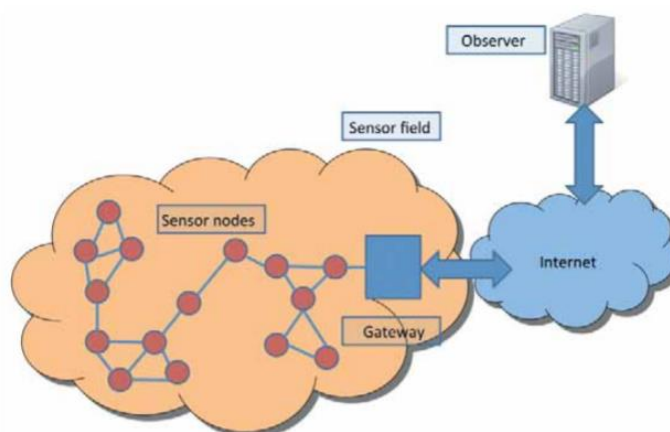


Figura 2.11 Arquitectura de una red WSN con un Gateway y nodos distribuidos.

Fuente: (Commission(IEC), 2014).

La solución más habitual en la red WSN en la disposición de nodos, es a través de una arquitectura de malla, llevando a cabo la transmisión de mensajes de unos a otros hasta llegar a la estación base o Gateway que conectados a través de una red (Ethernet, 3G, GPRS o WiFi), permiten el monitoreo de está. La tecnología ha tenido un gran auge en el internet de las cosas logrando interactuar con el resto del mundo llevando a cabo aplicaciones, como las Smart Grids, monitorización del agua, transportes e incluso casas inteligentes.

Actualmente IoT ha presentado un gran protagonismo y crecimiento, se han desarrollado tecnologías de comunicación adaptadas para este nuevo ámbito, aunque existen algunas que son demasiado genéricas y no están preparadas para IoT como por ejemplo WiFi, sus motivos se deben a los costos en su escalabilidad, como el consumo excesivo de energía y el uso de gran ancho de banda de los equipos, estas son razones principales que las hacen poco eficientes y viables para la conectividad de IoT.



Ante la gran demanda de conectividad de bajo coste, grandes industrias IoT están desarrollando y desplegando múltiples tecnologías nuevas adaptadas a una necesidad específica. A continuación, en la Figura 2.12 se describen algunas de las redes relacionados con IoT definidas por el rango de redes.



Figura 2.12 Tipos de Tecnologías IoT.

Fuente: (Giménez S. M., 2017).

2.6. RED DE BAJA POTENCIA DE RED AMPLIA “LOW POWER WAN (LPWAN)”

Estas redes permiten un bajo consumo de energía en un área de cobertura amplia proporcionando conectividad entre dispositivos que requieran una transmisión de paquetes de información o datos pequeños a intervalos pocos frecuentes permitiendo cubrir largas distancias manteniendo una larga duración de la batería de alimentación ideal para sistemas independientes.

Esta tecnología nace de la necesidad planteada por el internet de las cosas (IoT), haciendo posible la conexión de miles de sensores conectados proporcionando una gran variedad de aplicaciones M2M e IoT, en una red de sensores recopilando y enviando datos a menor costo y largo alcance y con una mejor duración de la batería de varios años ofreciendo prestaciones muy interesantes para este ámbito. (Jaramillo W. F., 2017).

2.6.1. CARACTERÍSTICAS DE UNA RED LPWAN

Entre sus características tenemos (Rosa, 2018):

- **Alcance geográfico:** Permiten el transporte inalámbrico de información entre dispositivos separados por distancias en el rango de kilómetros.



- **Bajo consumo eléctrico:** Su bajo consumo de energía permite establecer comunicaciones entre dispositivos cuyas baterías depende de su capacidad y su costo.
- **Cantidad de datos transmitidos:** La idea de LPWAN es regular el transporte no constante de pequeñas cantidades de datos.

2.7. COMPARATIVA ENTRE LAS TECNOLOGÍAS ACTUALES

LPWAN comprende un amplio grupo de tecnologías que ofrecen alcances de transmisión de 5 - 40 Km, con duración de sus baterías de hasta 10 años esto repercute en una reducción apreciable en el costo de los dispositivos. En la siguiente Tabla 2.1 se presenta un resumen de las características principales de algunas tecnologías relacionadas a este tipo.

Tabla 2.1 Comparativa entre tecnologías actuales.

Tecnología	802.11a	WLAN	ZigBee	LTE-M	Sigfox	LoRa
Sensibilidad	-106 dBm	-92 dBm	-100 dBm	-117 dBm	-126 dBm	-142 dBm
Link Budget	126 dB	112 dB	108 dB	147 dB	146 dB	162 dB
Alcance max (O=Outdoor. I=Indoor)	O:700 m I:100 m	O:200 m I:30 m	O:700 m I:100 m	O:1.7 km I:20 km	O:2 km I:20 km	O:3 km I:20 km
Date rate	100kbps	6Mbps	250kbps	1Mbps	600bps	37.5-0.200 kbps
Consumo Tx	300mA	350mA	35mA	800mA	120mA	120mA
Standby current	-	-	-	18 meses	90 meses	105 meses
Rx current	50mA	70mA	26mA	50mA	10mA	10mA
Interferencias	Moderada	Moderada	Mala	Moderada	Mala	Buena
Topología	Estrella	Estrella	Malla	Estrella	Estrella	Estrella

Fuente: (Peiró, 2017)

2.8. TECNOLOGÍAS LORA Y LORAWAN

LoRa y LoRaWAN son soluciones tecnológicas para IoT, que apoyadas bajo las tecnologías de red de área amplia y baja potencia (*LPWAN*), facilitan la conexión de varios dispositivos, menor consumo de energía y largo alcance en la comunicación. Sin embargo, a pesar de que se encuentran relacionadas son diferentes, ya que por un lado **LoRa** define la capa física basada en el modelo



OSI mientras que **LoRaWAN** es el protocolo de comunicación basada en la **modulación LoRa** desarrollada por una entidad sin ánimo de lucro como LoRa Alliance, la cual define las características de soporte y medios, que deben hacer uso los dispositivos que afiancen el protocolo. A continuación, se describen ambos métodos por separado.

2.8.1. LORA

LoRa (Long Range) es una tecnología inalámbrica que permite obtener una conectividad de largo alcance con un consumo de energía bajo (*enfocada principalmente en la gestión eficiente de la energía*), pensada para el desarrollo de aplicaciones IoT y M2M. LoRa es una tecnología desarrollada y patentada por la empresa Semtech que opera bajo el espectro de frecuencias de la banda libre ISM, proporcionando de esta forma características de modulación con un alcance y ancho de banda (BW) mucho mayor (García R. P., 2017) & (Sáenz Esteban, 2018)

MODULACIÓN LORA

Esta tecnología está basada en técnicas de modulación CSS (Chirp Spread Spectrum) (*Gestiona y define esencialmente la comunicación entre dispositivos*) (véase la Figura 2.13), el cual opera sobre la banda ISM por debajo de 1GHz (*433, 868 y 915 MHz según la versión del chip utilizado*) donde los datos son codificados por una señal *chirp*, cuya señal es de tipo sinusoidal que permite transmitir los datos a una gran variedad de frecuencias y a diferentes velocidades, que mejoran la sensibilidad del receptor, logrando gran robustez frente al ruido o interferencias, optimizando así la capacidad de alcance y en sí la red misma. Su tasa de bits varía entre los 300 bps y 37.5 Kbps dependiendo del SF y ancho de banda del canal

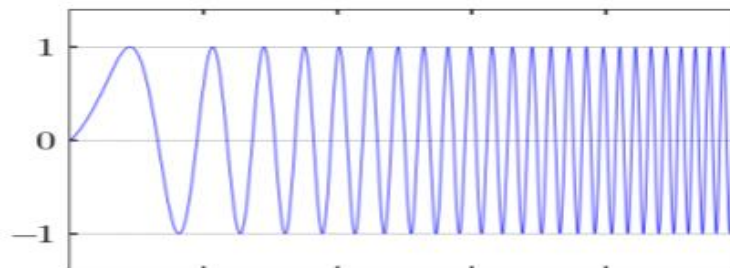


Figura 2.13 Señal Portadora CSS.

Fuente: (Sáenz Esteban, 2018)



Uno de los factores que afectan la capacidad de red es el Spread Factor (SF) los cuales varían la velocidad de transmisión de datos donde LoRa opera con factores de propagación del 7 al 12 (véase la Figura 2.14), es decir a mayor SF obtendremos una menor velocidad de transferencia, pero mayor inmunidad a interferencias (Sáenz Esteban, 2018).

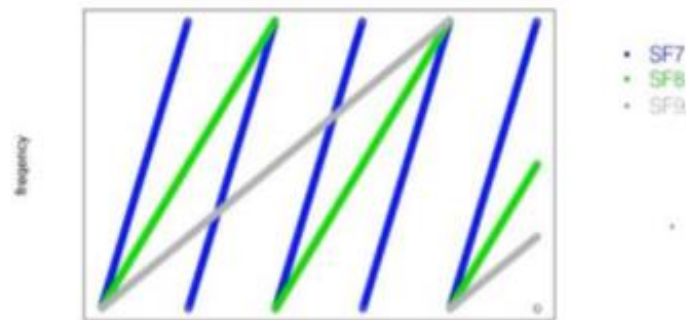


Figura 2.14 Diferencia entre tipos de Factor de propagación (SF) en una transmisión de datos.

Fuente: (García M. R., 2016).

La siguiente Figura 2.15 permite dar a conocer de forma clara el funcionamiento de la modulación LoRa utilizando como ejemplo la demodulación de la señal.

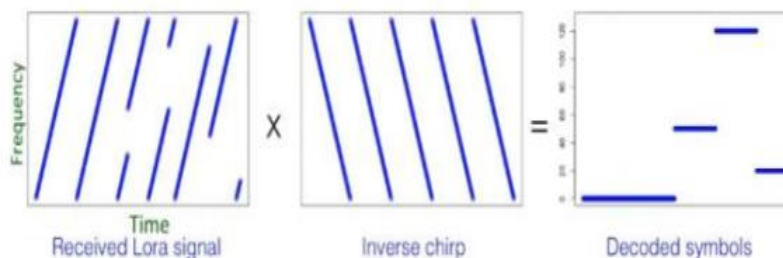


Figura 2.15 Funcionamiento de la Modulación LoRa.

Fuente: (García M. R., 2016).

La señal decodificada se obtiene a partir de la multiplicación de la señal recibida por el chirp inverso que se genera en el receptor logrando de esta forma recuperar dicha información transmitida. Los desplazamientos de fase en la señal recibida indican la transmisión mediante diferentes símbolos.



PARÁMETROS LORA

Existen parámetros que se debe tener en cuenta la hora de enviar mensajes los cuales pueden ser modificados en la modulación LoRa como son:

FRECUENCIA

Este parámetro permite definir la frecuencia en la que trabajara LoRa, sin embargo, este valor varía dependiendo del continente en el que operemos: América (915MHz), Europa (868 MHz), Asia (433 MHz).

FACTOR DE DISPERSIÓN (SF)

El Spreading Factor (SF) define el número de bits usados para codificar cualquier carácter de la señal cuyo parámetro puede variar entre valores de 7 al 12. Sin embargo, se debe tener en cuenta que un aumento del SF disminuye la velocidad de transmisión de los paquetes, pero ayuda a mejorar la sensibilidad del receptor, por lo que cada incremento de este factor duplica la duración de transmisión y su consumo de energía. La siguiente Tabla 2.2 ofrece un breve análisis del SF en la modulación de paquetes bajo LoRa.

Tabla 2.2 Tipos de factor de dispersión

SF	Tasa de bits a BW constante (Kb/s)	Sensibilidad (dBm)
7	5.468	-123
8	3.125	-126
9	1.757	-129
10	0.976	-132
11	0.537	-134.5
12	0.293	-137

Fuente: (Paredes, 2018).

Por lo tanto, la combinación de diferentes SF y ancho de banda en la señal da como resultado diferente Data Rate, por lo tanto, es posible el uso de adaptación dinámica de velocidad de datos (ADR) permitiendo de esta forma que los nodos puedan conectarse hacia el Gateway tomando en consideración que para distancias grandes del lugar en que se encuentre el Gateway deben usar SF superiores lo que conlleva a obtener una señal más sólida frente a interferencias pero con una



velocidad de datos menor y con un mayor tiempo en el aire, mientras que los nodos que se encuentren cerca del Gateway pueden usar SF más bajos incrementando de esta forma la velocidad de datos con un menor tiempo en el aire permitiendo de esta forma un menor consumo de energía. En la Figura 2.16 puede apreciar de forma más clara la relación que existe entre el SF y los diferentes parámetros a tener en cuenta al dimensionar una red LoRa.

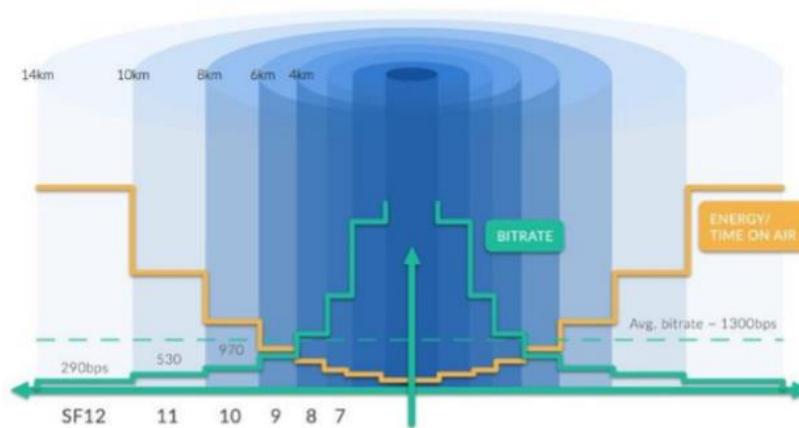


Figura 2.16 Tipos de SF en relación a velocidad y distancia

Fuente: (Sáenz Esteban, 2018).

ANCHO DE BANDA (BW)

Los anchos de banda más usados por la red LoRa son de 125, 250 y 500 KHz. Sin embargo, es posible utilizar BW inferiores, pero requieren de un reloj externo (TXCO). Al contar con un ancho de banda mayor mejora la velocidad de datos mientras que un aumento del factor de SF hace que la comunicación se vuelva más lenta.

El BW es uno de los parámetros más importantes en la modulación LoRa donde un símbolo LoRa está compuesto por 2^{SF} chips el cual puede codificar los bits de información del SF. Es decir, el symbol rate (*velocidad de símbolo*) y el bit Rate en un SF es proporcional al ancho de banda de frecuencias. Esto se expresa en la siguiente ecuación matemática [1] que vincula la duración de un símbolo T_s para un determinado SF y BW.

$$[1]. \quad T_s = \frac{2^{SF}}{BW}$$



TASA DE CODIFICACIÓN

LoRa implementa un mecanismo de corrección de errores que permite agregar bits redundantes a la transmisión con la finalidad de que los errores se puedan recuperar en la recepción, cuya velocidad de codificación se basa en la media de bits transferido que transportan información eliminando mensajes de información de red y similares. La velocidad de codificación puede tener los valores 4/5, 4/6, 4/7 y 4/8 donde el primer valor indica cuantos bits son de información mientras que el segundo nos indica los bits enviados. Es decir, a mayor corrección de errores menor velocidad de transferencia.

En base a la ecuación anterior podemos definir la ecuación del Bit Rate efectivo de la modulación con los tres parámetros configurables como se indica en la siguiente expresión [2]:

$$[2]. \quad R_b = SF \times \left(\frac{BW}{2^{SF}} \right) \times CR$$

En la Tabla 2.3 muestra las diferentes tasas de codificación, como el ciclo de codificación.

Tabla 2.3 Tipos de velocidades de Codificación LoRa.

Tasa de Codificación	Tasa de Codificación de Ciclo	Ratio
1	4/5	1.25
2	4/6	1.5
3	4/7	1.75
4	4/8	2

Fuente: (Paredes, 2018).

MODO CRC

Este parámetro permite gestionar los logs del paquete LoRa trata los paquetes dando un error del 0-100 %.

En general, la modificación de estos parámetros permite alcanzar una señal de comunicación robusta y eficiente con el fin de evitar pérdidas de paquetes por una señal débil, sin embargo, existe un parámetro que permite medir la fuerza de la señal conocida como **Indicador de Fuerza de la Señal Recibida** (RSSI) cuyo valor difiere entre 0 y -100 es decir, cuanto mayor sea su valor, mayor es la intensidad de la señal recibida la cual es medida en dBm donde el 0 equivale a 1Mw. Una



señal de -50 es ideal para realizar transferencias satisfactorias mientras que una señal de -60 sigue siendo buena para trasferencias, pero con un margen de error del 20%. Las señales por debajo de este valor comienzan a ser deficientes donde una señal de -70 la trasferencia puede no ser satisfactoria y una señal de -80 puede tener problemas de conexión.

2.8.2. LORAWAN

LoRaWAN es un protocolo de red que utiliza la técnica de modulación LoRa, está pensada para comunicar y administrar dispositivos IoT de bajo coste y bajo consumo energético a grandes distancias de manera segura y eficiente. Mientras que LoRa ofrece una funcionalidad de capa física, cuyos parámetros permiten mejorar el ahorro energético de baterías de los nodos, a más de su capacidad, calidad de servicio y seguridad.

Al ser LoRaWAN una tecnología LPWAN, se encargará de habilitar las conexiones de largo alcance y de reducir el consumo, definiendo el protocolo de comunicación y la arquitectura de los sistemas de red, sobre el cual interactúan directamente las aplicaciones, empleando una modulación LoRa o FSK a nivel físico. Los protocolos LoRa y LoRaWAN están optimizados para la vida útil de la batería y es totalmente bidireccional para garantizar la fiabilidad y seguridad en la red, de manera que se logre el desarrollo de diversas aplicaciones.

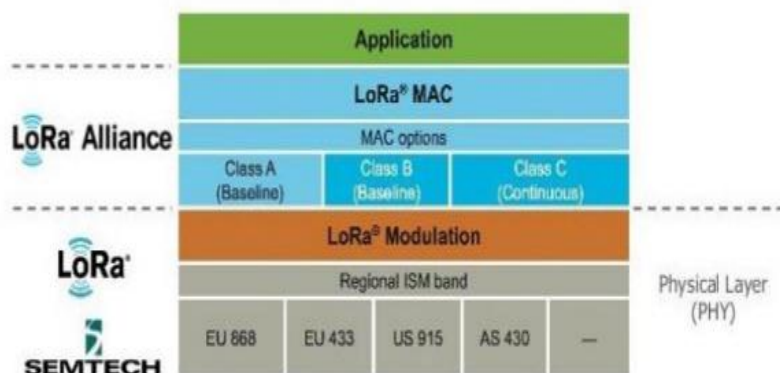


Figura 2.17 Funcionamiento de la pila LoRaWAN.

Fuente: (Jaramillo W. F., 2017).

Entre las características del protocolo LoRaWAN podemos destacar; la topología en forma de estrella, el alcance en un rango directo de 10 – 15 Km, encriptación AES 128, admite el soporte



para las 3 clases de nodos (A, B y C), gestiona los dispositivos, permite su adaptación en redes públicas y privadas y su bajo consumo y transferencia de datos (máximo de 242 bytes). La Figura 2.17, se puede observar la pila del protocolo LoRaWAN y sus diferencias entre LoRa y LoRaWAN.

ARQUITECTURA DE RED

Las redes LoRaWAN son redes centralizadas que presentan una topología estrella, está compuesta de dos partes principales: Gateways y nodos como lo indica la Figura 2.18. Los primeros son los encargados de enviar o recibir información entre los nodos de los dispositivos mismos que se conectan a un servidor central mediante conexiones IP estándar, el cual será el encargado de gestionar la red de los dispositivos LoRaWAN, mientras que los dispositivos finales denominados nodos se comunican de forma inalámbrica de un solo salto, es decir a uno o varios Gateways de manera simultánea ofreciendo de esta forma redundancia en los enlaces y la alta disponibilidad del medio de comunicación (González M. D., 2017) & (Muñoz, 2019).

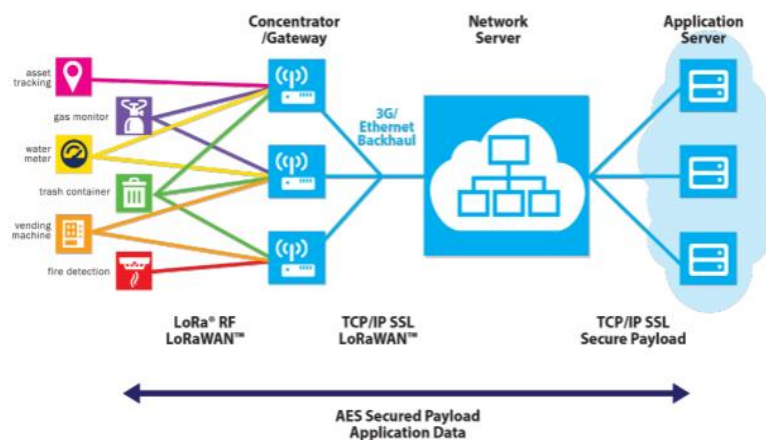


Figura 2.18 Arquitectura de una red LoRaWAN.

Fuente: (Ramírez J. M., 2018).

La arquitectura de una red clásica puede estar formada de varios dispositivos finales conectados a uno o varios Gateways, que a su vez envían la información a un servidor a través de una red de retorno ya sea celular, Ethernet, satelital o Wi-fi el cual es el encargado de almacenar y verificar que la información no se repita. Una vez almacenado el dato correctamente este envía un ACK al Gateway para que lo transmita hacia el modulo con el fin de conformar la correcta recepción de



datos enviada anteriormente, no obstante, dicha información será proporcionada cuando este lo requiera. Básicamente LoRaWAN permite interconectar una red LoRa con otro tipo de red, para gestionar y proveer información de sobre sus fuentes de datos (Sáenz Esteban, 2018).

La arquitectura de esta red se encuentra conformado de cuatro tipos de dispositivos donde cada una de ellas con una función en específico:

➤ **Nodos finales**

Estos son dispositivos finales que se encargan de recopilar información de los sensores conectados a estos cuyas variables de medición pueden ser: luminosidad, temperatura, humo, etc., cuyos datos son transmitidos hacia las pasarelas o Gateways de forma periódica o por petición del servidor. Dependiendo del tipo y cantidad de información que se requiera de la misma se necesitara dispositivos finales de diferentes clases.

➤ **Gateway o Pasarela**

Es el encargado de administrar la información de los nodos (recibe, procesa y coordina la recepción) para ponerla a disposición (envía y recibe paquetes a través de una conexión IP). Básicamente este dispositivo permite la interconexión de 2 o más redes diferentes, por lo que la red puede ser escalable y versátil para adoptar otras fuentes de datos o solicitantes de la información que gestiona.

➤ **Servidor de Red**

El servidor de red cumple con la función de recibir y procesar la información que proviene de los Gateways, elimina los mensajes duplicados a fin de identificar si los paquetes pertenecen a la red, en caso de serlo los envía al servidor de aplicaciones. En otras palabras, es el que gestión el tráfico de datos y verifica la coincidencia de paquetes si están en similitud con los estándares de la red de datos y de intercomunicación.

➤ **Servidor de Aplicaciones**

El servidor de aplicaciones realiza tareas de gestión de nodos y de usuarios, además puede descifrar los datos para simplificar la gestión de las aplicaciones.



2.9. TOPOLOGÍA DE UNA RED LORAWAN

Típicamente la red LoRaWAN es centralizada y hace uso de una topología tipo estrella (véase la Figura 2.19), esto se debe a que se obtiene buena latencia y no requiere de mucha infraestructura.

Dentro de la red el Gateway, envía y recibe información, conectándose a un servidor central mediante direcciones IP, el cual será el encargado de gestionar la red de los dispositivos LoRaWAN, mientras que los dispositivos finales (nodos) lo hacen mediante la comunicación inalámbrica de un solo salto, es decir a uno o varios Gateways usando varios canales de frecuencia a distintas velocidades, tomando en consideración el intervalo de tiempo y el tamaño que conlleva transmitir el mensaje que bajo la tecnología Spread Spectrum permite crear varios canales virtuales que aumentan la capacidad del Gateway.

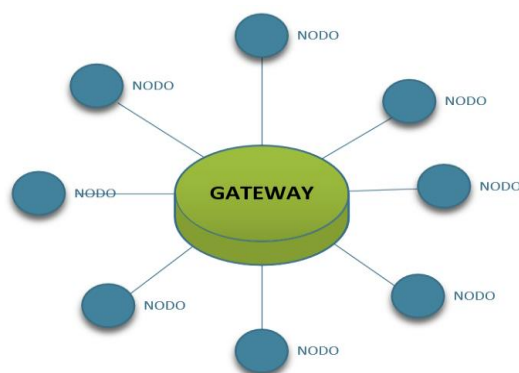


Figura 2.19 Topología tipo estrella.

Fuente: El autor.

La inteligencia y complejidad del sistema está en el servidor de red, encargado de filtrar los paquetes redundantes, al realizar acciones de seguridad y gestionar la velocidad de datos y la salida de RF para cada dispositivo final individualmente, mediante un esquema de velocidad de datos adaptativa (ADR) (González M. D., 2017).

2.10. TIPOS DE CONEXIÓN DE NODOS LORA

Dentro de las conexiones alternativas en la configuración de una red LoRaWAN tenemos:



- **Modo LoRa: Comunicación punto a punto (P2P)**

Los dispositivos finales se pueden conectar directamente entre ellos sin costes para enviarse información, obvian el uso de una infraestructura de red, debido a que los nodos operan mediante una conexión punto a punto, por lo cual no requieren de un dispositivo intermediario (Gateway) que gestione la comunicación, siendo perfecto para enlaces sencillos, sin la necesidad de una estación base o una cuenta en la nube, ya que no requiere la compra de ninguna licencia (Sanmartín, 2017). En la Figura 2.20 se puede apreciar su arquitectura general.



Figura 2.20 Modo de conexión P2P.

Fuente: (Sanmartín, 2017).

- **Modo LoRaWAN: Híbrido**

Permite operar tanto en modo LoRaWAN como P2P, pueden enviar mensajes bajo el uso de redes LoRaWAN. En este modo los nodos utilizan una conexión tipo estrella en modo P2P, admitiendo la conexión al dispositivo gestor (Gateway) para unirse a la red (véase la Figura 2.21), sin embargo requiere el uso de una licencia o de plataformas libres en la nube (Sanmartín, 2017).



Figura 2.21 Modo de conexión Híbrido.

Fuente: (Sanmartín, 2017).

2.11. CLASES DE NODOS O DISPOSITIVOS LORAWAN

En el protocolo LoRaWAN existen tres clases de nodos mismos que presentan ciertos requisitos y características, que se definen a continuación:

- **CLASE A**

Basada en una comunicación bidireccional, esta clase envía los datos desde un nodo final al Gateway en cualquier momento (véase la Figura 2.22). La transmisión permite la apertura de dos ventanas de recepción en un tiempo determinado, permitiendo un menor consumo de energía (*porque entra solo en modo escucha si detecta trama de envío*), siendo ideal para dispositivos que usen baterías, que están soportadas en todo dispositivo.



Figura 2.22 Envío de paquetes en Clase A.

Fuente: (Andreu, 2018).



- **CLASE B**

Los nodos clase B poseen ventanas de recepción, cuya información es enviada en base a tiempos predeterminados mediante la sincronización con el Gateway, a fin de negociar tiempos de recepción de los paquetes (véase la Figura 2.23). Caso contrario la red entenderá que se trata de un nodo clase A, respecto a su consumo de energía es mucho mayor a los de clase A por lo que dependen de los tiempos asignados de escucha.

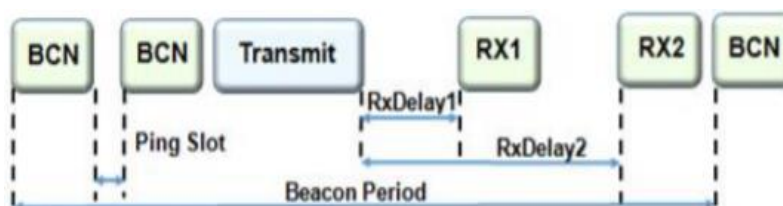


Figura 2.23 Envío de paquetes en Clase B.

Fuente: (Andreu, 2018).

- **CLASE C**

En esta clase el consumo de energía requerido es mayor, respecto a las otras dos clases, pero siempre están disponibles para recibir mensajes por lo que demandan el uso de una fuente de alimentación externa. Esta clase (véase la Figura 2.24) es ideal cuando se requiera respuestas sin latencia (Mendoza, 2018).

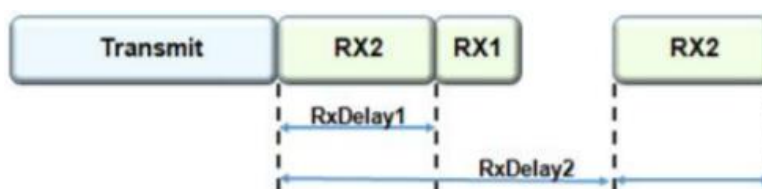


Figura 2.24 Envío de paquetes en Clase C.

Fuente: (Andreu, 2018).

2.12. ESTRUCTURA DE PAQUETES LORA

Dentro de la red LoRaWAN se distingue dos tipos de mensajes:



- **Uplink:** La información es enviada desde los dispositivos finales (nodos) hacia el servidor mediante el uso del uno varios Gateways que actúa como intermediarios entre estos dos. (Lourdes Alexandra Vera Medina, 2018) cuya Tabla 2.4 presenta los elementos que la compone:

Tabla 2.4 Estructura de un mensaje Uplink.

Preamble	PHDR	PHDR_CRC	PHYPayload	CRC
----------	------	----------	------------	-----

Fuente: (Lourdes Alexandra Vera Medina, 2018).

- **Downlink:** La información es enviada en este caso por el servidor de red a un solo dispositivo final (nodo) siendo reenviado por un solo gateway. Este tipo de paquete es similar al anterior, pero con la diferencia que no consta el Código de detección de errores La Tabla 2.5 presenta los elementos que integra su estructura:

Tabla 2.5 Estructura de un mensaje Uplink.

Preamble	PHDR	PHDR_CRC	PHYPayload
----------	------	----------	------------

Fuente: (Lourdes Alexandra Vera Medina, 2018).

Todos los paquetes LoRaWAN (Uplink, Downlink) llevan en la capa física del Payload (PHYPayload), una carga útil PHY que cuenta con un encabezado MAC de un octeto (MHDR), seguido por una carga útil MAC (MACPayload) y un código de integridad del mensaje (MIC) (véase la Tabla 2.6) formado por un código de 4 octetos que se calcula a partir de Network Session Key (NwkSKey). (Campos, 2017)

Tabla 2.6 Estructura Payload.

MHDR	MACPayload	MIC
------	------------	-----

Fuente: (Lourdes Alexandra Vera Medina, 2018).

La cabecera MAC especifica ocho tipos de mensajes para la capa LoRaWAN mismos que han sido codificados por tres bits de dígitos binarios

Tabla 2.7 Tipo de mensajes LoRaWAN.

Tipo de mensaje	Descripción
000	Join Request



001	Join Accept
010	Unconfirmed Data Up
011	Unconfirmed Data Down
100	Confirmed Data Up
101	Confirmed Data Down
110	Rejoin Request
111	Proprietary

Fuente: (Lourdes Alexandra Vera Medina, 2018).

Los dos primeros tipos de mensajes corresponden a métodos de activación por el aire de los nodos (Join Request y Join Accept), mientras que (Unconfirmed Data Up, Unconfirmed Data Down) son mensajes de confirmación usados para el transporte de comandos MAC y por ultimo están los mensajes propietarios usados para especificaciones fuera de lo común (véase la Tabla 2.7) (Lourdes Alexandra Vera Medina, 2018).

2.13. MODOS DE ACTIVACIÓN DE UN DISPOSITIVO FINAL O NODO LORA

Los dispositivos LoRaWAN utilizan un identificador (DevEUI) asignado por el creador del chip para su localización. No obstante, para comunicarse con una red, hacen uso de otro identificador (DevAddr), este es asignado cuando el nodo se une a la red. Bajo este aspecto existen dos métodos para conectarse a la red LoRaWAN:

- **Activación sobre el Aire (OTAA):** En este modo se requiere que tanto el servidor como los dispositivos finales (véase la Figura 2.25), negocien la clave de cifrado o de sesión de forma segura, a modo de que participen en el intercambio de datos una vez conectados a la red, de esta manera se asignara la dirección DevAddr al nodo de forma dinámica. Sin embargo, es necesario que este proceso se realice antes que comience la transmisión de paquetes, para ello solicita que el dispositivo final envíe la siguiente información (Sanmartín, 2017).
 - **Identificador de dispositivo (Device EUI):** Es un identificador de fábrica único y su configuración es ajustable.
 - **Identificador de aplicación (Application EUI):** Es utilizado para agrupar objetos y clasificar dispositivos por aplicación cuya configuración se puede ajustar.



- **Llave de aplicación (Application Key):** Es utilizada para establecer las claves de sesión cuya clave de cifrado es del tipo AES de 128 bits compartida entre el dispositivo periférico y la red siendo su configuración ajustable.

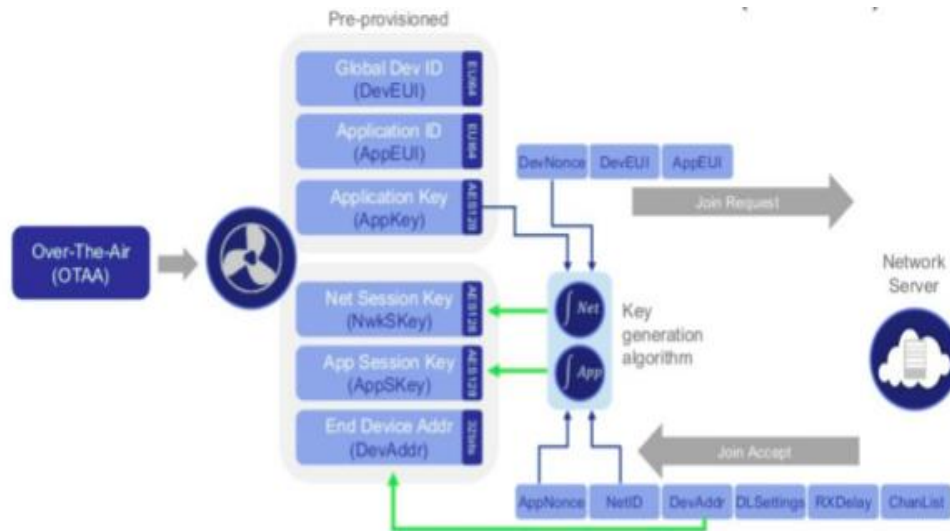


Figura 2.25 Modo de Activación sobre el aire.

Fuente: (Ramirez J. M., 2018).

Como ventaja principal de la conexión OTAA es su seguridad debido a que la sesión “se crea en el aire” la cual se renueva cada vez que el dispositivo pierde la conexión o es apagado / reiniciado, esto dificulta que alguien pueda robar la sesión y clonar el dispositivo (Ramirez J. M., 2018).

- **Activación por Personalización (ABP):** En este modo los dispositivos pueden ser activados o agregados bajo determinadas circunstancias a la red por personalización (véase la Figura 2.26) vinculando al dispositivo directamente a la red sin necesidad de los mensajes de solicitud y aceptación de la red (Sanmartín, 2017). Cuyos parámetros de conexión son los siguientes:

- **DevAddress:** Es la dirección lógica semejante a una dirección IP utilizada para conectarse con la red.
- **NetworkSessionKey:** Es la clave de cifrado entre el dispositivo y el operador utilizado en transmisiones y validación de mensajes.



