



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE**  
**COMUNICACIÓN**

**“DISEÑO DE UNA RED LPWAN DE MEDICIÓN DEL CONSUMO DE AGUA  
POTABLE PARA LA COMUNIDAD SAN AGUSTÍN DE CAJAS PERTENECIENTE  
A LA JUNTA DE AGUA MOJANDA-YANAHURCO”**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**AUTOR: HENRY LEONEL CUASCOTA MÉNDEZ**

**DIRECTOR: MSC. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN**

**ASESOR: MSC. LUIS EDILBERTO SUÁREZ ZAMBRANO**

**Ibarra-Ecuador**

**2023**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**

**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.**

**IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DEL CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD</b>	1004681100		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	Cuascota Méndez Henry Leonel		
<b>DIRECCIÓN</b>	Gonzales Suarez, Comunidad Caluqui		
<b>E-MAIL</b>	hlcuascotam@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO</b>		<b>TELÉFONO</b>	0981169396

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO</b>	“Diseño de una red LPWAN de medición del consumo de agua potable para la comunidad San Agustín de Cajas perteneciente a la junta de agua Mojanda-Yanahurco”
<b>AUTOR</b>	Cuascota Méndez Henry Leonel
<b>FECHA</b>	19 de octubre de 2023
<b>PROGRAMA</b>	Pregrado
<b>TÍTULO</b>	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación
<b>DIRECTOR</b>	Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón, MSc.

Firma:

Nombre: Henry Leonel Cuascota Méndez

**2. CONSTANCIAS**

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 19 días del mes de octubre de 2023

**EL AUTOR:**



Cuascota Méndez Henry Leonel



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CERTIFICACIÓN.**

MAGISTER JAIME MICHILENA, DIRECTOR DEL PRESENTE  
TRABAJO DE TITULACIÓN:

Que, el presente trabajo de Titulación "DISEÑO DE UNA RED LPWAN DE MEDICIÓN DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD SAN AGUSTÍN DE CAJAS PERTENECIENTE A LA JUNTA DE AGUA MOJANDA-YANAHURCO" Ha sido desarrollado por el señor Henry Leonel Cuascota Méndez bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor de la verdad.

Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón, MSc.

CI: 1002198438

DIRECTOR

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi mamá y mis hermanos, quienes a pesar de las dificultades presentadas a lo largo de nuestras vidas han sido siempre inculcadores de valores y respeto. En especial a mi madre que incluso en los momentos más difíciles siempre supo mantenernos firmes para lograr nuestras metas.

A mi esposa Maribel y mi hija Valery quienes estuvieron siempre presentes en las largas horas de estudio, en los momentos de incertidumbre y los desafíos académicos, siempre estuvieron a mi lado, brindándome su apoyo inquebrantable. Su paciencia para escuchar mis preocupaciones, su consejo sabio y la confianza que depositaron en mi capacidad de triunfar han sido fundamentales para mantenerme firme en este camino.

Henry Leonel Cuascota Méndez

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, a dios por ser el creador de vida, por saber guiarme e iluminar mi camino en cada paso.

A mi madre y hermanos, quienes me han brindado su respaldo constante y sus palabras de aliento. Sus gestos de cariño han sido una fuerza impulsora en los momentos más desafiantes, y han hecho que cada logro sea aún más significativo. Un agradecimiento especial para mi hermano Javier Cuascota y mi esposa Maribel Tocagón su influencia y aportes han dejado huellas imborrables en mi trayectoria y han enriquecido mi perspectiva.

Agradezco a mi tutor Ing. Jaime Michilena, quien con sus conocimientos supo guiarme en las diferentes etapas de este proyecto, para así obtener los resultados esperados.

Agradezco a todos los docentes de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación, quienes han sabido impartir sus conocimientos y valores que nos acompañaran en adelante.

Henry Leonel Cuascota Méndez

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN .....	II
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	II
CONSTANCIA.....	III
CERTIFICACIÓN .....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVII
ÍNDICE DE ECUACIONES. ....	XIX
RESUMEN .....	XX
ABSTRACT.....	XXI
1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES .....	1
1.1. Tema .....	1
1.2. Problema .....	1
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Alcance .....	4
1.5. Justificación .....	7

2.	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	9
2.1	Agua Potable .....	9
2.1.1	Consumo y desperdicio del agua en el Ecuador. ....	9
2.1.2	Lectura de consumo de agua tradicional.....	10
2.1.3	Sistema de abastecimiento de agua potable. ....	10
2.2	Medidores de agua .....	12
2.2.1	Tipos de medidores de agua tradicionales. ....	12
2.2.2	Medidor de agua electrónico.....	14
2.2.2.1	Medidor de agua electrónico efecto Hall. ....	15
2.2.2.2	Micromedidor de agua GPRS para IoT. ....	16
2.3	Control del flujo de agua mediante la Electroválvula.....	17
2.4	Hardware libre. ....	18
2.4.1	Arduino .....	18
2.4.2	Raspberry Pi.....	19
2.5	Software libre.....	20
2.5.1	IDE ARDUINO. ....	20
2.6	Tecnología de acceso inalámbrico.....	21
2.6.1	Tecnología LPWAN .....	22
2.6.2	Tecnología LoRA.....	23
2.6.3	Protocolo LoRAWAN .....	23
2.6.3.1	Arquitectura LoRAWAN.....	24
2.6.3.2	Clase de dispositivos LoRAWAN. ....	25
2.6.3.3	Tasa de transferencia de datos. ....	28
2.6.3.4	Seguridad en una red LoRAWAN. ....	29

2.6.3.5	Modulación .....	30
2.6.3.6	Estructura del paquete LoRA.....	31
2.7	Modelo en V .....	32
3	CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	34
3.1	Descripción general del sistema.....	34
3.2	Análisis de la situación actual.....	35
3.3	Requerimientos.....	41
3.3.1	Stakeholders.....	42
3.3.2	Requerimientos de stakeholders.....	43
3.3.3	Requerimientos del Sistema.....	44
3.3.4	Requerimientos de Arquitectura.....	46
3.4	Selección de Hardware y Software.....	48
3.4.1	Selección de Hardware.....	48
3.4.1.1	Elección del Gateway LoRA.....	49
3.4.1.2	Elección Módulo LoRA (Nodo) .....	50
3.4.1.3	Elección de la placa de procesamiento.....	51
3.4.1.4	Elección sensor de flujo de agua.....	53
3.4.1.5	Elección de la electroválvula.....	55
3.4.2	Selección del Software.....	57
3.4.2.1	Elección software para la placa de procesamiento.....	57
3.4.2.2	Elección de la plataforma de almacenamiento.....	58
3.5	Diseño del sistema.....	59
3.5.1	Diagrama de arquitectura del sistema.....	59
3.5.1.1	Fuente de alimentación.....	60

3.5.1.2	Nodo sensor. ....	61
3.5.1.2.1	Diagrama de flujo nodo sensor.....	61
3.5.1.2.2	Diagrama de conexión sensor flujo de agua.....	62
3.5.1.2.3	Medir el consumo del agua.....	63
3.5.1.2.4	Diagrama de conexión Electroválvula.....	65
3.5.1.2.5	Funcionamiento electroválvula. ....	66
3.5.1.3	Nodo Gateway .....	67
3.5.1.4	Comunicación LoRA Gateway y Shield LoRA.....	68
3.5.1.4.1	Configuración Gateway.....	69
3.5.1.4.2	Configuración de la plataforma TTNv3 Registro Gateway y shield LoRA. ....	71
3.5.1.4.3	Registro Gateway. ....	71
3.5.1.4.4	Registro shield.....	73
3.5.1.5	Comunicación Inalámbrica establecer llaves.....	75
3.5.2	Comunicación establecida entre Gateway y shield.....	77
3.5.2.1	Potencia del Receptor. ....	79
3.5.2.2	Perdida de trayecto en espacio libre.....	81
3.5.2.3	Potencia de la señal recibida. ....	82
3.5.2.4	Relación Señal a Ruido SNR .....	82
3.5.2.5	Sensibilidad del receptor.....	83
3.5.2.6	Margen del enlace.....	84
3.5.2.7	Presupuesto del enlace. ....	85
3.5.2.8	Zona de Fresnel.....	86
3.5.2.9	Ángulo de Azimut.....	89
3.5.2.10	Angulo de elevación.....	90

3.5.2.11 Almacenamiento.....	92
3.5.2.11.1 Creación de la base de datos.....	92
3.5.2.11.2 Modelo relacional de base de datos.....	94
3.5.2.12 Visualización.....	95
3.5.2.12.1 Desarrollo página web.....	95
3.5.3 Diagramas de conexión.....	97
3.5.3.1 Diagrama de conexión nodo sensor.....	97
4 CAPITULO IV: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	99
4.1 Implementación del sistema electrónico.....	99
4.1.1 Nodo sensor.....	99
4.1.1.1 Pruebas de medición del consumo de agua.....	101
4.1.2 Nodo Gateway.....	103
4.2 Pruebas de conectividad.....	104
4.2.1 Simulación software Radio Mobile.....	109
4.2.1.1 Simulación Nodo sensor C1 – Nodo Gateway.....	110
4.2.1.2 Simulación Nodo Sensor C2 – Nodo Gateway.....	113
4.2.1.3 Simulación Nodo Sensor C3 – Nodo Gateway.....	115
4.2.2 Pruebas con el analizador de espectro.....	118
4.3 Pruebas del funcionamiento página web.....	120
4.3.1 Pruebas de inicio de sesión.....	120
4.3.1.1 Pruebas ingresar y listar clientes.....	122
4.3.1.2 Pruebas de corte y habilitación.....	126
4.3.1.3 Pruebas del sistema de facturación.....	129
4.3.2 Pruebas de la base de datos.....	133

4.4	Presupuesto del sistema .....	134
4.4.1	Presupuesto de hardware.....	134
4.4.2	Presupuesto de software.....	135
4.4.3	Presupuesto de Infraestructura.....	136
4.4.4	Presupuesto total.....	137
4.4.5	Presupuesto de implementación total del sistema.....	137
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		141
Conclusiones.....		141
Recomendaciones.....		143
BIBLIOGRAFÍA .....		144
ANEXOS.....		147
Anexo 1. Aceptación del presidente para la realización del proyecto.....		147
Anexo 2. Entrevista operador del agua.....		148
Anexo 3. Código comunicación LoRA.....		150
Anexo4. Código programación calculo consumo del agua y activación electroválvula.....		152
Anexo 5. Manual de usuario.....		164

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Sistema de abastecimiento de agua potable. ....	11
<b>Figura 2</b> Medidor de agua potable utilizado en viviendas para medir el flujo de agua. ....	12
<b>Figura 3</b> Medidor de agua corro único.....	13
<b>Figura 4</b> Medidor de agua chorro múltiple. ....	14
<b>Figura 5</b> Medidor de agua efecto Hall .....	15
<b>Figura 6</b> Medidor de agua GPRS para IoT. ....	16
<b>Figura 7</b> Electroválvula.....	18
<b>Figura 8</b> Arduino.....	19
<b>Figura 9</b> Ide de Arduino plataforma de programación para microcontroladores. ....	21
<b>Figura 10</b> Arquitectura red LoRAWAN .....	25
<b>Figura 11</b> Ventanas de recepción clase A.....	26
<b>Figura 12</b> Ventanas de recepción clase B. ....	27
<b>Figura 13</b> Ventanas de recepción clase C. ....	28
<b>Figura 14</b> Modulación LoRA.....	31
<b>Figura 15</b> Estructura paquete LoRA .....	31
<b>Figura 16</b> Modelo en V.....	33
<b>Figura 17</b> Ubicación de la comunidad San Agustín de Cajas.....	34
<b>Figura 18</b> Tanque de captación de la vertiente. ....	36
<b>Figura 19</b> Tanque principal de la comunidad San Agustín de Cajas. ....	37
<b>Figura 20</b> Tanque secundario abastece a sectores específicos.....	38
<b>Figura 21</b> Tanque rompe presión y distribución.....	39
<b>Figura 22</b> Medidor mecánico instalado en la actualidad. ....	40
<b>Figura 23</b> Documento de registro de toma de lecturas del medidor. ....	41
<b>Figura 24</b> Arduino UNO.....	52

<b>Figura 25</b>	Sensor de flujo de agua. ....	54
<b>Figura 26</b>	Electroválvula seleccionada. ....	56
<b>Figura 27</b>	Diagrama de Arquitectura del sistema. ....	60
<b>Figura 28</b>	Diagrama de flujo del nodo sensor. ....	62
<b>Figura 29.</b>	Conexión sensor de flujo de agua. ....	63
<b>Figura 30</b>	Código flujo del agua ....	64
<b>Figura 31</b>	Visualización del flujo del agua. ....	65
<b>Figura 32</b>	Conexión de la electroválvula. ....	66
<b>Figura 33</b>	Código control electroválvula. ....	67
<b>Figura 34</b>	Diagrama de flujo nodo Gateway. ....	68
<b>Figura 35</b>	Configuraciones Gateway. ....	69
<b>Figura 36</b>	Configuraciones Gateway. ....	70
<b>Figura 37</b>	Página principal Gateway LoRA. ....	71
<b>Figura 38</b>	Registrar Gateway. ....	71
<b>Figura 39</b>	Ingreso del EUI. ....	72
<b>Figura 40</b>	Gateway ID. ....	72
<b>Figura 41</b>	Configuración final Gateway. ....	73
<b>Figura 42</b>	Registro shield en la TTN ....	74
<b>Figura 43</b>	Registrar shield en la TTN ....	74
<b>Figura 44</b>	Generar AppKey. ....	75
<b>Figura 45</b>	Activación de información. ....	76
<b>Figura 46</b>	Código por modificar. ....	77
<b>Figura 47</b>	Conexión establecida entre el Gateway y el nodo sensor. ....	78
<b>Figura 48</b>	Crear una nueva base de datos. ....	93
<b>Figura 49</b>	Nueva base de datos creada. ....	94