- **ApplicationSessionKey:** Constituye la clave de cifrado entre el dispositivo y el operador a través de la aplicación.

Una de las ventajas de este tipo de conexión es que no requiere el inicio de sesión a la red para enviar los datos siendo idóneo para dispositivos que estén en movimiento y no disponen de una buena recepción. Por otro lado, la llave de encriptación en el dispositivo puede ser clonada o extraída por un atacante.

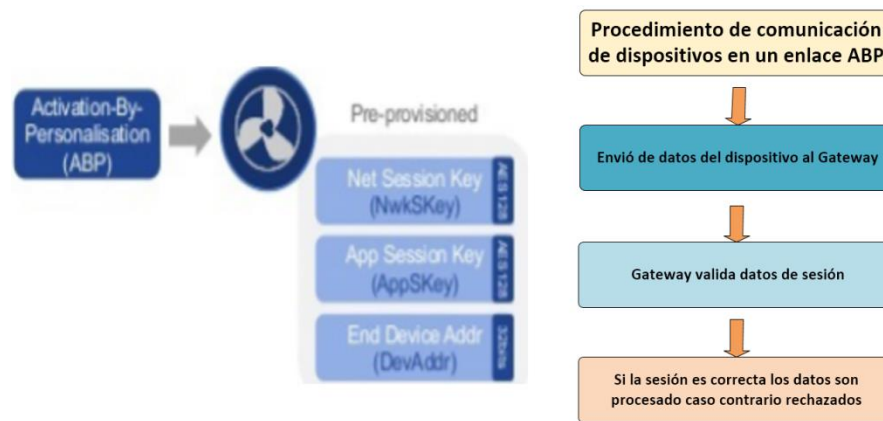


Figura 2.26 Modo de activación por personalización &El Autor.

Fuente: (Ramírez J. M., 2018).

2.14. CANAL Y ESPECTRO DE RADIOFRECUENCIA DE LORA

LoRa es una tecnología, caracterizada por funcionar en la banda libre sin licencia ISM, lo cual supone que cualquiera puede ocupar la banda sin pagar nada, pero limitadas en potencia y tiempo de transmisión. Por ello es necesario conocer esta banda de frecuencia, dado que la misma puede variar según la región y estar predeterminadas para este propósito a fin de no interferir con otras bandas de comunicación que estén establecidas para otros fines de servicio de radiodifusión. La Tabla 2.8 presenta la frecuencia de comunicación a la cual funciona una red Lora, según la región donde se implemente.

Tabla 2.8 Espectro de frecuencias según la región.

	Europa	América	China	Korea	Japan	India
Banda de frecuencia (MHz)	867-869	902-928	470-510	920-925	920-925	855-867
Canales	10	64+8+8				



Canales BW Up (KHz)	125/250	125/500				
Canales BW Down (KHz)	125	500				
Tx Power Up	+14 dBm	+20 dBm typ (+30 dBm allowed)				
Tx Power Down	+14 dBm	+27 dBm	N/A	N/A	N/A	N/A
SP Up	7-12	7-10				
Data rate	250 bps-50 kbps	980 bps- 21.9 kbps				
Link Budget Up	155 dB	154 dB				
Link Budget Down	155 dB	157 dB				

Fuente: (Peiró, 2017)

Existen varios canales de frecuencia definidos para LoRa. Usualmente la banda de 868 MHz dispone de 10 canales, en tanto que la de 915 MHz de 64 canales, el uso de estos canales está regulado por el estándar ETSI EN 300.220. Lo dicho anteriormente, define los ciclos de uso de un dispositivo LoRa (tiempo de ocupación del dispositivo) dentro de cada banda. La Figura 2.27 presenta el envío de paquetes a través de un canal.



Figura 2.27 Envío de paquetes en un solo canal.

Fuente: (Díez, 2017).

Por ejemplo, si un dispositivo LoRa envía un mensaje usa diferentes canales los cuales ira alternando, mientras que si se tiene un solo canal por el cual transmite a 2 unidades de tiempo, cada 10 unidades de tiempo el dispositivo tendrá un 20% de uso del ciclo. Eso hace posible una transmisión lejana, pero tardan más, debido a que siguen la regla del 1% en la cual los paquetes no podrán ser transmitidos más allá del 1% del tiempo permitido, para las redes LoRaWAN.



Figura 2.28 Mensaje enviado en 3 canales.

Fuente: (Díez, 2017).

En la Figura 2.28 se aprecia una transmisión sobre 3 canales, en este caso al enviar por 2 unidades de tiempo cada 10 unidades de tiempo, se tendría un ciclo de uso del 60% en dichos canales.

Sin embargo, existen canales que se encuentran en sub – bandas, con ciclos de uso, independientes y predefinidos en cada canal y sub – banda. En la Figura 2.29 se aprecia los ciclos de uso de dos bandas, la banda 1 tiene un 20% de un canal y la banda 2 de un 40% operando con dos canales, cuyo dispositivo ocupa un 60%.

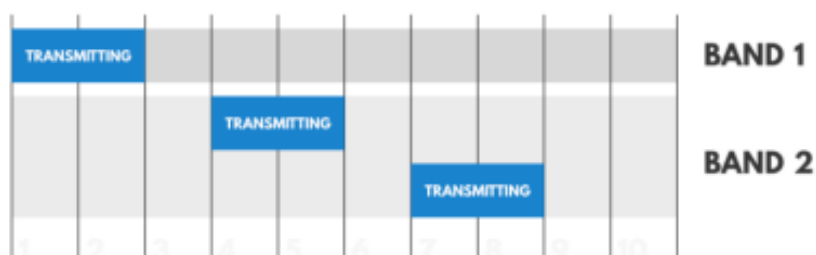


Figura 2.29 Ciclo de uso en tres canales mediante dos sub – bandas.

Fuente: (Díez, 2017).

Es relevante para la regulación del espectro de radio frecuencia (RF), verificar en que sub – banda esta cada canal y si los canales de una sub – banda superan los tiempos de uso del ciclo establecidos por la norma ETSI EN 300.200. Este aspecto es importante a tenerse en cuenta, ya que en caso de sobre pasar los niveles permitidos, los dispositivos darán errores en su funcionamiento dejando de enviar los datos.



2.15. SEGURIDAD LORAWAN

La seguridad en la red tiene como propósito fundamental la protección de datos e información ante posibles amenazas, proporcionando dos niveles de seguridad tanto a nivel de red LoRaWAN como de aplicación, de esta manera se logra una protección doble garantizando la autenticidad de cada nodo en la red y la seguridad de datos en la capa de aplicación con la finalidad de que el operador no tenga acceso a los datos en las aplicaciones del usuario final.

LoRaWAN para proteger las comunicaciones utiliza el cifrado de paquetes AES de 128 bits para cada nivel de seguridad (véase la Figura 2.30), con sus respectivas claves (García R. P., 2017).

- **Network Session Key:** Esta clave garantiza la seguridad a nivel de red.
- **Application Session Key:** La clave es utilizada en el enlace del nodo a un servidor de aplicaciones.
- **Application Key:** Esta clave permite activar dispositivos mediante el modo OTAA, ayudando a la creación de claves de sesión necesarias en la activación del nodo.

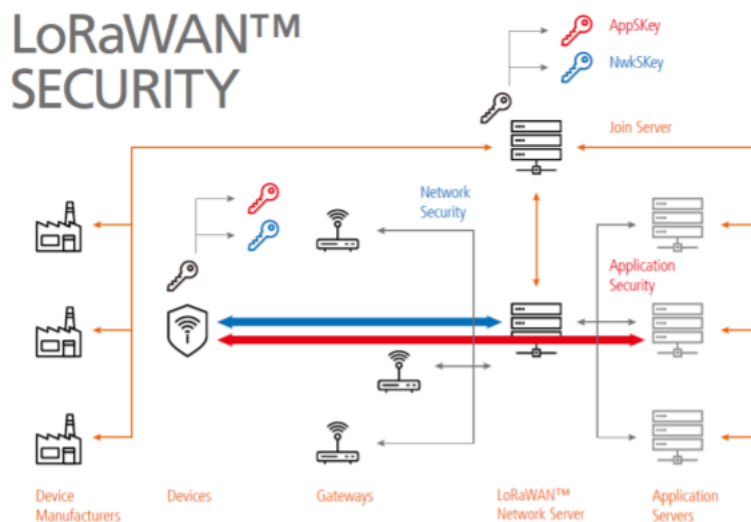


Figura 2.30 Niveles de seguridad LoRaWAN.

Fuente: (Mayobre., 2018).



CAPÍTULO 3

SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS PARA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED LORA

Este capítulo comprende, la elección de dispositivos necesarios para armar la red LoRa que conforma el sistema de medición de consumo de agua potable, en base a los requerimientos de nuestro sitio de estudio en la comunidad de Gulanza. Basándonos en el uso de una estación central o **Gateway** recibirán los paquetes de datos de los dispositivos finales o **Nodos** encargados de medir el consumo de agua y enviar, toda esa información mediante el protocolo LoRaWAN. Asimismo, la estación central estará encargada de gestionar nuestra red de sensores que a su vez enviará esos paquetes de datos hacia plataformas IoT, cuya información estará disponible a través de una interfaz gráfica web.

3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Para poder crear este sistema se requiere de dispositivos tanto para los nodos como Gateways que cumplan con los siguientes requisitos técnicos (Bermejo, 2018):

- Bajo consumo
- Conexión a internet mediante WiFi o Ethernet
- Comunicarse a largas distancias con otros dispositivos
- Poder administrar varios sensores

En nuestro caso la distancia máxima requerida alcanza los 2 km que es la distancia máxima medida a la estación más lejana de acogida de un consumidor, donde se recolectará y procesará los datos, tomada como referencia para diseño de la red LPWAN.



Asimismo, el sensor que mide el consumo de agua debe ser capaz de soportar una alta presión de agua de la red de distribución. Además, debe ser adecuadamente dimensionado, para evitar mediciones invalidas e incoincidencias al sistema de servicio de agua, dado a que por lo general la tubería residencial que se ocupa es de ½ pulgada, cuya presión está entre los 2 a 3 bares con un consumo promedio diario por persona que se encuentra en el rango de los 100 litros (Salud, 2017). El sensor a más de ser compatible con cualquier microcontrolador nos proporcione una salida cuadrada que puede ser leída mediante un puerto digital. Con estas observaciones podemos hacer la elección de los dispositivos que cumplan con estas características para su correcta implementación, sobre todo que sean asequibles para desarrollo del sistema de medición propuesto, con una arquitectura tecnológica de vanguardia.

3.2. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED LORA

Cada elemento cumple con funcionalidades distintas para el óptimo desarrollo de la plataforma. Sin embargo, lo primordial es la realización de pruebas de comunicación con dispositivos LoRa entre cada nodo, a efecto de lograr entre estos, enlaces mediante el protocolo LoRa, en base a lo anterior se procede con la descripción de diferentes dispositivos como opciones que luego serán elegidos para la adaptación del hardware.

3.3. DISPOSITIVOS RELACIONADOS CON EL IOT

Existe una extensa variedad de tecnologías que permiten el desarrollo de aplicaciones IoT, en base a ello el objetivo es comprobar, qué dispositivo satisface las necesidades requeridas para nuestro proyecto.

3.3.1. ARDUINO

Arduino es una plataforma de diseño de prototipos electrónicos para creación de objetos y entornos interactivos. Entre sus cualidades están sus atributos de licencia *Open Source* tanto en hardware como software, siendo estas flexibles y fáciles de usar. Cuenta con una amplia gama de librerías que facilitan la implementación de Shields para su manipulación, permitiendo controlar las funcionalidades de está o de cualquier otra placa compatible con Arduino. Además, su popular



uso se debe a su bajo costo, arquitectura multiplataforma, entorno de programación simple y su código abierto de hardware y software extensible. La Figura 3.1 y la Tabla 3.1 ofrecen una descripción de las características principales de la tarjeta.



Figura 3.1 Placa de desarrollo Arduino Uno.

Fuente: (Jaramillo W. F., 2017).

Tabla 3.1 Características de la placa Arduino.

Características	Descripción
Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de entrada	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12 V
Voltaje de entrada (limite)	6-20 V
Pines I/O Digital	14 (6 salidas PWM)
Pines entrada analógica	6
Corriente DC para pin I/O	20 mA
Corriente D para Pin de 3.3V	50 mV
EEPROM	1 KB

Fuente: (Rodríguez, 2017) & (Bermejo, 2018).

Al contar con varios colaboradores expanden las funcionalidades y capacidades de la plataforma con nuevos diseños y modelos de placa, llamados Shields que mejoran sus versiones básicas, pudiendo fusionarse a la placa principal para añadirle infinidad de funcionalidades (GPS, aplicaciones IoT, protocolos de comunicación etc.), montando arquitecturas tecnológicas de vanguardia, para suplir cualquier proyecto. La Figura 3.2 muestra el montaje de Arduino con Shields.



Figura 3.2 Arquitectura Arduino armada con varias Shields.

Fuente: (FM, 2018).

Dada sus capacidades, Arduino puede configurarse para comunicarse con diferentes tipos de protocolos de comunicación, que estén basados en sus protocolos nativos (I2C, USART, Serial), en nuestro caso específico (Protocolo LoRa), para ello dispone del hardware Dragino que a continuación definiremos:

3.3.2. DRAGINO LORA (SHIELD)

Dragino es una empresa encargada de desarrollar módulos *Dragino LoRa*. Esta tecnología está basada en circuitos integrados de SemTech SX1276/ SX1278 orientada para redes de sensores inalámbricos como se puede observar en la Figura 3.3. Estos dispositivos incorporan la tecnología LoRa, utilizando el protocolo de comunicación LoRaWAN.

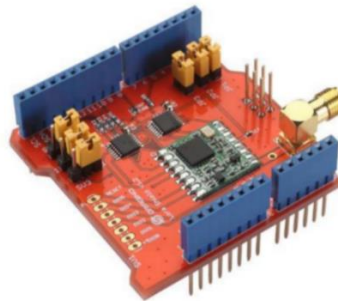


Figura 3.3 LoRa Dragino.

Fuente: (Baditoiu, 2018).

El usuario puede enviar datos a grandes distancias con bajas tasas, proporcionando una amplia cobertura de espectro extendido con elevada inmunidad a interferencia. La Tabla 3.2 presenta algunas de sus características principales de este módulo.



Tabla 3.2 Características físicas y técnicas de LoRa Shield Dragino de Arduino.

Características	Descripción
Velocidad de transmisión	De 3 hasta 22 Kbps
Alta sensibilidad	Por debajo de los -148 dBm
Potencia de transmisión	Hasta 20 dBm
Comunicación	Serial, SPI, etc.
Banda de frecuencia	915, 868,433 MHz
Consumo de energía	Bajo
Voltaje	De 3.3 a 5 Vdc placa Arduino
Compatibilidad	Arduino Leonardo, Uno, Mega, DUE
Antena externa	Tipo I-Pex para shield LoRa

Fuente: (Leguizamo, 2018) & (Romas, 2017).

El funcionamiento de este módulo requiere el acoplamiento de un microcontrolador como la placa de desarrollo Arduino que permita realizar la programación basada en una biblioteca de código abierto (*concretamente protocolo LoRa*), así como también requiere de una conexión inalámbrica “WiFi” para transmitir los datos hacia el servidor.

3.3.3. SEMTECH 1276 “LORA”

Es un transceptor cuyas versiones las podemos encontrar en SX1276/ 77/ 78/ 79. Su integrado es de ultra largo alcance para redes LoRa, proporcionando una comunicación de espectro CSS y alta inmunidad a perturbaciones que minimiza el consumo de corriente. En la Figura 3.4 se observa el dispositivo con sus respectivas características.

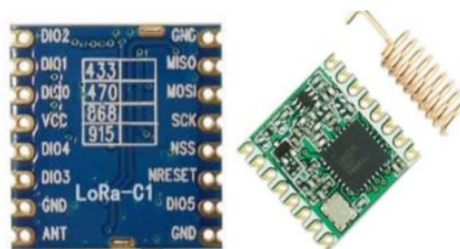


Figura 3.4 Transceptor LoRa 1276.

Fuente: (Leguizamo, 2018).



Este tipo de transceptor es ideal para cualquier aplicación IoT debido a que está diseñado para ser usado en sistemas de riego, automatización del hogar, medición remota del consumo eléctrico, agua o gas, etc., en la Tabla 3.3 se observa algunas de sus propiedades funcionales:

Tabla 3.3 Características Transceptor 1276 LoRa.

Características	Descripción
Enlace máximo	168 dB
Alta sensibilidad	Hasta -148 dBm
Velocidad de transmisión programable	Hasta 300 Kbps
Manejador de paquetes	Hasta 256 bytes con CRC
Tipos de Modulaciones	FSK, GFSK, GMSK, LoRa (MR), OOK
Indicador de fuerza recibida (RSSI)	Rango dinámico de 127 dBm
Baja corriente en modo recepción	9.9 mA y 200 mA para retención de registros
Amplificador de potencia	+14 dBm de alta eficiencia
Sensor incorporado	Temperatura e indicador de batería baja

Fuente: (Leguizamo, 2018).

Un aspecto distintivo del chip 1276 LoRa, es que puede operar tanto como transmisor o receptor de datos, sin embargo, requiere de un microcontrolador, así como también de interfaces de comunicación debido a que estos módulos proporcionan capas inferiores al modelo OSI, también requieren de ciertos componentes externos entre la salida y entrada de radio frecuencia y una antena utilizada para emisión de energía (Automatizados).

3.3.4. MÓDULO LORA BEE

Este dispositivo permite al usuario enviar datos y proporciona una extensa cobertura, así también alta inmunidad a interferencias, y bajo consumo de corriente característico de módulos LoRa. La Figura 3.5 ofrece una descripción del dispositivo LoRa Bee, basado en el transceptor SX1276 o SX1278, cuyo modelo está enfocado a aplicaciones de redes de sensores inalámbricos profesionales. La Tabla 3.4 muestra algunas de sus características más importantes:

Tabla 3.4 Características LoRa Bee.

Características	Descripción
Chip incorporado	SX1276
Comunicación	SPI



Alimentación	3.3 V
Frecuencia de trabajo	868, 433, 915 MHz
Modulaciones	FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRaTM y OOK
Alta sensibilidad	Menor a -148dBm
Bit rate programable	Superior de 300 kbps

Fuente: (Mendoza, 2018).



Figura 3.5 Modulo Transmisor LoRa Bee.

Fuente: (Mendoza, 2018).

3.3.5. MÓDULO LORA LIBELIUM

Su diseño está basado en el módulo SX1272 LoRa, el cual permite enviar datos y alcanzar rangos extremadamente largos con bajas tasas de transmisión. Lo interesante del dispositivo es su compatibilidad con Arduino, Raspberry Pi e Intel Galileo. Principalmente dispone de puertos SPI y UART para su comunicación, siendo el puerto SPI usado para comunicaciones rápidas, dejando libre el UART para otros fines como depuración o conexión con módulos de comunicación (véase la Figura 3.6; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Libelium funciona en las bandas ISM 868 y 900 MHz, siendo adecuada para cualquier país. Para hacer uso de las facultades de transmisión del protocolo LoRa, Libelium requiere de un escudo de radio multiprotocolo para la interconexión entre cada plataforma compatible con el dispositivo, conectando al mismo tiempo ambos módulos de comunicación, combinando así sus funcionalidades en solo montaje. La Tabla 3.5 presenta algunas características técnicas.



Tabla 3.5 Características modulo LoRa Libelium.

Características	Descripción
Modulo	SX1272
Banda de frecuencia Dual	863-870 MHz (Europa), 902-928 MHz (US)
Poder de Transmisión	14 dBm
Sensibilidad	-134 dBm
Canales	8 Canales en la banda 868 MHz
	13 canales en la banda 900 MHz
Distancia	22+km (13,4+millas)

Fuente: (S.L, 2017).



Figura 3.6 Módulo LoRa Libelium SX 1272.

Fuente: (S.L, 2017).

3.3.6. ESCUDO O RADIO MULTIPROTOCOLO

Este escudo hace posible la conexión y comunicación de dos módulos de comunicación. Abriendo muchas diferentes posibilidades y aplicaciones, al utilizar los módulos Cooking Hacks que combinan a Libelium con Arduino, Raspberry Pi e Intel Galileo, con lo cual podemos hacer uso de varios módulos y protocolos de comunicación al mismo tiempo, obviando la necesidad de hardware adicional, teniendo los métodos de comunicación en una sola plataforma, como se puede apreciar en la Figura 3.7 y Figura 3.8, para ello existe distintos radios para cada plataforma. En la Tabla 3.6 se detalla las características de este dispositivo.



Tabla 3.6 Características radio multiprotocolo.

Características	Descripción
Alimentación externa o PC	12 – 5 Vdc respectivamente
Dispone de conexiones por bus SPI para uso de módulos	RS485, CAN Bus, LoRa y LoRaWAN
Compatibilidad con otros módulos	RFID, XBee, Bluetooth
Permite combinar protocolos	2 protocolos de comunicación
Dispone dos sockets	Pueden conectarse cualquier modulo que use UART
Nivel de voltaje de socket 0 del escudo de radio multiprotocolo	5 Vdc
Nivel de voltaje de socket 1 del escudo de radio multiprotocolo	3.3 Vdc

Fuente: (hacks, s.f.).

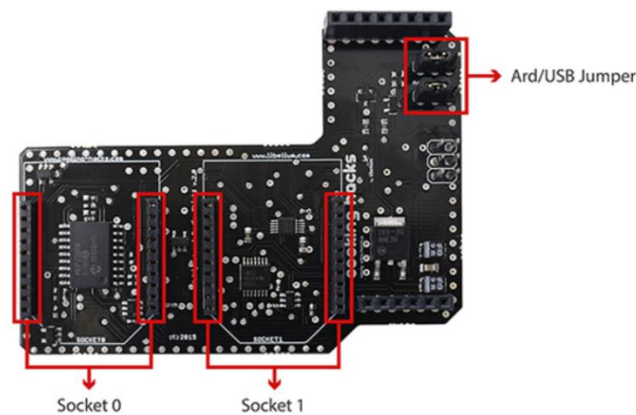


Figura 3.7 Escudo de Radio Multiprotocolo.

Fuente: (hacks, s.f.).



Figura 3.8 Tipos de Radio Multiprotocolo para Arduino, Raspberry y Libelium.

Fuente: (hacks, s.f.).



3.3.7. LOPY4

Pycom es un fabricante de dispositivos IoT y su distribución más conocida es **LoPy** entre sus varias versiones más. La tarjeta dispone de todos los componentes necesarios para desarrollar aplicaciones IoT, permitiendo la conexión de dispositivos a través de numerosos estándares de comunicación como; WiFi, Bluetooth Low Energy (BLE) y comunicaciones con tecnologías de largo alcance y bajo consumo como LoRa y Sigfox (véase la Figura 3.9).

La ventaja de la versión de LoPy v.4, se debe a que incorpora el chip ESP32 con MicroPython (*versión modificado de Python para micro controladores*), esto hace que la plataforma pueda ser programada mediante **Python**, de modo que los conocimientos de este lenguaje en un PC pueden ser transferidos a la versión micro sin problema alguno, haciendo que su aprendizaje sea mínimo. Por otra parte, su API intuitiva desarrollada por Pycom (**Pymark**), permite sacarle el máximo provecho a la placa, puesto que es un complemento que se lo puede integrar a su principal editor de texto (**Atom**) para su programación, configuración y puesta en marcha.

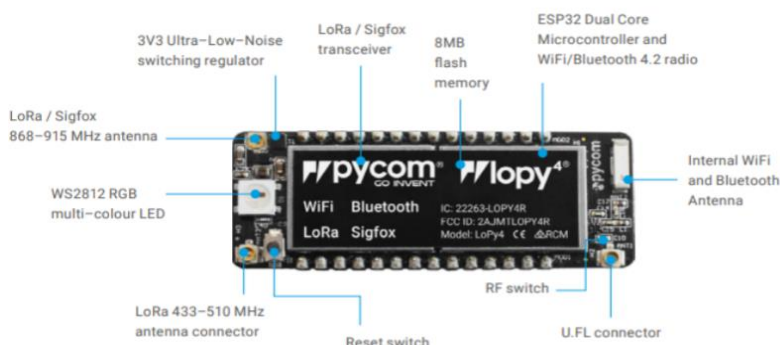


Figura 3.9 Descripción física Lopy versión 4 como dispositivo LoRa.

Fuente: (Fraga, 2018).

En si este dispositivo dispone de varias funcionalidades, sin embargo, resulta imprescindible la incorporación de una antena externa, a fin de evitar daños en el módulo sobre todo si opera bajo el protocolo LoRa o Sigfox, la última versión de la placa es Lopy v.4. En la Tabla 3.7 se puede apreciar sus características más importantes.



Tabla 3.7 Características técnicas de Lopy V.4.

Características	Descripción
Microcontrolador	Espressif ESP32 de doble núcleo
Alimentación	3.5 a 5.5 V
Transceptor	Semtech LoRa SX 1276 compatible con dispositivos clase A y C.
Memoria Flash	RAM (4 MB) + MicroSD Card
Interfaces	UART, SPI, I2C, I2S
Conectividad	Wifi, Bluetooth, LoRa, Sigfox
Antenas	Wifi y Bluetooth interna y 3 conectores UFL para antena LoRa y Sigfox
Puertos GPIO	24 puertos y DMA en todos las interfaces.
I/O Analógicas	8 puertos de 12 bits ADCs.
Coprocesador Ultra Low Power (ULP)	Permite despertar al dispositivo mediante los pines GPIO y ADC permitiendo en modo Deep Sleep con consumos alrededor de 38 μ A.

Fuente: (Sánchez, 2018) & (Bermejo, 2018).

Como se ha observado el dispositivo cumple con todas las características y exigencias para nuestro sistema, a continuación, se detallan algunas particulares específicas para uso del dispositivo:

- Enlaces LoRa tipo inalámbrica, alcanza los 44 Km, apta para comunicar dispositivos a larga distancia según datos del fabricante (**Pycom**). Dispone 8 pines analógicos que permiten la conexión de dispositivos de medición.
- La conexión WiFi de Lopy v.4, permite enlaces con enrutadores para tomar datos de sensores y llevarlos a una página/servidor web. Para la comunicación con el ordenador define una conexión UART, siendo necesario un convertidor de comunicación de tipo UART a Serial. En la configuración y programación del dispositivo, puede utilizar una placa de expansión que incluye conversores de comunicación seriales.
- Dispone de modo Deepsleep que pone al dispositivo en función Standby, logrando consumos de 18.5 μ A dándole gran autonomía a los nodos. Posee doble funcionalidad, pudiendo trabajar tanto como un Gateway o nodo, orientados a desarrollos de IoT.
- El Rango de nodo es de 40Km, en el Nano Gateway tiene un alcance de 22 Km y una conexión máxima de hasta 100 nodos.



3.3.8. TARJETA DE EXPANSION LOPY

La placa de expansión universal de Pycom facilita enormemente la tarea de configuración y programación del módulo (véase la Figura 3.10), debido a que posee una entrada micro USB para poder conectarlo a nuestro PC brindando agilidad al proyecto como; facilidad de acceso a los contactos de la placa Pycom, principalmente comunicación serial. En la Tabla 3.8 se puede apreciar sus características más importantes:

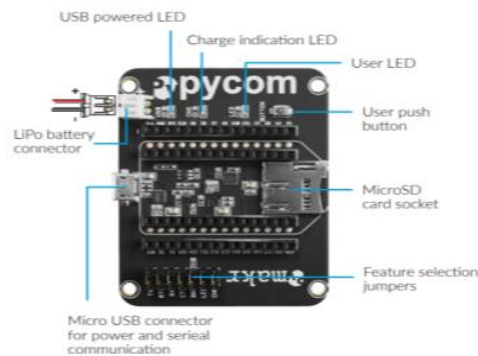


Figura 3.10 Módulo de ampliación universal montable de Lopy4

Fuente: (Fraga, 2018).

Tabla 3.8 Características del módulo de expansión universal de Lopy

Características	Descripción
Alimentación	MicroUSB o por batería LiPo
Comunicación	USB a Serial de PC a LoPy
Conversor	FT234XD USB a Serial
Protección de tensión	TPS2115A contra polaridad invertida
Ranura	Tarjeta MicroSD
Jumpers	Para activar o desactivar funciones
Cargador de batería	Dispone dos opciones de corriente de carga diferentes (100 mA y 450 mA)
Monitorización del voltaje de la batería	Vía WiPy ADP
Opción de software	Pymark IDE (Editor para escribir Scripts en Python)
Quick Verification	Interacción con la Shell permite accesibilidad por telnet o puerto serial
Conectores	Tres conectores hembra para acoplar fácilmente el WiPy 2.o, LoPy, SiPy o FiPy y conector estilo JST para la batería

Fuente: (Invent, 2017)



3.4. SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO

Como se ha descrito en las secciones anteriores existen diversos dispositivos que incorporan el protocolo LoRa. No obstante, la elección de nuestro módulo LoRa, va depender de analizar ciertos parámetros considerados de mayor relevancia, sobre todo con el hardware ya que este aspecto tiene relación directa con la viabilidad de nuestro proyecto en términos de costo. Por lo que hemos visto conveniente comparar las características de cada dispositivo que representaremos en la siguiente Tabla 3.9 y así escoger la mejor opción.

Tabla 3.9 Comparación de módulos LoRa para elección

	Dragino	Semtech 1276	LoRa Bee	Libelium	LoPy4
Microcontrolador	-	-	-	ATmega1281	ESP32
Programación	Arduino IDE	Arduino IDE	Arduino IDE	Waspote	MicroPython
Chipset LoRa	Semtech SX1276/ SX1278	Semtech SX1276	Semtech SX1276	Semtech SX1272	Semtech SX1276
Potencia de transmisión	+20 dBm	+20 dBm	+20 dBm	+14dBm	+20 dBm
Frecuencia de Funcionamiento	868-915-433 MHz	137-1050 MHz	868-915-433 MHz	863-870, 902-928 MHz	868-915-433-470-510 MHz
Otras Características	No disponen de un microcontrolador para controlar el Dragino	Requieren incorporar circuito de radio-frecuencia y un microcontrolador	No disponen de un microcontrolador para controlar el Módulo LoRa Bee	No disponen de un microcontrolador para controlar el Libelium	Tiene integrado el microcontrolador y circuito de radio-frecuencia
Precio	\$170	\$80	\$95	\$200	\$60

Fuente: Editado por el Autor

Como podemos apreciar se ha estimado el costo total para cada dispositivo LoRa, con un kit que incluye el módulo LoRa, un hardware compatible y elementos adicionales para su



funcionamiento, a excepción de **LoPy** que solo excluye el hardware compatible. Respecto a lo expuesto podemos inclinarnos a decir que LoPy es la mejor opción por encima de sus similares tanto en costo como sus propiedades técnicas, rendimiento y ahorro de hardware adicional.

Por lo que LoPy V.4, es el dispositivo escogido por su ergonomía de diseño, y facilidad de implementación y programación, para ser utilizado en el presente proyecto dado que tiene todo lo necesario en una sola placa, además de las comunicaciones inalámbricas dispone de comunicaciones SPI e I2C para conectarse con otros dispositivos, convirtiéndolo así en una mejor opción para el diseño de aplicaciones IoT dentro de la red LPWAN que realizaremos. Otra de sus posibilidades es que la tarjeta también puede funcionar como nano módulo o nano LoRa, es decir puede usarse como pasarela de enlaces LoRa. Al decir de todos los atributos antes mencionados, LoPy constituye un recurso adecuado (*por su asequible costo y flexibilidad*) en la aplicación de una red LPWAN a través del protocolo LoRa.

Además en su núcleo se halla el sistema chip ESP32, mismo que dispone de un microcontrolador de doble núcleo (*uno se encarga de conexiones de red, mientras el otro de operaciones*), que suman aún más funcionalidades a la placa, reduciendo así costos en terminales adicionales en el procesamiento, comunicación y transmisión de datos, que encarezcan el montaje de arquitectura de hardware (*caso de usar micro controladores como Arduino*), dado a que puede recolectar datos y transmitirlos a través de una sola plataforma funcional apropiada a nuestro diseño, que la convierten en una opción muy aceptada por sus prestaciones.

3.5. SELECCIÓN DE ANTENA DE ENLACE

Considerando los parámetros antes citados, como son frecuencia y ganancia en el cual opera un dispositivo LoRa, se vuelve necesario la elección de una antena adecuada que emita con los mismos parámetros para conseguir un funcionamiento tolerable en los nodos, tomando en cuenta qué un módulo LoRa opera entre los 433 a 915 MHz según la región (*concretamente para Sudamérica 915MHz*). No obstante, la ganancia de la antena debe ser considerable, y que esta se acoja a los criterios de bajo costo del proyecto.



Para ello se ha elegido como antena para módulos Lopy V.4, la 365-LORASIGFOXANTKIT (véase la Figura 3..11) la cual está diseñada por Pycom y es exclusiva de dispositivos LoPy. En la Tabla 3.10 se puede apreciar sus principales características de este equipo:

Tabla 3.10 Características de antena 365-LORASIGFOXANTKIT.

Características	Descripción
Fabricante	Pycom
N° de artículo de Mouser	365-LORASIGFOXANTKIT
Frecuencia (MHz)	900 MHz
Ganancia	2 dBi
Tipo de producto	Antena ISM, MICS, UHF, VHF, UWB
Tipo	½ Wave Whip external LTE- M
Cantidad de bandas	1
Color	Negro
Tipo de conector de antena	Cable de adaptador de antena UFL a RP – SMA Male
Clasificación IP	67

Fuente: (Electronics, 2019)



Figura 3..11 Antena Omnidireccional de alta ganancia de 915MHz para Lopy.

Fuente: (Electronics, LoRa Antenna, 2019).

3.6. SELECCIÓN DEL SENSOR DE AGUA

Los sensores son dispositivos que pueden medir magnitudes tanto físicas como químicas, convirtiéndolas en representaciones eléctricas para su interpretación. En este caso la variable de medición es el caudal de suministro de servicio de agua potable, el cual constituye un aspecto fundamental de nuestro estudio, dado que a la hora de afrontar una instalación de agua residencial su funcionamiento depende de ciertos parámetros a tener en cuenta, como las medidas y



dimensiones de las tuberías y el caudal que canalizan, así como la presión que soporta para que el sistema funcione correctamente.

Es así que el caudal y la presión, son dos factores esenciales para seleccionar nuestro sensor de flujo de agua o flujómetro, dispositivo con el cual se mide el caudal que está pasando a través de una tubería. El caudal es una relación entre volumen y el tiempo, siendo esta la cantidad de agua que circula por una cañería por unidad de tiempo, la cual puede ser expresada en m^3/s , l/s y l/min , etc.

En el caso de instalaciones domésticas el caudal está dado en función de la sección de la tubería y la presión de emisión, por lo cual podemos encontrarnos con tuberías de 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ " de pulgadas, siendo esta última la más habitual en grifos con caudales de 6 a 12 l/min . Según, el diámetro de la tubería la presión puede estar en el rango de 100 a 500 KPA. Sin embargo, el mercado ofrece diferentes tipos de sensores, que difieren aparte de su precio en él; tamaño de conexión de las rocas, caudal de medición y presión que soportan, con base a lo expuesto hemos optado por el sensor de flujo electrónico YF-S201, su módico precio, diseño ergonómico y facilidad para tomar mediciones de caudal de agua, a más de otras cualidades que se adaptan plenamente a los requerimientos de nuestro estudio, lo hacen ideal para la medición de consumo de agua potable domiciliario.