<b>Figura 50</b>	Tablas creadas en la base de datos .....	95
<b>Figura 51</b>	Creación de la página web.....	96
<b>Figura 52</b>	Seleccionar carpeta para subir archivos. ....	96
<b>Figura 53</b>	Subir archivos necesarios para crear página web.....	97
<b>Figura 54</b>	Diagrama de conexión.....	98
<b>Figura 55</b>	Acoplamiento nodo sensor. ....	100
<b>Figura 56</b>	Instalación sensor flujo de agua y electroválvula.....	101
<b>Figura 57</b>	Instalación nodo Gateway. ....	103
<b>Figura 58</b>	Conexión con el enrutador. ....	104
<b>Figura 59</b>	Área de cobertura del sistema instalado. ....	105
<b>Figura 60</b>	Cambiar valores de cada nodo sensor. ....	106
<b>Figura 61</b>	Establecimiento de conexión nodo sensor y nodo Gateway. ....	108
<b>Figura 62</b>	Simulación Radio Mobile.....	109
<b>Figura 63</b>	Simulación Nodo sensor C1 – Nodo Gateway .....	110
<b>Figura 64</b>	Configuraciones de red.....	111
<b>Figura 65</b>	Resultados simulación NodoS C1 - Gateway .....	112
<b>Figura 66</b>	Resultados simulación Nodo Sensor C2 – Nodo Gateway. ....	114
<b>Figura 67</b>	Simulación nodo sensor C3 - Nodo Gateway .....	115
<b>Figura 68</b>	Simulación de todos los nodos .....	118
<b>Figura 69</b>	Valores de frecuencia. ....	119
<b>Figura 70</b>	Frecuencia de operación del sistema .....	119
<b>Figura 71</b>	Página principal inicio de sesión. ....	120
<b>Figura 72</b>	Acceso erróneo a la página web .....	121
<b>Figura 73</b>	Ingreso a la página web. ....	122
<b>Figura 74</b>	Seleccionar familia para generar API key .....	122

<b>Figura 75</b> Generar API key.....	123
<b>Figura 76</b> Clave API key generada.....	124
<b>Figura 77</b> Registro nuevo cliente.....	125
<b>Figura 78</b> Listado de clientes registrados.....	126
<b>Figura 79</b> Cerrar paso de agua.....	127
<b>Figura 80</b> Acción válvula cerrada.....	127
<b>Figura 81</b> Abrir electroválvula.....	128
<b>Figura 82</b> Listado de clientes actualizada electroválvula abierta.....	128
<b>Figura 83</b> Generar factura del cliente.....	130
<b>Figura 84</b> Datos filtrados para factura.....	131
<b>Figura 85</b> Estructura de la factura.....	132
<b>Figura 86</b> Clientes registrados en la base de datos.....	133
<b>Figura 87</b> Valor consumo y numero factura.....	134

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tecnología LPWAN .....	22
<b>Tabla 2.</b> Nomenclaturas y Abreviaciones. ....	42
<b>Tabla 3.</b> Involucrados en el proyecto (stakeholders). ....	43
<b>Tabla 4.</b> Requerimientos de stakeholders. ....	43
<b>Tabla 5.</b> Requerimientos del sistema. ....	44
<b>Tabla 6.</b> Requerimientos de Arquitectura. ....	46
<b>Tabla 7.</b> Selección Gateway LoRA.....	49
<b>Tabla 8.</b> Elección del módulo shield LoRA.....	50
<b>Tabla 9.</b> Selección del módulo LoRA.....	50
<b>Tabla 10.</b> Selección de la placa de procesamiento.....	51
<b>Tabla 11.</b> Características Arduino Uno.....	53
<b>Tabla 12.</b> Selección del sensor de flujo de agua. ....	54
<b>Tabla 13.</b> Características del sensor de flujo de agua. ....	55
<b>Tabla 14.</b> Selección de la electroválvula.....	55
<b>Tabla 15.</b> Características electroválvula. ....	57
<b>Tabla 16.</b> Elección del software para la placa.....	58
<b>Tabla 17</b> Elección plataforma de almacenamiento .....	58
<b>Tabla 18</b> Coordenadas de los nodos.....	79
<b>Tabla 19</b> SNR en función de SF .....	83
<b>Tabla 20</b> Valores Zona de Fresnel .....	88
<b>Tabla 21.</b> Tabla comparativa de medición medidor convencional y medidor electrónico. .	102
<b>Tabla 22.</b> Distancia del nodo sensor con el nodo Gateway .....	106
<b>Tabla 23</b> Resultados de simulación.....	113
<b>Tabla 24</b> Resultados de simulación.....	114

<b>Tabla 25</b>	Resultados de simulación.....	116
<b>Tabla 26</b>	Comparación de valores.....	116
<b>Tabla 27.</b>	Pruebas electroválvula. ....	129
<b>Tabla 28.</b>	Pruebas sistema de facturación. ....	132
<b>Tabla 29</b>	Presupuesto de Hardware.....	135
<b>Tabla 30</b>	Presupuesto de Software .....	136
<b>Tabla 31</b>	Presupuesto de Infraestructura. ....	136
<b>Tabla 32</b>	Presupuesto total del sistema .....	137
<b>Tabla 33</b>	Presupuesto de implementación total del sistema en la comunidad. ....	138

**ÍNDICE DE ECUACIONES.**

<b>Ecuación 1</b>	Potencia de recepción.....	80
<b>Ecuación 2</b>	Perdida de trayecto en espacio libre.....	81
<b>Ecuación 3</b>	Sensibilidad del receptor .....	84
<b>Ecuación 4</b>	Margen del enlace .....	85
<b>Ecuación 5</b>	Presupuesto del enlace .....	86
<b>Ecuación 6</b>	Zona de Fresnel .....	87
<b>Ecuación 7</b>	Ángulo de Azimut .....	89
<b>Ecuación 8</b>	Ángulo Theta.....	89
<b>Ecuación 9</b>	Ángulo de elevación.....	90
<b>Ecuación 10</b>	Ángulo alfa.....	91

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño e implementación de un sistema inteligente que tenga la capacidad de medir y gestionar el consumo de agua potable para la comunidad San Agustín de Cajas quien pertenece a la junta de agua Mojanda Yanaurco. Con la utilización de la tecnología LPWAN específicamente LoRA/LORAWAN, El desarrollo de este sistema se llevará a cabo siguiendo la metodología en V, que implica la ejecución secuencial de procesos basados en un modelo de verificación y validación.

El sistema opera mediante la instalación de dispositivos electrónicos de medición en las residencias de los usuarios sustituyendo a los medidores tradicionales. Este dispositivo está constituido por un sensor de flujo de agua quien se encarga de recolectar la información obtenida en pulsos eléctricos, posteriormente para ser transformada a volumen de agua, determinando así la medida del consumo del agua por los usuarios. Además de contar con la electroválvula para el control del servicio. Luego, esta información es envía hacia el nodo central Gateway quien se encarga de transmitir esta información a una base de datos, desde donde se podrá acceder a ella y visualizarla a través de una página web.

Con la implementación de este sistema electrónico de medición se obtuvo como resultado de las pruebas realizadas una confiabilidad del 99.98% en la toma de datos real del consumo del agua, el corte y habilitación del servicio de manera eficaz, el funcionamiento de la página web y el sistema de facturación con la fijación de valores económicos reales basados en el consumo del agua registrado por los usuarios. Los resultados favorables en los indicadores de viabilidad indican que el proyecto tiene buenas perspectivas y es viable para su implementación. Estos indicadores abarcan aspectos como, la rentabilidad económica, la factibilidad técnica, la aceptación social y el impacto ambiental.

## ABSTRACT

The objective of this work is the design and implementation of an intelligent system that has the capacity to measure and manage the consumption of drinking water for the San Agustín de Cajas community, which belongs to the Mojanda Yanaurco water board. With the use of LPWAN technology, specifically LoRA/LORAWAN, the development of this system will be conducted following the V-methodology, which implies the sequential execution of processes based on a verification and validation model.

The system operates by installing electronic measurement devices in users' residences, replacing traditional meters. This device is made up of a water flow sensor that is responsible for collecting the information obtained in electrical pulses, later to be transformed into a volume of water, thus determining the measure of water consumption by users. In addition to having the solenoid valve for service control. Then, this information is sent to the central Gateway node, which is responsible for transmitting this information to a database, from where it can be accessed and viewed through a web page.

With the implementation of this electronic measurement system, as a result of the tests carried out, a reliability of 99.98% was obtained in the actual data collection of water consumption, the cutting and enabling of the service effectively, the operation of the web page and the billing system with the setting of real economic values based on the water consumption registered by the users. The favorable results in the feasibility indicators indicate that the project has good perspectives and is viable for its implementation. These indicators cover aspects such as economic profitability, technical feasibility, social acceptance, and environmental impact.

## **1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES**

El presente capítulo se detalla las bases para el desarrollo del sistema propuesto, mismo que son: el tema, los objetivos, la problemática, el alcance y la justificación, mismo que ayudara a la a gestionar de manera fácil y eficaz el consumo del agua dentro de la comunidad beneficiada.

### **1.1. Tema**

“Diseño de una red LPWAN de medición del consumo de agua potable para la comunidad San Agustín de Cajas perteneciente a la junta de agua Mojanda-Yanahurco.”

### **1.2. Problema**

En la actualidad el control y gestión del agua potable en la comunidad San Agustín de Cajas es administrada por la misma comunidad que pertenece a la junta de agua Mojanda-Yanahurco. La junta de agua se constituye en un referente organizativo histórico de la organización y gestión comunitaria entorno al manejo del agua expuesta el Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial de la parroquia Gonzales Suarez 2020 – 2023 (GAD Gonzales Suarez, 2020) , la fuente principal de este recurso hídrico es la laguna de Mojanda además de vertientes de agua natural la misma que es captada en tuberías que conducen al tanque principal desde allí se realiza la distribución de agua potable a los habitantes del sector lo cual está ligado a la misión de la secretaria del agua SENAGUA que es el que ejerce la rectoría para garantizar el acceso justo y equitativo del agua (SENAGUA, 2021), del mismo modo se realiza el tratamiento y la potabilización del agua para ser consumida por los pobladores. (Cabascango S. , 2021)

Hoy en día y como ya se ha venido manejando desde años anteriores para realizar la medición del consumo de agua potable en este caso es realizada de forma manual por el operario de la comunidad el cual también es el encargado de verificar y solucionar problemas

de corte de agua, de este modo el operario debe mensualmente caminar distancias considerables ya que las viviendas en este sector rural se encuentran alejadas unas de otras esto lo realiza de forma periódica enfrentándose a diferentes inconvenientes, para tomar la lectura de los medidores en hojas de papel y luego realizar los cálculos necesarios de acuerdo al valor por metros cúbicos y poder obtener el valor a pagar por cada poblador de la comunidad, del mismo modo al momento del corte de agua se lo realiza de forma manual y con la ayuda de los pobladores a través de mingas convocadas por la comunidad esto da como resultado un mal procedimiento en el corte ocasionando que se desperdicie el agua potable. (Cabascango E. , 2021)

Al no tener un control adecuado del cobro del agua por consumo es decir al ser manejado desde la toma de mediciones y cálculos por metros cúbicos realizados en cuadernos de papel como registro se presentan inconvenientes como largas filas para realizar el pago, en algunos casos se presentan inconvenientes como es el caso de haber tomado un mal dato en la lectura del medidor por parte del operario lo que ocasionara que se cobre más o se cobre menos dependiendo del caso, ocasionando malestar en los pobladores y del mismo modo del otro caso ocasionando pérdidas económicas para la comunidad. (Cabascango S. , 2021)

Con la implementación de red LPWAN, que es sistemas sin cable que facilitan la transmisión de datos a larga distancia. Además permite conectar un dispositivo con una base mediante un bajo consumo energético (SINELEC, 2021), en este caso se lo utilizara para la medición y consumo de agua potable en la comunidad de esta manera facilitara la administración del servicio minimizando los tiempos de atención así como también proporcionara información a los pobladores de los valores a pagar de acuerdo al consumo generado estos valores serán equitativas y se establecerá su control y regulación de acuerdo con el artículo 314 de la constitución de la república la misma norma determina que el estado fortalece la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias entorno a la gestión del

agua (Agencia de Regulación y Control del Agua, 2014), del mismo modo el corte de servicio por falta de pago se lo podrá realizar de forma remota lo cual será bastante beneficioso ya que se optimiza el tiempo del operario y también no se generan desperdicios de agua, todo este sistema se lo realizara con herramientas de software libre.

### **1.3. Objetivos**

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

Desarrollar un sistema de medición del consumo y corte de agua potable para la comunidad San Agustín de Cajas perteneciente a la junta de agua Mojanda-Yanahurco utilizando la tecnología inalámbrica LPWAN

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

- Realizar un análisis bibliográfico de la tecnología LPWAN como tecnología para medición y consumo de agua potable.
- Realizar un diagnóstico de la situación actual del consumo y manejo del sistema de agua potable en la comunidad para determinar los problemas dentro de la comunidad.
- Diseñar la red inalámbrica y el dispositivo hardware, además de la plataforma de visualización para la medición del consumo de agua potable en la comunidad San Agustín de Cajas.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del sistema y de la red de comunicación implementada para determinar el correcto funcionamiento.

#### **1.4. Alcance**

El presente proyecto se centra en el desarrollo de una red para medición de consumo de agua en la comunidad San Agustín de Cajas, mediante el cual se podrá solventar los problemas presentes en la comunidad en cuanto al manejo y gestión del agua potable permitiendo realizar las lecturas de consumo de agua de forma más rápida y eficiente, además de poder realizar los cortes de este servicio de forma remota, utilizando las herramientas electrónicas y plataformas existentes en el mercado que posibiliten satisfacer las necesidades encontradas en la comunidad.

Para el desarrollo de este proyecto se lo va a realizar mediante la utilización de la metodología en V, este modelo compara las fases de desarrollo con las fases de control de la calidad correspondientes. Esto quiere decir que para cada proceso de desarrollo existe una fase de pruebas. Las pruebas de integración examinan el diseño del sistema. Aquí se verifica si cada uno de los componentes interactúa con el resto según lo planificado (Ionos, 2020). En este contexto se manejarán las siguientes etapas, la primera etapa hace referencia al análisis bibliográfico de estudios relacionados con el proyecto planteado, la segunda etapa se estudia la situación actual del sistema que se maneja dentro de la comunidad, en la tercera etapa se desarrolla el sistema tanto la parte del hardware como del software, finalmente se tiene la etapa de verificación por medio del cual se podrá determinar la funcionalidad del sistema realizado

Inicialmente se tiene planteado realizar un análisis bibliográfico de artículos, tesis, documentos referentes al tema del proyecto planteado por medio del cual se obtendrá las bases teóricas del funcionamiento de la tecnología inalámbrica LoRA basado en el estándar IEEE 802.15.4 tomando en cuenta las especificaciones de la capa Física y capa MAC para conectar dispositivos inalámbricos (IEEE Standards Association, 2020), del mismo modo para el hardware se determinará cuáles son los dispositivos electrónicos adecuados mediante

la elección de requerimientos de Stakeholders, los cuales se acoplen a las necesidades del sistema y permitan el corte del suministro y la medición del flujo de caudal de agua.

Para la segunda etapa se realiza el estudio de la situación actual se evaluará el sistema que es manejado hasta el momento como medición de consumo de agua potable, permitiendo obtener información de los problemas presentes al manejar los medidores convencionales, De acuerdo con este estudio se determinaran los elementos electrónicos y plataformas de visualización actuales de acuerdo con las necesidades presentes en la medición y consumo de agua potable dentro de la comunidad San Agustín de Cajas.

En la penúltima etapa se diseñará un sistema que recopilará información con la implementación de un sensor de flujo de agua, del mismo modo para el corte del servicio por falta de pago se lo realizará con una electroválvula el cual será manejado remotamente por el administrador, todos estos sensores estarán conectados con un sistema embebido este del mismo modo estará conectado a una batería permitiendo que funcione incluso si hubiera un corte de energía eléctrica, este sistema tendrá la funcionalidad de procesar la información y del mismo modo poder visualizar en una pantalla. Para la tecnología de comunicación del sistema se utilizará un módulo LoRA el cual estará ubicado en los domicilios de los pobladores mismo que transmitirá la información hacia el nodo central (Gateway), toda la información recolectada por el nodo es enviada al Gateway por medio de ondas de radio (González Laura, 2019), LoRA en este caso soluciona el alcance de la red y puede conectar dispositivos hasta 30km en campo abierto esto con un mínimo consumo de energía en los nodos remotos (Hernandez, 2019), todos estos datos recopilados se amanecerán en una base de datos alojada en una PC, el administrador podrá acceder a esta información ingresando en una página web de este modo se podrá visualizar los valores a pagar y el consumo total del recurso hídrico. La instalación se la ejecutara en tres domicilios geográficamente distribuidos

con el fin de verificar el alcance de la red esto permitiendo mejorar la eficiencia de la red y poder cubrir toda la zona geográfica de la comunidad.

Finalmente, en la última etapa se realiza las pruebas de funcionamiento del sistema instalado en los domicilios seleccionados mismo que serán evaluados junto con el administrador y las autoridades de la comunidad al encontrarse en diferentes puntos se podrá evaluar la cobertura de la red de comunicación, además de la comunicación con la oficina principal en el cual se recopilaran todos los datos.

### **1.5. Justificación**

La importancia de implementar nuevas tecnologías en el ámbito de consumo y manejo del agua radica en la búsqueda de nuevas tecnologías que permitan automatizar procesos de manejo del agua potable. En este sentido el proceso de automatizar significa que determinadas acciones se las realice de forma automática por si solas sin la participación directa de una persona (Masaquiza Huascar, 2018), Uno de los aspectos más interesantes del uso de una red inalámbrica de baja potencia es su aplicación en el campo de la innovación tecnológica, además de facilitar la comunicación operativa entre elementos urbanísticos y servicios comunitarios. (SINELEC, 2021)

Este proyecto esta alineado con el Plan Nacional del Buen vivir, ya que en este se promueve el conocimiento, innovación y desarrollo tecnológico, y la vinculación del sector educativo y académico con los procesos de desarrollo que serán parte fundamental del cambio de la matriz productiva del país, expuestos en el objetivo 5 en el que se plantea el promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, en articulación con las necesidades sociales, para impulsar el cambio de la matriz productiva (Senplades, 2017). Además, estas nuevas tecnologías simultáneamente deberán responder a los acuerdos sobre la sostenibilidad ambiental de esta forma encaminarnos a la producción de tecnología más limpia y eficiente.

De este modo, con el desarrollo de este proyecto se podrá automatizar la recolección de información de consumo de agua potable en los hogares, contribuyendo de la misma manera en el desarrollo e innovación de nuevas tecnologías amigables con el medio ambiente que ayuden a conservar los recursos naturales el cual es parte del Plan Nacional del Buen vivir.

Debido al crecimiento poblacional dentro de la comunidad San Agustín de Cajas es necesario contar con más personal en el manejo y administración de agua, los cuales son los encargados de recolectar la información de forma manual mensualmente de los medidores de cada uno de los hogares, de ese modo pues el desarrollo de este proyecto tendrá impacto en 250 familias que en población dan un total de 813 personas , ya que se da un paso en el proceso de automatización que ayuda a minimizar el tiempo y de la misma manera a tener mayor eficiencia y fiabilidad en el manejo y cobro de este recurso hídrico.

## 2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se detalla las bases teóricas y bibliográficas de los diferentes componentes que conforman la implementación del presente sistema, describiendo los sensores que se utilizarán, las placas de procesamiento y el sistema de comunicación utilizado en este caso en especial se detallará la tecnología LoRA/LoRAWAN, que pertenece a las redes inalámbricas LPWAN.

### 2.1 Agua Potable

El agua es la sustancia más esencial para la existencia de todo ser viviente en la tierra, nuestro planeta el 70% está compuesta de agua, de este valor el 97.2% es agua salada que se encuentra en los mares y océanos, el restante 2,5% representa toda el agua dulce, del mismo modo el 1,8% de esta agua dulce se encuentra en glaciales y casquetes polares, el 0,9% son aguas subterráneas y el 0,02% es el agua dulce que se concentra en lagos y ríos, que no son adecuados para el consumo humano, este debe pasar por un proceso de potabilización en el cual se eliminan los microorganismos y sustancias dañinas para el ser humano, pasando por este proceso especial ya es consumible por el ser humano y tiene varias utilidades como: beber, preparar alimentos, para la higiene de las personas, es por esto que es tan importante el agua en la vida de las personas. (Espada, 2021)

#### 2.1.1 Consumo y desperdicio del agua en el Ecuador.

El agua desperdiciada en nuestro país puede llegar a alcanzar hasta el 40 %, esto debido a la ineficiencia en el manejo y la falta de conciencia de las personas en general que no consideran los escasos en calidad y en cantidad de este recurso hídrico. Por ejemplo, en la región costa, se estima un consumo de 282 litros por habitante al día y de la misma manera en la región sierra se tiene un consumo de 204 litros por habitante al día, lo que refleja un promedio de 237 litros por habitante al día, esto comparado con el promedio de consumo de

Sudamérica que es de 169 litros por habitante al día, nos posiciona como uno de los países con mayor consumo de este recurso hídrico en Sudamérica. (MSP, 2019)

Este desperdicio no solo radica en el consumo humano y doméstico, sino que también están involucradas algunas actividades como: las actividades agropecuarias, industriales y demás empresas que hacen uso de este recurso hídrico dentro de sus procesos de procesamiento y producción que en general maneja las empresas expendedoras de productos alimenticios, las mismas que no tienen en su estructura un sistema para el uso y manejo eficiente del agua.

### ***2.1.2 Lectura de consumo de agua tradicional.***

La lectura de los medidores en la actualidad y en la mayoría de los casos se lo realiza de manera personal por una persona la cual se encarga de tomar los valores reflejados en los medidores de cada uno de los domicilios, todos estos datos son tomados en una libreta o cuaderno para posteriormente procesar esa información realizando cálculos y así obteniendo el valor monetario a pagar por el usuario, esta tarea es ardua para la persona encargada ya que debe caminar distancias considerables para poder llegar a cada uno de los domicilios.

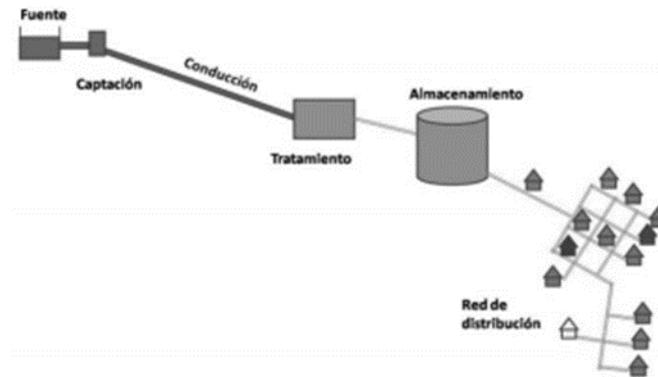
### ***2.1.3 Sistema de abastecimiento de agua potable.***

El sistema de abastecimiento de agua proveer de este recurso en óptimas condiciones para que los seres humanos lo lleguen a consumir, aquí se va a utilizar un tratamiento minucioso del agua para que esta pueda ser utilizada, esta proviene de diversas fuentes como pueden ser de los ríos, manantiales u algún otro lugar donde se pueda encontrar este elemento y con la ayuda de la tecnología y el tratamiento de este, se va a poder utilizar ya sea para el consumo o riego de los cultivos.

En la Figura 1 se puede observar cómo es la distribución del agua desde la captación hasta llegar a los hogares.

### **Figura 1**

*Sistema de abastecimiento de agua potable.*



*Nota.* Adaptado de Luna, 2012.

Desde el inicio del sistema de abastecimiento que es la fuente del cual proviene el recurso hídrico, todos los componentes de este sistema son de vital importancia para que el agua llegue en óptimas condiciones hacia los usuarios finales que son las personas de una población o sector determinado, luego de la fuente se lo capta para posteriormente ser conducido hacia un tanque o estación de tratamiento, donde se purifica y potabiliza el agua con la ayuda de diferentes componentes químicos, luego es conducido hacia el tanque de almacenamiento el cual abastecerá de este recurso a todos los pobladores del sector a través de la red de distribución.

El correcto diseño y construcción de un sistema de abastecimiento de agua potable ayuda a mejorar la calidad de vida, mejorar la salud y conlleva el desarrollo de la población, es por lo que el desarrollo de este tipo de proyecto de un sistema de abastecimiento de agua debe regirse a normas y estatutos para su apropiada construcción y utilización.

## 2.2 Medidores de agua

Un medidor de agua es aquel artefacto utilizado con el fin de contabilizar y visualizar el volumen de agua que pasa por él, suele ser utilizado en sistemas de abastecimiento ya sea residenciales o empresariales de este modo se puede tener un valor estimado en consumo de agua reflejando también el valor monetario el cual deberá pagar el consumidor.

En la Figura 2 se observa un medidor de agua tradicional.

### ***Figura 2***

*Medidor de agua potable utilizado en viviendas para medir el flujo de agua.*



*Nota.* Adaptado de Impobar, 2021. (<https://www.ditecna.com.ec/medidores-de-agua-valvulas-y-accesorios/> )

### ***2.2.1 Tipos de medidores de agua tradicionales.***

Un medidor de agua potable tradicional es un instrumento que registra y cuantifica el volumen del agua que pasa por el ramal, existen diferentes tamaños en función de la capacidad de medición. Estos únicamente registran una información estática para el usuario, este tipo de medidores están compuestos por tres componentes que son: el cuerpo, la cámara

y el registro. El funcionamiento de este dispositivo se divide en dos tipos los cuales se presenta en la siguiente sección.