3.6.1. SENSOR DE FLUJO YF-S201

El sensor de flujo YF-S201 como nos muestra la Figura 3.12, está constituida por una carcasa plástica, un rotor y un sensor magnético de Efecto-Hall cuya medición se basa en pulsos eléctricos (*tipo onda cuadrada de 0 a 5 Vdc*), generados por una turbina al pasar el flujo de agua por ella. Con lo que se puede registrar cada vuelta, que genera impulsos de salida a una velocidad proporcional a la velocidad de flujo (González J. I., 2016), siendo este un método efectivo y formal para estimar la cantidad de agua que circula por una tubería, por lo que podemos realizar mediciones confiables inclusive calibrarlas a nuestras necesidades.



Este sensor es un medidor económico y fácil de usar, dispone de mucha información para este propósito por lo que se adapta a nuestras necesidades para medir el consumo de agua doméstico, en la Tabla 3.11 se puede observar algunas de sus características más importantes:

Tabla 3.11 Características del Sensor YF-S201.

Características	Descripción
Modelo	YF-S201
Tipo de Sensor	Efecto Hall
Voltaje de Funcionamiento	5 a 18 Vdc (Voltaje Mínimo Requerido 4.5V)
Consumo de Corriente Máximo	15 mA a 5 Vdc
Voltaje de Salida	5V TTL
Caudal de Trabajo	1 a 30 litros/minuto
Precisión	$\pm 10\%$
Temperatura de Funcionamiento	-25 a +80°C
Humedad de Trabajo	35% a 80% RH
Presión Máxima del Agua	2.0 MPa
Pulsos por Litro	450
Características del pulso de Caudal	Frecuencia (Hz)= $7.5 * \text{Caudal (L/min)}$

Fuente: (Stalin, 2016) & El Autor



Figura 3.12 Sensor de flujo de agua con efecto Hall YF –S201.

Fuente: (Llamas, 2016) & El Autor.

3.7. SELECCIÓN DEL SOFTWARE

3.7.1. SERVIDORES DE RED LORAWAN

El software requerido debe disponer del control y gestión de los dispositivos tanto de los nodos como las puertas de enlace que manejen tecnologías LoRa, sin embargo, existen varias opciones



en el mercado (véase la Figura 3.13.), los cuales permiten gestionar por uno mismo el servidor o en su defecto por la misma empresa proveedora. En base a ello presentamos diversas arquitecturas y tipos del servidor LoRa, que puede variar según sus prestaciones y servicios.

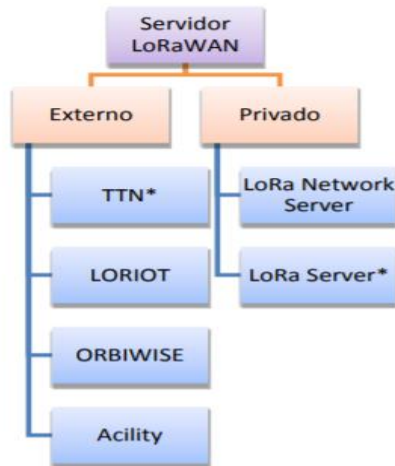


Figura 3.13 Tipos de servidores LoRaWAN.

Fuente: (Díez, 2017).

Todos estos servidores permiten la gestión de cada uno de los dispositivos, sin embargo, para este proyecto se requiere obtener un control total de la red por lo que se descarta la rama correspondiente a los servidores externos ya que las mismas empresas se encargan de la gestión de sus equipos lo que nos impide estar al tanto de como el sistema se comporta.

Entre los servidores privados existen dos:

1. **LoRa Network Server:** es un servidor integrado en los Gateways de Multitech
2. **LoRa Server:** es una solución de código abierto para un servidor de LoRaWAN completo (Servidor de red y servidor de aplicaciones)

Se ha decidido por optar para este proyecto por el servidor **LoRa Server** debido a que ofrece una solución completa, de código abierto. Además, al tener el servidor de red separado del Gateway permite al Gateway centrar su trabajo en recibir los paquetes y reenviarlos, y deja la carga de trabajo de un servidor, a máquinas más potentes con mayores capacidades que las convencionales.



3.7.2. ATOM

Por otro lado, el programa *Atom* es un editor de texto hackeable de código abierto multiplataforma (versiones para los principales sistemas operativos como; Windows, Linux, Mac) muy utilizado para la programación en diversos lenguajes (como; C++, Pascal, HTML 5, Python, Perl, etc.) gracias a que dispone de una interfaz dinámica, intuitiva de fácil acceso y uso.

Al ser su editor hackeable y disponer de varios entornos de programación, puede instalarse packages creados por terceros, cuyas funcionalidades son añadidas a este editor de texto, y es aquí donde el sensor y el nodo requieren de este software para ser configurado, esto por el hecho de que Pycom dispone de un package llamado **Pymark**, que ayuda a la programación y administración de dispositivos **LoPy**, que estén conectados al ordenador por puerto USB. Este *package* permite añadir una terminal en el editor de texto, así como también una ventana de configuración que sirve para la conexión y comunicación de los dispositivos Lopy. (Salazar, 2006). Permitiendo de esta manera subir programas a la tarjeta de desarrollo Lopy, y que esta ejecute instrucciones concretas independientemente de la terminal de programación. La Figura 3.14 muestra la interfaz de programación que utiliza este software.

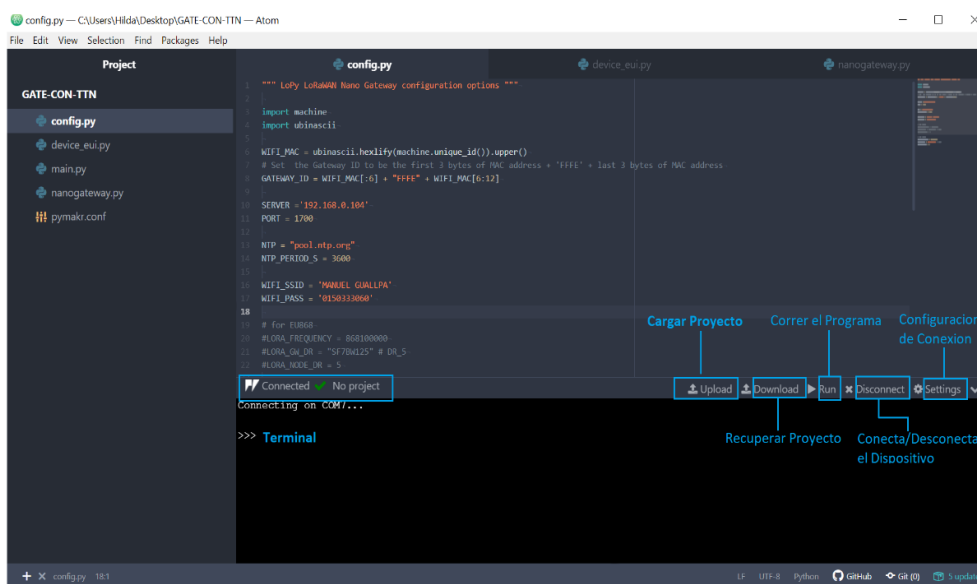


Figura 3.14 Interfaz Atom.

Fuente: Editado por el Autor.



CAPÍTULO 4

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED LORA

En este capítulo se describe la arquitectura, diseño y conexión de los dispositivos de hardware (*Gateway y nodo*) y software (*entorno web y aplicación web*) que conforman una red **LoRaWAN**, para lo cual se ha desarrollado un sistema de adquisición de datos del flujo de agua, el cual forma parte de una **red WSN** (Wireless sensor Network) para transmitir los datos y posteriormente presentarlos a los usuarios, para lo cual proveímos el uso de *LoRaServer.io* que es un software open – Source, para el despliegue de la red LoRaWAN basada en el sistema operativo Linux. Además, se presenta el desarrollo de una plataforma virtual, en la cual el usuario/administrador puede visualizar la información sobre el consumo de agua y precisar de este, en tiempo real mediante una interfaz.

4.1. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La arquitectura del sistema está basada en soluciones de hardware y software de código abierto con el objetivo de implementar un proyecto de bajo costo y de arquitectura abierta. La Figura 4.1 presenta la topología general del sistema, para una red LoRaWAN, mediante el cual se aprecia el desarrollo del trabajo, definido por las diferentes partes que lo compone:

El esquema provisto nos muestra la red de diseño conformada por diferentes niveles, como la adquisición del caudal medido en cada domicilio, que luego dicha información obtenida se transmite hasta un nodo central el cual procede a tratar los datos subiéndolos a un servidor de redes LoRa, enviándolos posteriormente a un servidor de base de datos, para poder ser visualizada la información y acceder a ella en tiempo real.

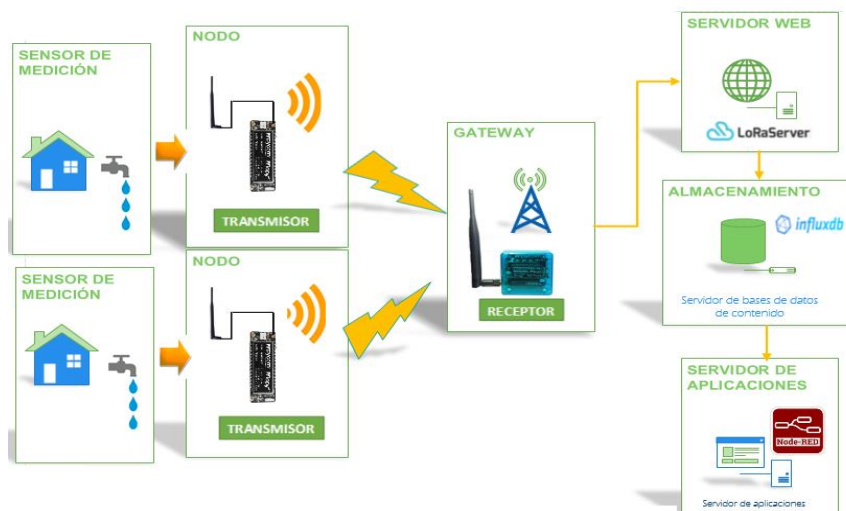


Figura 4.1 Arquitectura del Sistema.

Fuente: Editado por el Autor.

De forma más detallada podemos decir, que los nodos están compuestos por un sensor de flujo que se encarga de medir el caudal que ingresa al domicilio, cuyos datos son codificados y transmitidos mediante enlaces LoRa hasta la estación central, que es la encargada de recibir y administrar esos datos. Seguidamente, la estación central o Gateway tiene como función transferir esos paquetes de datos en mensajes TCP/IP hacia un servidor LoRaWAN, el cual procesa y decodifica esos datos y los integra directamente en una base de datos SQL mediante encabezados HTTP permitiendo la visualización de datos directamente del dispositivo. Finalmente, a través de la herramienta *Node-Red*, se encargará de interpretar los datos y visualizarlos poniéndolos a disposición de los usuarios que accederán a la red a través de una interfaz web o aplicación final, que gestiona y analiza los consumos de agua potable.

La solución que propone este proyecto es ayudar tanto a la empresa surtidora como abonados de las zonas rurales a gestionar el consumo de agua potable, a efecto de poder analizar y visualizar el consumo de la población en tiempo real, mediante una interfaz gráfica optimizando de esta manera los procesos de medición, y acceso oportuno a la información de consumo.

4.2. ARQUITECTURA DE HARDWARE

El sistema de medición de consumo de agua potable, está compuesto por la placa de desarrollo LoPy V4 que integra el sensor de flujo de agua, sin embargo, este equipo puede actuar tanto como



nodo y nano-Gateway LoRa, los cuales utilizan una fuente de alimentación externa adaptada que alimenta a todo el sistema de monitoreo (véase la Figura 4.2). Dichos equipos se comunican entre sí a través del protocolo LoRa donde el nano-Gateway se conecta a internet a través de WiFi que viene por defecto integrado este protocolo de comunicación en su placa.

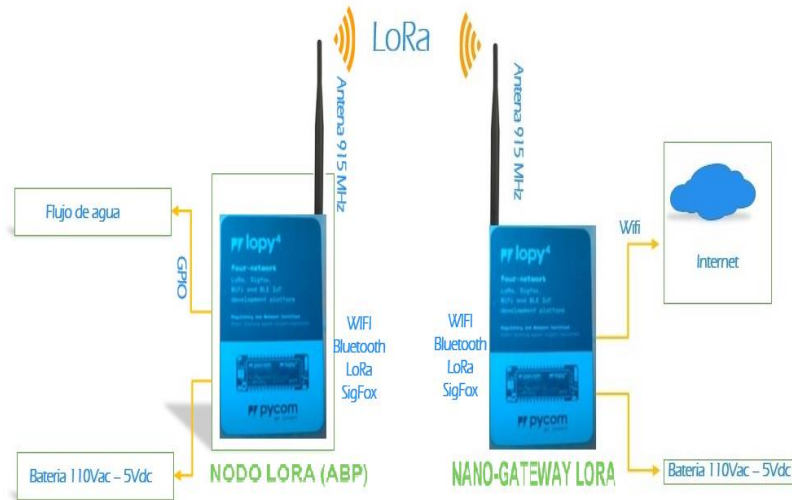


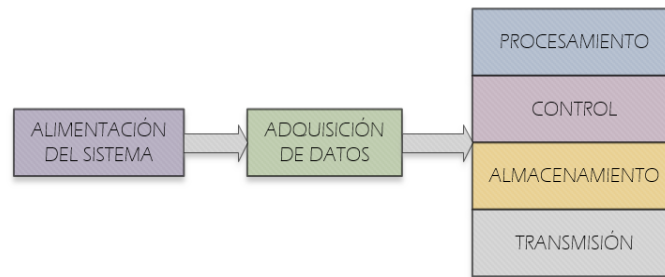
Figura 4.2 Arquitectura de hardware.

Fuente: Editado por el Autor.

4.2.1. NODO

En la infraestructura de la red LoRa, este componente transmite los datos capturados por el sensor YF S201, previamente obtenidos por la tarjeta LoPy v.4 de Pycom dispuesta como nodo, así la información que recibe el nodo es enviada hacia el Gateway mediante un enlace ascendente o uplink, que sirve como extremo del dispositivo. Básicamente la adquisición de datos lo realiza mediante interrupciones, es decir permite la lectura de datos mediante pulsos cuadrados que se activan con cada flanco de subida o de bajada, logrando de esta forma la lectura de los datos del sensor en el momento oportuno (*cuando hay consumo*).

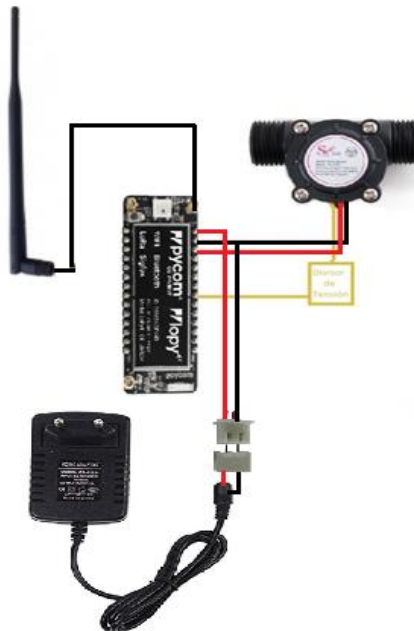
El diagrama de bloques de la Figura 4.3, se puede apreciar el concepto básico sobre la adquisición de datos a través del sensor de flujo YFS-201 mediante el nodo LoRa.

**Figura 4.3** Arquitectura del Nodo

Fuente: Editado por el Autor.

CONEXIÓN NODO – SENSOR

LoPy puede trabajar con diversas frecuencias (433 MHz, 868 MHz y 916 MHz) sin embargo va a depender de la región en la que se encuentre. En este caso se utilizará la banda de 915 MHz debido a que nos encontramos en la región de América. En la Figura 4.4 se puede apreciar la integración y conexión de los componentes del nodo, sensor de flujo YFS201, placa LoPy y la alimentación de todo este sistema suministrada por un adaptador de 110 Vac – 5 Vdc.

**Figura 4.4** Esquema de conexión del nodo LoPy y sensor de Flujo YFS-201

Fuente: Editado por el Autor.



Para conectar el sensor de Flujo de agua se utilizó una placa de adaptación que permite integrar todos los componentes necesarios, para lo cual fue necesario consultar la hoja de datos técnicos de cada uno. La placa adaptadora (véase la Figura 4.5) implementa la placa de desarrollo LoPy v.4, y el sensor YSF-201 el cual está conectado en el pin 19 de la placa. Además, fue necesario incluir las conexiones pertinentes para adicionar las resistencias a manera de formar un divisor de tensión de 5Vdc a 3.3 Vdc, que se conecta previamente al pin de lectura designado en Lopy, así también los conectores para el correcto funcionamiento del Nodo. Se agregó también un regulador de tensión (12 – 5 Vdc) para sistemas independientes en el caso de que deseen ocupar una batería.

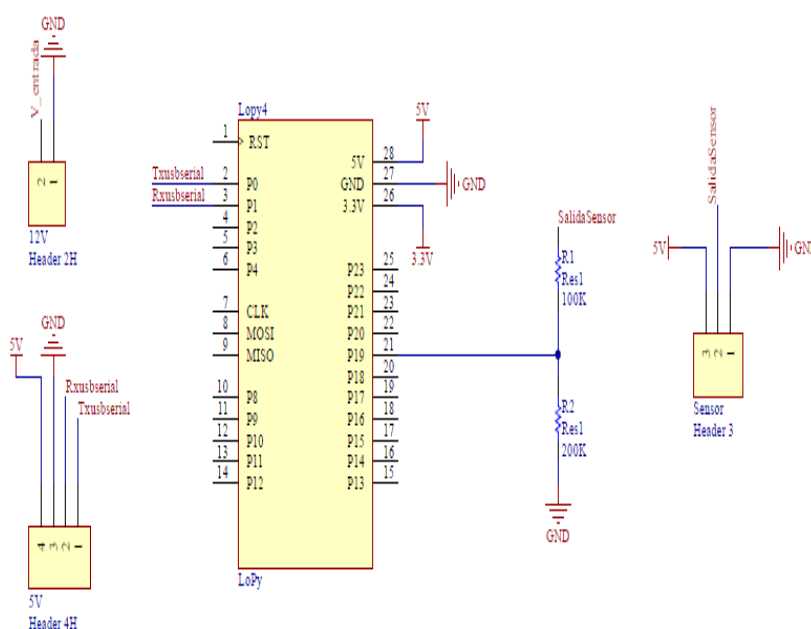


Figura 4.5 Esquema Electrónico de la placa de acoplamiento LoPy y Sensor de flujo.

Fuente: Editado por el Autor.

Luego de haber realizado el diseño de la placa conjuntamente con sus diversos componentes electrónicos se procede a realizar el diseño físico del circuito impreso donde se detallan cada uno de las funcionalidades e integraciones que compone la tarjeta en cada uno de los bloques (véase la Figura 4.6), centrándonos en los más importantes como es LoPy4 y el sensor el YFS-201.

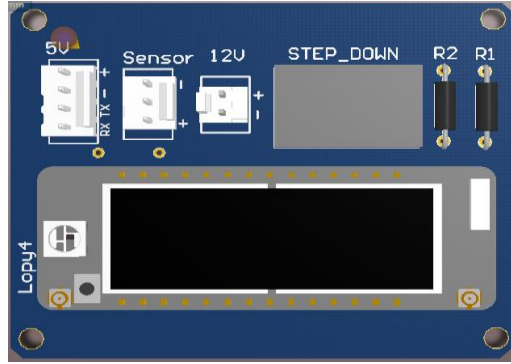


Figura 4.6 Diseño final de la placa de integración.

Fuente: Editado por el Autor.

Se vio necesario tener dos niveles de voltaje, 5V para la alimentación requerida en el LoPy y 3.3V utilizado para el sensor. Habiéndose de colocar un divisor de tensión mediante el arreglo de un par de resistencias, para obtener el voltaje de salida requerido de manera que los pulsos generados internamente sean adecuados para la lectura e interpretación del LoPy, por medio del pin 19. La siguiente formula permite calcular dicho voltaje de salida para la adaptación de tensión admisible de lectura del pin en cuestión para el sensor de flujo.

Fórmula:

$$V_0 = V_i \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \Rightarrow V_0 = 5V \left(\frac{200 \text{ K}\Omega}{100 \text{ K}\Omega + 200 \text{ K}\Omega} \right) \Rightarrow V_0 = 3.3 \text{ V.}$$

CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE FLUJO

Para obtener una mayor precisión en los datos en el sensor, requiere de calibración debido a que el sensor dispone de un factor de conversión de fábrica, con un valor de 7.5 cuyo valor permite convertir la frecuencia a caudal, siendo aspecto de configuración en LoPy mediante la programación, para lo cual se basa en la siguiente ecuación:

$$K = \frac{n^\circ \text{ Pulsos}}{\text{Volumen} * 60}$$

Dónde:



K= es el factor de conversión, **N° pulsos** = cantidad de pulsos medidos con el sensor, correspondiente al volumen que pasa por el mismo.

Despejando el volumen de la ecuación anterior obtenemos la siguiente expresión:

$$\text{Volumen} = \frac{n^{\circ} \text{ Pulsos}}{K * 60}$$

Para efectos de prueba hemos tomado como valor, el factor de conversión de $K = 7.11$ cuyo valor fue calculado al realizar diversas pruebas desarrolladas y que coinciden con los estudios realizados por la empresa *Naylamp Mechatronics* (Naylamp, 2016). Debido a lo que se desea obtener, es el volumen del caudal de consumo.

4.2.2. GATEWAY

Dentro de la red el Gateway constituye la unidad de control, conformada en el dispositivo Lopy v.4, asociada a él la placa de expansión, que facilita la programación y alimentación del módulo. Su función principal es enviar y recibir los paquetes de forma simultanea desde el nodo de adquisición de datos a través del protocolo LoRa, donde un servidor conectado mediante enlaces WiFi LoRaWAN, transfiere los paquetes de dicho servidor mediante la modulación LoRa, remitiendo mensajes TCP/IP hacia una plataforma LoRaWAN por medio de una conexión a internet vía WiFi, siendo este el proceso de comunicación de parte del Gateway.

El diagrama de bloques de la Figura 4.7, detalla cada uno de los componentes a utilizarse para crear el nano Gateway, para lo cual haremos uso de la tarjeta de Expansión V3.1 que disponen los dispositivos Lopy v.4 para el estándar Lora.

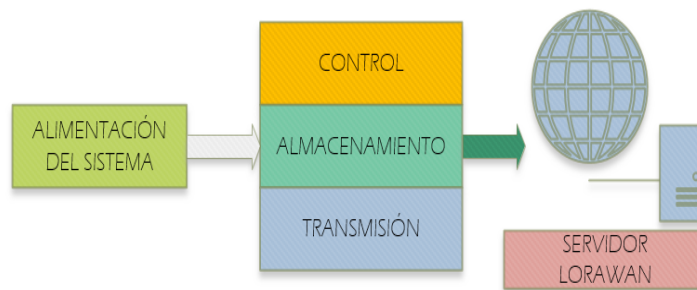


Figura 4.7 Arquitectura del Gateway.

Fuente: Editado por el Autor.



CONEXIÓN GATEWAY – LOPY

Para esta conexión se hizo uso de la tarjeta de expansión en el cual está integrada la placa de desarrollo LoPy que permite la configuración y alimentación del equipo a través del adaptador de voltaje de 100 Vac – 5 V dc. La Figura 4.8 muestra los elementos y el cableado correspondiente para su funcionamiento.

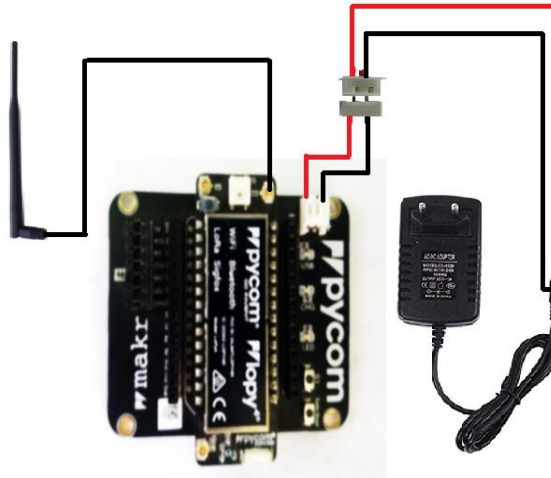


Figura 4.8 Esquema de Conexión del Gateway LoPy.

Fuente: Editado por el Autor.

4.2.3. MONTAJE DE LOS EQUIPOS

Las siguientes ilustraciones muestran la disposición del nodo y nano Gateway LoRa, configurados como tal mediante el software Atom utilizado para la administración de estos dispositivos.

El prototipo del ensamblador del equipo de medición de consumo de agua se muestra en la Figura 4.9, el cual se instaló dentro de una caja genérica para exterior con grado de protección IP67, conectado con una antena omnidireccional con una ganancia de 2dBi.



Figura 4.9 Nodo LoRa ensamblado.

Fuente: Editado por el Autor.

De igual forma para el Gateway se instaló en una caja de protección IP67, sin embargo, se requirió de otra caja IP67 de mayor dimensión debido a que se necesitaba que se encuentre la fuente de alimentación cerca del Gateway (véase la Figura 4.10) el cual se conecta a la red eléctrica

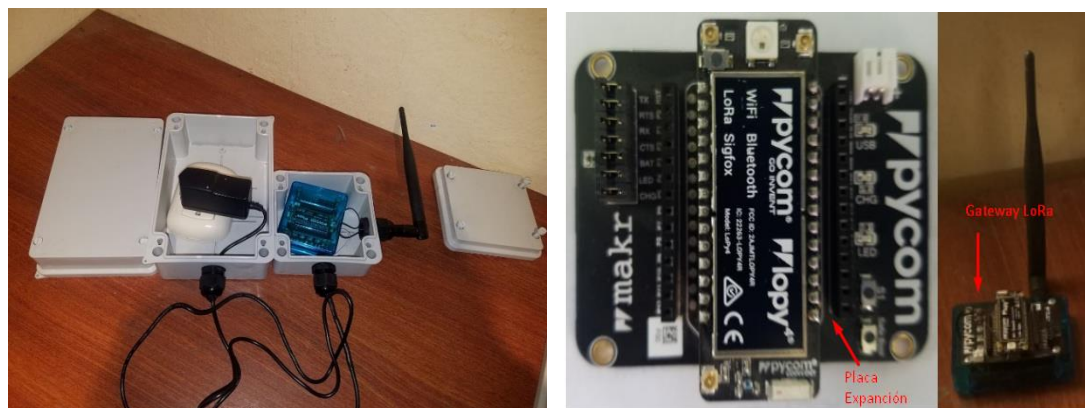


Figura 4.10 Gateway LoRa ensamblado.

Fuente: Editado por el Autor.

La implementación final de estos equipos será colocada en la parte externa de la casa del abonado donde deben estar protegidos de la intemperie.



4.3. ARQUITECTURA DE SOFTWARE

Este apartado comprende el software utilizado para el impulso del proyecto, cuyos elementos principales, dentro de esta arquitectura se encuentra la plataforma **LoRa Server** encargada de gestionar la red que incluye un conjunto de aplicaciones que proporciona mecanismos de gestión de pasarelas registrados en la red LoRa (Sallemine, 2019). Por su parte el servidor LoRa se vincula directamente con **InfluxDB** que se encarga de almacenar la información de interés de forma ordenada, para ser tratada por una interfaz gráfica, permitiendo conocer y analizar el comportamiento del consumo de caudal de agua potable que asume la población, para este cometido se optó por utilizar una herramienta de programación visual conocida como **Node-Red** la cual se encarga de la administración del flujo del sistema permitiendo al usuario ver los consumos de agua. Para ello la Figura 4.11 muestra los elementos y las interacciones entre los mismos, sobre los cuales opera la interfaz para lograr este propósito.

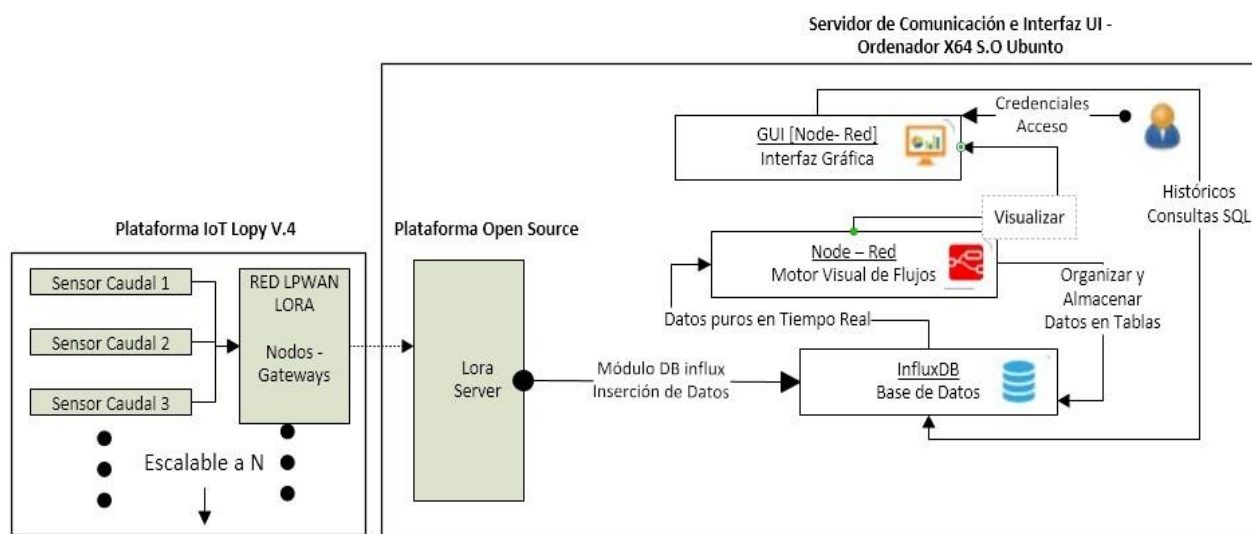


Figura 4.11 Diagramas de bloques iteraciones y relaciones de los elementos de la arquitectura de la red LPWAN LoRa propuesta originalmente

Fuente: Editado por el Autor.

La arquitectura provista es versátil y escalable la cual puede aceptar más sensores y tecnologías de comunicación, incluso ocupar otros visualizadores de datos (como Grafana o Cayenne). En la obtención de los datos lo que prima es la consulta y monitoreo en línea del consumo de agua potable es por ello que se define cada uno de los elementos que la compone.



4.3.1. SERVIDOR CHIRPSTACK O LORA SERVER

Es una plataforma *Open Source*, ofrece diversas aplicaciones que dan soporte a las diferentes partes que conforma una red IoT, respecto a dispositivos y aplicaciones asociadas. Brinda soluciones escalables a nivel empresarial tanto para redes públicas como privadas, permitiendo configurar y tener control total de su propia red inalámbrica *LPWAN* basadas en *LoRaWAN*.

Una de las especificaciones que responde para este proyecto, es poder enviar a través del reenviador de paquetes LoRa la información que llega a la puerta de enlace desde los sensores hasta el servidor. La Figura 4.12 ilustra la arquitectura general del servidor la cual está basada en tres elementos esenciales:

- **LoRa Gateway Bridge:** Se encarga de establecer la comunicación con el Gateway, transformando los paquetes de datos UDP que envía el Gateway a JSON usando MQTT (Díez, 2017) capaz de ser interpretada y comprendida por el servidor.
- **LoRa Server:** Es la parte central del servidor, debido a que se encarga de la manipulación y el almacenamiento de los datos recibidos, así como también de la comunicación de enlace descendente con dispositivos finales (Ferreira, 2019)
- **LoRa App Server:** Está basada en una interfaz web que permite gestionar varios dispositivos, usuarios, organizaciones, aplicaciones y puertas de enlace. Además, provee un API para integraciones por aplicación como el caso de InfluxDB, también se encarga del manejo de las solicitudes de unión y cifrado de las cargas útiles de las aplicaciones.

Esta plataforma está basada en dos bases de datos de código abierto como lo es *PostgreSQL* el cual almacena todos los datos persistentes mientras que la base de datos *REDIS* tiene como cometido guardar información relacionada con la sesión de datos.

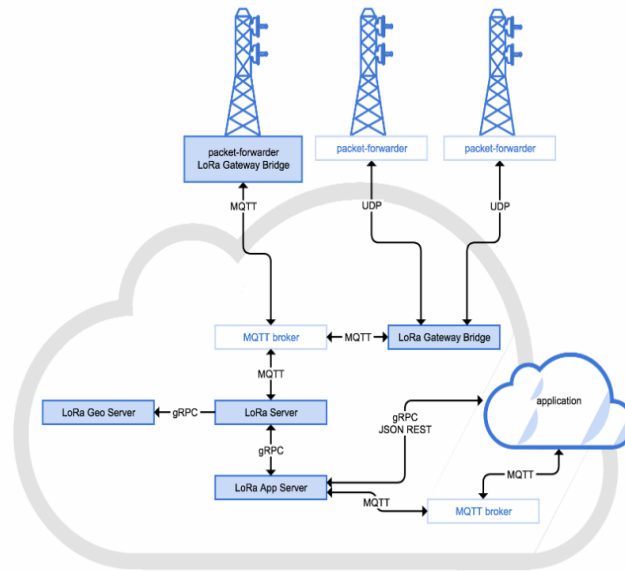


Figura 4.12 Gateway Lora ensamblado.

Fuente: (Díez, 2017).

4.3.2. APLICACIÓN DE INTERFAZ DE USUARIO (UI) Y BASE DE DATOS (DB)

Para la visualización de los datos adquiridos por los nodos se pretende el uso de la base de datos *InfluxDB* que trabajara en conjunto con la interfaz gráfica, cuya integración es asociada por la plataforma LoRa Server, permitiendo que LoRa App Server escriba los datos del sensor directamente en esta base de datos dada, para luego ser obtenidos y graficados en el entorno de Node – Red. Para ello haremos mención de algunas de sus principales características:

- InfluxDB:** Es una base de datos de series de tiempo (TSDB), desarrollada por InfluxData, diseñada para almacenar y organizar datos siguiendo marcas de tiempo indexadas. Esta creada para la optimización y minimización del uso de recursos del sistema, su lenguaje de programación es similar a SQL (*por lo que se puede realizar consultas con base SQL mediante tablas*), cuyo propósito es detectar las fluctuaciones en el tiempo de ejecución, debido a que analizará grandes cantidades de datos de forma ordenada. Además está optimizada para datos sensibles al tiempo de IoT, dado que su integración es directa con LoRa Server (Ferreira, 2019).



- **Node-red:** Es una herramienta de programación visual orientada hacia el internet de las cosas (IoT). Está basada en una interfaz web que permite visualizar diferentes tipos de cosas debido a su sencillez permite vincular dispositivos, aplicaciones y múltiples APIS (Moreano Abata, 2019) a través del uso de flujos conformados por nodos logrando de esta forma comunicarse entre ellos y ejecutar esquemas de códigos concretos mediante algoritmos.

Se utilizó Node – Red, porque permite vincularse con InfluxDB a través de módulos, de esta forma se puede realizar consultas SQL en la DB en con el fin de visualizar la información del consumo de agua en intervalos de tiempo predeterminados.

4.4. DESARROLLO DE SOFTWARE

Principalmente está basado en la plataforma LoRa Server el cual está desarrollado bajo el sistema operativo Linux, cuyas configuraciones se llevaron a cabo bajo las directrices proporcionadas por LoRa Server, sin embargo, requiere la asignación de ciertos parámetros en los archivos de configuración de cada uno de los elementos, que forman parte del servidor como la banda y el canal en la cual va a operar entre otros.

4.4.1. SOFTWARE DEL GATEWAY

Para la configuración del Gateway se utilizará los ficheros de configuración de la página de Pycom para lo cual, será necesario implementar en dicho dispositivo, los siguientes ficheros cuyo código de programación está basado en el software MicroPython en Atom.

1. **config.py:** Este fichero contiene las configuraciones para el servidor y la red a la que se está conectando (véase la Tabla 4.1). Dependiendo de la región y los parámetros que otorgue LoRaServer, entre estos tenemos (GitHub, 2019).
 - **WIFI_MAC Y GATEWAY_EUI:** La primera extrae la dirección MAC del dispositivo la otra corresponde a la dirección MAC del dispositivo la cual está compuesta por una serie de caracteres.
 - **SERVER:** Servidor al que se conecta el Gateway.



- **PORT:** Puerto al que se conecta el Gateway el cual está definido por defecto 1700
- **NTP:** Configurar los tiempos de sincronización del dispositivo con la hora oficial en América.
- **NTP_PERIOD_S:** Periodo del protocolo NTP definido en 3600 por defecto.
- **WIFI_SSID Y WIFI_PASS:** Identificador de WiFi y de clave de la Red respectivamente cada uno.
- **LORA_FREQUENCY:** Frecuencia a la que opera el Gateway. En este caso tomará el valor 903900000 porque este se encuentra en la región de América.
- **LORA_GW_DR:** Campo que indica el factor de ensanchamiento y el ancho de banda utilizado para establecer las comunicaciones. Toma valores por defecto.
- **LORA_NODE_DR:** Indica la velocidad de transmisión inicial para enviar cuyo valor es opcional. (Polidura., 2019)

Tabla 4.1 Parámetros de configuración del Gateway.

Parámetros	Descripción
WIFI_MAC	ubinascii.hexlify(machine.unique_id()).upper()
GATEWAY_EUI	WIFI_MAC[:6] + "FFFE" + WIFI_MAC[6:12]
SERVER	"192.168.0.111"
PORT	1700
NTP	"pool.ntp.org"
NTP_PERIOD_S	3600
WIFI_SSID	"MANUELGUALLPA"
WIFI_PASS	*****
LORA_FREQUENCY	903900000
LORA_GW_DR	"SF10BW125"
LORA_NODE_DR	0

Fuente: (Polidura., 2019) & Editado por el Autor

2. **nanogateway.py:** Este fichero controla toda la generación y reenvío de paquetes LoRa. Es inicializado por el programa main.py (Polidura., 2019)
3. **main.py:** Es el programa principal donde se ejecuta el arranque y hace la llamada al fichero nanogateway.py y se le pasan a este fichero todos los parámetros de configuración procedentes del config.py (Polidura., 2019).



La Figura 4.13 describe el funcionamiento del software del Gateway acorde a los parámetros de configuración realizados.

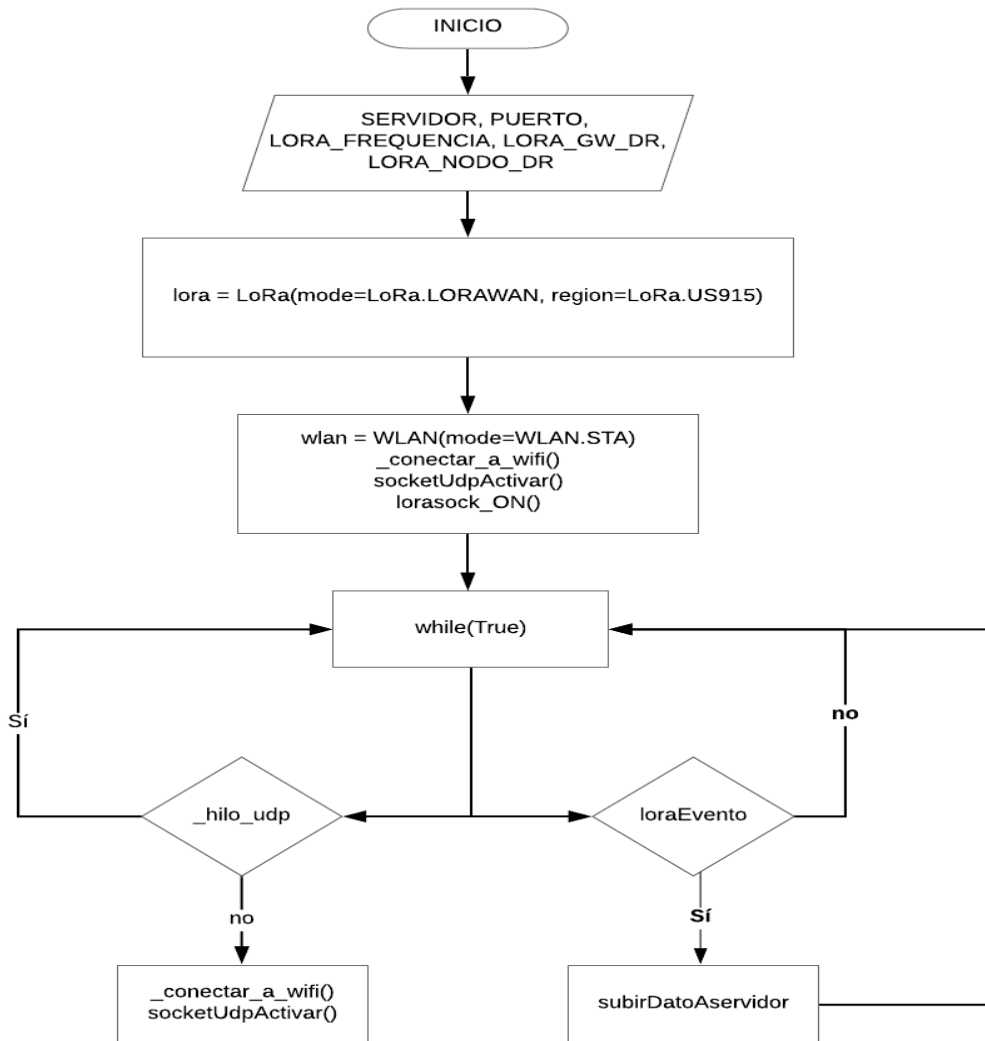


Figura 4.13 Diagrama de Flujo del funcionamiento del Gateway.

Fuente: Editado por el Autor.

4.4.2. SOFTWARE DEL NODO

Para configurar un nodo en la red LoRaWAN requiere ser personalizado y activado en este caso utilizaremos el método ABP (Activación por Personalización). Cada dispositivo final dispone de una clave “DEV EUI” que es la dirección única codificada en la tarjeta LoPy.



La configuración del nodo está basada en los ficheros de configuración de la página Pycom siendo necesario efectuar dicho código en el dispositivo, los cuales se deben implementar para efectuar su funcionamiento, a continuación, describiremos los ficheros de programación del nodo:

- **Abp.node.py:** Se trata del programa principal que incluye el código relativo a las funcionalidades principales del nodo. Cabe destacar entre estas, están los parámetros de autenticación de ABP como él; **dev_addr**, **nwk_swkey**, **app_swkey**, las cuales son definidas ya sea por el usuario o generadas al crear el nodo en el servidor y toda la lógica de aplicación encargada de la recepción y transmisión de mensajes desde y hacia la red de datos LoRa (Polidura., 2019).
- **Boot.py:** Este fichero hace la llamada del fichero `abp_node.py` donde se encuentra todas las configuraciones realizadas.

Para este proyecto se ha utilizado dos Pycom LoPy4 con el fin de realizar la conexión de una topología en estrella. En la Tabla 4.2 se puede apreciar los valores obtenidos al crear el nodo en el servidor (Ejemplo Nodo 1).

Tabla 4.2 Parámetros de configuración del Nodo

Parámetro	Descripción
Región	LoRa.US915
DEV_ADDR	010a6516
NWK_SWKEY	b7290c253d7cc8281117736f1f7bf3ef
APP_SWKEY	32117e395ff2a03d146f7c744538c530

Fuente: Editado por el autor.

A continuación, en la Figura 4.14 se describe la operación del nodo de acuerdo a los parámetros de configuración realizados.

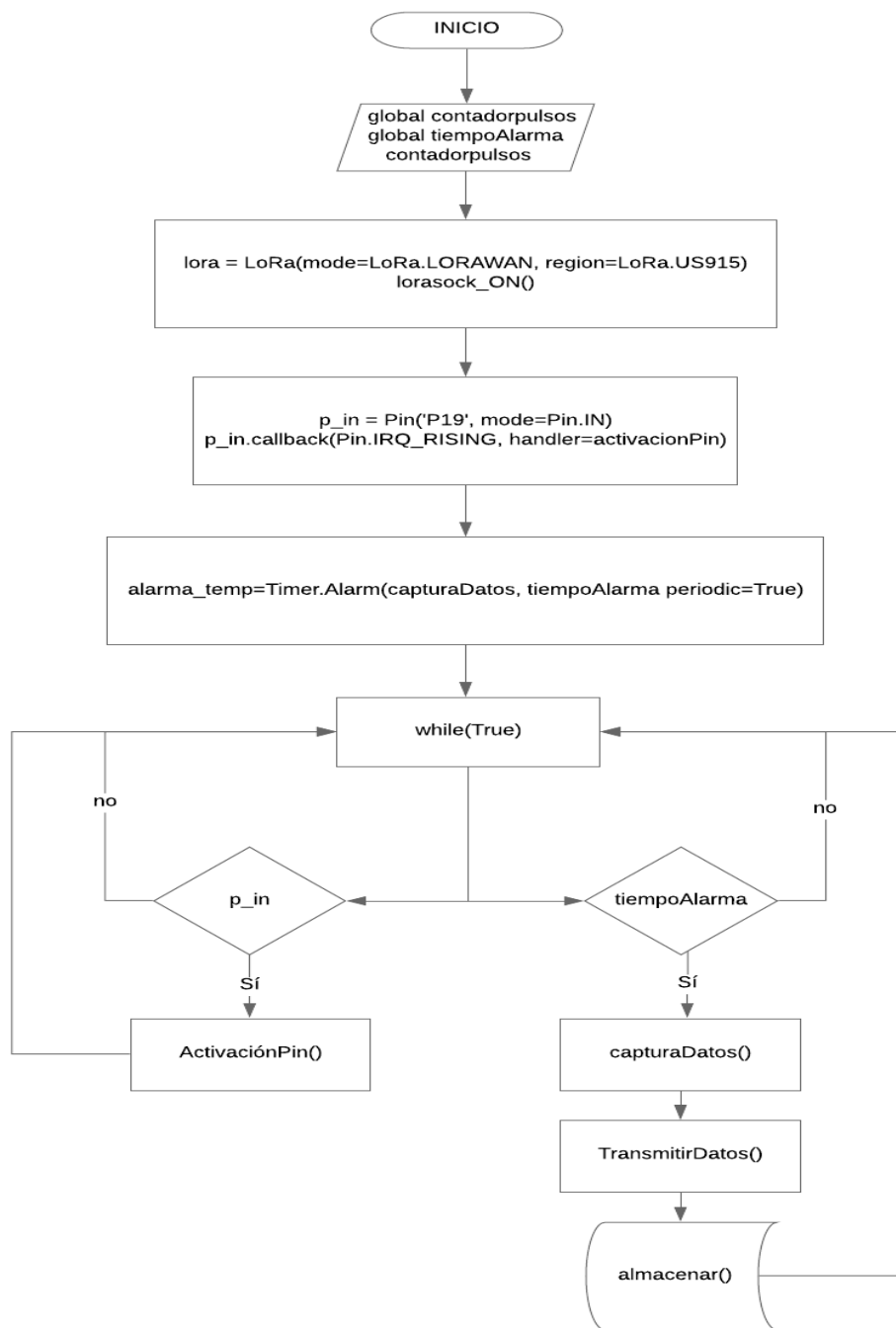


Figura 4.14 Arquitectura del Servidor LoRa Server.

Fuente: Editado por el Autor.

4.5. CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS CON LORASERVER

A continuación, se expondrá cada una de las configuraciones con el servidor que permiten vincularse con cada uno de los dispositivos nodos y Gateway.



4.5.1. REGISTRO GATEWAY – LORA SERVER

Dentro de una red LoRaWAN, el Gateway es el componente principal donde se conectan todos los dispositivos hacia él, además hace la función de puente entre los nodos finales y el servidor.

Para registrar el Gateway en el servidor se requiere de ciertos parámetros y configuraciones como es la dirección MAC del dispositivo, cuyo valor de identificación obtenido es el número 30aea4fffeec8f04. Para realizar la activación del servidor y acceder a la plataforma debemos ingresar al sitio web http://localhost:8080, cuyas credenciales de acceso vienen predefinidas con el nombre de **admin**, tanto en el usuario como contraseña para iniciar la sesión.

Lograda la autenticación, lo primero que se debe hacer es seleccionar la opción Network Servers (véase la Figura 4.15) donde se abrirá una ventana con un formulario que habrá de rellenar con; el nombre del servidor de red, dirección IP y puerto por defecto que es 8000, mismo que puede ser modificando en el archivo de configuración loraserver.toml.

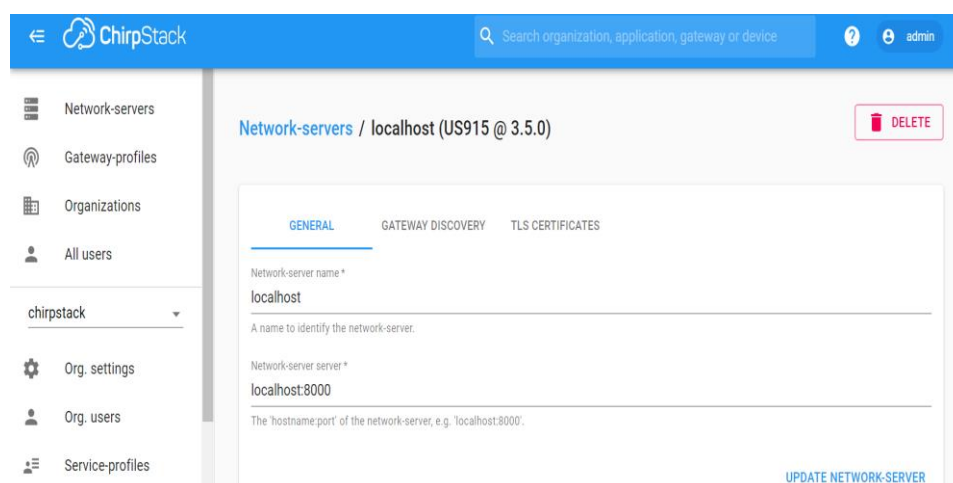


Figura 4.15 Creación del Servidor de Red.

Fuente: Editado por el Autor.

Una vez creado el Servidor de Red se inicia con el registro del Gateway. Mediante la opción Gateway-profiles (véase la Figura 4.16), podemos crear un perfil para la puerta de enlace cuyos campos a rellenar son únicamente el nombre y los canales que queremos que este a la escucha. Además, se puede añadirle un canal extra donde determine el tipo de modulación (LoRa o FSK), frecuencia (Hz), ancho de banda (KHz) y el factor de propagación.



Figura 4.16 Creación del Perfil para la Puerta de Enlace.

Fuente: Editado por el Autor.

Seguidamente se procede a añadir el Gateway donde se seleccionará la opción Gateways donde habrá que rellenar los campos como: *Gateway name*, *Gateway Description*, *Gateway ID*, además incluiremos su ubicación y su altura al que se va a colocar el equipo. Una vez llenado todos los campos este proporcionará las coordenadas de ubicación geográfica del equipo como latitud, longitud e ID del Gateway, como se puede observar en la Figura 4.17.

Figura 4.17 Configuración del Gateway

Fuente: Editado por el Autor.

Finalmente, realizado todas las configuraciones se puede visualizar la actividad del Gateway (véase la Figura 4.18) a través de la cantidad de Frames transmitidos y recibidos.

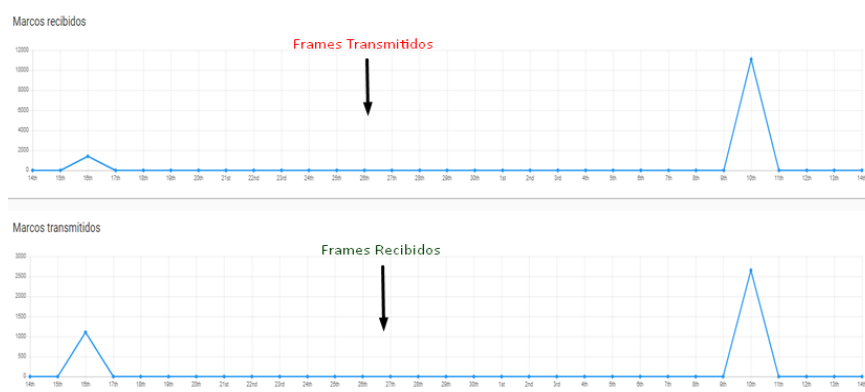


Figura 4.18 Detalle de Frames recibidos y/o Transmitidos.

Fuente: Editado por el Autor.

4.5.2. REGISTRO NODO – LORA SERVER

Para la creación de un nodo debemos asignarlo a una aplicación, de lo contrario no es posible registrarlo debido a que este debe pertenecer siempre a una aplicación, para su debido seguimiento. Al registrar un nodo por *OTAA* o *ABP*, se lo realiza en el servidor a través de la opción Service Profile, creando así el *perfil de servicio* para la *aplicación*, el cual vincula una organización a un servicio de red y define las tipologías que la organización pueda asociar con la instancia del servidor de red *Network Server*, esto se observa en la Figura 4.19 (GitHub, s.f.)

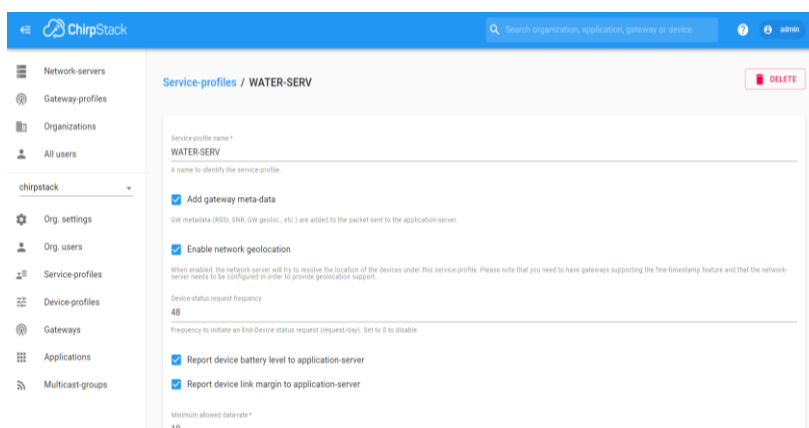


Figura 4.19 Creación de perfil de Servicio.

Fuente: Editado por el Autor.

Creado el perfil de servicio para agregar los nodos al servidor se debe antes crear un Device-Profile donde se define parámetros como la versión de LoRaWAN, el parámetro regional, así como



el método de activación del dispositivo, permitiendo de esta forma crear varios dispositivos con este perfil, de esta manera se obtiene la instancia *LoRa App Server* enlazado con la instancia de LoRaServer. Al tener configurado *Service Profile* y *Device Profile* asignados a una Organización es momento de añadir la “Aplicación”.

Mediante la opción *Create* se abrirá una ventana donde se debe ingresar, el nombre de la aplicación a crear, así como también la descripción de la misma. En la Figura 4.20 se puede visualizar la creación de la aplicación a través de este servidor.

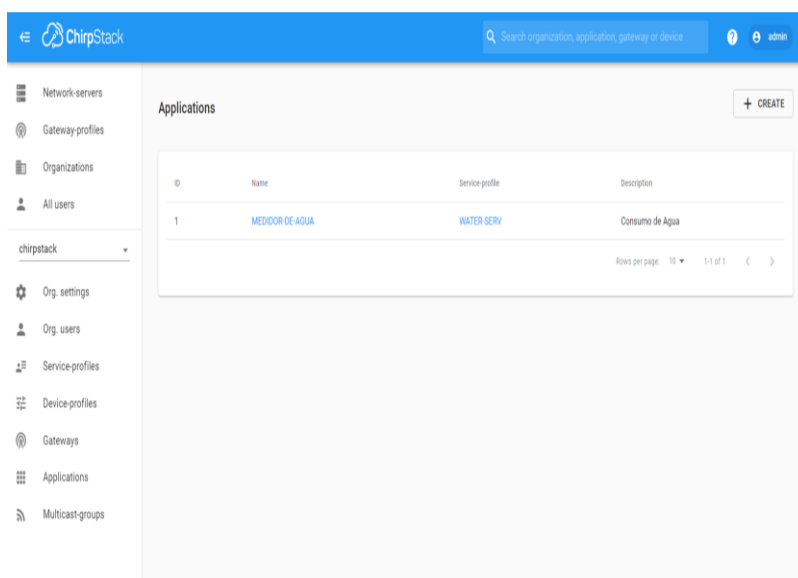


Figura 4.20 Creación de Aplicación.

Fuente: Editado por el Autor.

A continuación, en la ventana de *Device Profile* del campo **Códec** (véase la Figura 4.21), se define el tipo de decodificador de la carga útil (msg.payload), de los bytes que entregan los dispositivos con el fin de que los datos sean legibles por el usuario. Para ello es necesario ingresar un Códec de Payload (Cayenne LPP, JavaScript Personalizado o ninguno).

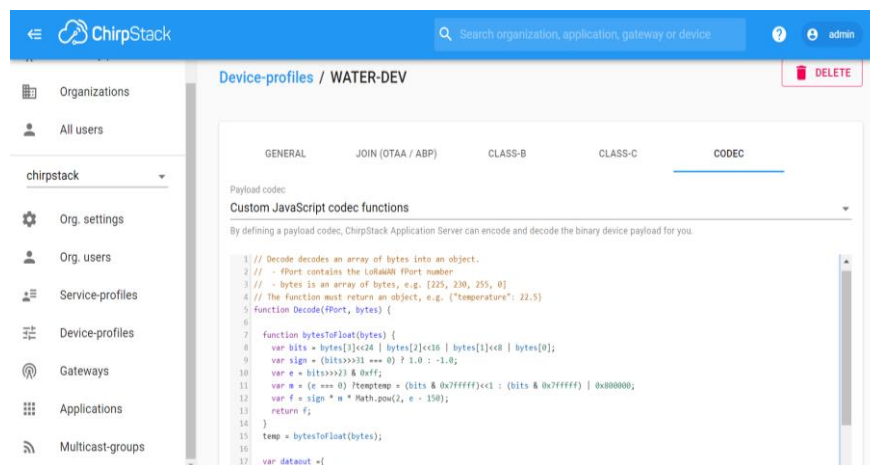


Figura 4.21 Códec del dispositivo. (JavaScript Personalizado).

Fuente: Editado por el Autor.

Posteriormente a esto, se procede agregar los nodos que van a pertenecer a esa aplicación (véase la Figura 4.22) donde nos pedirá un nombre para cada uno de los dispositivos que se vayan a agregar, así como su Mac única del dispositivo (**Dev-EUI**) y su **Device-Profile**.

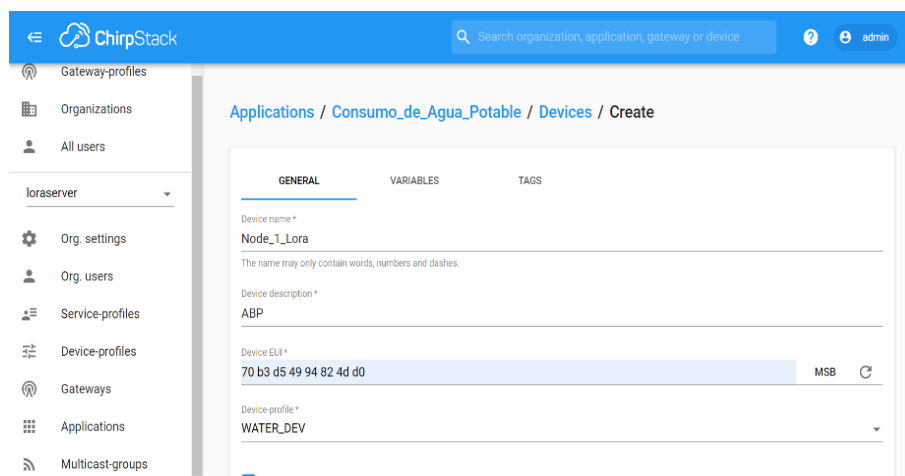


Figura 4.22 Creación de un Nodo.

Fuente: Editado por el Autor.

Al agregar los dispositivos nos direccionará a su página de configuración correspondiente. Donde nos pedirá introducir **las claves de dirección, red y aplicación** para activar el dispositivo, cuyos valores son definidos en este caso por el servidor. La Figura 4.23 muestra el desarrollo de este proceso y creación de los nodos para este proyecto, desde la última vez conectada a la red.

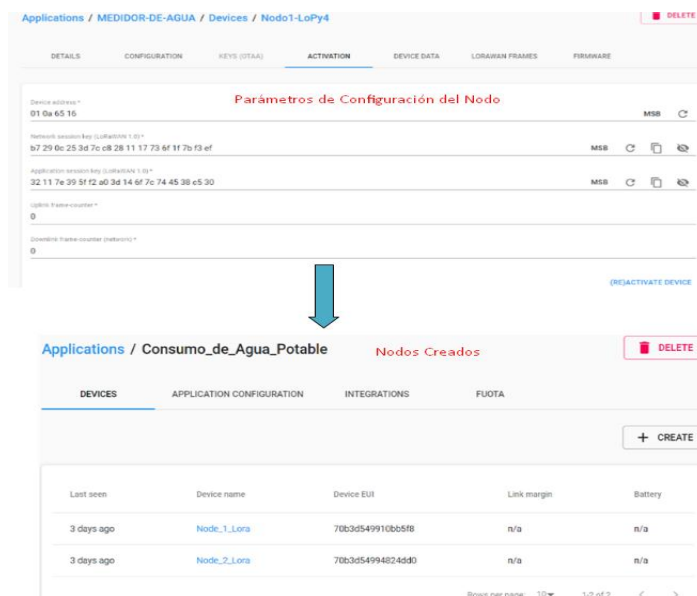


Figura 4.23 Parámetros de configuración y visualización de los nodos creados.

Fuente: Editado por el Autor.

Una vez creado los nodos se podrá definir el tipo de integración InfluxDB, HTTP y ThingsBoard, siendo utilizado para este proyecto InfluxDB. La

Figura 4.24 muestra la integración de esta base de datos con el servidor.

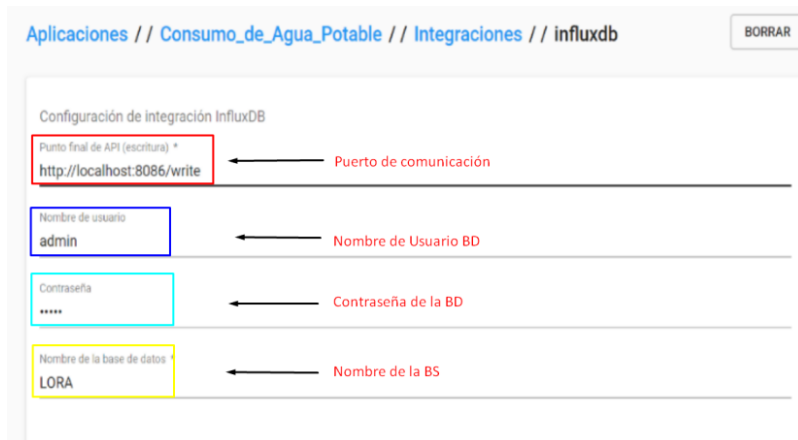


Figura 4.24. Integración de Base de datos (InfluxDB) con LoRa Server.

Fuente: Editado por el Autor.

Por ultimo a través de la opción *Device Data*, podemos visualizar los datos transmitidos en el nodo o Gateway, en tiempo real mediante los *Frames LoRaWAN*, como lo indica la Figura 4.25.

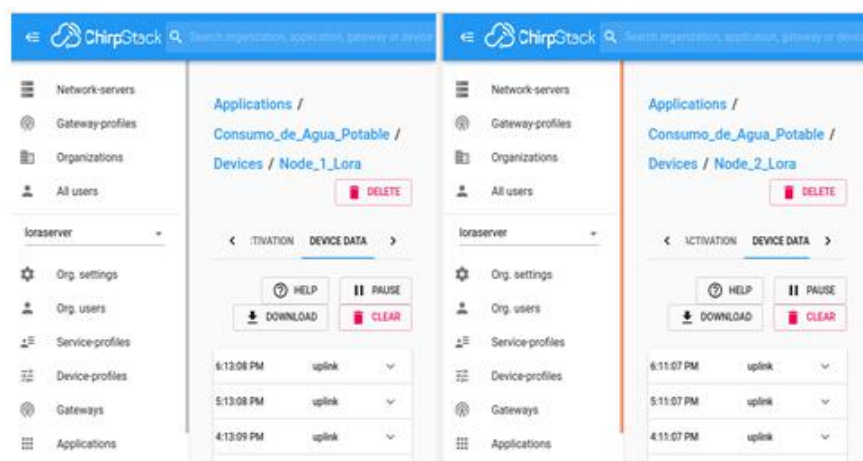


Figura 4.25 Datos Capturados de los Nodos.

Fuente: Editado por el Autor.

4.6. INTERFAZ DE VISUALIZACIÓN

Node Red ha tenido enorme protagonismo e impacto actualmente en el desarrollo de aplicaciones y sistemas IoT. Este software de código abierto ha sido diseñado por IBM, con una arquitectura basada principalmente en el lenguaje de programación JavaScript. Su entorno de desarrollo es bastante versátil y fácil de usar, permitiendo el diseño y ejecución de aplicaciones web multiplataforma. Aunque es una herramienta completa y potente fue creada para ser utilizada en la integración y comunicación de hardware, APIs y servicios en línea, de una forma rápida y sencilla. Tiene la participación de varios desarrolladores de software, razón por la cual el número de módulos/ paquetes disponibles es muy extenso y está siempre actualizado. La ventaja más notable de este software, es que simplifica la ardua tarea de programación del lado del servidor, gracias a su entorno de programación visual (Moreano Abata, 2019).

Para el desarrollo de la interfaz se ha visto conveniente utilizar la versión de Node.js 0.16.0 y Node – Red 0.20.6, ambos son multiplataforma y están disponibles tanto para las versiones de 64 y 32 bits, inclusive existen distribuciones para sistemas embebidos como la Raspberry Pi. Se requiere de ambos componentes de software para su funcionamiento, debido a que el motor principal de Node – Red es Node.js como editor de JavaScript y a partir del cual esta creado junto con la librería JavaScript D3.js que le dota el atributo de interfaz web, siendo nada más un complemento Node – Red, que le otorga la potencia suficiente facultándole las características de



rapidez, fiabilidad y escalabilidad, para tratar múltiples conexiones concurrentes de forma óptima, y acceso desde cualquier navegador a través de una página web.

En la Figura 4.26 se aprecia la arquitectura de Node.js apoyada en el motor v8 JavaScript (JS) de Google como editor ultra rápido de JS, y detrás de Node.js las tecnologías basadas en el lado del navegador orientada a objetos.

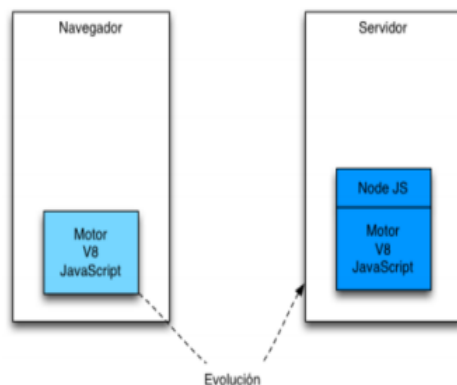


Figura 4.26 Arquitectura de Node.js apoyado en JavaScript y tecnologías del lado del navegador como Node Red.

Fuente: (Alvarez, 2014).

Node Red es una herramienta de programación visual (véase la Figura 4.27) para el diseño de sistemas o prototipos, innovadores y atractivos. Su editor basado en el navegador permite la conexión de flujos a través de nodos los cuales se dispone en una amplia gama.

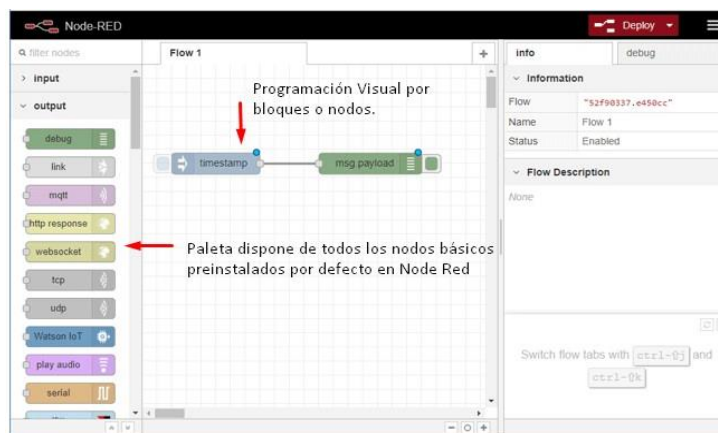


Figura 4.27 Esquema de flujos con nodos y componentes del entorno en Node Red.

Fuente: Editado por el Autor.



Los nodos son insertados mediante una paleta que dispone el entorno gráfico con tal solo arrastrarlos, pudiendo ser implementados en tiempo de ejecución en el ecosistema de la interfaz de diseño. Cada nodo permite realizar una tarea concreta desde recibir una llamada por HTTP, un mensaje MQTT o activar la luz de una habitación por citar algunos ejemplos. Intrínsecamente los flujos o *flows* agrupan y organizan, aquellos nodos conectados entre sí que desempeñan una funcionalidad definida. Todo el proceso se realiza de forma visual o codificación por bloques, con una vaga intervención de programación.

Lo que se desea es desarrollar una interfaz amigable, intuitiva y flexible que permite el análisis y monitoreo de consumo de agua potable, pero se requiere de algunas configuraciones para lograrlo que veremos enseguida.

Brevemente en la Figura 4.28 describimos la forma de transmisión de los datos del sensor en las instancias del Nodo y Gateway. El recorrido inicia mediante un cableado físico entre el *Nodo/Sensor*, para después ser transferidos los datos del *Nodo* al *Gateway* vía protocolo LoRa, a partir del módulo Gateway los datos son transmitidos a la plataforma *LoRaServer.io* vía protocolo LoRaWAN y WiFi, a manera de que sean subidos los datos a la nube, por lo que requieren del ancho de banda y la homologación de red respectiva a la que se encuentre conectada.

LoRa Server es un servidor de servicios gratuitos que se encuentra en la nube, esta plataforma proporciona las credenciales de seguridad propias de las redes LoRa bajo el método de activación en este caso usamos el modo ABP o por personalización cuyos parámetros son: la *dirección del dispositivo (DEVADDR)*, *clave de sesión de aplicación (APPSKEY)* y la *clave de sesión de red (NWKSEKEY)*, además contiene una serie de módulos para integrar bases de datos y API de terceros. Por lo cual ofrece las garantías de seguridad y encriptación (AES 32bits) de la comunicación, de tal manera que permite la configuración y análisis del comportamiento y el tráfico del flujo de datos de los dispositivos en la red LoRa.

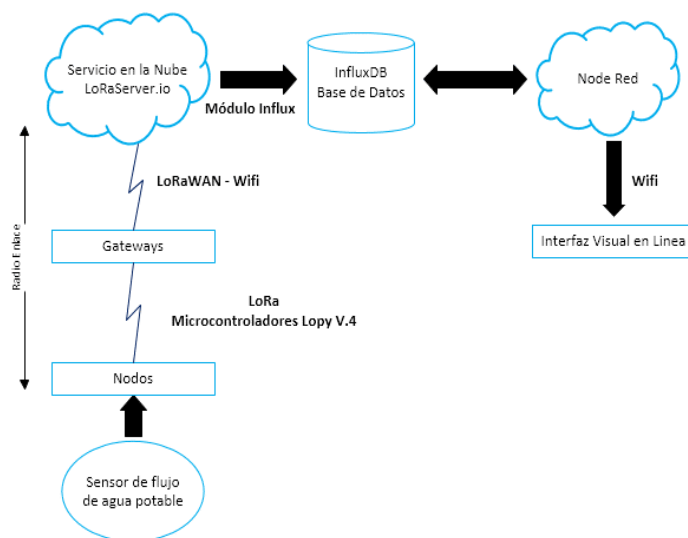


Figura 4.28 Diagrama de flujo de comunicación del sistema LoRa.