- **Chorro Único:** Según Martínez (2017) Funciona mediante el principio del chorro único, que implica que el agua fluye a través de una abertura en el medidor y forma un chorro único y bien definido. El medidor mide la velocidad de ese chorro y utiliza esta información para calcular la tasa de flujo volumétrico del agua que pasa por él, en la Figura 3 se muestra un medidor de chorro único y sus principales partes.

### Figura 3

*Medidor de agua corro único.*

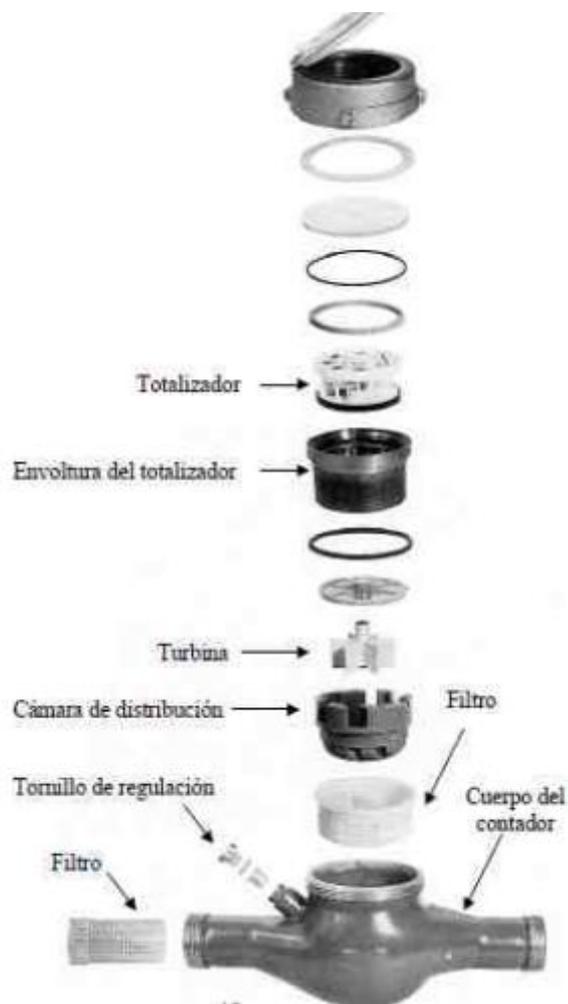


*Nota:* Componentes de un contador de chorro único, adaptado de Martínez, 2017.

- **Chorro Múltiple:** Este tipo de medidor se caracteriza por que el agua golpea en toda la cámara de distribución, mas no como sucedía en el medidor de chorro único que el agua golpea únicamente en la turbina. En la figura 4 se muestra un medidor de chorro múltiple y sus principales componentes o partes.

#### Figura 4

*Medidor de agua chorro múltiple.*



*Nota:* Componentes de un medidor de chorro múltiple, adaptado de *Martínez, 2017*.

#### 2.2.2 Medidor de agua electrónico.

Estos medidores están compuestos por sensores que permiten convertir el flujo de agua que pasa por el en pulsos electrónicos. Esta señal de voltaje que se genera y al

procesarla en un sistema se puede convertir en datos que sean comprensibles por las personas.

### ***2.2.2.1 Medidor de agua electrónico efecto Hall.***

Este tipo de sensor de flujo de agua está compuesto por un cuerpo de plástico, rotor de agua y por un sensor de efecto hall. Este tiene un sensor con aspas para medir la cantidad de líquido que pasa a través de él, este también incorpora un imán y del otro lado del tubo está el sensor magnético de efecto hall el cual registra las vueltas del molino, generando impulsos de salida a una velocidad proporcional a la velocidad de flujo. (uelectronics, 2021)

Este tipo de sensor es ideal en sistemas de conservación del agua, en los sistemas de riego, en los tanques de almacenamiento que proveen de este recurso hídrico a una comunidad o sector sea rural o urbano, como se muestra en la figura 5.

### **Figura 5**

*Medidor de agua efecto Hall*



*Nota:* Adaptado de AVELECTRONICS 2022.

(<https://avelectronics.cc/producto/sensor-de-flujo-de-agua-yf-s201/> ).

### 2.2.2.2 Micromedidor de agua GPRS para IoT.

Es un medidor de agua que además de gestionar dicha función también tiene un sistema de válvula incorporado con el cual se puede realizar los cortes o cierres del servicio de forma remota, dispone de una amplia cobertura usando GPRS, esto requiriendo únicamente acceso a las redes de celulares 2G disponibles en la zona de aplicación.

Utiliza una batería de alta duración lo cual garantiza la operabilidad del dispositivo al menos durante 8 años. El grafico de un medidor de agua GPRS para IoT está representado en la Figura 6.

#### **Figura 6**

*Medidor de agua GPRS para IoT.*



*Nota:* Medidor de agua GPRS para IoT, compuesto por una tarjeta SIM y una plataforma de gestión. Adaptado de *SHMETERS*, 2020.

- **Características.**
  - **Batería de larga duración.**

Incorporada con una batería ER26500 + batería SPC1520 que permite que el tiempo de uso sea de al menos 8 años.

➤ **Precisión en la medición.**

La lectura del flujo de agua lo realiza de forma directa lo que garantiza una precisión de un 95 a un 100%.

➤ **Lectura remota.**

Los datos obtenidos son cargados de forma periódica y temporizada de acuerdo con las necesidades.

➤ **Sistema de alerta.**

Envía alertas en distintas circunstancias, puede ser el bajo voltaje de la batería, una lectura anormal del medidor, o fallos en la plataforma, estas alertas ayudan a que el sistema funcione adecuadamente y se le pueda dar un mantenimiento oportuno.

### **2.3 Control del flujo de agua mediante la Electroválvula.**

Este es un dispositivo que responde a pulsos eléctricos, la corriente que circula a través del solenoide posibilita la opción de abrir o cerrar la válvula controlando así el paso de fluidos, la funcionalidad radica en la corriente que circula por el solenoide que genera un campo magnético atrayendo el núcleo móvil, una vez finalizado el efecto del campo magnético el núcleo vuelve a su posición por efecto de un resorte. (naylampmechatronics, 2021)

La electroválvula ayuda a mantener un control del flujo de agua dependiendo de las circunstancias se la puede cerrar o abrir de forma remota, en la Figura 7 se muestra una electroválvula que de acuerdo con especificaciones y características podrá ser utilizada en los sistemas de abastecimiento y control del agua.

### **Figura 7**

*Electroválvula.*



*Nota:* Adaptado de naylampmechatronics, 2021.

## **2.4 Hardware libre.**

El hardware libre se define como los dispositivos cuyas especificaciones y diagramas esquemáticos que integran el sistema informático son de acceso para todo tipo de público, es abierto y gratuito para que las personas las puedan utilizar en diferentes aplicaciones o sistemas sin ninguna restricción.

En base a lo expresado con anterioridad a continuación se detalla los dos principales hardware, que por su fácil manejo y comprensión son los más utilizados y cotizados en el mercado para el desarrollo de sistemas embebidos.

### **2.4.1 Arduino**

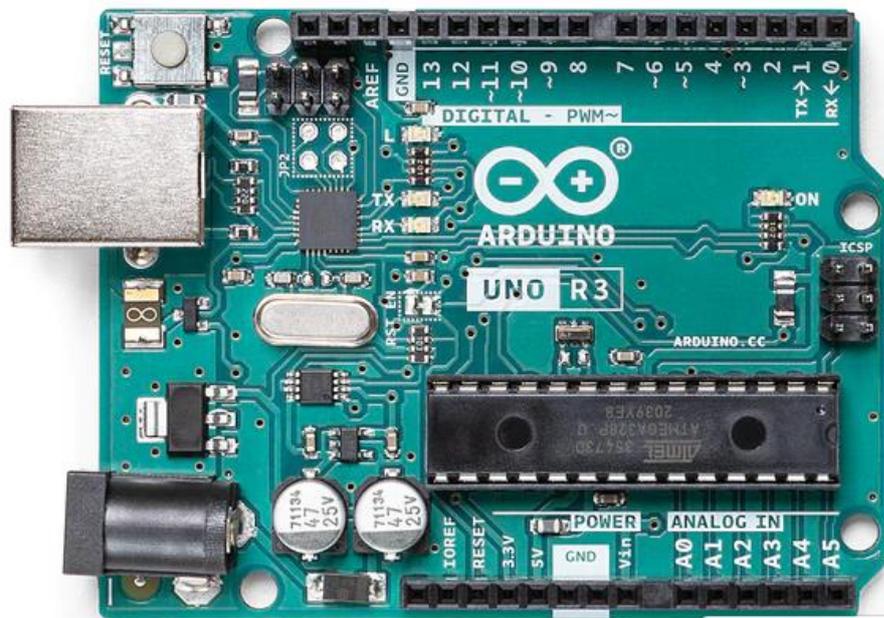
Arduino Uno es un microcontrolador programable, utilizado en gran medida en sistema embebidos o en sistemas domóticos experimentales, utiliza el ATmega16U2 que le permite tener un mejor manejo de la entrada USB, permitiendo tener ratios de transferencia más rápidos y mucha más memoria, además no se necesitan drivers para sistemas operativos como Mac o Linux.

En los nuevos modelos de Arduino Uno se incorporó dos nuevos pines cerca del pin RESET. Uno de ellos es el IOREF, ping que permite a los shields tener compatibilidad con el voltaje brindado por la placa principal que en si es de 5V. (Arduino, 2022)

Se puede observar en la Figura 8 como es gráficamente una placa de procesamiento ARDUINO.

### Figura 8

*Arduino.*



*Nota: Adaptado de Arduino 2022.*

#### 2.4.2 Raspberry Pi.

La Raspberry Pi es una computadora de precio accesible en formato pequeño, similar a una tarjeta de crédito, que se conecta a un monitor de computadora o televisor, y utiliza un teclado y un mouse convencionales.

Es una placa de tamaño reducido que permite a personas de todas las edades adentrarse en el mundo de la informática y adquirir conocimientos de programación en

lenguajes como Scratch y Python. Es capaz de hacer todo lo que esperaríamos que hiciera una computadora de escritorio, desde navegar por Internet y reproducir videos de alta definición, hasta hacer hojas de cálculo, procesar textos y jugar juegos. (raspberrypi, 2021)

## **2.5 Software libre.**

El software libre son programas de código abierto los cuales no poseen licencia y se puede utilizar de forma libre y gratuita, esto quiere decir que su código fuente puede ser utilizado y modificado sin ninguna restricción, puede ser con fines de mejora del software y ser lanzado con una nueva versión mucho más completa.

Para la programación en especial de microcontroladores existe una plataforma más utilizada por su simplicidad y fácil manejo, comprensión del lenguaje, se presenta el IDE de Arduino que es compatible con sistemas operativos como Linux, Windows, o MAC, tiene incorporado una entrada USB el cual sirve como entrada de datos como también de suministro de energía para la placa.

### **2.5.1 IDE ARDUINO.**

El entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino, es un software específico que permite escribir, compilar y cargar código en los dispositivos Arduino. El Arduino IDE es un software bastante completo que tiene un editor de texto en el cual se puede escribir y editar el código, un área para mostrar mensajes tanto de error como de compilación, una consola de texto para mostrar salida, una barra de herramientas con botones para funciones comunes. El software se comunica con el hardware Arduino a través de la entrada USB para cargar programas y comunicarse. (arduino, 2020)

En la figura 9 se muestra el logo del IDE de Arduino.

**Figura 9**

*Ide de Arduino plataforma de programación para microcontroladores.*



*Nota:* Adaptado de INSTRUCTABLES 2022.

**2.6 Tecnología de acceso inalámbrico.**

Los sistemas de comunicación inalámbricos en la actualidad ofrecen grandes ventajas frente a los tradicionales sistemas cableados, la principal característica es la movilidad, no depender de un cable, es decir que los dispositivos se comunican utilizando como medio de transmisión el espacio-aire.

Existen diferentes sistemas de comunicación inalámbrica, las cuales se pueden utilizar dependiendo del sistema a implementar, el alcance, el lugar de aplicación y distintas características, para ser más conciso en el siguiente enunciado se detalla la tecnología inalámbrica LPWAN, que por sus características son utilizadas en gran medida en sistemas que requieren conectar varios nodos, existen tres grandes tecnologías LPWAN, estas tecnologías están posibilitando el despliegue de sistemas IoT, permitiendo instalar y configurar centenares de nodos que se comunicaran con el Gateway.