Fuente: Editado por el Autor.

Por su parte el servidor LoRa se vincula con *InfluxDB* (véase la

Figura 4.24 con la configuración respectiva de credenciales de acceso para la DB), por medio del script del módulo InfluxDB que contiene, insertando los datos recopilados por los sensores en una base de datos (LORA) previamente creada en el servidor de base de datos (SDB), dicha información es aplicada al SDB por medio de una *tabla* que se crea automáticamente durante la configuración de integración, la cual coloca los campos de *ID del nodo*, *puerto de enlace*, *nombre del Nodo*, *nombre de la aplicación* y *el valor de cada nodo*, que recoge datos que poseen sus respectivos medidores de caudal de agua potable. Cabe mencionar que la fuente de datos tiene un trayecto unidireccional por lo cual el consumo de ancho de banda es reducido, logrando una mayor velocidad de transmisión sin requerir la espera y el regreso de dato alguno.

4.7. COMUNICACIÓN NODE RED – BASE DE DATOS

Node Red se conecta con la base de datos Influxdb de forma local, siendo esta la ruta ideal de acceso a los datos de los sensores de campo de la red LoRa LPWAN. Así es posible llamar a funciones de consulta SQL y diseño de algoritmos que permitan adquirir, representar, tratar e identificar los datos de consumo de caudal por usuario o la población en general, en la interfaz de visualización. Para este cometido la plataforma Node Red dispone de paquetes de nodos que



podemos apreciar en la Figura 4.29 y Figura 4.30, para la programación visual y dinámica, creando flujos de datos, cuyos bloques permiten llamar a funciones, consultar bases de datos, leer y definir variables, programar gráficas, tablas, medidores interactivos y objetos de diseño como botones, cuadros de texto incluso programación dinámica de colores (como indicadores de color verde para bajo y color rojo de máximo consumos de caudal) entre otros componentes más.

Según lo expuesto en la Figura 4.28, el protocolo de comunicación empleado en la red LPWAN no tiene mayor dificultad en su aplicación. Por lo que el desempeño funcional es oportuno y confiable referente a la integridad de los datos que otorgan las plataformas, además de que el tránsito del sistema está planificado para ofrecer una mejor practicidad en el procesamiento de datos, al atravesar por varios filtros hasta llegar al monitoreo de la información del usuario final.

Como se había definido anteriormente la herramienta de programación modular se maneja por la conexión de nodos para originar flujos de datos, cuya simplicidad permite añadir nuevos nodos sin afectar la jerarquía o función de los componentes actuales, para armar nuestra arquitectura de monitoreo se hizo uso de varios paquetes que no se incluyen por defecto en el paquete oficial de Node Red, en vista de ello se hace una breve descripción de los principales nodos ocupados en el desarrollo de la interfaz gráfica entre estos están:

- **Node-red-contrib-influxdb:** Este paquete es un módulo que contiene nodos para extraer y escribir datos (véase la Figura 4.29), en la base de datos de series de tiempo Influxdb, a través de tablas conformadas por campo y etiquetas que estructuran la información. Los nodos ocupan un cliente InfluxDB usando los métodos `writePoints()` y `query()`, al conectarse con el host Influxdb por dirección IP. La consulta puede ser de una o varias tablas con uno o más campos o etiquetas, que se especifican ya sea en la configuración del nodo o mediante la propiedad `msg.query` en el flujo de un nodo, cuyo resultado es devuelto en el formato `msg.payload`.

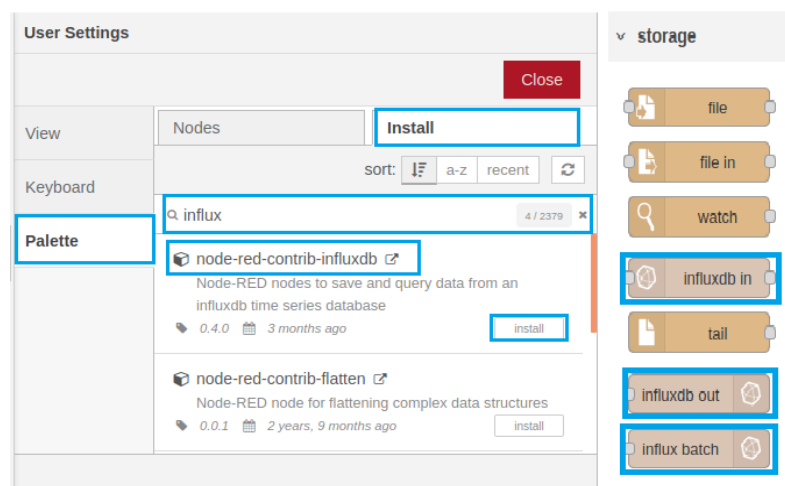


Figura 4.29 Paquete InfluxDB descargado en Node-Red.

Fuente: Editado por el Autor.

- **Node-red-contrib-moment:** Este nodo permite traducir una zona horaria a otra, en general este módulo admite la configuración de la hora y fecha de una forma sencilla, en el formato YY/MMMM/ddd/hh/mm/ss/, su funcionamiento consiste en recibir un mensaje de entrada (msg.payload) para generar una cadena u objeto resultante en la secuencia, con una estructura legible y no como una representación numérica.
- **Node-red-contrib-date:** Estos nodos permiten configurar fechas de entrada de una forma sencilla en el formato deseado.
- **Node-red-dashboard:** Este paquete viene instalado por defecto en Node Red (véase la Figura 4.30), en el cual se dispone de un conjunto de nodos básicos para crear paneles de datos en línea. Los widget o UI son nodos con representaciones graficas de lo que se desea visualizar, cuadros de texto, indicadores, controles deslizantes, botones, notificación, templates o charts, en tanto que los nodos restantes son para crear programaciones modulares de flujo de datos y análisis de los datos de salida, en combinación permiten diseñar el tablero de monitoreo de la página de UI.

En la ejecución y desarrollo de la interfaz web de monitoreo se vio necesaria la incorporación de algunos lenguajes de programación que soporta la plataforma Node Red utilizados en la dinámica de análisis, inserción, representación y adquisición de los datos.



Figura 4.30 Izq. Nodos de representación gráfica de datos, Centro. Ejemplo de página UI. Der. Nodos de programación modular.

Fuente: Editado por el Autor.

Como inventiva, conveniente en base a la revisión previa de documentos de investigación se propone que los algoritmos según el lenguaje a usar, útilmente pacten reglas basadas en estructuras de bucles; *IF*, *For*, *Switch*, que oportuna y eficazmente permitirán tratar la información obtenida y darán a conocer al usuario el volumen de consumo proveído, detallando aspectos de; máximo, mínimo, promedio y total en los lapsos de tiempo de días, meses y años, como también las tarifas y horarios por concepto de consumo del servicio de agua potable en el momento, de lo cual podrá darse advertencia cuando el consumo excede los umbrales augurados para cada tipo de consumidor (bajo o alto), entre estos artificios de programación tenemos:

- **HTML:** El lenguaje de marcas de hipertexto es un estándar muy usado en la delineación de páginas web, mediante una estructura básica y sencilla de comprender atreves del lenguaje de etiquetas, este código admite la definición de contenidos, texto, tablas de datos, imágenes, videos entre otros en la página web.
- **JavaScript:** Es un lenguaje orientado a objetos, supremo y muy flexible, su atribución más influyente es su programación interpretada, en el navegador o sitio web permite realizar abstracciones dinámicas en la interfaz UI o mejorar páginas web dinámicas.



4.8. DESARROLLO DEL FLUJO COMPLETO EN NODE-RED

En este apartado se explicará las propiedades de los nodos empleados en el proyecto, sobre todo los que admiten la programación, y los bloques de flujos elaborados para la interacción de estos nodos, que dan las funcionalidades a la interfaz virtual.

DEFINICIÓN DE LOS NODOS UTILIZADOS EN LA INTERFAZ

➤ NODOS DE PROGRAMACIÓN

Son los principales en los bloques de flujo, por lo que se requiere un conocimiento adecuado de sus propiedades, para poder hacer uso de sus virtudes correctamente, sino es que avanzada si se requiere funcionalidades más complejas, ya que estos otorgan las adaptaciones dinámicas y funcionales interesantes al flujo de nodos y a la interfaz misma.

- **Function:** En este nodo de funciones se puede escribir código y realizar operaciones o acciones concretas con los datos en cuestión. La salida entrega un mensaje en el formato de objeto JavaScript llamado msg. Por regla general tendrá la propiedad msg.payload que contiene la estructura definida del mensaje (véase la Figura 4.31). Trabaja con una sola entrada de datos, pero puedo definirse varias salidas de una misma fuente de información.

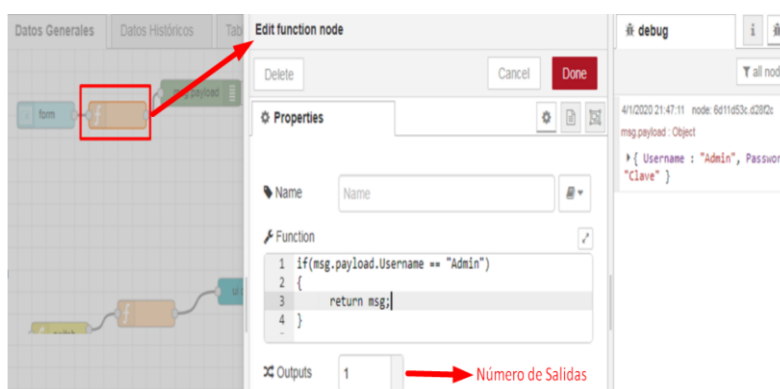


Figura 4.31 Edición del nodo Function en el flow de la interfaz web.

Fuente: Editado por el Autor.

- **Template:** Este nodo puede leer y tratar la información en el formato de mensaje objeto JavaScript contenida en los paquetes msg.payload, y poder darle uso según los datos para



crear tablas, botones, cuadro de texto, esquemas gráficos, entre otros, de forma dinámica. Su programación está basada en Html5 y JavaScript, que le dan un aspecto de un entorno interactivo y simple (véase la Figura 4.32).

➤ NODOS DE CONFIGURACIÓN

Estos no precisan de programación alguna, solamente de ciertos parámetros de configuración para su funcionamiento por lo cual son muy intuitivos, tácitos y fáciles de implementar, entre estos tenemos:

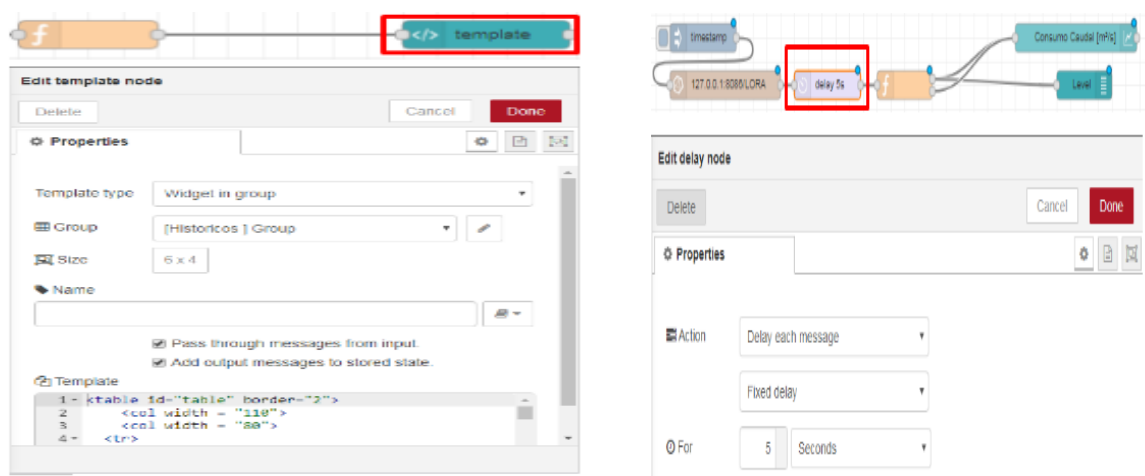


Figura 4.32 Izq. Configuración y programación del nodo Template, **Der.** Edición del Nodo Delay. Dentro del flujo de la interfaz web.

Fuente: Editado por el Autor.

- **Delay:** Es un tipo de no permite hacer retrasos en el envío de mensajes en flujo de datos, por defecto está configurado a 5 segundos con un límite de velocidad de 1 msg por segundo, no obstante este parámetro es modificable (véase la Figura 4.32).
- **Join:** Este nodo puede enlazar varias entradas de datos en un solo argumento, juntando en un solo paquete diferentes tipos de datos, obteniendo en la salida un solo mensaje msg.payload en único tipo que pueden ser un; object, array y bufer, string. La recepción respecto a la cantidad de entradas dependerá de aspectos de configuración como; modo de recepción, intervalos de tiempo, numero de mensajes completos, tipo de mensaje msg o flow, y tipo de confinamiento según sea el ejemplar o fuente de datos, por defecto la



configuración establece la creación de arrays para diversos tipos de datos, esta disposición la podemos observar en la Figura 4.33 junto con el nodo Chart.

- **Chart:** Este nodo es un widget, y representa el esquema gráfico de los datos en la interfaz web, su configuración es simple, se debe definir un grupo de pertenencia para su ubicación. En el podemos definir el tipo de traza en la gráfica; lineal, barras, polar o pie, también es posible determinar el tiempo de representación de los datos en el eje “x”, así como los valores max y min respectivamente en el eje “y”. Además, existen opciones de selección de colores para las diferentes trazas. El nodo puede admitir varias líneas de entradas para diferentes trazas, utilizando solo valores numéricos. La Figura 4.33 muestra la configuración de este nodo.

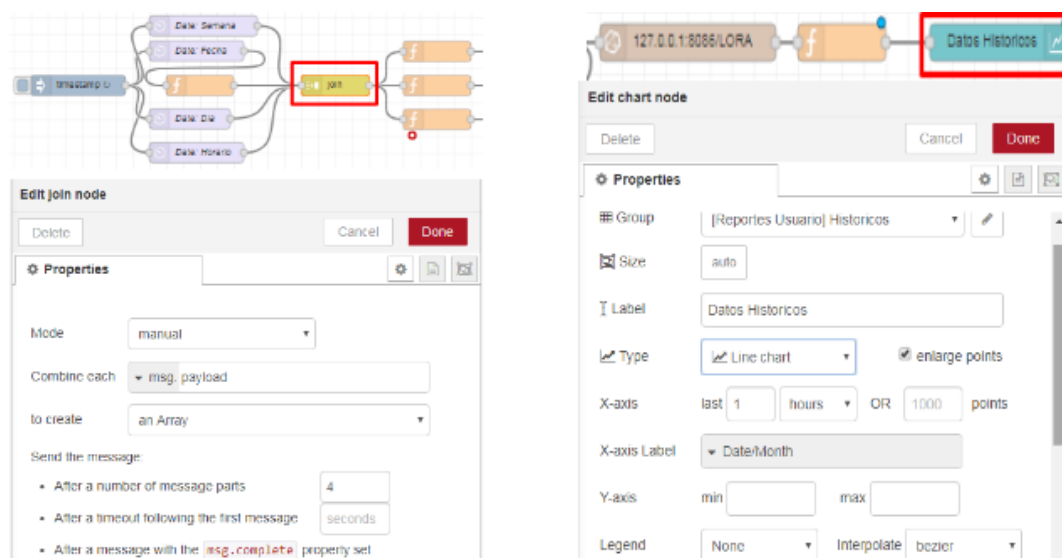


Figura 4.33 Izq. Configuración del nodo Join en el flujo de la interfaz web, **Der.** Edición del nodo Chart. En el flujo de la interfaz web.

Fuente: Editado por el Autor.

- **Node Red con InfluxDB:** Configurado Node Red, podemos descargar desde la sección Palette el paquete node-red-contrib-influxdb, para hacer uso de los nodos, para entablar la comunicación entre Node Red y la DB InfluxDB logrando así realizar las respectivas consultas SQL, en vista de ello tómanos en cuenta los siguientes parámetros como:



- ✓ **Host** que constituye la dirección IP del servidor InfluxDB que por defectos es la 127.0.0.1.
- ✓ **Puerto** el cual esta predeterminado para la transmisión de datos es el 8086, y finalmente.
- ✓ **Base de Datos** creamos una base de datos definiéndole un nombre de identificación, en el caso de los campos y etiquetas se crearán automáticamente, cuando reciban paquetes de mensajes `msg.payload` en el formato de objeto JavaScript (JS). La Figura 4.34 indica dichos parámetros de configuración.

Para el caso de inserción de datos en Influxdb se utiliza la propiedad `msg.payload` en el formato de objetos JS, y la propiedad `msg.measurement`, por medio de un nodo *function*, la primera instancia permite crear los campos y etiquetas para estructurar la información, mientras que la segunda establece el nombre de la tabla de datos, esto se observa en la Figura 4.35.

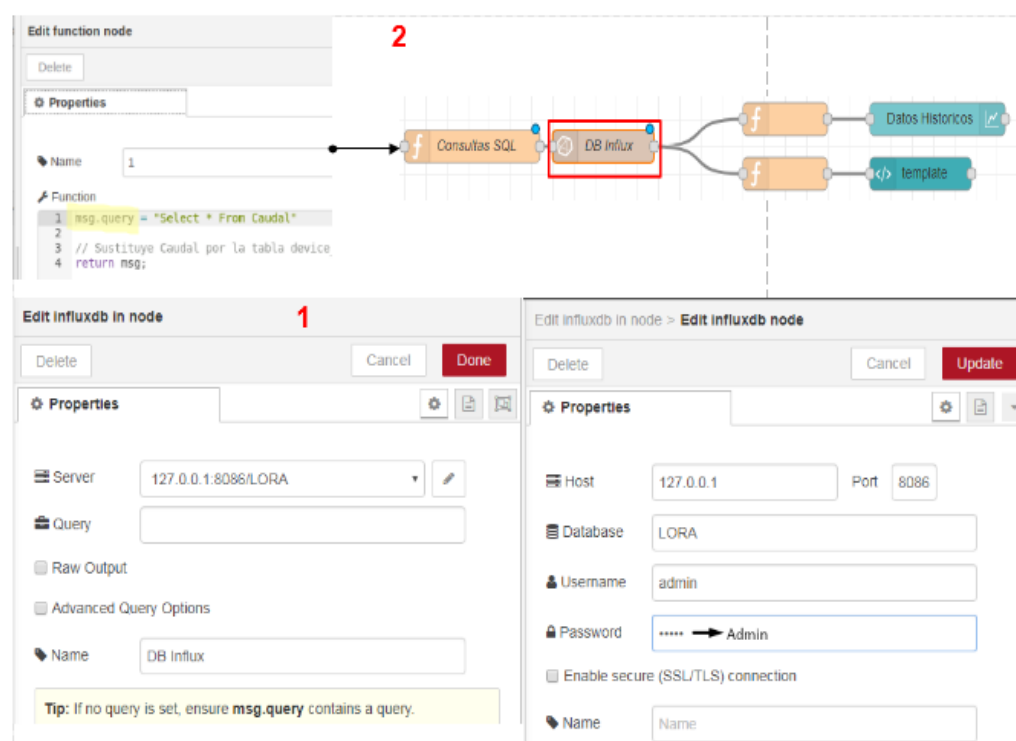


Figura 4.34 Configuración del nodo InfluxDB (1), para consultas de datos por SQL a través de la propiedad `msg.query` (2).

Fuente: Editado por el Autor.



El principal objetivo de este proyecto es ofrecer un análisis detallado en el monitoreo del consumo de agua potable del sector de Gulanza, con el fin de influenciar en el usuario a tener un cambio de hábito sobre este aspecto dándole a conocer sus capacidades típicas de gasto, que lo lleven a optimizar el uso del servicio prestado y hacer conciencia reduciendo su huella hídrica en beneficio del ecosistema en el que habita y protección de las fuentes hídricas de consumo humano.

Para este análisis se ha definido de como el usuario gestiona el uso del agua potable, en la cual intervienen varios elementos que acondicionan y regir el consumo como; el volumen y litros consumidos por hora, la frecuencia y horario de ocupación del servicio, los días y meses de mayor y menor consumo, y el volumen total ocupado al año, siendo factores esenciales que serán aprovechados en la interfaz de monitoreo para concebir un adecuado seguimiento en el comportamiento del consumidor, a través de representaciones graficas dinámicas e intuitivas para apreciar la actividad del servicio.

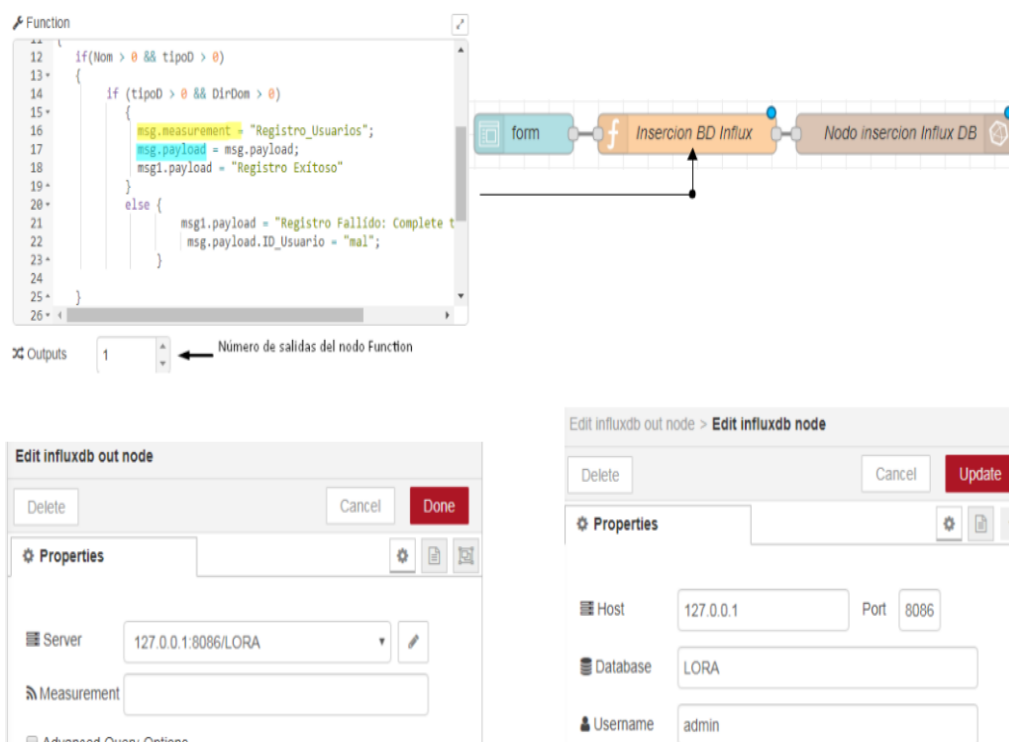


Figura 4.35 Configuración de nodo Influxdb, e inserción de datos mediante nodo de función.

Fuente: Editado por el Autor.



En fin, todos estos parámetros permiten definir las estrategias apropiadas de optimización en el consumo del agua potable que la empresa de abastecimiento podría adoptar para evaluar y controlar el consumo de agua potable.

Otro aspecto de importancia a considerar es la tarifa de consumo de agua potable, esta puede variar de acuerdo a la región, para ello la empresa suministradora del servicio la Junta Administradora de Gulanza ha definido los siguientes límites presentados en la Tabla 4.3

Tabla 4.3 Tarifas y sus correspondientes Límites de consumo volumétrico.

Tipos de consumo de caudal (m^3)	Límites de aplicación tarifaria mensual (Dólares)
Menores a 15	2
> 16-25	$2 + 0.25 \text{ c/m}^3$
Mayores a 25	$2 + 5 + 0.25 \text{ c/m}^3$

Fuente: Editado por el Autor.

En vista de lo expuesto sobre los parámetros analizados, estos se convierten en las variables para el diseño de los flujos de nodos, que dan origen a los diversos tipos de datos de consumo en el diseño de los pseudocódigos funcionales de la interfaz, de los cuales podemos inferir caudales de consumo promedios, diarios, mensuales, anuales, las tarifas y advertencias del consumidor optimo o sobre el límite permitido, los estados de consumo en tiempo real activo o inactivo, el ingreso de usuarios y la población de consumo. Haciendo una clasificación de la frecuencia de ocupación, caudal consumido y la definición de caudal máximo y mínimo de consumo (véase la Tabla 4.4 donde se propone las dos categorías de consumidores), nos permiten definir la función y desempeño de cada flujo de nodos que veremos en el siguiente apartado, para la concepción de la interfaz de administración.

Tabla 4.4 Límites de caudales máximo y mínimo para cada usuario, para la concepción de la interfaz web.

Límites predefinidos de consumo de caudal de agua por usuario	Máximos. Caudales mayores a 75 litros
	Mínimos. Caudal menores a 45 litros

Fuente: Editado por el Autor.



4.8.1. FLUJOS DE NODOS PARA FUNCIONALIDADES DE LA INTERFAZ

Para el diseño de la interfaz se desplegaron 3 tipos de flujos, para la programación modular de diversos nodos en la administración de los datos y de los usuarios de la zona, estos bloques articulados están dedicados a cumplir funcionalidades diferentes y proveer un análisis detallado de la información de consumo de caudal entregada, tanto para establecer el consumo fluvial del grupo poblacional de una forma integrada como individual.

- **Flujo para credenciales de acceso en la interfaz de monitoreo**

Para acceder a la interfaz de visualización y análisis del monitoreo del consumo de agua potable, se define un esquema de nodos de restricción de acceso a la interfaz en cuestión. Considerada como el primer flujo de nuestra página de monitoreo web a la cual denominamos *Nodos de Inicio de Sesión*, la cual permite la inserción de un código de usuario y clave de acceso, modificable dentro del flujo de programación de los nodos propuestos. Podemos observar el flujo completo de los nodos de credenciales de acceso en la Figura 4.36.

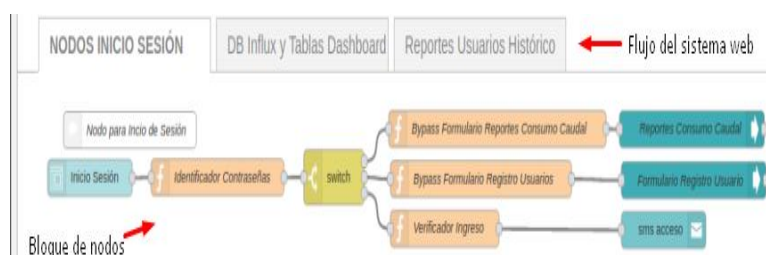


Figura 4.36 Flujo de bloques de Node Red para la funcionalidad de credenciales de acceso a la interfaz web.

Fuente: Editado por el Autor.

- **Flujo para registro de usuarios al sistema administrativo**

Este bloque de nodos, se encarga de hacer la inserción y registro de clientes por grupos familiares, al sistema de monitoreo de consumo de caudal mediante la base de datos Influxdb, necesario para asignar consumos individuales a cada usuario de la población activa, otra de sus funciones además de la prevista y a la cual está vinculado y es dependiente otro flujo de nodos, es la asociación de cada usuario con el identificador de cada par Nodo – Sensor respectivo, para la medición de flujo del caudal consumido. El flujo completo de este esquema lo podemos apreciar en la Figura 4.37.

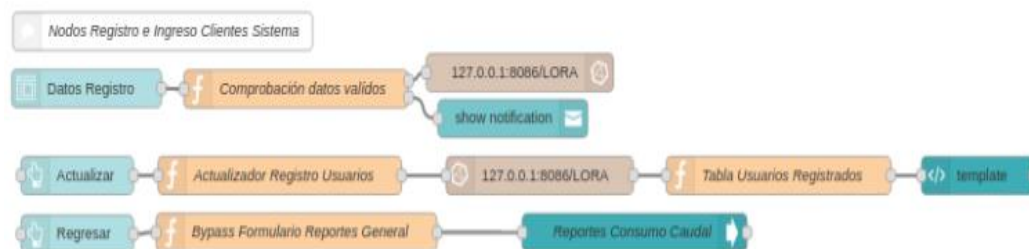


Figura 4.37 Esquema de los nodos modular para la funcionalidad de registro de usuarios en la interfaz de monitoreo.

Fuente: Editado por el Autor.

4.8.2. FLUJOS DE INSERCIÓN DE DATOS, REPRESENTACIONES GRAFICAS Y ESTADISTICAS DEL CONSUMO DE CAUDAL

- *Flujo de inserción de datos en Influxdb*

Este bloque permite tratar el flujo de datos, provenientes del servidor de base de datos InfluxDB. Su función en esencial es estructurar los datos añadiéndoles propiedades a cada valor de consumo de caudal de agua dotado por los sensores, como definir el mes, año, día, horario el id del nodo al cual está asociado el sensor, en fin, estos tipos de caracteres conjuntamente con el valor de medición se insertan en una tabla previamente creada, con lo cual las consultas SQL son más precisa y es posible extender el análisis de monitoreo de consumo. En la Figura 4.38 se muestra el flujo completo de estos campos funcionales.



Figura 4.38 Flujo de nodos de estructuración e inserción de datos en Influxdb.

Fuente: Editado por el Autor.

El siguiente flujo permite determinar los promedios de caudal, diarios, mensuales, así como los máximos y mínimos consumos adquiridos, cuya información es implantada en forma cronológica en la base de datos Influxdb, la Figura 4.39 muestra el flujo completo para esta función.

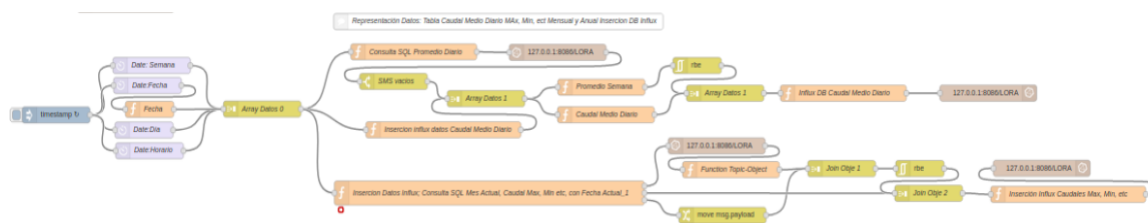


Figura 4.39 Flujo de inserción de consumos promediales en la plataforma de base de datos Influxdb mediante Node Red.

Fuente: Editado por el Autor.

• *Flujo de reportes de consumo*

Este bloque de nodos determina el consumo de caudal en tiempo real, en forma general de la población. Midiéndola en litros – hora y en términos de volumen semanal, diario y mensual, así también las cargas horarias de ocupación del servicio. Todo esto se exhibe en tablas, graficas analíticas e indicadores de unidades de flujo cuyo esquema justo, se presenta en la Figura 4.40.

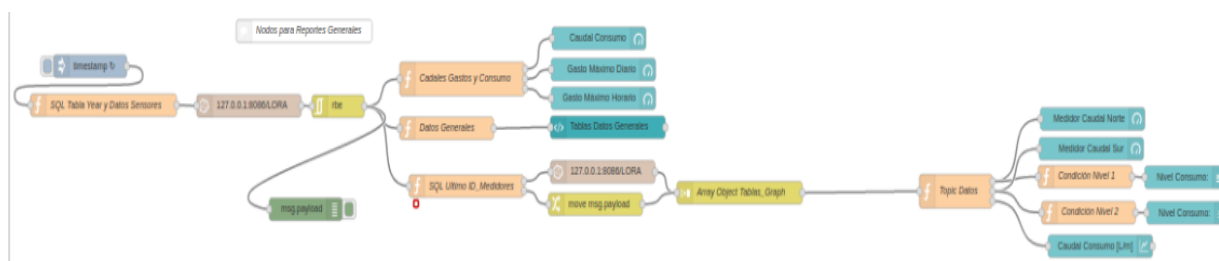


Figura 4.40 Flujo de nodos completo de reportes globales de consumo de caudal proveído en la interfaz de monitoreo web.

Fuente: Editado por el Autor.

• *Flujo de Reportes Históricos*

Esta articulación de nodos, es usada para determinar consumos de forma histórica adquiriendo datos cronológicamente almacenados en la base de datos Influxdb mediante consultas SQL, aquí podemos apreciar los picos máximos y mínimos de consumo de caudal que alcanza la población en general, así como también los meses y el año de afluencia del servicio, para ello se utiliza representaciones estadísticas como diagramas históricos, y cuadros de tendencias de consumo de caudal. La Figura 4.41 muestra el desarrollo acabado de este proceso.

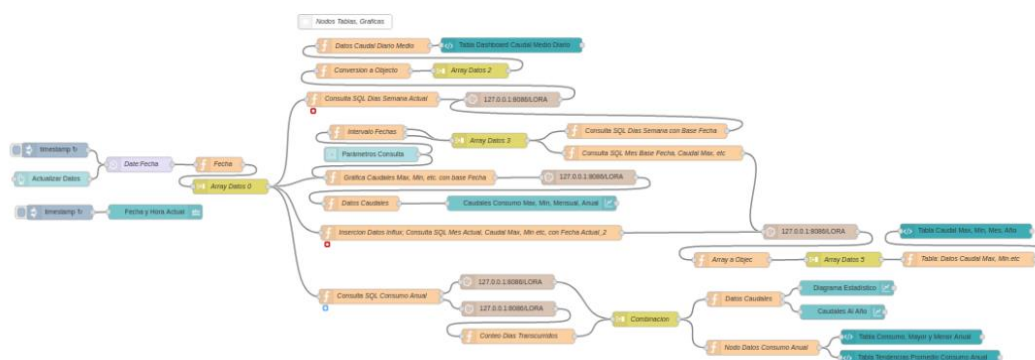


Figura 4.41 Flujos de nodos para representación histórica de consumo de agua potable en Node Red en la interfaz de monitoreo web.

Fuente: Editado por el Autor.

• *Flujo de Reportes por Usuario*

Este flujo de nodos permite, asociar a los usuarios registrados en el sistema con cada medidor de flujo o nodo LoRa en base a grupos familiares, definiendo el número de personas en la familia y así estipular el tipo de consumo que adopta cada individuo. Esto nos permite establecer en base al número de personas registradas en el sistema, el consumo particular de cada usuario de la población. Los valores de consumo de agua potable, se pueden analizar en tiempo real o histórico en este flujo. En lo cual podemos determinar mediante representaciones gráficas el caudal de consumo, promedio, máximo, mínimo, además obtener análisis minuciosos de los días, meses y volumen ocupado, y el porcentaje de caudal de consumo respecto al abastecimiento otorgado. Sobre los cuales se estiman las tarifas, y medidas de si es un consumo del servicio provisto óptimo o exagerado y la cantidad de litros por habitante al día que ocupa cada integrante de la familia. La programación de nodos completa de este flujo se muestra en la Figura 4.42.