### 2.6.1 Tecnología LPWAN

LPWAN está dirigido a aplicaciones que requieren la transferencia de pequeñas cantidades de datos con una batería de larga duración y una gran cobertura de red. Es posible identificar las principales áreas en las que se puede aplicar esta tecnología, como sensores inalámbricos, sistemas de control de varios niveles. Las aplicaciones LPWAN son bastante diferentes. (Sinelec, 2022)

Las principales tecnologías LPWAN se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.**

*Tecnología LPWAN*

	<b>Sigfox</b>	<b>LoRa</b>	<b>NB – IoT</b>
<b>Frecuencia</b>	En Europa 868 MHz En América del Norte 915MHz y 433 MHz en Asia. Todas estas bandas ISM sin licencia.	En Europa 868 MHz América del Norte 915MHz y 433 MHz en Asia. Bandas ISM sin licencia.	Se trata de una opción con una licencia que puede funcionar junto con las tecnologías antiguas de GSM, GPRS y LTE, y que utiliza las redes existentes de los proveedores de servicios actuales.
<b>Ancho de banda</b>	100 Hz	250 kHz 150kHz	200 kHz
<b>Límite de mensajes</b>	140 (UL) 4 (DL)	Limitado	Limitado
<b>Alcance</b>	10 km (urbano) 40 km (rural)	5 km (urbano) 20 km (rural)	1 km (urbano) 10 km (rural)
<b>Tipo de servicio</b>	De pago	Open source	De pago
<b>Operador de servicio</b>	Operador Sigfox	Despliegue propio o empresa particular	Operador telefónico móvil
<b>Permite red privada</b>	No, es en sí una empresa que posee la patente de su sistema de conectividad	Sí, se trata de una tecnología abierta a la que cualquier compañía puede unirse para desplegar su propia red de comunicaciones utilizando las infraestructuras	Al igual que Sigfox, NB – IoT. No permite la configuración de una red privada.

	existentes de los operadores actuales.		
<b>Velocidad de datos</b>	100 bps	50 000 bps	200 000 bps

*Nota:* Adaptado de Vencoel 2022. ( <https://www.vencoel.com/introduccion-al-lpwa-nb-iot-cat-m-vs-lora-sigfox/> )

### 2.6.2 *Tecnología LoRA*

Murillo et al (2017) señala que la tecnología LoRA es un tipo de red inalámbrica que permite tener una amplia cobertura y largo alcance, esto se lograra con la modulación utilizada que está basada en espectros similares a la modulación FSK. Está modula los datos en diferentes canales y velocidades evitando interferencias entre sí, una de sus características más esenciales es que su funcionamiento consiste en la activación periódica del dispositivo logrando mantener un bajo consumo de energía. Quimbita (2018) señala que la naturaleza de banda ancha permite compensar una mejor relación (SNR), generando buenas señales al demodular incluso cuando estas lleguen a estar en umbrales de 19,5 dB que está por debajo del piso que generar ruido.

### 2.6.3 *Protocolo LoRAWAN*

LoRAWAN es un protocolo de red de área amplia de baja potencia construido sobre la técnica de modulación de radio LoRa. Conecta de forma inalámbrica los dispositivos a Internet y gestiona la comunicación entre los dispositivos del nodo final y las puertas de enlace de la red. El uso de LoRAWAN en espacios industriales y ciudades inteligentes está creciendo porque es un protocolo de comunicación bidireccional asequible de largo alcance con un consumo de energía muy bajo: los dispositivos pueden funcionar durante diez años con una batería pequeña. Utiliza las bandas de radio ISM (Industrial, Scientific, Medical) sin licencia para implementaciones de red. (Lora-Alliance, 2022)

- **Un dispositivo final puede conectarse a una red con LoRAWAN de dos maneras:**

Activación inalámbrica (OTAA): un dispositivo debe establecer una clave de red y una clave de sesión de aplicación para conectarse a la red.

Activación por personalización (ABP): un dispositivo está codificado con las claves necesarias para comunicarse con la red, lo que hace que la conexión sea menos segura pero más fácil.

### ***2.6.3.1 Arquitectura LoRAWAN.***

La tecnología de red LoRAWAN se aplica en una estructura de topología estelar, donde las puertas de enlace actúan como intermediarios para transmitir mensajes entre los dispositivos finales y un servidor de red central. Las puertas de enlace están conectadas al servidor de red a través de conexiones IP estándar y actúan como un puente transparente, simplemente convirtiendo paquetes de RF en paquetes de IP y viceversa. La comunicación inalámbrica se beneficia de las propiedades de largo alcance de la capa física de LoRA, lo que facilita una conexión directa entre el dispositivo final y una o varias puertas de enlace mediante un enlace de un solo salto. Todos los modos son capaces de comunicación bidireccional, y hay soporte para grupos de direccionamiento de multidifusión para hacer un uso eficiente del espectro durante tareas como actualizaciones de firmware por aire (FOTA) u otros mensajes de distribución masiva. (Lora-Alliance, 2022)

Todas las características antes mencionadas se las puede observar en la Figura 10, sus principales capas al momento de transmitir los datos desde el dispositivo hacia el Gateway y las capas que intervienen al momento de almacenar dicha información en una base de datos.



La comunicación de clase A en LoRAWAN es la clase predeterminada que debe ser compatible con todos los dispositivos finales. Esta comunicación siempre es iniciada por el dispositivo final y es totalmente asíncrona. Cada transmisión de enlace ascendente se puede enviar en cualquier momento y va seguida de dos breves ventanas de enlace descendente, lo que brinda la oportunidad de comunicación bidireccional o comandos de control de red si es necesario. Este es un tipo de protocolo ALOHA. (lora-Alliance, 2021)

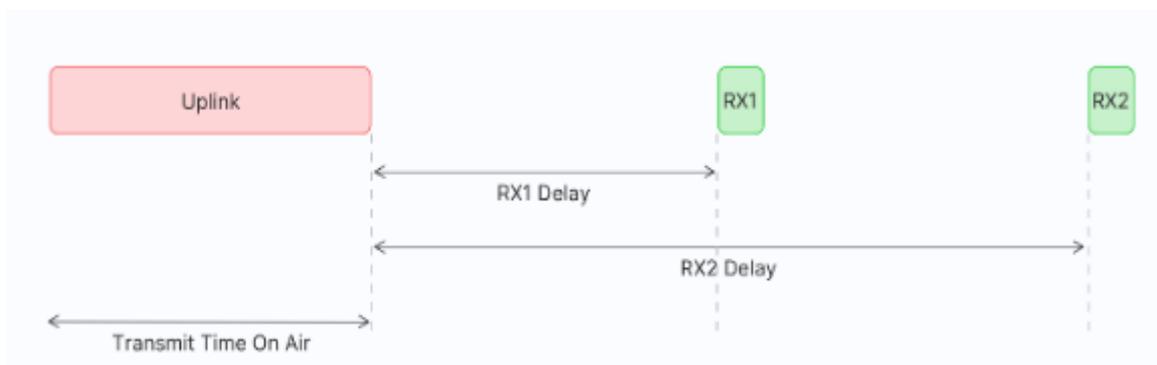
El dispositivo final puede entrar en el modo de suspensión de bajo consumo durante el tiempo definido por su propia aplicación: no hay requisitos de red para activaciones periódicas. Esto convierte a la clase A en el modo de funcionamiento de menor consumo de energía, al mismo tiempo que permite la comunicación de enlace ascendente en cualquier momento.

Debido a que la comunicación de enlace descendente siempre debe seguir una transmisión de enlace ascendente con un cronograma definido por la aplicación del dispositivo final, la comunicación de enlace descendente debe almacenarse en el servidor de red hasta el próximo evento de enlace ascendente.

En la figura 11 se puede apreciar cómo se establece la comunicación en las clases A.

### Figura 11

*Ventanas de recepción clase A.*



*Nota:* Adaptado de (thethingsnetwork, 2022)

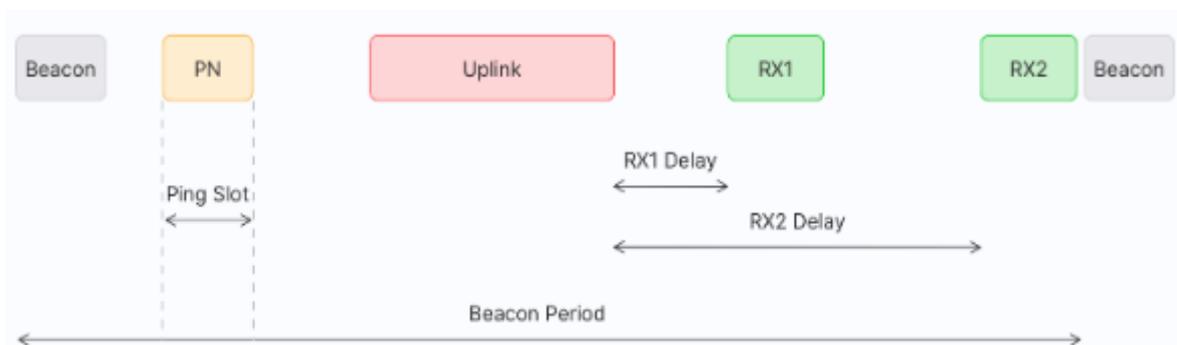
- **Clase B:** dispositivos finales bidireccionales con latencia de enlace descendente determinista:

Además de las ventanas de recepción iniciadas de clase A, los dispositivos de clase B se sincronizan con la red mediante balizas periódicas y abren 'ranuras de ping' de enlace descendente en horarios programados. Esto proporciona a la red la capacidad de enviar comunicaciones de enlace descendente con una latencia determinista, pero a expensas de un consumo de energía adicional en el dispositivo final. La latencia es programable hasta 128 segundos para adaptarse a diferentes aplicaciones, y el consumo de energía adicional es lo suficientemente bajo como para seguir siendo válido para aplicaciones alimentadas por batería.

En la figura 12 se puede apreciar las ventanas de recepción en la clase B.

### Figura 12

*Ventanas de recepción clase B.*



*Nota:* Adaptado de (thethingsnetwork, 2022)

- **Clase C:** latencia más baja, dispositivos finales bidireccionales:

Además de la estructura de clase A de enlace ascendente seguida de dos ventanas de enlace descendente, la clase C reduce aún más la latencia en el enlace descendente al

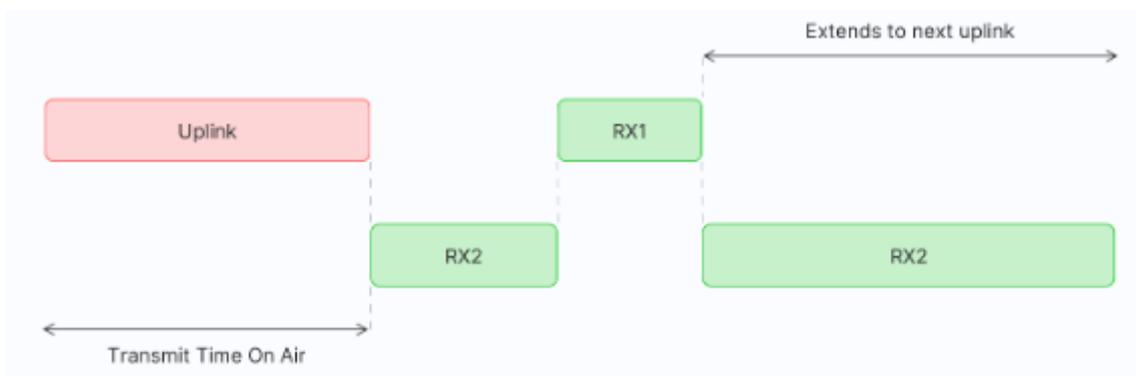
mantener abierto el receptor del dispositivo final en todo momento en que el dispositivo no está transmitiendo (semidúplex). En base a esto, el servidor de red puede iniciar una transmisión de enlace descendente en cualquier momento suponiendo que el receptor del dispositivo final esté abierto, por lo que no hay latencia. El compromiso es el consumo de energía del receptor (hasta ~50 mW), por lo que la clase C es adecuada para aplicaciones en las que se dispone de energía continua. (Lora-Alliance, 2022)

Para los dispositivos alimentados por batería, es posible el cambio de modo temporal entre las clases A y C, y es útil para tareas intermitentes, como actualizaciones inalámbricas de firmware.

En la figura 13 se puede apreciar las ventanas de recepción clase C

### Figura 13

*Ventanas de recepción clase C.*



*Nota:* Adaptado de (thethingsnetwork, 2022)

#### 2.6.3.3 Tasa de transferencia de datos.

Además del salto de frecuencia, todos los paquetes de comunicación entre los dispositivos finales y las puertas de enlace también incluyen una configuración de Velocidad de datos (DR) variable. La selección de DR permite un equilibrio dinámico entre el rango de comunicación y la duración del mensaje. Además, debido a la tecnología de espectro

ensanchado, las comunicaciones con diferentes DR no interfieren entre sí y crean un conjunto de canales virtuales de 'código' que aumentan la capacidad de la puerta de enlace. Para maximizar la duración de la batería de los dispositivos finales y la capacidad general de la red, el servidor de red LoRAWAN administra la configuración de DR y la potencia de salida de RF para cada dispositivo final de forma individual mediante un esquema de tasa de datos adaptable (ADR). (Lora-Alliance, 2022)

Las velocidades en baudios de LoRAWAN oscilan entre 0,3 kbps y 50 kbps.

#### ***2.6.3.4 Seguridad en una red LoRAWAN.***

La seguridad es una preocupación principal para cualquier implementación masiva de IoT y la especificación LoRAWAN define dos capas de criptografía:

Una clave de sesión de red única de 128 bits compartida entre el dispositivo final y el servidor de red

Una clave de sesión de aplicación única de 128 bits (AppSKey) compartida de extremo a extremo en el nivel de la aplicación

Los algoritmos AES se utilizan para proporcionar autenticación e integridad de paquetes al servidor de red y cifrado de extremo a extremo al servidor de aplicaciones. Al proporcionar estos dos niveles, es posible implementar redes compartidas 'multiinquilino' sin que el operador de la red tenga visibilidad de los datos de carga útil de los usuarios.