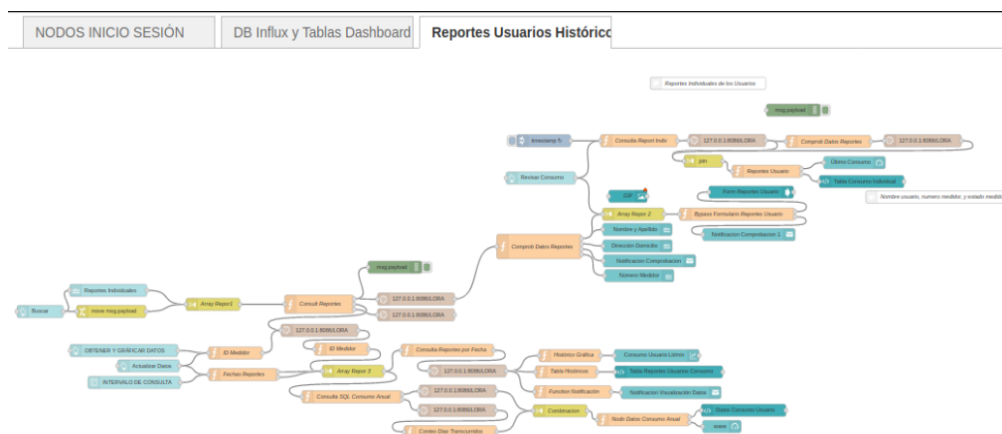


Figura 4.42 Flujos de análisis de reportes de consumo por usuario en la interfaz de monitoreo web.

Fuente: Editado por el Autor.

En las siguientes ilustraciones se presenta la interfaz final de diseño a ser utilizada, para el monitoreo del caudal de consumo de agua potable de la comunidad de Gulanza del cantón Biblián, la cual se exhibe con distintos formularios de páginas web dedicadas a gestionar y analizar en detalle el comportamiento de consumo de la población en forma general e individual, integrando los diferentes flujos que se habían descrito anteriormente, haciendo uso de varias funcionalidades y herramientas de representación estadísticas y cualitativas del consumo, de tal forma que se concrete y cumpla con el fin común, ofreciendo una interfaz con un despliegue más entendible y apremiante para que el usuario y la entidad suministradora hagan un seguimiento claro, preciso y oportuno en el consumo de agua potable.

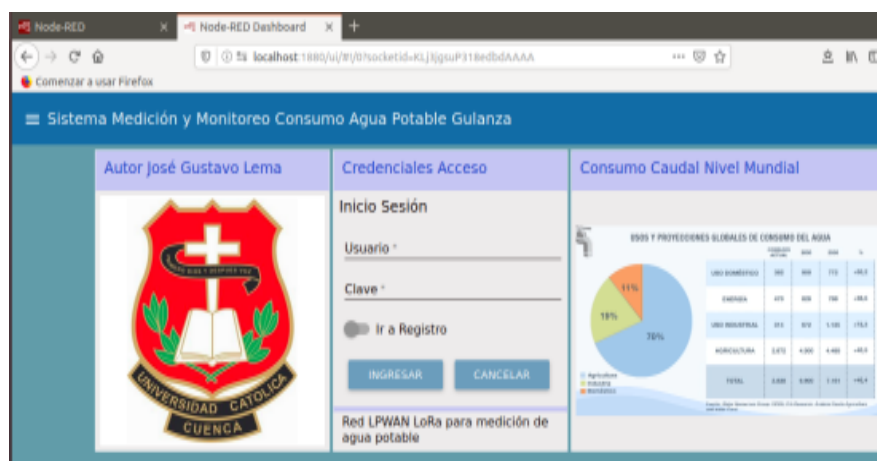


Figura 4.43 Interfaz de monitoreo web de la red LPWAN LoRa para medición de consumo de agua potable.

Fuente: Editado por el Autor.

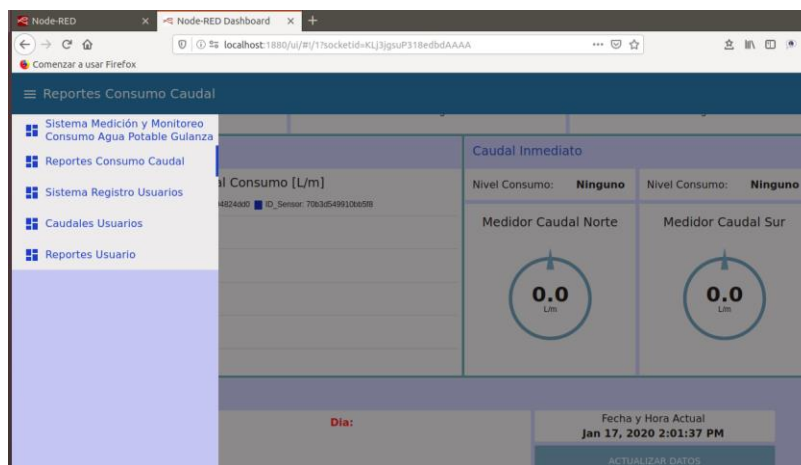


Figura 4.44 Despliegue de formularios de análisis para consumo de caudal de agua potable.

Fuente: Editado por el Autor.

4.9. IMPLEMENTACIÓN Y UBICACIÓN DE LOS NODOS Y EL GATEWAY EN LA ZONA

El entorno en el que se va a realizar la implementación, de nodos y Gateway corresponde al sector de *Curiyaco Bajo* perteneciente a la parroquia de *Sageo del cantón Biblián*, Provincia del Cañar, cuyo diseño es muy relevante por el interés de desarrollo social, y de servicio que contempla que se apresta de forma eficiente y oportuna, a la medición de consumo de agua potable que difiere de la práctica convencional optimizando la función del bien y servicio.

Para implantar los equipos se debe tener en cuenta la existencia de obstáculos, de por medio la señal tiende a decaer por lo que se debe realizar pruebas mediante el uso de herramientas que permitan visualizar los perfiles de elevación a fin de evitar la mayor cantidad posible que se encuentren alrededor y perturben la trayectoria de los enlaces de la red.

En vista de ello como mejor alternativa se ha optado, por el software de análisis de radiodifusión *Radio Mobile*, por la sencillez de uso y facilidad de diseño de redes de telecomunicación. Permite la simulación de enlaces consintiendo el estudio mediante mapas topográficos de los puntos de enlace entre las estaciones de transmisión y recepción de información de cualquier zona específica estableciendo los parámetros de comunicación resultante de la red de diseño. A ello se suma una herramienta muy potente y usada hoy en día, que facilita la visualización de los perfiles de elevación como *Google Earth*, cuya función es exponer información geográfica del mundo



estableciendo rutas adecuadas para los enlaces. En conjunto ambas herramientas informáticas (véase la Figura 4.45) permitirán el diseño y la elaboración de la red comunitaria LoRaWAN de forma adecuada y precisa.

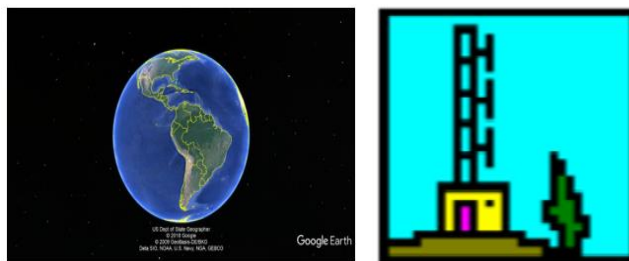


Figura 4.45 Software Google Earth y Radio Mobile

Fuente: Editado por el Autor.

Para la implementación de este proyecto se ha definido 2 escenarios donde se van a colocar los nodos. Es así que el Gateway se ha ubicado en la zona más alta de la red, concretamente en el techo de una de las viviendas de los abonados del servicio de agua potable, la cual está ubicada en el sector de Curiyaco – Alto (véase la Figura 4.46) para formar la topología de la Red LoRaWAN a implementar. Cabe mencionar que la altura a la cual se encuentra dicho equipo es de aproximadamente 13 metros, lo cual nos permite alcanzar una mayor cobertura, dado que existe línea de vista sin obstáculos a cada nodo, pese a ello su alcance puede cambiar debido, a que este aspecto va depender de la ganancia de la antena que se use para transmitir, como también puede verse afectada por la condiciones o fenómenos climáticos de la zona, en este caso la distancia que recorre es de aproximadamente 2km, por lo que el enlace es confiable para la admisión de la información.



Figura 4.46 Ubicación del Gateway en una de las viviendas de los abonados del servicio.

Fuente: Editado por el Autor.



4.9.1. ESCENARIO 1

Para este escenario el primer nodo está ubicado a una distancia de 74.4 m, la cual es la más cercana al Gateway, misma que puede observarse en la Figura 4.47, siendo esta la región más corta de la red LoRaWAN, cuyo perfil de elevación nos indica que no existe ningún obstáculo, lo que conlleva a obtener la información del sensor sobre el consumo de agua medidos en litros por hora (Ltr/h) de una manera óptima y confiable al momento de recibir los paquetes en dicho nodo.



Figura 4.47 Perfil de elevación del nodo 1.

Fuente: Editado por el Autor.

4.9.2. ESCENARIO 2

En este escenario, el último sensor está ubicado a una distancia de 728 m el cual dispone de un perfil de elevación más largo, por ende, es la región de la red LoRaWAN más lejana del concentrador, ofreciendo una visión directa entre el Gateway y el nodo que podemos apreciar en la Figura 4.48, haciendo posible que los enlaces sean fiables en ambos extremos de esta parte de la red.

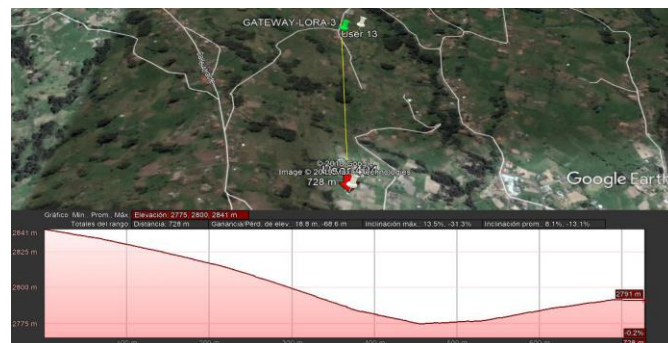


Figura 4.48 Perfil de elevación del nodo 2.

Fuente: Editado por el Autor.



Sin embargo, hay que mencionar que el diseño de la red de datos está dimensionado para toda la junta de agua potable de la comunidad de Gulanza, dentro del cual se señalan 527 usuarios, a los cuales se les presta el servicio de agua potable, mismos que están distribuidos en diversos sectores. La Tabla 4.5 muestra la distribución de usuarios por sectores que comprende la junta de agua del sector de Gulanza.

Tabla 4.5 Lista de Usuarios según la Red de Agua.

RED	USUARIOS
CURIYACU	27
CUNCHINCAY	50
GULANZA	70
CRUSPAMBA	110
ATAR	35
SANTUARIO	120
PESTERON	50
QUIZHAN	65
TOTAL DE USUARIOS	527

Fuente: Editado por el Autor.

En base a lo acontecido se ha propuesto dentro del diseño la ubicación de 6 Gateways en distintas zonas del lugar para abarcar a toda la población que dispone del servicio y para futuras ampliaciones de consumo, de tal manera que se obtiene una comunicación confiable con todos los usuarios dentro de la red LoRaWAN, siendo esta disposición ideal a fin de evitar en los nodos interferencias por obstáculos o pérdida de paquetes por la distancia que separan a los nodos del dispositivo administrador, estos son los factores más relevantes a tener en cuenta en la transmisión (Tx) y recepción (Rx) de los datos sobre el consumo de agua de los usuarios. Además, la información receptada por estos equipos será almacenada en el servidor LoRa Server que permite la administración de cada uno de estos quipos mediante una red privada.

Es imprescindible aclarar que cada Gateway tiene una capacidad de recepción de hasta 100 nodos con un alcance de hasta 5 km en línea de vista, sin embargo, se debe tener cuenta, aspectos de tolerancia de la señal ante la presencia de obstáculos y perturbaciones del medio, que de alguna manera pueden atenuar la señal considerablemente a la hora de colocar y enlazar tales equipos. La Figura 4.49 muestra el esquema de la red de diseño.

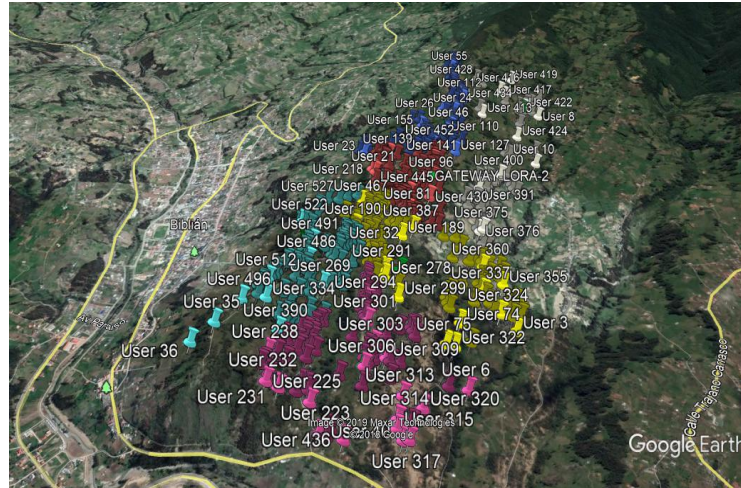


Figura 4.49 Topografía de la Red LoRaWAN, ubicación de Nodos y Gateways para la Junta de Agua Potable del Sector de Gulanza.

Fuente: Editado por el Autor.

4.10. DISEÑO DE LA RED EN RADIO MOBILE

Este software Radio Mobile permite la simulación del enlace en el cual se puede configurar parámetros como potencia, ganancia de la antena, sensibilidad e incluso definir líneas de vista para ubicar los equipos adecuadamente, sin la presencia de obstáculos entre otras facultades más que ofrece el software, convirtiéndolo en un recurso idóneo para verificar la factibilidad de los enlaces en la red a diseñar.

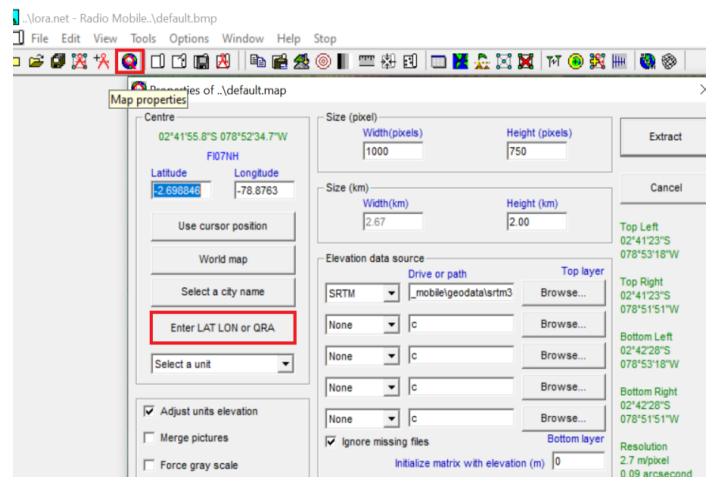


Figura 4.50 Ubicación del lugar a implementar los equipos nodos y Gateways.

Fuente: Editado por el Autor.



Para diseñar la red, debemos obtener las coordenadas de ubicación de la zona donde se implemente, siendo estas coordenadas la latitud y longitud. Para este proyecto la zona de estudio posee como latitud -2.697248 y longitud -78.876678, determinando así la ubicación central, para la implementación de los equipos de la red LoRaWAN. La Figura 4.50 muestra las coordenadas de ubicación de los dispositivos Lora.

Dentro de la composición de la red LoRaWAN, el siguiente paso consta en describir todos los elementos que conforman la red es decir el Gateway y nodos, para lo cual es necesario conocer sus ubicaciones en base a sus coordenadas. La Tabla 4.6 presenta las coordenadas de ubicación de los equipos a implementar como latitud y longitud.

Tabla 4.6 Coordenadas de ubicación a implementar, del Gateway y los nodos.

Enlaces	Latitud	Longitud
<i>Gateway Curiyaco</i>	-2.697236	-78.876517
<i>Nodo 1</i>	-2.703678	-78.876317
<i>Nodo 2</i>	-2.696950	-78.875981

Fuente: Editado por el Autor.

Luego de definida la representación topológica de la red, lo siguiente es agregar las unidades o dispositivos que conforman la red en base a sus coordenadas, es decir definir el lugar de ubicación geográfica de los equipos en cuestión “Gateways y Nodos”, en este caso en concreto se ha tomado una sola región de la red LoRaWAN a fin de verificar la operabilidad en la red propuesta. Para ello se dispone de un solo Gateway al cual se conectan dos nodos, en los cuales se administra el flujo de datos por medio de la unidad central. Como modo de identificación podemos asignar un icono a cada una de las unidades para facilitar su distinción y visualización (véase la Figura 4.51) en el esquema de red LoRaWAN.

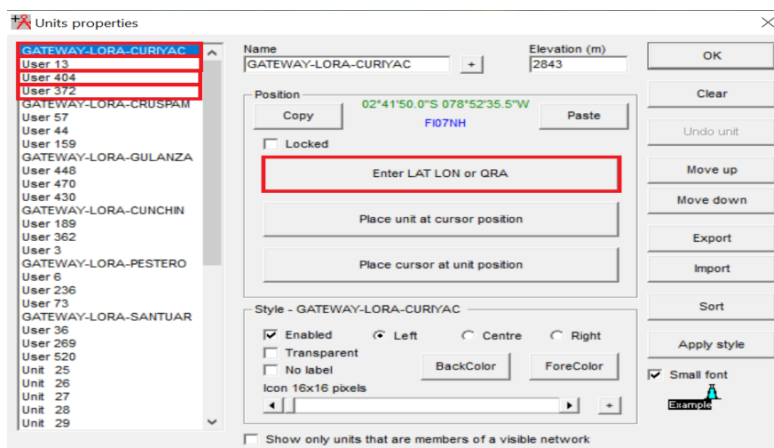


Figura 4.51 Asignación de los Nodos y Gateway en base a sus coordenadas.

Fuente: Editado por el Autor.

Al asignar estos iconos el programa presenta a través de un mapa el posicionamiento de cada uno de ellos (véase la Figura 4.52), con lo cual podemos reconocer fácilmente la ubicación de cada dispositivo y en que sección de la red LoRaWAN se encuentra.

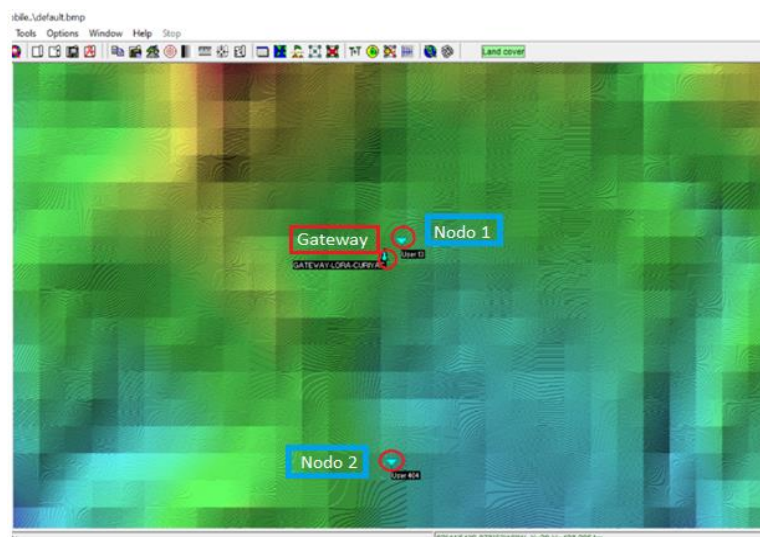


Figura 4.52 Ubicación de los dispositivos en el mapa.

Fuente: Editado por el Autor.

Una vez posesionados los elementos que conforman la red LoRa, se procede a realizar la parametrización de la misma. Está consiste en asignar valores a cada uno de los enlaces a través de la sección Networks properties, el cual presenta varias pestañas de captación de datos (como; Parameters, Topology, Membership, Systems), los cuales son descritos a continuación:



- **Parameters:** Esta pestaña permite configurar las frecuencias de operación de los equipos, así como también las condiciones climáticas del terreno, la polarización de las antenas, el modo de variabilidad y entre otras características. La Figura 4.53 muestra los parámetros de configuración para la asignación de redes para este proyecto corresponde los 6 Gateways para los diferentes sectores que pertenecen a la Junta de Agua de Gulanza.

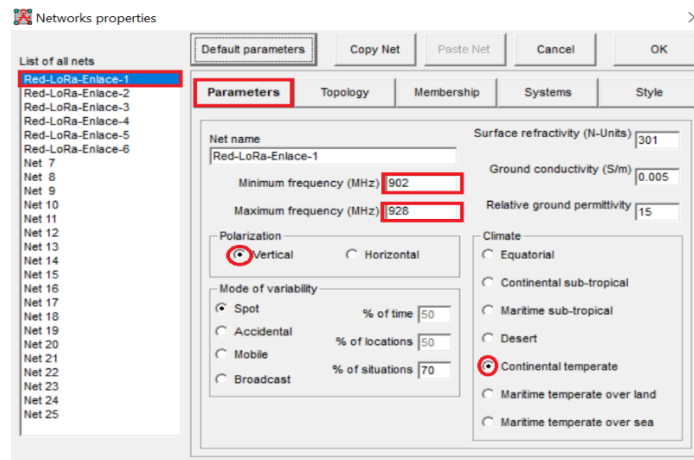


Figura 4.53 Parámetros de configuración de los equipos.

Fuente: Editado por el Autor.

- **Topology:** Este parámetro permite definir la topología de la red, en este caso la utilizada para la conexión de los nodos es de tipo estrella (véase la Figura 4.54), es decir se establece un tipo de comunicación maestro – esclavo, dado a que LoRaWAN basa sus enlaces y comunicación en esta topología.

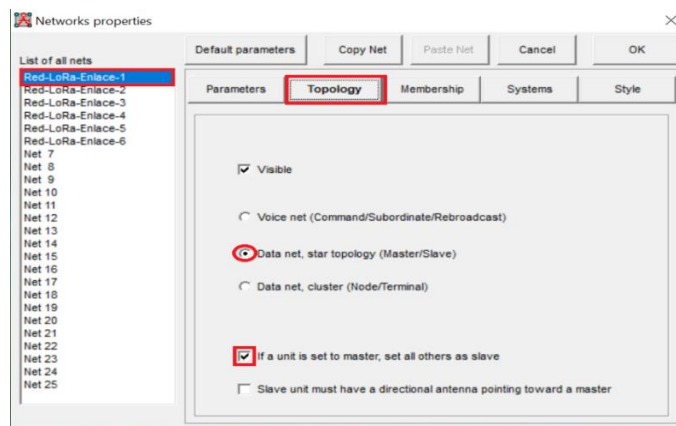


Figura 4.54 Configuración de la topología de la red.

Fuente: Editado por el Autor.



- **Membership:** Este apartado permite indicar que tipos de equipos y antenas se van a utilizar, es decir los dispositivos que van a conformar la red, en nuestro caso sería el Gateway designado como master (maestro) y sus dos nodos como slaves (esclavos) (véase la Figura 4.55). Sin embargo, para efectos de pruebas se ha definido tres nodos, a los cuales se los ha ubicado prudentemente en distintas distancias, como la más cercana, intermedia y la más distante del equipo central o administrador “Gateway”.

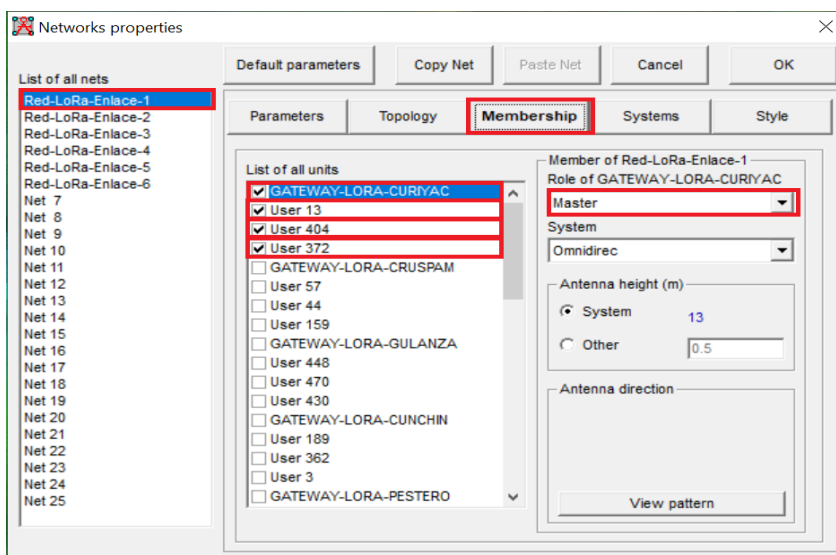


Figura 4.55 Agregación de Nodos respectivamente según su Gateway.

Fuente: Editado por el Autor.

- **Systems:** En esta ventana se describe el tipo de enlace de la red, así como también parámetros de las antenas a utilizar como la potencia de transmisión, pérdida por sensibilidad, el tipo y ganancia de la antena los cuales se pueden obtener de la página oficial de Pycom (INVENT, s.f.) y (Electronics, 2019), así como la altura a colocar los equipos para lo cual tanto los equipos utilizados para el Gateway y los nodos son iguales por lo que su configuración es la misma (véase la Figura 4.56, debido a que al poseer una antena omnidireccional se conecta todos los nodos hacia el concentrador. La implementación y disposición de los equipos, en base al estudio de diseño dado de la red completa la podemos apreciar en la sección de Anexos sección *Implementación de Gateway y Nodos en la zona de pruebas*.

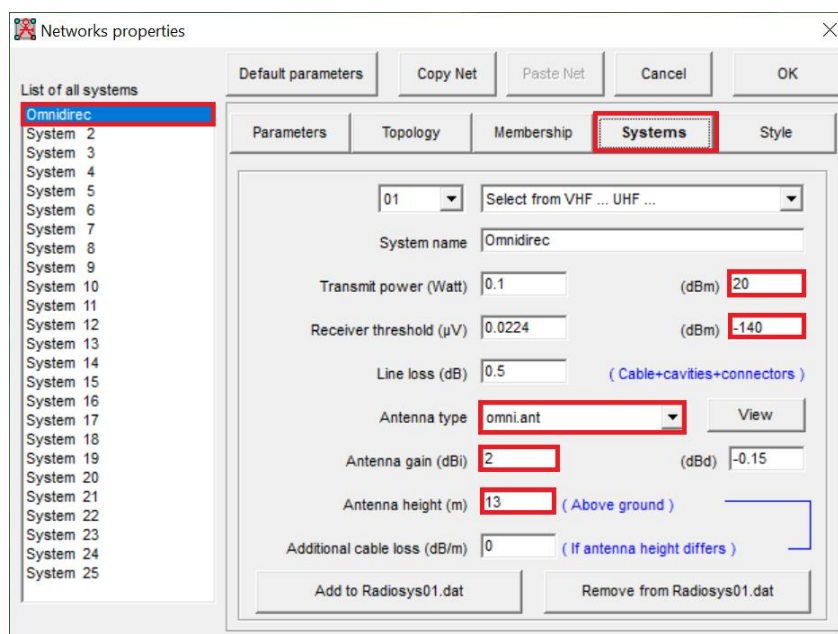


Figura 4.56 Configuración de parámetros de los equipos a implementar.

Fuente: Editado por el Autor.

4.11. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN EN RADIO MOBILE

Realizadas todas las configuraciones correspondientes para establecer la red LoRaWAN. El software Radio Mobile aporta con un análisis completo y exhaustivo de los radioenlaces en la red, cuyos resultados son representados en un mapa geográfico de la zona, en el cual en base a los datos de elevación proveídos por las características demográficas del área en cuestión (Parroquia Gulanza – Biblián) nos ofrece las exclusividades técnicas del sistema (como puntos de líneas de vista, elevación de los equipos, ganancia de los enlaces (dB), distancia entre los puntos de comunicación, confiabilidad del enlace, perdidas de la transmisión producidas por factores climáticos y obstáculos, frecuencia de enlace, potencias de Tx y Rx de paquetes) de cómo está conformada la red LoRaWAN, de todo el conjunto de enlaces realizados y establecidos entre el Gateway y los nodos.

Para este caso el sistema de radio conformado por dichos equipos (1 Gateway y 2 nodos), han permitido predecir el comportamiento de la red Lora, en la cual se representa un área de cobertura para los radios enlaces de aproximadamente 5 km, en la red de radio comunicación LoRaWAN, en la cual los enlaces o radio difusiones se encuentran marcados en color verde (véase la Figura



4.57), indicando que la calidad del enlace es buena y confiable para la red de comunicación propuesta bajo el protocolo Lora.

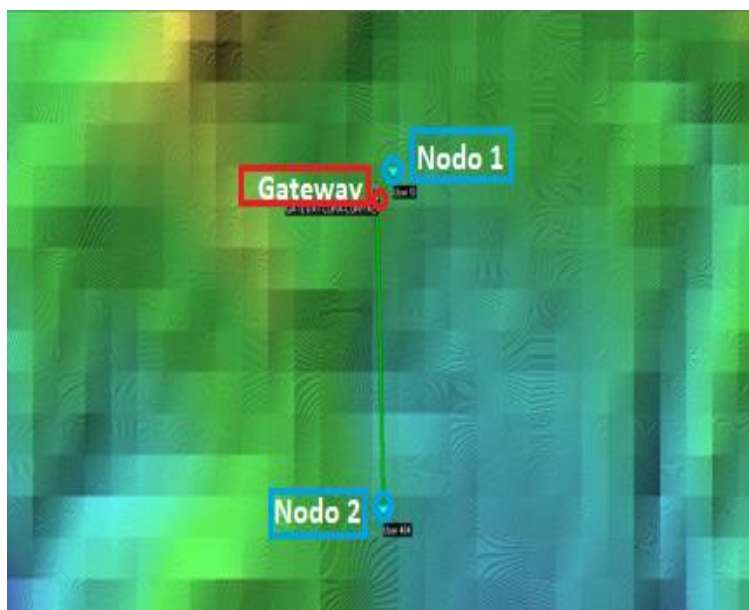


Figura 4.57 Radio Enlaces entre los Nodos y el Gateway.

Fuente: Editado por el Autor.

Por último, se observa, los perfiles de los enlaces implementados conjuntamente con algunos parámetros, como el ángulo de azimut, ángulo de elevación entre otras, siendo el de mayor importancia el nivel de recepción. A continuación, en las siguientes Figuras se sustenta lo comentado, mediante simulaciones que se han realizado, respecto al radio de propagación de la red LoRaWAN, y sus características técnicas obtenidas mediante Radio Mobile.

Sea escogido para la verificación de la red LoRaWAN, distancias diferentes, (la máxima y mínima, distancia de la red definida entre el Nodo y Gateway) según los puntos de conexión de la red. Por lo cual en la Figura 4.58, podemos observar que el nivel de recepción es factible debido a que la distancia del nodo hacia el Gateway es considerada como la más corta entre los enlaces, por ende, los resultados obtenidos tienden a demostrar que la conexión es idónea para la implementación.

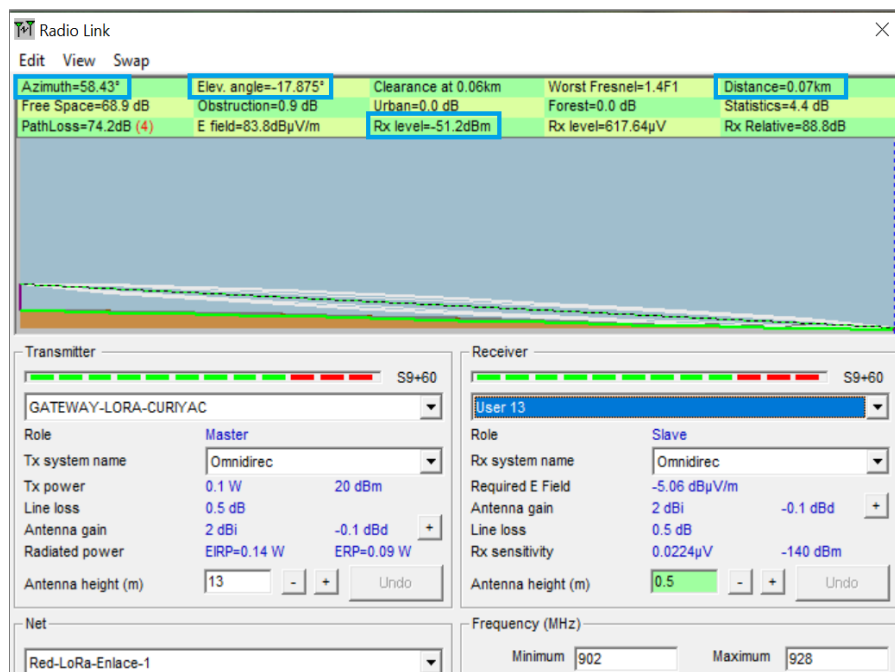


Figura 4.58 Perfil del enlace entre el Gateway y el primer Nodo.

Fuente: Editado por el Autor.

En el segundo nodo la distancia hacia el Gateway es un poco mayor (véase la Figura 4.59), sin embargo, el nivel de recepción se mantiene dentro del rango admisible de línea de vista.

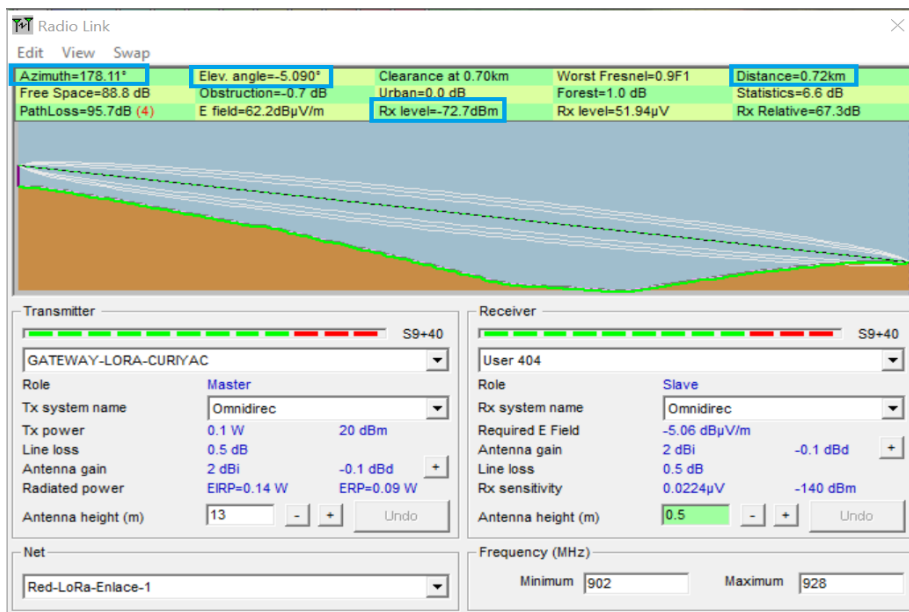


Figura 4.59 Perfil del enlace entre el Gateway y el segundo Nodo.

Fuente: Editado por el Autor.



Con la ayuda de esta herramienta ha sido posible exportar los perfiles de los enlaces de la red a implementar para obtener una mejor visualización y comprensión (véase la Figura 4.60), hacia Google Earth.



Figura 4.60 Perfil de enlace de los dos Nodos respecto al Gateway.

Fuente: Editado por el Autor.

Además, para efectos de prueba hemos realizado simulaciones de los enlaces de toda la red (véase la Figura 4.61), obteniendo alcances efectivos sin pérdida de paquetes. La cual está compuesta por los 6 Gateways con 3 nodos cada uno abarcando un total de 527 abonados. Por lo que podemos decir que la admisión y tolerancia de la red se halla dentro de sus límites, de lo cual se sobreentiende que los aspectos de configuración son redundantes para cada región de la red LoRaWAN

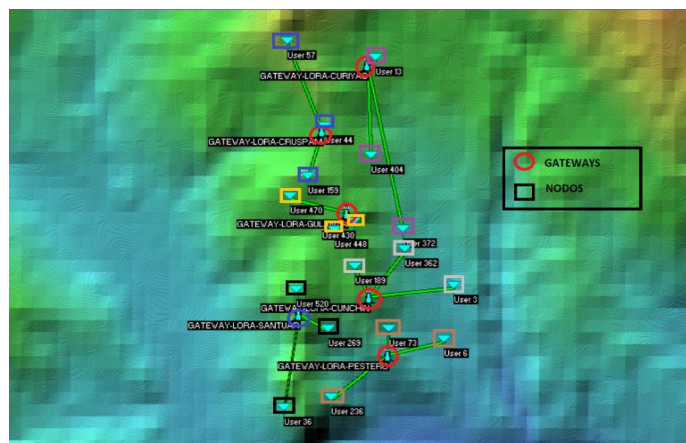


Figura 4.61 Simulación e integración de toda la red con sus Gateways y Nodos.