Las claves se pueden activar por personalización (ABP) en la línea de producción o durante la puesta en marcha, o se pueden activar por aire (OTAA) en el campo. OTAA permite que los dispositivos se vuelvan a teclar si es necesario. (Lora-Alliance, 2022)

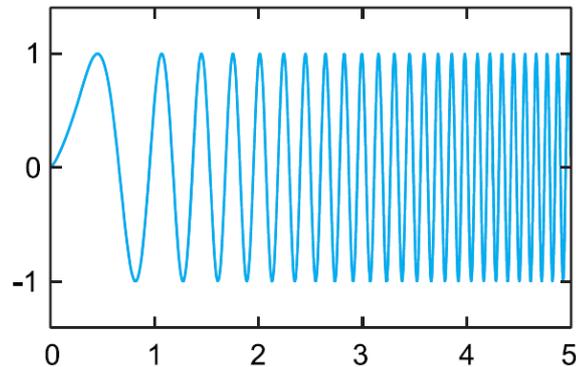
### **2.6.3.5 Modulación**

Una técnica patentada denominada LoRA (Long Range) que utiliza una modulación de espectro ensanchado basada en la tecnología existente de Chirp Spread Spectrum (CSS), ofrece un equilibrio entre la capacidad de recibir señales débiles y la velocidad de transmisión de datos, funciona en un ancho de banda fijo de 125 KHz o 500 KHz para los canales de enlace ascendentes, y 500 KHz para los canales de enlace descendente.

Además, LoRA utiliza factores de dispersión ortogonales. Esto permite que la red conserve la duración de la batería de los nodos finales conectados al realizar optimizaciones adaptativas de los niveles de potencia y las velocidades de datos de un nodo final individual. Por ejemplo, un dispositivo final ubicado cerca de una puerta de enlace debe transmitir datos con un factor de dispersión bajo, ya que se necesita muy poco presupuesto de enlace. Sin embargo, un dispositivo final ubicado a varias millas de una puerta de enlace necesitará transmitir con un factor de dispersión mucho más alto. Este factor de dispersión más alto proporciona una mayor ganancia de procesamiento. (Lora-Alliance, 2022)

LoRA es una implementación de capa puramente física (PHY) o de "bits", según lo define el modelo de red de siete capas OSI, que se muestra en la Figura 3. En lugar de cableado, el aire se utiliza como medio para transportar ondas de radio LoRA desde un Transmisor de RF en un dispositivo IoT a un receptor de RF en una puerta de enlace y viceversa.

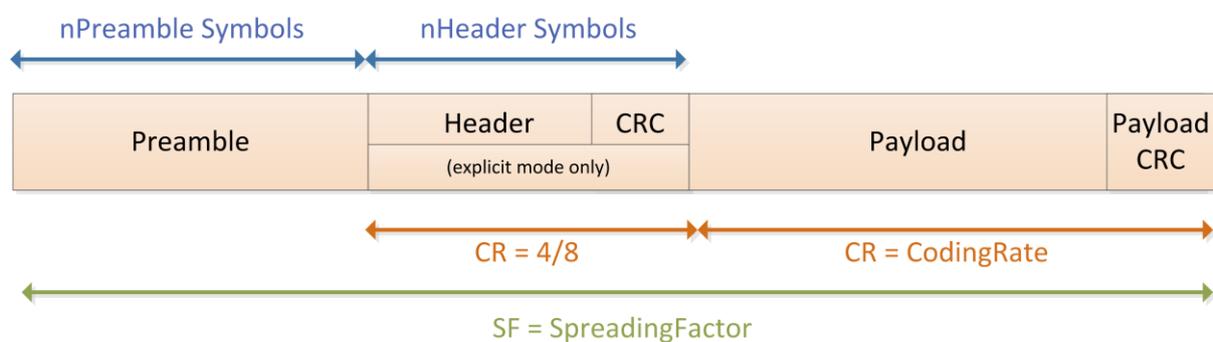
La modulación utilizada en el envío de información utilizando la tecnología LoRA se representa en la Figura 14.

**Figura 14***Modulación LoRA.*

*Nota:* modulación utilizada en el envío de información, adaptado de (Lora-Alliance, 2022).

### 2.6.3.6 Estructura del paquete LoRA.

LoRa (Long Range) es una tecnología de comunicación inalámbrica de largo alcance utilizada en aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) y M2M (Machine-to-Machine). Los paquetes de datos en una red LoRa siguen un formato específico. En la figura 15 se muestra la estructura del paquete LoRA.

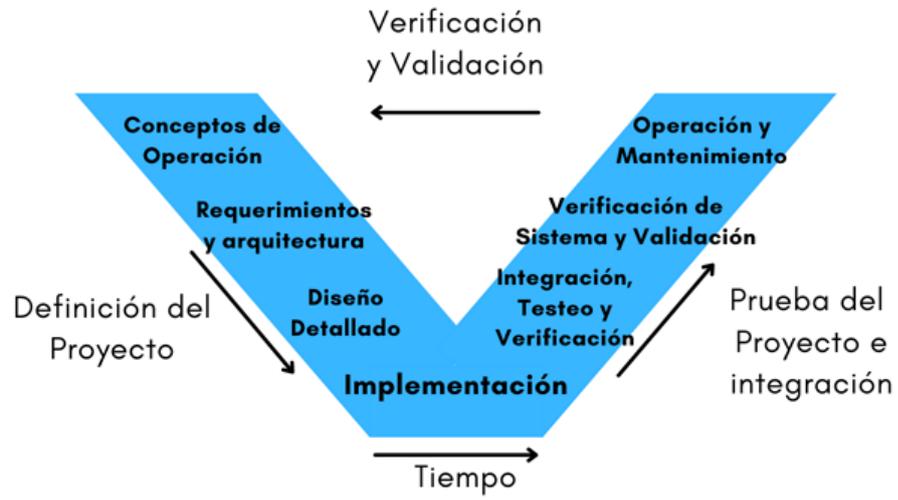
**Figura 15***Estructura paquete LoRA*

*Nota:* Estructura de paquete LoRA, adaptado de (semtech, 2022)

- ❖ **Preámbulo:** El preámbulo es una secuencia de bits que se utiliza para sincronizar el receptor con el transmisor. Ayuda al receptor a detectar y sincronizarse con la señal entrante.
- ❖ **Encabezado (Header):** El encabezado contiene información crítica sobre el paquete, como la longitud del paquete, la dirección del nodo de origen y la dirección del nodo de destino. También puede incluir campos para indicar el tipo de mensaje o el propósito del paquete.
- ❖ **Cuerpo del Paquete (Payload):** El cuerpo del paquete contiene los datos que se están transmitiendo. Estos datos pueden incluir información de sensores, mensajes, comandos u otros tipos de información relevante para la aplicación.
- ❖ **Redundancia Cíclica de Red (CRC):** El campo de CRC contiene un valor de verificación que se utiliza para verificar la integridad de los datos. El receptor calcula el CRC a partir de los datos recibidos y compara el resultado con el CRC transmitido para detectar posibles errores de transmisión.

## 2.7 Modelo en V

El modelo V es un modelo utilizado para describir las actividades de prueba como parte del proceso de desarrollo de software. El modelo V se puede interpretar como una extensión del modelo de desarrollo Waterfall, que describe las actividades de prueba como uno de los últimos pasos en un proceso de desarrollo secuencial. Sin embargo, a diferencia del modelo Waterfall, el modelo V muestra la relación entre cada fase de desarrollo y una actividad de prueba correspondiente, como se muestra en la figura 16.

**Figura 16***Modelo en V.*

*Nota:* Adaptado de Aurelio, 2018.

### 3 CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA.

En este capítulo se describe en general todo el sistema a implementar, el análisis de los componentes y dispositivos a utilizar sus principales características, las variables y propiedades con las que cuentan cada uno que serán de gran ayuda para poder desarrollar el proyecto de manera más efectiva y tener el resultado esperado, la elección de estos dispositivos se los realiza en base a los requerimientos del sistema.

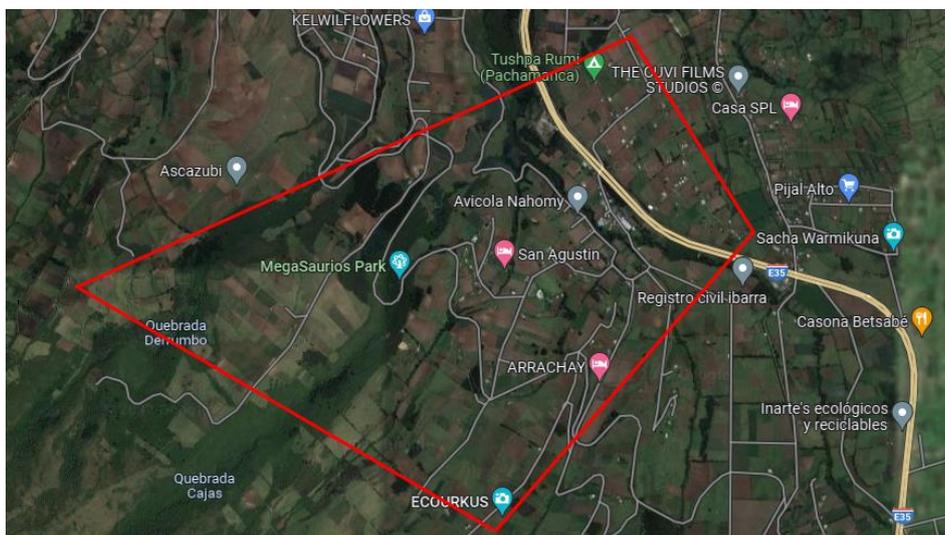
#### 3.1 Descripción general del sistema.

El proyecto está enfocado en el diseño e implementación de un sistema de medición de agua inteligente mediante la utilización de sensores y de la tecnología LoRA para la comunidad San Agustín de Cajas, esto proyecto será de gran ayuda ya que optimizará el tiempo del operador en cuanto a la toma de lecturas de cada uno de los medidores ya que hasta la actualidad de lo viene manejando de manera manual, facilitando así el manejo y control del agua dentro de la comunidad.

En el Figura 17 se observa la ubicación de la comunidad.

#### Figura 17

*Ubicación de la comunidad San Agustín de Cajas.*



*Nota:* Adaptado de, Google Maps, 2023.

El sistema desarrollado está formado por sensores como el sensor de flujo de agua que se encargará de medir la cantidad de agua que pasa por el medidor, así mismo también se incorporada una electroválvula que se encargará del control del flujo del agua pudiendo manipularla para abrir o cerrar el paso del agua hacia los usuarios finales de forma remota, un módulo LoRA el cual se comunicará con el Gateway para el envío de información, todos estos sensores y módulos estarán conectados a un sistema embebido que permitirá procesar la información y poderla transmitir hacia una base de datos para su almacenamiento, todo este sistema estará conectado directamente a la alimentación energética y contará con una batería que le permitirá seguir funcionando continuamente cuando exista un corte de energía imprevisto. Por último, para el acceso y visualización de los datos se desarrollará una página web, al cual el encargado del sistema podrá ingresar por una cuenta privada, donde se reflejarán los valores tanto de consumo como también del valor monetario a pagar por el consumo del agua durante un lapso determinado.

### **3.2 Análisis de la situación actual.**

Para determinar el análisis actual se lo realiza en base a las entrevistas brindadas tanto por el presidente, así como también del operario del agua de la comunidad, en base a esas entrevistas se planteó el desarrollo del proyecto acorde a las necesidades encontradas dentro de la comunidad.

Este sistema será de gran aporte, además de tener un impacto significativo en la innovación y la automatización de procesos dentro de la comunidad, este sistema beneficiará a la comunidad que cuenta con un estimado de 813 personas quienes son habitantes de la comunidad distribuidas por sectores y dispersas una de otras por ser una de las comunidades más grandes de la parroquia.

La comunidad San Agustín de Cajas está ubicada en Imbabura en el cantón Otavalo y pertenece a las 7 comunidades de la parroquia Gonzales Suarez, exactamente está ubicada a 5 minutos del casco parroquial en la vía Quito, Cayambe. Delimita con las comunidades hacia el sur con la comunidad de Eugenio Espejo de Cajas, hacia el norte con la comunidad Mariscal Sucre, al oeste con la comunidad de Pijal.

El agua que se distribuye para la comunidad de lo obtiene de una fuente natural vertiente la cual abastece a un total de 4 comunidades, en la Figura 18 se puede ver el tanque de captación en el cual se realiza también el filtrado del agua para liberar impurezas. Es un tanque construido de hormigón para la captación del agua una vez realizado el filtrado se transporta por medio de tuberías hacia el tanque principal.