Fuente: Editado por el Autor.



Los resultados obtenidos en base a las coordenadas de ubicación en el mapa tanto de los nodos como los Gateways. En la Tabla 4.7 se puede apreciar su disposición de una forma más detallada

Tabla 4.7 Información de datos de la simulación de los enlaces de toda la red definidos para cada Gateway como mínimo tres nodos para la Junta Administrativa de Agua Potable de Gulanza.

Enlace-gateway-nodo	Distancia	Perdidas en el trayecto	Obstrucción	RSSI
GT-Curiyaco-User13	0.07 Km	68.9 dB	0.9 dB	-51.2 dBm
GT-Curiyaco-User404	0.72 Km	88.8 dB	-0.7 dB	-72.7 dBm
GT-Curiyaco-User372	1.32 Km	94.1 dB	-5.1 dB	-72.6 dBm
GT-Cruspamba-User57	0.72 Km	88.8 dB	0.9 dB	-72.8 dBm
GT-Cruspamba-User44	0.03 Km	61.0 dB	-0.6 dB	-43.4 dBm
GT-Cruspamba-User159	0.39 km	83.4 dB	-0.7 dB	-66 dBm
GT-Gulanza-User448	0.19 Km	77.1 dB	-0.4 dB	-59.8 dBm
GT-Gulanza-User470	0.44 Km	84.5 dB	-0.1 dB	-69.0 dBm
GT-Gulanza-User430	0.10 Km	72.2 dB	1.7 dB	-56.5 dBm
GT-Cunchincay-User189	0.24 Km	79.3 dB	-0.7 dB	-61.6 dBm
GT-Cunchincay-User362	0.44 Km	84.7 dB	2.1 dB	-70.3 dBm
GT-Cunchincay-User3	0.64 Km	87.9 dB	0.7dB	-72.2 dBm
GT-Pesteron-User6	0.43 Km	84.5 dB	0.7 dB	-68.5 dBm
GT-Pesteron-User236	0.55 Km	86.5 dB	0.1 dB	-72.6 dBm
GT-Pesteron-User73	0.18 Km	76.7 dB	-0.8 dB	-58.6 dBm
GT-Santuario-User36	0.75 Km	89.2 dB	59.3 dB	-133.5 dBm
GT-Santuario-User269	0.25 Km	80.2 dB	29.0 dB	-93.6 dBm
GT-Santuario-User36	0.17 Km	76.2 dB	8.3 dB	-68.5 dBm

Fuente: El Autor.

Para determinar la calidad de un enlace en una red se requiere conocer el indicador de fuerza de la señal recibida o conocida también como RSSI, este factor se mide en dBm, el cual atribuye el nivel de potencia de la señal recibida por un dispositivo en una conexión de red inalámbrica, de forma que sirve para poder establecer una escala referencial de potencia, en la cual la escala tiene el valor 0 como centro y representa 0 RSSI o 0 dBm, los cuales han sido objeto de descripción en la tabla anterior, sin embargo (metageek, 2019) se presenta la Tabla 4.8 que especifica la calidad de una señal en base a su RSSI.

**Tabla 4.8** Niveles de calidad de la Intensidad del RSSI.

Intensidad de señal (dBm)	Descripción
-30 dBm	La intensidad de señal es máxima lo que indica que el nodo debe encontrarse cerca del Gateway
-67 dBm	La intensidad de señal es mínima para aplicaciones que requieren la entrega de paquetes de datos confiables y eficaces.
-70 dBm	Mínima intensidad de señal para entrega de paquetes confiables.
-80 dBm	Intensidad de señal mínima para una conectividad básica, puede existir pérdida de paquetes.
-90 dBm	Es poco probable que funcione la comunicación en estos niveles.

Fuente: El Autor.



CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se analizará las pruebas ejecutadas en el prototipo de la red LoRaWAN propuesto, conformado por un Gateway y dos nodos ubicados a diferentes distancias con línea de vista para ambos equipos. Se optó por esta arquitectura, para analizar la funcionalidad y desempeño de la red en la adquisición de información de consumo de agua potable, de manera que se compruebe y valide el adecuado funcionamiento del modelo desarrollado. Con esta perspectiva podemos definir, condiciones óptimas de transmisión e interpretación de los datos adquiridos en forma adecuada y oportuna en base las expectativas planteadas. En términos generales de la red para la zona de implementación, nos permitirá tener un panorama mucho más amplio y comprensible de cómo se comporta la señal por radio frecuencia bajo el protocolo LoRa, así como las limitaciones que acontece ante perturbaciones o factores desfavorables, si realmente existe esa convicción sobre fiabilidad, disponibilidad y la basta cobertura que sustentan los enlaces con este tipo de protocolo de comunicación.

Al efectuar las pruebas el objetivo de las mismas consiste en verificar y evaluar la tasa de transmisión de los datos originados en los nodos a largas distancias y la calibración correspondiente de los dispositivos de medición, haciendo uso de equipos LoPy de la marca Pycom para conformar los nodos y Gateway respectivamente en la red LPWAN LoRa como soporte para recolectar la información. Con lo cual se permita estudiar el consumo de agua potable de la población de la Comunidad de Gulanza del cantón Biblián, así como también los parámetros de conectividad de la red como potencia emitida o RSSI y frecuencia de operabilidad. Para ello se desarrolló una interfaz gráfica de monitoreo empleada en Node Red como de otras herramientas de análisis y visualización de datos para afirmar su actividad.

5.1 PRUEBAS DE CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE FLUJO

Para obtener mediciones confiables en el sensor YF-S201, se realizaron previamente antes de la implementación pruebas de calibración del dispositivo con el módulo LoPy, utilizado como unidad de adquisición de datos del sensor de caudal, con lo cual se pudo comprobar y validar el correcto funcionamiento del prototipo. Dichos ajustes se hicieron por software mediante Atom y el complemento Pymark de MicroPython como lenguaje oficial de la tarjeta. En una maqueta a escala se simuló el abastecimiento de agua potable como lo indica la Figura 5.1, mediante la cual se calculó el factor de calibración para las mediciones de caudal el cual fue de 7.11.

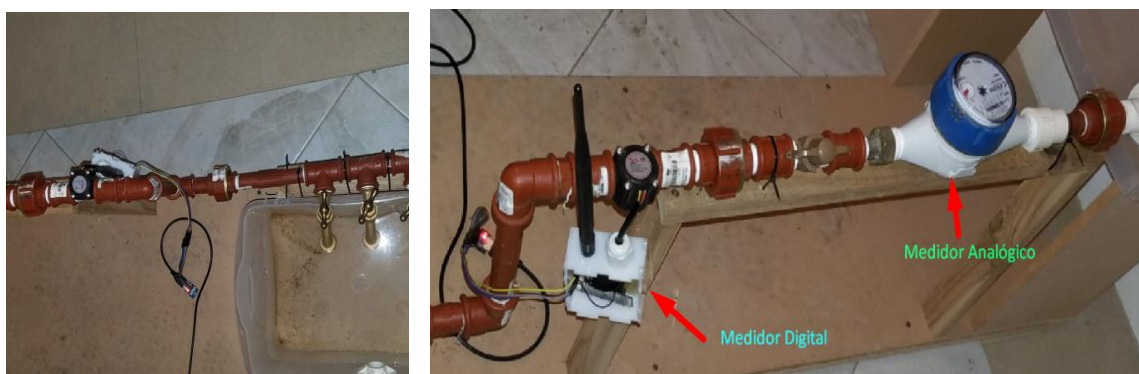


Figura 5.1 Maqueta a escala para las pruebas de calibración.

Fuente: Editado por el Autor.

Para mediciones aproximadas a 1 litro se requiere alrededor de 439 pulsos, como se indica en la Figura 5.2. Teniendo en cuenta que la maqueta posee una capacidad de abastecimiento de 20 litros, al registrar 2 litros se marcó 878 pulsos con lo cual acontecimos el correcto funcionamiento al corregir defectos de fábrica, adaptándolo a nuestros requerimientos. Sin embargo, para que sean aún más preciso, se corroboró y comprobó con un medidor analógico instalado en la misma dirección del sensor de flujo, permitiéndonos afianzar de forma certera las medidas que realicen los nodos con el sensor, al transmitir los datos a la interfaz de monitoreo.



Figura 5.2 Ajustes de calibración del sensor para adaptación con el nodo mediante Atom.

Fuente: Editado por el Autor.

5.2 PRUEBAS DE ENLACES ENTRE EL GATEWAY Y NODO LORA

Definidos los módulos que actuarán como Gateway y nodos respectivamente en las tarjetas LoPy, se puede observar como lo indica la Figura 5.4 que la transmisión y recepción de información es transparente y firme por lo que no tiene ningún inconveniente en verificarse las credenciales de enlaces e inicio de sesión por ABP, para habilitar un canal de comunicación por medio del protocolo LoRa en este caso una frecuencia 915 MHz. Por otra parte cabe destacar que el consumo de los equipos es despreciable (véase la Figura 5.3), en los nodos las mediciones indican valores próximos a 32.27 mA, realizadas con la deshabilitación de protocolos inalámbricos como Wifi, debido a que solo se requiere el uso del protocolo LoRaWAN, escatimando conexiones que repercutan en consumos innecesarios de energía, en tanto en el Gateway se hizo la misma medición pero con el Wifi activado registrando valores de 125.97 mA, esto debido a que la pasarela requiere tener habilitado este protocolo para su conexión con los sistemas en la nube respectivamente.



Figura 5.3 Consumo de nodos y Gateway de la red LPWAN LoRa.

Fuente: Editado por el Autor.



En el caso del Gateway la configuración y programación presenta dificultad puesto que cada vez que cambia la red de datos o esta es inestable, se pierde comunicación con las plataformas que están en la nube y a su vez con el servidor de DB, por lo cual es necesario modificar las credenciales de acceso, para formar parte de la red y hacer uso del ancho de banda para conexión con internet. Sirviéndose para ello el nombre de la red, password y dirección IP, como parámetros indispensables, permitiéndonos conectarse con el servidor de LoRa y así subir la información a la plataforma, y está a Node-Red a través de InfluxDB donde se encuentran, todos los datos almacenados que podrán ser visualizados a través de un dashboard. El único problema visto es la reconfiguración a internet del Gateway al enviar datos a la nube, por lo que se debe establecer una configuración de IP fija en el equipo que contiene los servidores en la nube, para evitar pérdida de conexión de los enlaces del sistema.

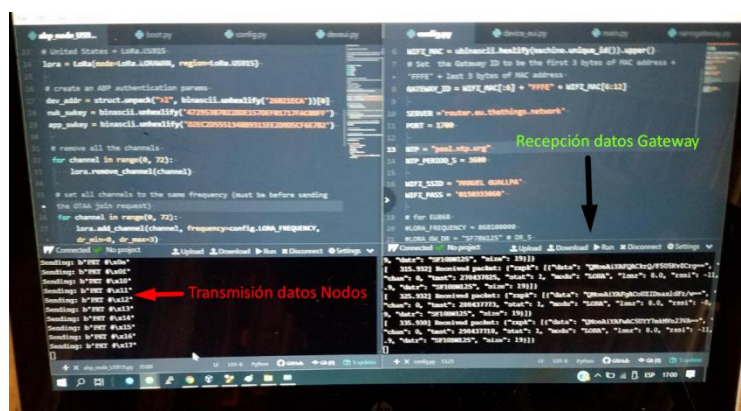


Figura 5.4 Habitación del canal de datos entre nodo y Gateway mediante Atom.

Fuente: Editado por el Autor.

5.3 PLATAFORMAS PARA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la realización de esta prueba es indispensable y primordial, establecer una conexión a internet, para que el servidor de comunicación LoRaServer capture la información proveída por el Gateway, y sea guardada en el servidor de base de datos para después ser utilizada por la plataforma de programación grafica Node-Red mediante un dashboard. Evidenciando con ello la flexibilidad en el análisis del consumo de agua, como la seguridad y vialidad de la red propuesta.



5.3.1. PRUEBAS DE RECEPCIÓN DE DATOS EN EL SERVIDOR DE COMUNICACIÓN

Para esta evaluación se tomó en consideración, el factor RSSI de la señal de RF LoRa, la frecuencia y la tasa de transmisión. Al momento de realizar las pruebas con nuestra arquitectura de un Gateway y nodos situados a diferentes distancias, se verificó que no hay saturación en la red de datos, enviándolos en lapsos de 1 hora, por lo cual se mantiene la disponibilidad de la red LPWAN LoRa con tiempos de latencia despreciables un aproximado promedio de espera entre uno y otro paquete de 5ms, con un tamaño de cada paquete de 12 bytes o 96 bps, por lo que la transmisión de datos, ocupa un ancho de banda estimado para la frecuencia de 915 MHz que es de 125 a 500 KHz para llevar los datos a las plataformas en la nube.

La tasa de datos es de 1.24 Kbps con un factor de propagación de 7 a una frecuencia de 9039.000.00 Hz, y un RSSI de - 80 dBm que es un valor óptimo para esta difusión, con una relación señal/ruido SNR de ≤ 12 dBm, en los datos estando dentro del rango tolerable. Según la información técnica facilitada por el servidor LoRaServer. Otras de las aceptaciones del sistema es que podemos visualizar la información y las características técnicas de cobertura de la Red LPWAN LoRa respecto a los nodos como la ubicación de cada uno. La Figura 5.5 muestra la información de cada de nodo que integra este servidor conjuntamente con los datos de consumo.

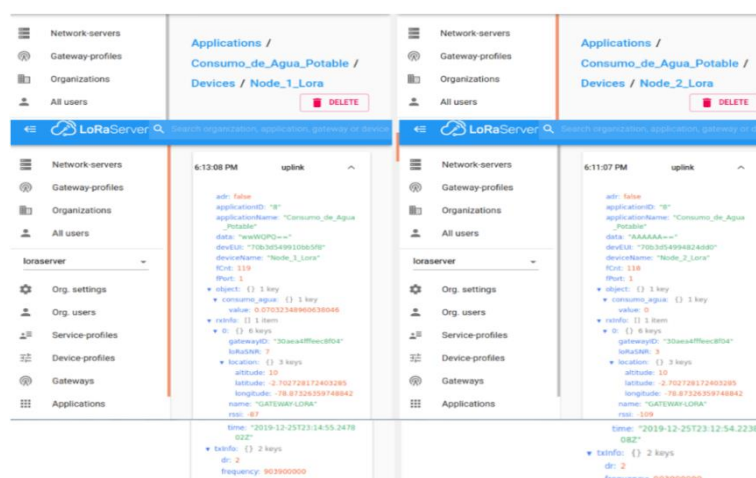


Figura 5.5 Visualización de datos en LoRa Server, y características técnicas de la comunicación.

Fuente: Editado por el Autor.



5.3.2. VALIDACIÓN DE DATOS EN EL SERVIDOR DE BASE DE DATOS

Al ser InfluxDB un servidor de base de datos similar a SQL, gestiona el almacenamiento de la información por puntos en el tiempo en los cuales cada uno se asocia a una serie de atributos, permitiendo guardar los datos de las aplicaciones que se ejecutan en tiempo real.

```
lot@Gustavo:~$ influx
Connected to http://localhost:8086 version 1.7.5
InfluxDB shell version: 1.7.8
> show databases
name: databases
name
----
_internal
LORA
> use LORA
Using database LORA
> show measurements
name: measurements
name
----
Promedios_Max_Min_Mensual
Year
device_frmpayload_data_consumo_agua_value
device_uplink
```

Figura 5.6 Base de datos LORA y tabla de registro de datos en InfluxDB.

Fuente: Editado por el Autor.

Previamente se ha creado una base de datos *LORA* en el servidor de base de datos para realizar esta prueba. En la cual se inserta automáticamente una tabla de datos predefinida, *consumo de agua value*, otorgado por LoRaServer con los respectivos campos, como el identificador y nombre del nodo y el valor recolectado para el almacenamiento como se puede ver en la Figura 5.6

Donde cada dato está alineado a un registro en el tiempo, por ello la Figura 5.7 muestra los resultados de los datos de caudal de consumo, recogidos por los sensores de flujo con lo cual podemos hacer consultas para adquirir cualquier dato en cualquier nodo, incluso consultas SQL anidadas que son soportables por el sistema de almacenamiento.

```
> select * from device_frmpayload_data_consumo_agua_value
name: device_frmpayload_data_consumo_agua_value
time application_name dev_eut device_name f_port value
-----
1576951874000000000 Consumo_de_Agua_Potable 70b3d54994824dd0 Node_2_Lora 1 0
1576951994000000000 Consumo_de_Agua_Potable 70b3d549910bb5f8 Node_1_Lora 1 3.790436
1576955475000000000 Consumo_de_Agua_Potable 70b3d54994824dd0 Node_2_Lora 1 0
1576955594000000000 Consumo_de_Agua_Potable 70b3d549910bb5f8 Node_1_Lora 1 0.009376
1576959074000000000 Consumo_de_Agua_Potable 70b3d54994824dd0 Node_2_Lora 1 0
1576959194000000000 Consumo_de_Agua_Potable 70b3d549910bb5f8 Node_1_Lora 1 0.014065
1576962674000000000 Consumo_de_Agua_Potable 70b3d54994824dd0 Node_2_Lora 1 0
1576962794000000000 Consumo_de_Agua_Potable 70b3d549910bb5f8 Node_1_Lora 1 0.035162
1576966275000000000 Consumo_de_Agua_Potable 70b3d54994824dd0 Node_2_Lora 1 0
1576966394000000000 Consumo_de_Agua_Potable 70b3d549910bb5f8 Node_1_Lora 1 9.200656
```

Figura 5.7 Datos registrados en InfluxDB por consultas SQL.

Fuente: Editado por el Autor.



Para verificar que los datos adquiridos y posteriormente almacenados en InfluxDB, sean los correctos se analizó la fluctuación de los datos en las plataformas intermediaras, LoRaServer y el servidor de base de datos (véase la Figura 5.8). Aseverando que todos los datos que se encuentran en el servidor son certeros, siendo de credibilidad que los valores observados ocurren en el mismo tiempo que el Gateway los recibe

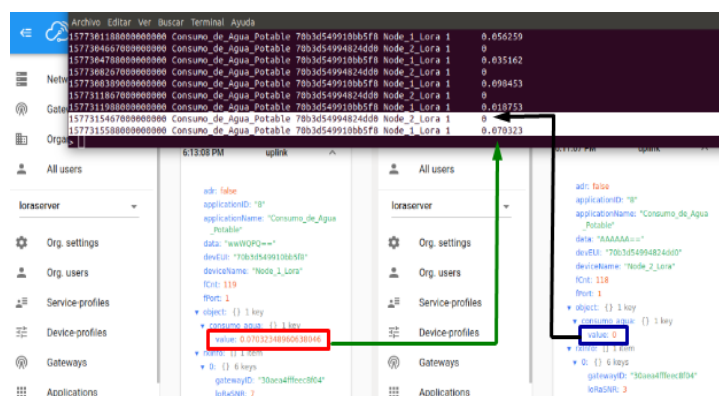


Figura 5.8 Comprobación de recolección de datos entre LoRaServer e InfluxDB en tiempo real.

Fuente: Editado por el Autor.

5.4 PRUEBAS DE CONSUMO DE CAUDAL EN EL SISTEMA DE SUPERVISIÓN

El análisis de esta prueba permite determinar mediante la interfaz gráfica en Node-Red, si el sistema implementado contempla las expectativas de rigor en términos de nivel de precisión en los distintos entornos de uso que sean considerados.

Al interpretar los resultados es preciso indicar, que la empresa suministradora factura la unidad de consumo de agua en metros cúbicos, sin embargo se ofrece un desglose detallado de este aspecto en la página de monitoreo de la interfaz de usuario (véase la Figura 5.9). Los elementos de la arquitectura pueden procesar la información de forma sencilla y efectuar los cálculos de consumo con gran efectividad y maleabilidad en cada dispositivo de medición. Por lo que se puede establecer el consumo total, promedio y otros factores más, de la población respecto al servicio de agua potable.

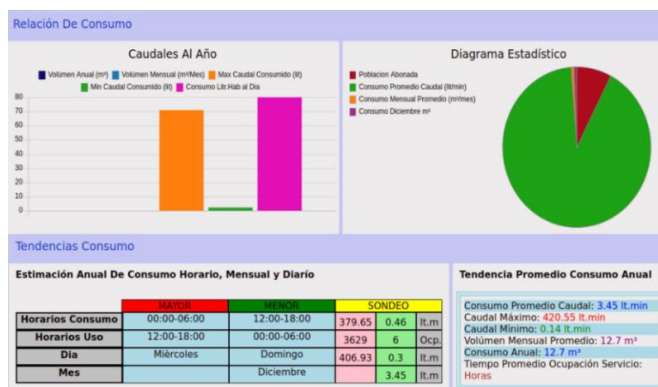


Figura 5.9 Análisis estadístico de consumo de agua potable en el formulario de Reportes Generales.

Fuente: Editado por el Autor.

Es así que para este caso se establece en promedio el consumo de 25 litros – hora, y en total 95 litros diarios con una media mensual de 15 m^3 , siendo los días y horarios de mayor afluencia el Lunes y Sábados en horarios de 12 a 18 horas tomadas a partir de una recolección mensual de datos, dicho análisis es definido para un consumo de caudal general de la población de muestra a través de los elementos presentados en la arquitectura propuesta.

En esta instancia la interfaz de monitoreo, dispone de diversos entornos de análisis de los datos de consumo de caudal recolectados, que permiten la visualización, el estudio, seguimiento y comprensión precisa y en tiempo real, tanto en forma general como por cada habitante, permitiendo conocer el comportamiento del consumidor. Así como también la recaudación total del sistema por concepto de consumo y los gastos diarios y en promedio, donde la Figura 5.10 muestra cada uno de estos indicadores.



Figura 5.10 Sección de recaudaciones del sistema y gastos por consumo de agua potable.

Fuente: Editado por el Autor.

Para ello en las Figura 5.9, hasta la Figura 5.15 se aprecia la estructura del formulario de *Reportes Generales de Consumo*, en el cual se tiene varias secciones que desglosan la proyección



del consumo de caudal y su costo de una forma detallada, cuyos valores son obtenidos de la información almacenada en la DB InfluxDB, mostrando así la *cantidad de usuarios* registrados en el sistema como los; *días, meses, horarios, máximos y mínimos, el promedio, volumen anual recaudado*, del caudal adquirido expuestos mediante distintas representaciones de análisis como gráficas y tablas, que incluso para darle más intuición e interactividad se creó un menú de consulta SQL históricas, para obtener información en cualquier momento.



Figura 5.11 Formulario para reportes generales de consumo de caudal de agua potable de la población.

Fuente: Editado por el Autor.

Como se puede observar en la Figura 5.12, los datos obtenidos de consumo de caudal de agua potable son adquiridos en tiempo real, para su análisis e interpretación con lo cual comprobamos que la interfaz de monitoreo en Node Red procesa debidamente la información

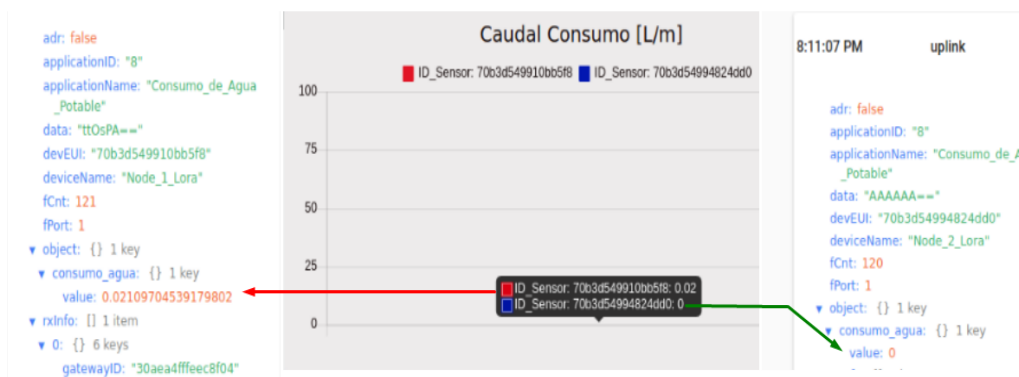


Figura 5.12 Recolección de datos en tiempo real en la interfaz gráfica.

Fuente: Editado por el Autor.

Una de las secciones de esta interfaz, permite el análisis de consumo por usuario de forma detallada, así como también calcular la tarifa de consumo de agua potable. Para ello mediante el



formulario *Sistema de Registro de Usuarios* el cual contiene los campos de datos personales, Id del medidor, y número de personas que hacen uso del servicio y conviven en el domicilio, cuyos parámetros hacen posible el ingreso y registro de consumidores en el sistema de gestión de consumo como se indica en la Figura 5.13. De manera que nos permite definir el número de habitantes y asignar un sensor de medición a cada familia, con lo cual podemos vincular su consumo de caudal.

ID Usuario	ID Medidor	Nombres Completos	Tipo Domicilio	Nº Personas	Dirección	Fecha Inscripción
302236930	70b3d54994824dd0	Hilda Azucena Lema Chimborazo	Vivienda Propia	4	Curiaco-Bajo	Wed Dec 25 2019 19:59:00 GMT-0500 (GMT-05:00)
undefined	undefined	undefined	undefined	undefined	undefined	undefined
undefined	undefined	undefined	undefined	undefined	undefined	undefined
undefined	undefined	undefined	undefined	undefined	undefined	undefined
undefined	undefined	undefined	undefined	undefined	undefined	undefined

Figura 5.13 Formulario de registro de usuarios y asignación de medidores por id.

Fuente: Editado por el Autor.

Hecho el registro de usuarios, podemos visualizar y analizar los datos de consumo de cada uno, para este propósito el formulario *Caudales de Usuario* ofrece los términos de verificación mediante el número de identificación del consumidor o del medidor, para su acceso. Para esto la Figura 5.14, muestra los campos de petición y las opciones de búsqueda y revisión del consumo, cabe mencionar que esta sección en breve resumen presenta un análisis de que usuario consume más, las horas pico de consumo, y cuantas personas hacen uso del servicio.



Figura 5.14 Interfaz de acceso a reportes de usuario.

Fuente: Editado por el Autor.



Luego de validadas las medidas de identificación, se accede a la interfaz de *Reportes De Usuario* donde se muestran varios indicadores de consumo tanto en forma gráfica como en tablas, consumo máximo, mínimo, mensual, anual, diario, promedio, horario y total en base a lo cual se calcula la tarifa, por consumo y uso del servicio de agua potable, del cliente. Un aspecto notable de esta sección de la interfaz como se indica en la Figura 5.15 es que puede hacerse consultas de datos históricos, mediante el campo intervalo de consulta que define los valores de fecha de inicio y fin, en el formato día/mes/año, para establecer el rango y cantidad de datos a representar para el análisis, y visualización de consumo de caudal de agua potable determinado.

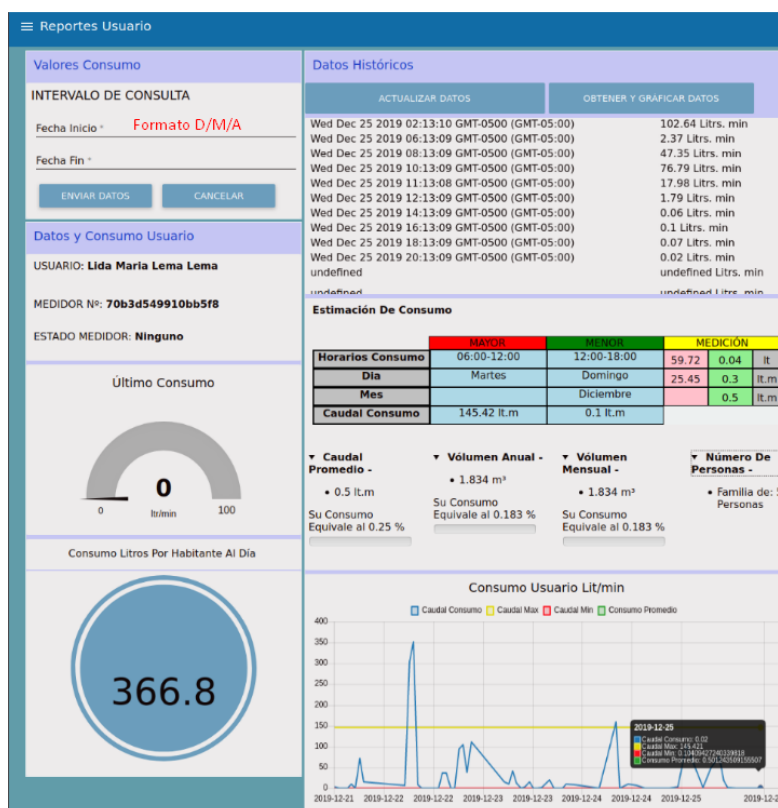


Figura 5.15 Interfaz de visualización de reportes consumo de caudal por usuario.

Fuente: Editado por el Autor.

Como se puede apreciar el sistema cumple con las expectativas de monitoreo y análisis, en el consumo de agua potable, sin embargo, para evidencia y dar certeza de su óptimo desempeño y funcionamiento se han realizado las siguientes pruebas en campo, haciendo uso de una medida fija como referencia de precisión y la correspondiente verificación de los valores de consumo esperados en los medidores de flujo de caudal tanto digital como analógico.

En la Figura 5.16 se aprecia la alta precisión del prototipo de sistema al tomar lecturas, que se corrobora con la medida de referencia, de forma que las lecturas reportadas por el sistema están debidamente calibradas, al hacer la comparación entre el medidor convencional y el digital.



Figura 5.16 Corroboración de calibración y precisión de lectura de los medidores del sistema.

Fuente: Editado por el Autor.

5.5 ENSAYOS DE ENLACE Y COBERTURA EN LOS EQUIPOS DE LA RED LORA

La red tiene una óptima comunicación en cada una de sus instancias respecto a los dispositivos y plataformas que agrupan la arquitectura LoRa. La potencia de la señal RSSI se halla en un valor por debajo de los -90 dBm generalmente e independiente del clima, mientras que el SNR por debajo de los 12 dBm, con una pérdida de paquetes despreciable (véase la Figura 5.17).

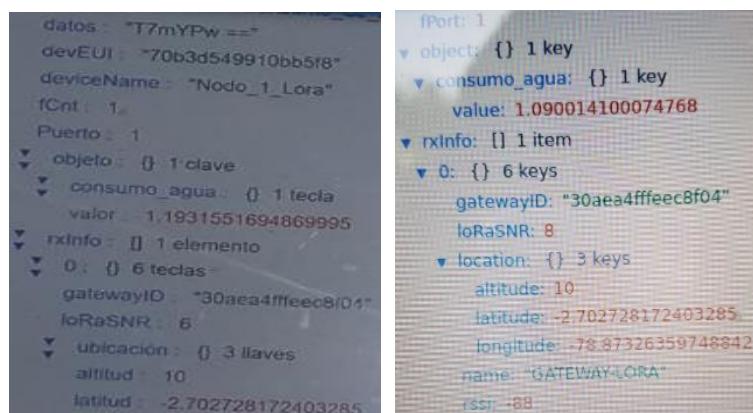


Figura 5.17 Corroboración de calibración y precisión de lectura de los medidores del sistema.

Fuente: Editado por el Autor.

5.6 COSTO DE IMPLEMENTACIÓN

Cabe mencionar que se ha estimado el costo aproximado de la implementación y el despliegue de la red LPWAN LoRa propuesta, a partir de la red de prueba con un Gateway y dos nodos como



referencia, para los cálculos de gasto en los valores de cada uno de los elementos empleados en la topología.

La Tabla 5.1 y la Tabla 5.2 muestran el cálculo financiado en la obtención de dispositivos, sensores y demás materiales y recursos necesarios, para implantar la red. Es preciso aclarar que en este análisis no se incluye el costo de instalación e ingeniería.

Tabla 5.1 Presupuesto estimado para la red de prueba LPWAN LoRa (Nodo).

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Placa de Desarrollo Pycom LoPy4	2	29,95	59,90
Sensor de Flujo de agua YFS-201	2	4,99	9,98
Antena Pycom LoRa and Sigfox – 915 MHz	2	11,95	23,90
Caja Plástica JSL LISA 100X100X55 MM (IP67)	2	4,50	9
Conectores PE PG11	4	0,40	1,60
Adaptador de Fuente de Voltaje (110 Vac – 5Vdc)	2	5	10
TOTAL DE NODO		57,19	114,38

Fuente: Editado por el Autor.

Tabla 5.2 Presupuesto estimado para la red de prueba LPWAN LoRa (Gateway).

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Placa de Desarrollo Pycom LoPy4	1	29,95	29,95
Pycom Expansion Board V3.1	1	21,95	21,95
Antena Pycom LoRa and Sigfox – 915 MHz	1	11,95	11,95
Caja Plástica JSL LISA 100X100X55 MM (IP67)	1	4,50	4,50



Caja Plástica JSL LISA 175X110X83 MM (IP67)	1	7,99	7,99
Conectores PE PG11	3	0,40	1,20
TOMA BTICINO P38 DOBLE POL.	1	1,67	1,67
Adaptador de Fuente de Voltaje (110 Vac – 5Vdc)	1	5	5
TOTAL DE GATEWAY		84,21	84,21

Fuente: Editado por el Autor.

Para definir el costo total de diseño de la red para las diversas estaciones citadas en este estudio, como es de conocimiento el número de nodos varía en función de la cantidad de enlaces diseñados, por lo cual se muestra en la Tabla 5.3 el financiamiento total requerido para comunicar las 527 estaciones planteados en nuestro proyecto, es de \$ 30,644.39 dólares que se detallan en la Tabla 5.4.

Tabla 5.3 Diseño de enlace a los estaciones.

Nº	ENLACES	Nº ESTACIONES
1	Red Curiacu	78
2	Red Cruzpamba	90
3	Red Gulanza	90
4	Red Cunchincay	89
5	Red Pesteron	88
6	Red Santuario	92
	TOTAL DE ENLACES	527

Fuente: Elaborado por el Autor.

Tabla 5.4 Costo total del proyecto.

TOTAL DE GATEWAYS	COSTO POR GATEWAY	COSTO TOTAL
6	84,21	505,26
TOTAL DE NODOS	COSTO POR NODOS	COSTO TOTAL
527	57,19	30,139.13
COSTO TOTAL DEL PRESUPUESTO		30,644.39

Fuente: Editado por el Autor.



Se infiere que el comportamiento de los consumidores en la población de prueba, se mantienen dentro los niveles óptimos de consumo de caudal de agua potable, establecidos en la Tabla 4.4. Esto permite fomentar hacia un uso más consciente del este recurso, e incluso incurrir en temas referentes al consumismo hídrico como es presunción de la huella hídrica, que es un carácter vital para obtener eficiencia y eficacia del gasto de agua, que alguna manera permita proteger y preservar las fuentes hídricas como propósito genérico del sistema y estudio planteado.