**Figura 18**

*Tanque de captación de la vertiente.*

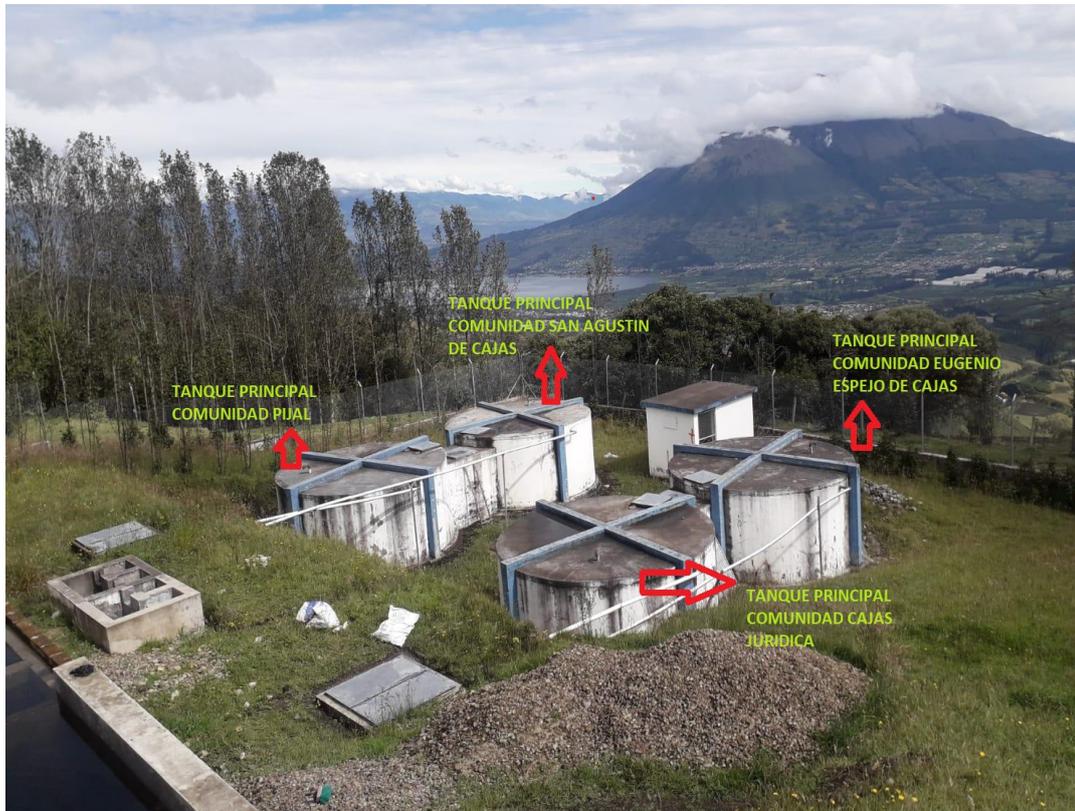


*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor*, 2022.

Una vez que se ha filtrado el agua es dirigido a través de tuberías al tanque principal, las tuberías utilizadas son de PVC para exteriores, en la Figura 19 se identifica el tanque perteneciente a la comunidad San Agustín de Cajas este tanque es el que almacena y distribuye el agua para toda la comunidad, este tiene una capacidad de  $100\text{ m}^3$ , está conectado a una red de distribución la cual abastece a las viviendas que se encuentran en la parte alta de la comunidad, para liberar el exceso de agua al llenarse el tanque se tiene un sistema de desfogue el cual permite que el excedente del agua salga, y de la misma manera es dirigida a través de tuberías hacia un segundo tanque de reserva.

### **Figura 19**

*Tanque principal de la comunidad San Agustín de Cajas.*



*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor*, 2022.

En la Figura 20 se puede apreciar el segundo tanque el cual abastece de este recurso hídrico a la parte centro y baja de la comunidad, este tanque tiene una capacidad de  $40 m^3$  este tanque además de abastecer de agua a los diferentes sectores tiene un sistema de desfogue de exceso de agua hacia un estanque sin estructura que sirve como sistema de riego. Este tanque secundario se llena cuando los sistemas de válvulas de aire instalados en los tanques rompen presión se activan y cierran el paso del agua de forma automática.

### **Figura 20**

*Tanque secundario abastece a sectores específicos.*



*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor*, 2022.

Para que las personas ya puedan hacer uso del agua en cada uno de sus hogares el agua que sale del tanque principal o secundario llega a un tercer tanque que es el de romper presión, este tanque una vez que se llena tiene incorporado un sistema de válvulas de aire que funcionan al igual que en un inodoro una vez lleno el tanque se cierra el paso del agua y así

sucesivamente hasta llegar al tanque principal o secundario. En la figura 21 se puede apreciar que este tanque está construido de igual manera de hormigón y además se observan las válvulas de aire incorporado en cada uno.

### **Figura 21**

*Tanque rompe presión y distribución.*



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2022.*

En cada una de las viviendas se tiene instalado un medidor mecánico de corro único, a través de este medidor el operador puede realizar la toma de lecturas y verificar cual es el valor consumido por el usuario, en la Figura 22 se observan medidores mecánicos utilizados en la actualidad dentro de la comunidad.

**Figura 22**

*Medidor mecánico instalado en la actualidad.*



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2022.*

En la actualidad el manejo y control del agua dentro de la comunidad San Agustín de Cajas, se lo realiza de manera manual tanto para la lectura de medidores como también para el cálculo del valor monetario a pagar, todo este proceso el operario de la comunidad lo realiza mensualmente, debiendo movilizarse 4 días al mes por todos los domicilios tomando la lectura, esto lo realiza incluso en días lluviosos o días soleados ya que cada uno de los habitantes o comuneros de la dicha localidad acuden mensualmente en una fecha en específico a pagar del consumo del agua. En la Figura 23 se muestra cómo se lleva el registro y la toma de lecturas del medidor en un documento, en este registro se puede observar los valores de consumo de todo un año.

Figura 23

Documento de registro de toma de lecturas del medidor.

Nº	Nombre y Apellido	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1	Rosa Bautista Jacqun	78	78	78	78	78	23	23	24	24	24	24	24
2	Jorge Luis Cabascango	757	751	751	757	151	168	173	178	179	182	185	187
3	Carlos Mendez	790	790	797	797	797	791	791	207	203	408	213	227
4	Daniel Bautista (M)	443	445	450	455	509	511	513	526	541	544	547	552
5	Natalia Calagullin	473	502	544	563	576	610	654	675	703	730	761	796
6	Daniel Bautista (H)	949	953	957	967	964	970	976	982	990	996	1001	1006
7	Natalia Calagullin	7337	1335	7340	7342	7345	7349	7356	7378	7380	7388	7395	7403
8	Jorge Quiumbaguin	943	943	943	953	964	967	967	980	1029	1108	1129	1144
9	Ricardo Calagullin	888	893	895	895	895	901	907	917	977	978	924	926
10	Jorge Luis Cabascango	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
11	Jose A Comuendo	644	645	645	646	646	646	649	652	653	654	655	655
12	Juan Quiumbaguin	529	537	541	550	550	551	562	589	602	602	678	627
13	Segunda Catucuyo	2300	2300	2307	2305	2306	2306	2307	2323	2332	2333	2367	2377
14	Maria De la Cruz	7921	7937	7957	7966	7979	1989	7996	2007	2023	2032	2038	2046
15	Cesar Cabascango	948	952	964	979	984	984	997	1013	1022	1109	1178	1138
16	Pedro Inca z Elsa Quiumbaguin	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288
			01	2	4	7	13	17	79	21	25	29	

Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2022.

Para realizar el cálculo en valor monetario el operador entrega el documento o cuaderno a la Caja de ahorro San Agustín de Cajas que se encarga de realizar el cálculo de este valor, los usuarios para cancelar deben acercarse a esta entidad la cual se encuentra ubicada en la misma comunidad en la parte baja.

### 3.3 Requerimientos.

Con el análisis de la situación actual y tomando como referencia el estándar ISO/IEC IEEE 29148 se consideran los requerimientos que es el proceso de identificar, documentar, mantener, comunicar y trazar los requisitos a lo largo del ciclo de vida del sistema, producto o servicio, con el objetivo principal de garantizar el éxito del proyecto de tecnología. El

proceso de ingeniería de requisitos es esencial, ya que el éxito o fracaso del producto depende de cómo se capturaron, entendieron y manejaron los requisitos para su desarrollo.

El estándar ISO/IEC IEEE 29148, permite seleccionar de manera óptima los dispositivos de hardware y los sistemas de software. Para lograrlo, es importante examinar los requerimientos tanto del Usuario, el Sistema y la Arquitectura y determinar los componentes adecuados que cumplan con las funciones requeridas dentro del sistema.

En este contexto los requerimientos deben ser identificados de forma correcta para lo cual se hace uso de las nomenclaturas y abreviaciones, como se puede apreciar en la tabla 2 estas son las nomenclaturas que nos ayudan a identificar cada uno de los requerimientos necesarios para la elección del hardware como del software del sistema.

**Tabla 2.**

*Nomenclaturas y Abreviaciones.*

<b>Nomenclaturas o Abreviaciones</b>	<b>Requisito</b>
RSKS	Requisitos de stakeholders
RSSA	Requerimientos de Sistema
RSAA	Requerimientos de Arquitectura.

*Nota: Propio Autor, 2022.*

### **3.3.1 Stakeholders.**

En stakeholders son aquellos grupos de interés, que de manera directa o indirecta intervienen en el proceso o resultado del proyecto. En la Tabla 3 se describe el listado del grupo stakeholders que están involucrados en el proyecto, como también sus respectivas funciones.

**Tabla 3.***Involucrados en el proyecto (stakeholders).*

GRUPOS E INDIVIDUOS INVOLUCRADOS.		
N°	Involucrados	Función
1	Habitantes de la comunidad San Agustín de Cajas.	Usuarios del sistema propuesto.
2	MSc. Jaime Michilena	Director del trabajo de titulación.
3	MSc: Luis Suárez	Asesor del trabajo de titulación.
4	Abg. Wilman De la Cruz	Presidente de la comunidad.
5	Henry Cuascota	Desarrollador del proyecto.

*Nota: Propio Autor, 2022.***3.3.2 Requerimientos de stakeholders.**

Para el desarrollo del sistema es primordial determinar los requerimientos ligados a la parte operativa del sistema, así como también a las necesidades de los usuarios, para ello en la Tabla 4 se puede apreciar los requisitos de los usuarios.

**Tabla 4.***Requerimientos de stakeholders.*

RSKS				
N°	Requerimiento	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
Requerimientos Operacionales				
<b>RSKS1</b>	El dispositivo adquiere y permite el almacenamiento de los datos.	X		

<b>RSKS2</b>	El dispositivo muestra al usuario la información visual de los niveles de consumo.	X	
<b>RSKS3</b>	El dispositivo debe operar ininterrumpidamente las 24 horas del día.	X	
<b>RSKS4</b>	El sistema terminado deberá presentar un bajo consumo de energía.		X
<b>RSKS5</b>	El sistema para el enlace y transmisión de los datos entre el nodo sensor y el Gateway debe ser de forma inalámbrica.	X	

#### **Requerimientos de Usuario**

<b>RSKS6</b>	Los datos obtenidos del dispositivo deben ser presentados al usuario de forma clara.	X	
<b>RSKS7</b>	El consumo del agua generado por parte de los usuarios será calculado de forma automática.	X	
<b>RSKS8</b>	El usuario una vez instalado el dispositivo en el domicilio no podrá manipularlo.		X
<b>RSKS9</b>	Los datos serán visualizados en una plataforma accesible para usuarios permitidos.	X	

*Nota: Propio Autor, 2022.*

### **3.3.3 Requerimientos del Sistema.**

Para el buen funcionamiento del dispositivo es indispensable tomar en cuenta los requerimientos del sistema que describen las características y funcionalidades además de las propiedades que debe poseer el sistema en general, en esta sección se especifica los requisitos de uso, interfaces, los modos y estados, físicos. En la Tabla 5 se puede apreciar los requerimientos del sistema.

#### **Tabla 5.**

*Requerimientos del sistema.*

RSSA		
N°	Requerimiento	Prioridad

		Alta	Media	Baja
<b>Requerimientos Uso</b>				
<b>RSSA1</b>	El dispositivo debe instalarse en la tubería principal del domicilio para la toma de datos.	X		
<b>RSSA2</b>	El dispositivo una vez instalado deberá estar energizado ininterrumpidamente	X		
<b>RSSA3</b>	Una fuente de energía portátil de 5 voltios para el sistema embebido.		X	
<b>RSSA4</b>	Una fuente de 110V para la alimentación de la electroválvula.	X		
<b>RSSA5</b>	Incorporar Relay para el funcionamiento de la electroválvula.		X	
<b>Requerimientos de Performance</b>				
<b>RSSA6</b>	Los datos de consumo de agua se obtienen con el sensor del flujo de agua.	X		
<b>RSSA7</b>	Corte del paso de agua se realiza con la electroválvula.	X		
<b>RSSA8</b>	Transmisión y recepción de datos a través de un módulo inalámbrico.	X		
<b>RSSA9</b>	Procesar la información recolectada por los dispositivos sensores.	X		
<b>RSSA10</b>	Almacenar los datos obtenidos por los sensores.	X		
<b>Requerimientos de Modo/Estado</b>				
<b>RSSA11</b>	El dispositivo deberá estar en funcionamiento de forma ininterrumpida en todo momento las 24 horas.	X		
<b>RSSA12</b>	En caso de corte de energía la batería de respaldo entrara en funcionamiento.	X		
<b>RSSA13</b>	La transmisión de la información hacia el servidor se llevará a cabo de acuerdo con los plazos especificados por las autoridades correspondientes.		X	
<b>RSSA14</b>	Los cortes de servicio se efectuarán de acuerdo con criterios del operador.		X	
<b>Requisitos de Interfaz</b>				

<b>RSSA15</b>	Pines analógicos y digitales de entrada y salida en la placa de procesamiento.	X	
<b>RSSA16</b>	La placa debe tener la capacidad de incorporar un módulo inalámbrico necesario para el envío y recepción de información.	X	
<b>RSSA17</b>	Sensor de flujo debe contar con un pin de salida lógica para conectarse con el microprocesador.	X	
<b>RSSA18</b>	Ingresar a la interfaz gráfica para visualizar datos.	X	
<b>RSSA19</b>	Módulo de comunicación deberá poseer una interfaz LAN para envío de datos hacia la nube.		X
<b>Requerimientos Físicos</b>			
<b>RSSA20</b>	El sistema debe ser protegido con una carcasa y será lo más compacta posible.	X	
<b>RSSA21</b>	El dispositivo debe ser colocado cerca del medidor físico para comprobar la precisión de la medición.		X
<b>RSSA22</b>	Los sensores deben ser posicionados de manera adecuada para una mayor eficacia en la recolección de datos.		X
<b>RSSA23</b>	El dispositivo debe ser instalado con una alineación y línea de vista con el Gateway.	X	

*Nota: Propio Autor, 2022.*

### **3.3.4 Requerimientos de Arquitectura.**

En esta sección se describe los componentes de Hardware y Software, determina las características y necesidades específicas que ayudan al desarrollo del dispositivo electrónico y en si del sistema en general. En la Tabla 6 se puede apreciar los requerimientos de arquitectura.