Respecto al cometido de la red LPWAN LoRa y sus componentes, se ha cumplido con los aspectos de fiabilidad, afinidad y escalabilidad. La red es segura al encriptar la información de promisión para difusión que puede ser modificable, siendo la única vía de acceso solo en dispositivos que basen sus enlaces en el estándar de comunicación LoRa y pasen los controles de acceso para ser admitidos e integrados a la red. El prototipo implantado tiene la flexibilidad para adquirir, procesar y disponer de información propicia y en detalle tanto de sus sensores como facultades de telecomunicación, en términos de la robustez la señal es óptima en climas despejados, pero ante presencia de lluvia, tormentas o formación de neblina se atenúa levemente por el aspecto de absorción y dispersión, afectando en un 4% la potencia de transmisión y un 2% la pérdida de paquetes, aumentando la latencia en un 3%.

Respeto a la interfaz gráfica permite una visualización detallada del consumo hídrico potable, de fácil acceso y sobre todo ofrece un despliegue dinámico para el seguimiento concerniente, pues sus distintos entornos de monitoreo son susceptibles de adaptarse a cualquier tamaño de pantalla donde se observa el análisis de caudal de consumo de una forma confortable y comprensible.

Creada y ajustada la red a nuestros requerimientos con la tecnología LoRa y necesidades de monitoreo y análisis en el consumo del caudal de agua potable. Es imprevisible a más de los costos dados, el mantenimiento de la red que se estipula su realización cada 7 años, con ello se consigue alargar la vida de los implementos y prevenir fallas o anomalías inherentes propias del funcionamiento.



CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

LoRa constituye una gran alternativa, como protocolo de comunicación flexible, escalable, confiable y practicable en el desarrollo de arquitecturas de red tecnológicas de alto nivel. Si el propósito es tener que cubrir considerables distancias, con un reducido consumo de energía y costo de implantación en dispositivos y plataformas, gran robustez de difusión de datos, para conservar la integridad de los paquetes ante posibles obstáculos en su trayecto, este estándar lo hace posible permitiendo que la cantidad de datos contenidos en los paquetes puedan ser tratados periódicamente. Las redes LPWAN conforman todas estas capacidades vistas y las pospone en una topología en estrella que ubican sus elementos, permitiendo armar arquitecturas tecnológicas de vanguardia. Al haber varias plataformas que ofrecen soporte a este estándar para elaborar redes IoT, dispuestas bajo la filosofía Open Source, las hacen atractivas para cualquier proyecto con LoRa, sobresaliendo frente de otras tecnologías como Sigfox, Zigbee, Wimax.

En ese sentido el presente proyecto implementa, un sistema que integra hardware y software orientado al monitoreo remoto. Con los beneficios de la utilización de la red LPWAN apoyada en el protocolo de comunicación LoRa, y conjuntamente mediante una interfaz de usuario amigable se logró tener el monitoreo del consumo de caudal de agua de la Junta Administradora de Agua Potable de la Comunidad de Gulanza, obteniendo buenas coberturas y transmisión confiables de los datos. La herramienta Node-red que se utilizó para este proyecto, nos permite una programación visual por flujo de nodos, y se puede programar remotamente desde un explorador, convirtiéndose en un aliado estratégico para el proyecto, evitando así la programación en java que haría del proceso más largo, en su lugar JavaScript es amigable para realizar la recolección y monitoreo de los datos mediante la interfaz gráfica.



La arquitectura propuesta ha mostrado ser compatible y adaptable, los componentes tanto de hardware como de software, a pesar de que fueron desarrollados de manera independiente al ser integrados se logró su correcto funcionamiento. Además, la instalación es viable en cualquier ambiente residencial, dado a que no requiere de muchos elementos de hardware y dispone de una gran variedad de elementos de software que se pueden utilizar.

6.2 RECOMENDACIONES

La placa de desarrollo Lopy v.4 de Pycom, tiene todo lo necesario en una sola tarjeta y su bajo costo y atributos inmejorables, para la comunicación inalámbrica a larga y corta distancia mediante varios protocolos la hacen muy competente en el mercado respecto de otros dispositivos de similares características. No obstante, requiere definirse planes estratégicos para colocar el producto, y así desplegar el dispositivo empleado en este sistema, para poder hacer uso de sus virtudes, siendo recomendable tenerlo constantemente actualizado a través de su firmware.

Bajo el protocolo de comunicación LoRa, es posible utilizar un mismo dispositivo LoPy distando solo de la configuración de nodo o Gateway, ofreciendo una potencia óptima en la penetración de la señal ante obstáculos, por lo que no precisa de una gran inversión permitiéndonos montar nuestra propia red de monitoreo LPWAN. Sin embargo, procurar prolongar el desarrollo de este estándar, respecto a otros tipos de protocolos hará posible construir redes inalámbricas de gran potencial, ampliando su aplicación.

La conexión a internet del Gateway es un aspecto de importancia, pues no permite conexiones con una red abierta disponible, como tampoco se adhiere con todas las entidades que brindan el servicio. La primera por cuestiones de seguridad y la otra por el bloque de los puertos de recepción de datos que utiliza el dispositivo. Respecto al funcionamiento la ubicación de la antena y su tipo, cobran relevancia en la calidad del enlace, como también los cables extensores ya que la dimensión de estos genera pérdidas. Se propone utilizar antenas direccionales mayores a 5dBi y para mejorar el factor de pérdida, situando los equipos electrónicos en la parte alta del soporte de la antena, para evitar el uso de cables adicionales. El sistema presentado brinda un análisis completo del consumo de caudal de agua potable, pero podemos mejorarlo si realizamos un sistema de notificación sobre avisos de suspensión o facturas de pago y consumo del servicio.



BIBLIOGRAFÍA

- Andreu, S. V. (2018). *Diseño de redes IoT con aplicaciones en la gestión de aparcamientos urbanos y la recopilación de datos en entorno agrícola*. Retrieved from http://oa.upm.es/51978/1/PFC_SERGIO_VERA_ANDREU_2018.pdf
- Automatizados. (n.d.). *Internet de las cosas larga distancia, baja potencia*. Retrieved from <https://cdn.instructables.com/ORIG/FWC/2GP1/IRXT2RQ0/FWC2GP1IRXT2RQ0.pdf>
- Baditoiu, I. (2018, Junio). *Information transmission between a terrestrial drone and an UAV*. Retrieved from https://speed.pub.ro/speed3/wp-content/uploads/2018/07/Baditoiu_loana.pdf
- Barbosa, R. M. (2017, Julio 28). *Sistema de Monitorización de consumo de agua utilizando tecnología Sigfox*. Retrieved from <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/106909/2/208281.pdf>
- Barrera, C. L. (2017). *Sistema para la medición de gases de efecto invernadero mediante protocolos del Internet de las cosas, alineado al cumplimiento de los compromisos de Colombia ante las Naciones Unidas*. Retrieved from <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10735/2018Villatecesar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bermejo, C. O. (2018, Mayo). *Smart Sensor basado en módulo Lopy*. Retrieved from https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/120688/Carlos_Orellana_Degree_Thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Campos, P. E. (2017). *Evaluación del Rango de Transmisión de LoRa para Redes de Sensores Inalambricas con LoRaWAN en Ambientes Forestales*. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/128312964.pdf>
- Castellón, S. G. (2007, Diciembre). *Manual para radiomobiel para windows*. Retrieved from Simulador de propagación de estaciones de radio: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6990/Manual_Radiomobile2008.pdf?sequence=9&isAllowed=y
- Commission(IEC), I. E. (2014). *Internet of things: Wireless sensor networks*. Retrieved from <https://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-internetofthings-LR-en.pdf>
- CONAGUA. (2016, Abril). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. In CONAGUA, *Sistema de Medición del Agua: Producción, Operacion y Consumo* (p. 170). México: Secretaría de medio Ambiente y Recursos Naturales. Retrieved from *Sistemas de medición del agua: producción, operación y consumo*: <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro9.pdf>
- Díez, A. R. (2017, Septiembre). *Integración de dispositivos IoT en una red comunitaria*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10810/23790>



- Electronics, M. (2019). *LoRa Antenna*. Retrieved from <https://www.mouser.mx/ProductDetail/Pycom/LoRa-Antenna?qs=%2Fha2pyFadui5LshzCLY7DU1NBTgYlQ8FbDQzYlA6ii%2FyQd7a29LszRYzeHzu44wY>
- Electronics, M. (2019). *nte Antenas*. Retrieved from https://www.mouser.ec/Passive-Components/Antennas/_/N-8w0fa?keyword=nte
- Ferreira, P. M. (2019, Junio 2019). *Multi-Protocol Sensor Node for Internet of Things (IoT) Applications*. Retrieved from <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/121936/2/347026.pdf>
- FM, Y. (2018, Julio). *Que es Arduino, cómo funciona y que puedes hacer con uno*. Retrieved from <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- Fraga, G. F. (2018). *EstGeiger: Proposta de solução IoT para medição de níveis de radiação com transmissão LoRa*. Retrieved from http://nerds.ufes.br/download/pub-32-Projeto_Graduacao_GabrielFraga_v2.2.pdf
- Gabriel, J. R. (2014, Mayo). *Diseño y construcción de un sistema de medición inteligente para la gestión de la energía eléctrica y medición de agua potable en los hogares*. Retrieved from <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8293/1/T-ESPEL-ENI-0321.pdf>
- García, M. R. (2016, Diciembre). *Sistema de transmisión de imágenes sobre plataforma de bajo consumo y largo alcance (System of image transmission on low power, long range platform)*. Retrieved from <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/9861/389250.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García, R. P. (2017, Febrero 5). *Evaluación de LoRa/LoRaWAN para escenarios de Smart Cuty*. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100922/memoria.pdf>
- Giménez, S. M. (2017, Julio 4). *Red de acceso óptica IoT para la gestión eficiente de la energía en el campus de Vera*. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/91590/MART%C3%8DNEZ%20-%20Red%20de%20acceso%20%C3%B3ptica%20IoT%20para%20la%20gesti%C3%B3n%20eficiente%20de%20la%20energ%C3%ADa%20en%20el%20Campus%20de%20Vera..pdf?sequence=1>
- GitHub. (2019). *Gateway LoRa con LoPy4*. Retrieved from https://github.com/makers-bierzo/TTN-Bierzo/blob/master/TTN_Microcontrolador/LoRaWAN/Gateway_LoPy4/readme.md
- González, J. I. (2016). *Interfaz máquina-maquina para el control de presión que ejercen las bombas de distribución de agua en unidades habitacionales*. Retrieved from <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/62450/Tesis%205-split-merge.pdf?sequence=3>
- González, M. D. (2017, Mayo 15). *Desarrollo de una pasarela LoRa y evaluación de prestaciones*. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/91597/CARRI%C3%93N%20-%20Desarrollo%20de%20una%20pasarela%20LORA%20y%20evaluaci%C3%B3n%20de%20prestaciones.pdf?sequence=1>
- Gutiérrez, D. G. (2017, Febrero). *Sistema electrónico de control para toldo conectado a internet*. Retrieved from <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/23068>



- hacks, C. (n.d.). *Multiprotocol Rdio Shield V2.0. Tutorial para Arduino*. Retrieved from <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/multiprotocol-shield-connect-two-xbee-connector-arduino-raspberry-pi-galileo/>
- Invent, P. G. (2017). *Expansion Board 2.0*. Retrieved from <https://pycom.io/wp-content/uploads/2018/08/expansionBoard2SpecsheetJune.pdf>
- INVENT, p. G. (n.d.). *LoPy 4*. Retrieved from https://docs.pycom.io/gitbook/assets/specsheets/Pycom_002_Specsheets_LoPy4_v2.pdf
- Jaramillo, W. F. (2017). *Diseño y estudio del uso de una red LPWAN(Low Power Wide Area Network) para la optimización de la medición comunicación y corrección de errores en el consumo de agua potable*. Retrieved from Caso de estudio en urbanizaciones ubicadas en la periferia de la ciudad de Guayaquil: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/129139/D-CD106475.pdf>
- Leguizamo, J. C. (2018). *Prototipo de solución IoT con tecnología "LoRa" en monitoreo de cultivos agrícolas*. Retrieved from <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13388/1/TrianaUsecheJordanCamilo2018.pdf>
- Llamas, L. (2016, Diciembre 13). *Medir Caudal y Consumo de Agua cn Arduino y Caudalímetro*. Retrieved from <https://www.luisllamas.es/caudal-consumo-de-agua-con-arduino-y-caudalimetro/>
- Lourdes Alexandra Vera Medina, B. E. (2018). *Diseño de una red LPWAN basado en tecnologia LoRa para las estaciones hidrometereológicas*. Retrieved from <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/47558/D-CD106675.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- Luna, I. A. (2012, Marzo). *Menú de Opciones Tecnológicas para el Abastecimiento de Agua Potable en la Costa Caribe*. Retrieved from http://www.mdgfund.org/sites/default/files/EDG_MANUAL_Nica_Menu%20Opciones%20Tecnologicas%20A%20and%20S.pdf
- Martínez, F. B. (2013, Marzo). *Contadores de agua*. Retrieved from Instituto Aragonés del agua: https://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Organismos/InstitutoAragonesAgua/Documentos/Areas_Tematicas/02_Abastecimiento_Agua_Potable/Contadores_09_2015.pdf
- Mechatronics, N. (n.d.). *Tutorial sensor de flujo de agua*. Retrieved from https://naylampmechatronics.com/blog/47_tutorial-sensor-de-flujo-de-agua.html
- Mendoza, I. E. (2018, Agosto). *Monitoreo de variables ambientales para prevenir incendios forestales*. Retrieved from <http://laboratorios.fi.uba.ar/lse/tesis/LSE-FIUBA-Trabajo-Final-CESE-Elias-Alejandro-Ano-Mendoza-2018.pdf>
- Moreano Abata, A. R. (2019). *Diseño e Implementación de un Sistema Distribuido Empleando Protocolo de Comunicación Industrial enfocados a los Objetos (IIoT), para el Control y Monitoreo Remoto en Tiempo Real (RT) a través de la Web en el Laboratorio de Hidrónica y Neutrónica*. Retrieved from Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE Extensión Latacunga:



- <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/15631/T-ESPEL-EMI-0361.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=138&zoom=100,0,458>
- Muñoz, J. (2019). *LoRa technology*. Retrieved from <https://www.academia.edu/29247493/LORA>
- Ortiz, G. J. (2017, Julio 21). *Diseño y fabricación de capa de comunicaciones basada en LoRa para plataforma modular de redes de sensores inalámbricas*. Retrieved from http://oa.upm.es/49131/1/TFG_GONZALO_JAVIER_GOMEZ_ORTIZ.pdf
- Páez, S. S. (2015, Marzo 17). *Coordinación de grandes usuarios y uso de eficiente del agua*. Retrieved from https://cmasxalapa.gob.mx/pdf/conoce_tu_medidor.pdf
- Paredes, J. S. (2018). *Desarrollo de un sistema para la creación automática de mapas de cobertura LoRa*. Retrieved from https://eprints.ucm.es/51609/1/298844_JONATHAN_S%C3%81NCHEZ_PAREDES_MemoriaTFM_3830550_1798427091.pdf
- Peiró, J. L. (2017, Enero 22). *Análisis y diseño de una red de sensores en un parque natural*. Retrieved from <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/59925/3/ecordobapTFG0117mem%C3%B2ria.pdf>
- Polidura., J. C. (2019, Octubre). *Despliegue y Evaluación de una Red Onsite LoRaWAN Basada en The Things Network Stack versión 3*. Retrieved from <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/17087/420136.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramirez, J. M. (2018, Julio 26). *Implementación de un gateway low-cost para el protocolo LoRa*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11349/13877>
- Rodríguez, S. E. (2017, Septiembre 8). *Internet de las cosas: una visión didáctica y experimental*. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/110904/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Romas, K. M. (2017). *Diseño y evaluación de una red peer-to-peer con protocolo de comunicacion LoRaWAN para ampliar la cobertura del sistema RTK-GPS para aplicaciones de captura de imagenes mediante un UAV en entornos de densa vegetación*. Retrieved from <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/102917/D-106326.pdf>
- Rosa, P. M. (2018, Septiembre 20). *LPWAN como base de comunicaciones para IoT*. Retrieved from <https://blog.pandorafms.org/es/que-es-lpwan/>
- S.L, L. C. (2017, Febrero). *Wasp mote-LoRa-868 MHz_915 MHz-SX1272. Networking Guide*. Retrieved from http://www.libelium.com/downloads/documentation/wasp mote_lora_868mhz_915mhz_sx1272_networking_guide.pdf
- Sáenz Esteban, R. (2018). *Estudio de los parámetros principales de la tecnología LoRa para el despliegue de redes e implementación de servicios IoT en la CAV-EAE*. Retrieved from https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/29372/TFG_Rub%C3%A9nS%C3%A1enzEsteban.pdf?sequence=1&isAllowed=y



- Salazar, I. A. (2006, Enero). *Diseño de la red de distribución de agua potable de las comunidades del Tigrito, Mataruca y el Pardillal Municipio Guaicaipuro, Estado Miranda*. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/372648624/000130946-Tes-Is>
- Sallemine, A. (2019, Septiembre 04). *An Open-Source Approach to Wireless Internet of Things (Iot): Smart Agriculture Proof-of Concept Using FIWARE*. Retrieved from [http://pauwescop.net/library/bitstream/handle/1/355/Abdelkader%20SALLEMINE%20FINAL%20VERSION%20PRINT%20\(1\).pdf?sequence=1](http://pauwescop.net/library/bitstream/handle/1/355/Abdelkader%20SALLEMINE%20FINAL%20VERSION%20PRINT%20(1).pdf?sequence=1)
- Salud, O. M. (2017, Febrero 2). *Debemos consumir 100 litros de agua al día por persona, pero consumimos hasta 250 litros*. Retrieved from <https://www.actualidadambiental.pe/debemos-consumir-100-litros-de-agua-al-dia-por-persona-pero-consumimos-hasta-250-litros/>
- Sánchez, A. R. (2018, Septiembre). *Sumidero híbrido para redes inalámbricas de sensores*. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/112044/Risue%C3%B1o%20%20Sumidero%20h%C3%ADbrido%20para%20redes%20inal%C3%A1mbricas%20de%20sensores.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sanmartín, C. M. (2017, Junio). *Diseño y desarrollo del sistema de comunicaciones inalámbrico de un enjambre de UAV'S colaborativos*. Retrieved from <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/19652>
- Stalin, N. V. (2016). *Diseño, reconstrucción e implementación del modular didáctico para control de nivel, caudal y temperaturabasado en autómatas programables usando software libre*. Retrieved from <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12467/1/T-ESPE-053588.pdf>
- Systems, A. (2012, Julio). *Propuesta para soluciones de Smart Metering mediante tecnología WIMAX de Albentía Systems*. Retrieved from http://www.albentia.com/Docs/WP/ALB-W012-000es_A1-Smartmetering.pdf
- Tecnoaqua, D. d. (2015, Marzo). *Las smart water y el control del consumo de agua: ¿qué papel juegan los contadores?* Retrieved from https://www.tecnoaqua.es/descargar_documento/reportaje-smart-water-control-consumo-agua-papel-contadores-tecnoaqua-es.pdf



Anexos



ANEXO A

Requisitos previos para la instalación de plataformas en la Nube y editor de MicroPython

A.1 Instalación de Node Red en Linux

Al optar por un sistema operativo de código abierto como es Ubuntu de Linux, es sencilla la instalación de software, libre de virus y descarga gratuita, desde los repositorios oficiales para obtener las versiones originales y licencias Open Source. Ante ello es preciso definir algunos pasos para la instalación de Node Red en Ubuntu.

1. Es recomendable actualizar los paquetes, directorio y software del sistema operativo con los códigos *sudo apt-get update* y *sudo apt-get upgrade*. Para disponer de las últimas versiones de software.
2. Seguido se instala el editor de Java Script *nodejs* mediante el comando *sudo apt-get install nodejs-legacy*.
3. Instalamos el gestor de paquetes NPM, para facilitar la instalación y administración de cualquier librería, a través del comando *sudo apt-get install npm*.
4. Instalamos Node Red con el NPM mediante el comando *sudo npm install -g --unsafe-perm node-red node-red-admin*, Definimos el puerto de comunicación con el comando *sudo ufw allow 1880* que es configurable.
5. Finalmente configuramos el fichero de Node Red para convertirlo en servidor y opcionalmente la restricción de acceso haciendo uso de los comandos *sudo vi /etc/systemd/system/node-red.service*, *sudo systemctl daemon-reload*, *sudo systemctl enable node-red.service*, *sudo systemctl start node-red.service*, y *sudo systemctl status node-red.service*.



A.2 Requisitos para la instalación del servidor de comunicaciones LoRa Server

Para la puesta en marcha del servidor es necesaria la incorporación de los siguientes complementos por su arquitectura de partes, requeridos para la instalación y configuración de LoRaServer en Ubuntu:

- I. Los comandos de configuración e instalación están disponibles desde la página oficial de LoRa Server. <https://www.loraserver.io/>. Se instaló los complementos para ejecutar los métodos del servidor en la nube, visualizados en un navegador web.
 - a. Servidor Mosquito, es utilizado para las conexiones por el protocolo MQTT en la suscripción y publicación de datos que confiere la plataforma.
 - b. Modulo Lora Server, contiene las definiciones del protocolo LoRa para integrar dispositivos, asociados a este estándar.
 - c. Modulo LoRa Bridge activa los servicios de LoRa, permitiendo la comunicación de equipos configurados como Gateway o Nodos, para anexar la información, así como también la interoperabilidad con aplicaciones y bases de datos externas o creación de aplicaciones para añadir dispositivos nuevos.
 - d. Servidor de base de datos PostgreSQL, es utilizado para almacenar información de los equipos conectados a la red, y puede comunicarse con servidores de base de datos externos Postgress.

A.3 Instalación de Pymark en el Editor

Para la programación y configuración de módulos Lopy 4 necesitamos, el complemento o plugin Pymark de Atom, por medio del *install a Package* del editor Atom realizaremos la instalación. El plugin lo podemos descargar desde la página oficial de Pycom.

<https://docs.pycom.io/pymakr/installation/atom/>



ANEXO B

Aspectos del sistema LPWAN mediante el protocolo LORA

B.1 Disposición previa de equipos para la instalación de la red LPWAN



Figura B. 1 Disposición de equipos para montar la arquitectura de la red LPWAN.

Fuente: El Autor.



Figura B. 2 Partes del circuito de adaptación para módulo Lopy4 y sensor de flujo en el nodo 1 y nodo 2.

Fuente: El Autor.



B.2 Implementación de la red LPWAN LORA

Implementación Nodo 1

La implementación de este sistema LoRa tuvo lugar en uno de los domicilios, de los abonados que se prestan al servicio de agua potable, precisamente en el sector de Curiacu Bajo de la parroquia Gulanza. El equipo de adquisición de datos de consumo de caudal, se halla a una distancia del Gateway de 70 mts.



Figura B. 3 Implementación del nodo 1 de la arquitectura de red LPWAN LoRa.

Fuente: El Autor.

Implementación Nodo 2

Los equipos se lo implementó en el sector de Curiacu Bajo mismo que se encuentra a una distancia de 720 mts del Gateway.



Figura B. 4 Ubicación e implementación del Nodo 2 en línea de vista al Gateway, de la red LPWAN LoRa.

Fuente: El Autor.

Ubicación del Gateway

El Gateway está colocado a altura de 13 mts montado en soporte de tubo galvanizado, en la casa de uno de los usuarios del servicio. El equipo tiene vista hacia Cunchincay y Gulanza, gracias a su antena omnidireccional, puede radiar su potencia hacia todas las direcciones 360° abarcando la cobertura de la red hacia los nodos instalados.

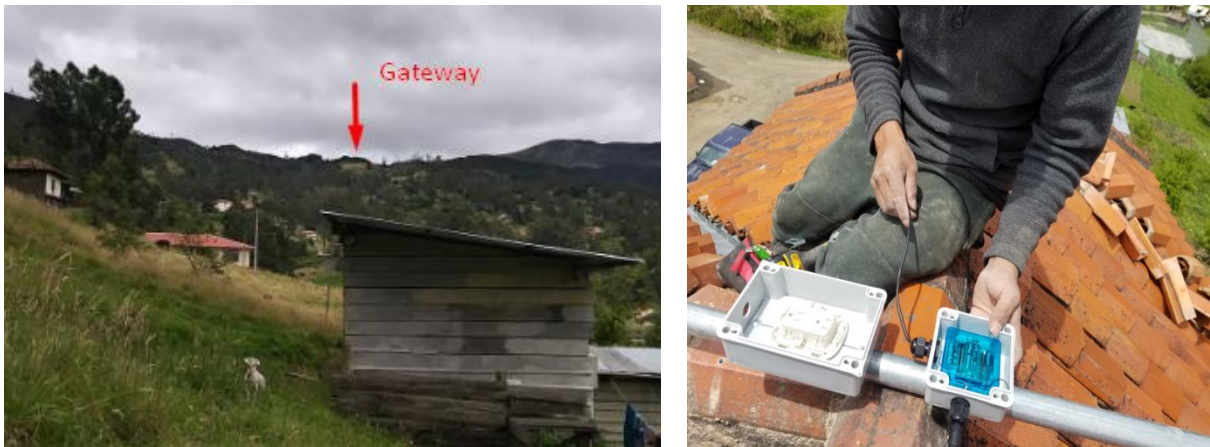


Figura B. 5 ubicación e instalación del Gateway en la arquitectura de red LPWAN LoRa.

Fuente: El Autor.



Figura B. 6 Implementación completa del Gateway en la vivienda, con ello la red LPWAN LoRa queda armada y lista para operar.

Fuente: El Autor.

Verificación de funcionamiento de los nodos

Implantada la red, es momento de validar su funcionamiento los módulos Lopy4 cuentan con un señal de luz intermitente *color azul*, para este fin como indicador de operación.

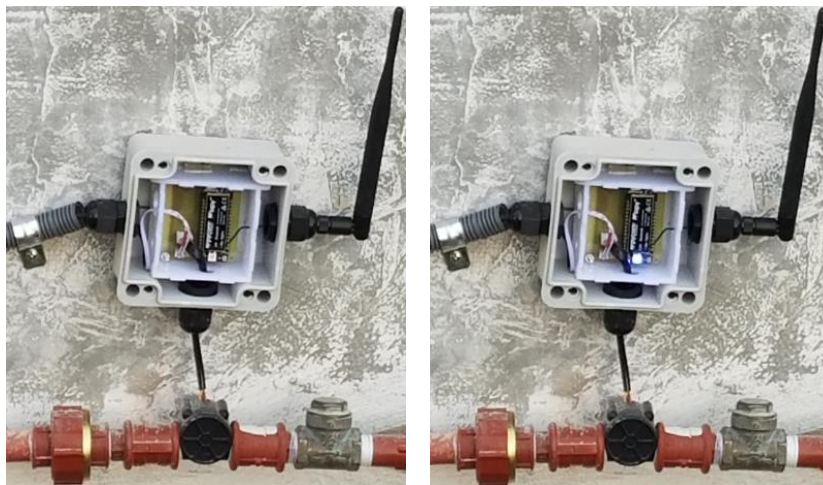


Figura B. 7 Verificación y validación de funcionamiento de los nodos mediante la luz señalizadora intermitente del módulo LoPy v.4

Fuente: El Autor.



B.2 Integración y conexión de Gateway y nodos en Lora Server

Se tienen los parámetros de conexión y cobertura de los dispositivos y su vinculación con la aplicación creada en Lora Server, para la arquitectura de nuestra red Lora tipo estrella.

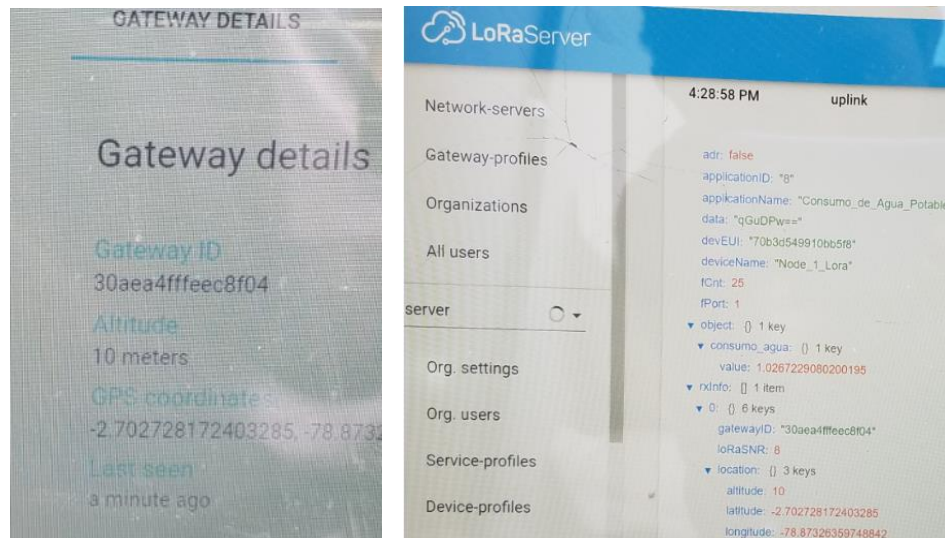


Figura B. 8 Enlaces con Gateway y nodos en LoRaServer.

Fuente: El Autor.

B.3 Conexión de la arquitectura con otras plataformas

Plataforma TTN (The Things Network)

Es una organización, cuya intención es ofrecer la creación de redes distribuidas y descentralizadas para IoT, bajo la filosofía Open Source. Cuenta con servidores en la nube y sus propios Gateways TTN, operados mediante la cobertura de red celular. Ofrece soporte a varios protocolos entre ellos LoRa. Para nuestro caso se realizará la prueba de los nodos y Gateway, que pueden ser visualizados a través de internet desde cualquier parte del mundo. Por lo que se recomienda crear una cuenta de usuario en TTN, para disponer de los servicios y de los datos subidos en el servidor de TTN, este sistema permitió analizar la operabilidad e interoperabilidad de nuestra arquitectura de red LPWAN LoRa propuesta.



Figura B. 9 Pruebas realizadas en TTN con la red propuesta.

Fuente: El Autor.

B.4 Monitoreo del consumo desde la interfaz UI

La interfaz gráfica monitorea en tiempo real, la información del proceso de medición de caudal, además organiza los datos en tablas, en campos y etiquetas a fin de facilitar la adquisición de datos y entablar vínculos relacionales, por consultadas SQL hechos en InfluxDB.

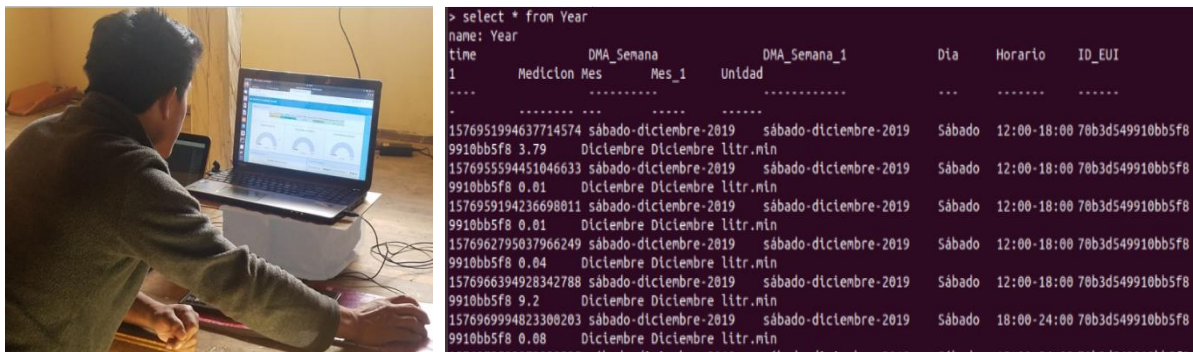


Figura B. 10 Monitoreo de consumo de agua potable y valores de los parámetros característicos del proceso en el sistema, gestionados por Node Red.

Fuente: El Autor.



ANEXO C



UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CUENCA

COMUNIDAD
EDUCATIVA
SERVICIO DEL PUEBLO

CENTRO DE IDIOMAS

ABSTRACT

The Internet represents a platform for the development of new technological potentials with great impact and relevance for its future, offering solutions to several problems. The Internet of Things (IoT) provides an infrastructure for integrating and interconnecting devices and people, where the exchange of information or the installation of devices is managed and administered in a relevant and independent way, and where everyone can access it.

It is essential, given the wide range of IoT devices, to optimize resource use in communication technologies. In our case, we are seeking one for sending information between several link points in order to create a network, with a long-range level of coverage, low power consumption, accessible implementation and cost, for which Pycom's Lopy is the best option.

This project proposes the design of a LPWAN network based on the LoRa/LoRaWAN communication protocol, using a LoRaServer and Lopyv.4 devices, which together are nodes and gateways in a star type data network topology, which aims to manage the drinking water consumption of the Gulanza Community of the Biblián Canton, through a graphic interface developed in Node Red, by allowing to analyze and display in real-time the consumption of the population, thus optimizing the measurement processes, and timely access to the information, with a modern technology, to benefit and adapt it to our needs.

KEYWORDS: LPWAN NETWORK, LORA COMMUNICATION PROTOCOL, LORASERVER COMMUNICATIONS SERVER, GRAPHIC INTERFACE NODE NETWORK, NODES AND GATEWAYS WITH LOPYV DEVICES.4.

Azogues, 20 de enero del 2020

EL CENTRO DE IDIOMAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA, CERTIFICA QUE EL DOCUMENTO QUE ANTECEDE FUE TRADUCIDO POR PERSONAL DEL CENTRO PARA LO CUAL DOY FE Y SUSCRIBO

Abg. Liliana Urgilés Amoroso, Esp.
COORDINADORA CENTRO DE IDIOMAS AZOGUES




ANEXO D





ANEXO E

 Universidad Católica de Cuenca

PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, JOSE GUSTAVO LEMA MOROCHO, portador (a) de la cédula de ciudadanía Nro., 1719483271. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED LPWAN PARA MEDIR EL CONSUMO DE AGUA POTABLE DOMICILIARIA UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA LoRa DE BAJO COSTO PARA LA JUNTA ADMINISTRATIVA DE AGUA DEL SECTOR DE GULANZA DE LA PARROQUIA BIBLIÁN-CANTON BIBLIÁN"** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de Los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, 27 de febrero de 2020


F:
JOSE GUSTAVO LEMA MOROCHO
1719483271

www.ucacue.edu.ec

Cuenca: Av. de las Américas y Torpúl. Telf: 2620751, 2624365, 2626867. Azogues: Campus Universitario "Luis Cordero El Grande", (Frente al Terminal Terrestre). Telf: 333 75 2242 - 613, 2243 444, 2245 305, 2241 587. Caltan: Calle Antonio Ariza Clavijo. Telf: 072235262, 072235270. San Pablo de la Troncal: Cofa. Universitaria. Av. T2 Quilónova Este y Primera Sur. Telf: 2424110. Macas: Av. Cap. José Velasco y/o. Telf: 2700088, 2700082.



ANEXO F



El Bibliotecario de la Sede Azogues

CERTIFICA:

Que: LEMA MOROCHÓ JOSE GUSTAVO, con cédula de ciudadanía Nro. 1719483271, de la Carrera de INGENIERIA ELECTRONICA.

No adeuda libros, a esta fecha: 27 de febrero del 2020.



Byron Alonso Torres Romo
Bibliotecario

Biblioteca Universitaria
MONS. "FROILAN POZO QUEVEDO"

www.ucacue.edu.ec

Quince Av. de las Américas y Tumbaco. Telf: 3200722, 3200723, 3200724. Azogues: Carrera Universitaria "Luis Candero El Grande", (frente al Terminal Terrestre).
Telf: 333701241 - 333701242, 333701243, 333701244. Cuenca: Calle Calles Ancha y Santa Catalina. Telf: 32228026, 32228027. San Pablo de la Troncal: Calle Universitaria.
Ave 72 Quilacayá 100 y Primera Sur. Telf: 2642119. Macas: Av. C.A. José Villanueva s/n. Telf: 2760303, 2760302.