#### **Tabla 6.**

*Requerimientos de Arquitectura.*

---

RSAA

---

N°	Requerimiento	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
<b>Requerimientos Hardware</b>				
<b>RSAA1</b>	Gateway y nodo sensor deben trabajar en la misma frecuencia, además de tener compatibilidad y pertenecer a la misma serie.	X		
<b>RSAA2</b>	El sistema integrado debe ser capaz de transmitir la información de forma continua.	X		
<b>RSAA3</b>	El sensor de flujo y la electroválvula deberán tener dimensiones para acoplarse en una tubería ½.	X		
<b>RSAA4</b>	Los módulos deberán presentar un bajo consumo de energía.		X	
<b>RSAA5</b>	La placa de procesamiento debe ser compatible con el módulo de comunicación LoRa.	X		
<b>Requerimientos de Software</b>				
<b>RSAA6</b>	Para programar la placa de procesamiento es necesario utilizar un software de programación compatible con ella.	X		
<b>RSAA7</b>	Es importante asegurarse de que existen librerías disponibles para cada uno de los sensores que se planea utilizar, ya que esto puede ahorrar tiempo y esfuerzo, además que esto asegura que el sensor funcione correctamente.	X		
<b>RSAA8</b>	Es importante que el software de desarrollo de páginas web que se utilice tenga la capacidad de trabajar con bases de datos.	X		
<b>RSAA9</b>	Para el diseño y desarrollo de la página web, y base de datos se requiere una plataforma de código abierto.		X	
<b>RSSA10</b>	El sistema debe utilizar un lenguaje de programación de código abierto.		X	
<b>Requerimientos de Diseño</b>				
<b>RSAA11</b>	El equipo debe contar con una estructura que lo proteja contra posibles daños causados por factores externos.		X	
<b>RSAA12</b>	Colocar el nodo sensor en lugares estratégicos para recolectar datos de manera eficiente.	X		

<b>RSAA13</b>	Sistema implementado de bajo costo.		X
<b>RSAA14</b>	Ubicar sensores adecuadamente de manera que no interfieran con la placa de procesamiento.		X
<b>RSAA15</b>	Sistema de bajo consumo de energía		X
<b>Requisitos Eléctricos.</b>			
<b>RSAA16</b>	La fuente de energía de respaldo para el dispositivo será mediante el uso de baterías, para garantizar la continuidad del funcionamiento en caso de fallas en la alimentación principal.	X	
<b>RSAA17</b>	La fuente de alimentación para el dispositivo electrónico será de 5 a 12 voltios, para asegurar una operación segura y estable del equipo.	X	
<b>RSAA18</b>	Tama corrientes externas para alimentación del dispositivo y la recarga de la batería.	X	
<b>RSAA19</b>	Optimizar lo máximo posible el sistema para una larga duración de la batería de respaldo.		X
<b>RSSA20</b>	Conexión de VCC y GND para los sensores	X	

*Nota: Propio Autor, 2022.*

### **3.4 Selección de Hardware y Software.**

La elección del hardware y software para el desarrollo del sistema se basará en el análisis de las necesidades especificadas previamente. La selección incluirá la evaluación de las diferentes opciones disponibles de acuerdo con los requisitos planteados, la opción con la mejor valoración será la elegida finalmente.

#### **3.4.1 Selección de Hardware.**

Para la elección del hardware a utilizar se lo realiza en base a los requerimientos de arquitectura anteriormente definidos. La elección se hará mediante un análisis comparativo de los distintos componentes disponibles en el mercado, utilizando un sistema de puntuación con

valores de 1 y 0, donde 1 significa que cumple con los requisitos y 0 que no. El objetivo es seleccionar el componente con la mejor calificación.

#### **3.4.1.1 Elección del Gateway LoRA.**

El Gateway LoRa es el dispositivo que recolecta la información de todos los nodos conectados al sistema, para elegir la mejor opción se debe tener en cuenta las características y funcionalidades de cada equipo a comparar con el fin de determinar la mejor el dispositivo que mejor se adapte a las necesidades del sistema a implementar.

En la tabla 7 se muestra una sección de características de cada uno de los equipos considerados para utilizar en el proyecto, la elección de este equipo principal se lo realiza en base a las características y funcionalidad, esto con el fin de elegir el mejor equipo.

**Tabla 7.**

*Selección Gateway LoRA*

<b>Modelo</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Frecuencia de trabajo</b>	<b>Perdidas de paquetes con 3 nodos</b>	<b>Canales</b>
Dragino LG01-N	5 a 10km	915 MHz	1 % de pérdida	1 canal
Dragino LG01-P	5 a 10km	915 MHz	60 % de pérdida	4 canales
Dragino LG01-S	5 a 10km	868 a 915 MHz	60 % de pérdida	1 canal

*Nota: Propio Autor, 2022.*

Comparado los equipos disponibles y accesibles en el mercado para el Gateway LoRA la mejor elección es el modelo LG01-N, esto debido a que el sistema propuesto requiere la conexión de varios nodos y el modelo seleccionado presenta la menor pérdida de paquetes o de información en comparación con las demas, Además este modelo LG01-N

utiliza Linux para controlar directamente el módulo LoRa sx1276/sx1278, lo que mejora la eficiencia de la comunicación.

#### 3.4.1.2 Elección Módulo LoRA (Nodo)

En la selección del módulo LoRa (Nodo Sensor), se basa en las características que tienen para transmitir la información y en la comunicación entre los nodos, la compatibilidad con el Gateway LoRA mismo que debe trabajar en la misma frecuencia, además de tomar en cuenta la disponibilidad de estos dispositivos dentro del mercado. En la tabla 8 se presenta varios módulos LoRA puestas en comparación con el fin de elegir la mejor opción.

**Tabla 8.**

*Elección del módulo shield LoRA.*

Placa de procesamiento	Requerimientos.			Valoración
	RSAA1	RSAA5	RSAA7	
<b>Modulo SX1276</b>	1	1	1	3
<b>LoRABee RN2903A</b>	0	1	1	2
<b>E32-900T30D</b>	1	0	1	2

*Nota: Propio Autor, 2022.*

A continuación, se presenta en la tabla 9 se presenta una lista características importantes que se han considerado para elegir los módulos.

**Tabla 9.**

*Selección del módulo LoRA*

Modelo	Frecuencia de operación	Alcance Tx/Rx	Compatible con Arduino	Tasa de transferencia.
--------	-------------------------	---------------	------------------------	------------------------

Modulo SX1276	915 MHz	400m a 2km con línea de vista	SI	300 kbps
LoRABee RN2903A	915 MHz	15 Km Rural 5 Km Urbano	NO	300 kbps
E32-900T30D	862 a 930 MHz	8 km con línea de vista.	NO	0.3 a 19.2 kbps

*Nota: Adaptado de, Equipos LoRA disponibles en el mercado, 2020.*

A partir de la recolección de datos sobre distancia, frecuencia y la compatibilidad de los módulos mencionados anteriormente. Por sus características el módulo SX1276, es el que mejor se acopla a las necesidades del sistema a implementar, ya que este shield LoRa se basa en el chip Semtech SX1276/SX1278, diseñado para uso profesional en aplicaciones de sensores inalámbricos como sistemas de riego, medidores inteligentes, ciudades inteligentes, detección de teléfonos inteligentes, automatización de edificios.

#### ***3.4.1.3 Elección de la placa de procesamiento.***

Para la elección de la placa de procesamiento es indispensable tener en cuenta los requerimientos antes mencionados y también conocer que componentes van a conectarse, como uno de ellos que es el sensor de flujo, la recolección y el procesamiento de los datos generados por el sensor de flujo de agua se realizarán a través de una placa de procesamiento. Los datos proporcionados por el sensor son pulsos de voltaje, para obtener información sobre la cantidad de líquido que fluye a través del sensor, se debe realizar una etapa de conversión matemática y presentarla en información fácilmente entendible para el usuario. En la Tabla 10 se presenta una serie de placas puestas en comparación con el fin de elegir la mejor opción.

#### **Tabla 10.**

*Selección de la placa de procesamiento.*

<b>Placa de procesamiento</b>	<b>Requerimientos.</b>	<b>Valoración</b>
-------------------------------	------------------------	-------------------

	RSSA12	RSSA13	RSAA5	RSAA6	
<b>Arduino Uno</b>	1	1	1	1	4
<b>Raspberry Pi</b>	0	1	1	1	3
<b>NodeMCU ESP8266</b>	1	0	1	1	3

*Nota: Propio Autor, 2022.*

Se ha seleccionado la placa de procesamiento Arduino Uno debido a que cumple con todos los criterios y requerimientos necesarios. En especial, cuenta con el número de pines requeridos tanto analógicos como digitales a través de los cuales se pueden conectar los diferentes dispositivos a utilizar en este sistema tal como se muestra en la Figura 24, además que dentro del mercado es uno de los más solicitados tanto por sus características como también por su costo de adquisición. En la Tabla 11 se describen las características principales de la placa Arduino Uno.

**Figura 24**

*Arduino UNO*



*Nota:* Adaptado de, (Arduino, 2022).

**Tabla 11.**

*Características Arduino Uno.*

<b>Parámetro</b>	<b>Características.</b>
<b>Pines</b>	14 pines digitales (6 PWM) y 6 pines analógicos.
<b>Microcontrolador</b>	ATMega328P
<b>Voltaje</b>	7,5 a 12 V
<b>Puerto</b>	1 por hardware un puerto serie
<b>Memoria</b>	32 KB Flash
<b>EEPROM</b>	1 KB
<b>RAM</b>	2 KB

*Nota:* Adaptado de, (Arduino, 2022).

#### ***3.4.1.4 Elección sensor de flujo de agua.***

La selección del sensor de flujo es esencial para la fabricación del dispositivo electrónico ya que este componente permite medir la cantidad de agua consumida, por esta razón se realiza la búsqueda de diferentes sensores con el fin de elegir la que mejor se acople al sistema, en la Tabla 12 se compara algunos de los sensores de agua disponibles en el mercado.

**Tabla 12.***Selección del sensor de flujo de agua.*

Sensor modelo	Requerimientos		Valoración
	RSSA5	RSAA3	
<b>YF-S201</b>	1	1	2
<b>FS-300<sup>a</sup></b>	1	0	1
<b>FSC-VSR-2(2-1/2)</b>	1	0	1

*Nota: Propio Autor, 2022.*

Se selecciona el sensor de flujo de agua YF-S201 el cual cumplen con todos los requisitos necesarios y además de ser compatible con la mayoría de las placas de procesamiento mostrado en la Figura 25. Una de sus características más destacadas es que se puede adaptar fácilmente a tuberías estándar que se maneja en caso todas las instalaciones de agua para domicilios. En la Tabla 13 se describe las características principales de este sensor.

**Figura 25***Sensor de flujo de agua.**Nota: Adaptado de, (avelectronics, 2022).*

**Tabla 13.***Características del sensor de flujo de agua.*

<b>Parámetro</b>	<b>Características.</b>
<b>Paso caudal</b>	1 a 30 L/min
<b>Temperatura de operación</b>	-25 °C ~ 80 °C
<b>Voltaje de funcionamiento</b>	5 a 18 V
<b>Presión del líquido</b>	1.75 Mpa
<b>Rosca externa</b>	½ pulgada
<b>Volumen promedio por pulso</b>	2.25 mL

*Nota:* Adaptado de, (avelectronics, 2022).**3.4.1.5 Elección de la electroválvula.**

La electroválvula es un dispositivo que tiene la función de controlar el suministro de agua, permitiendo o cerrando el paso del fluido. Por lo tanto, es importante elegir cuidadosamente el mejor modelo disponible en el mercado para asegurar un funcionamiento óptimo, en la Tabla 14 se realiza la comparación de algunas electroválvulas.

**Tabla 14.***Selección de la electroválvula.*

<b>Sensor modelo</b>	<b>Requerimientos</b>	<b>Valoración</b>
----------------------	-----------------------	-------------------

	RSAA2	RSAA3	
<b>Electroválvula senoidal</b>	1	1	2
<b>electroválvula de bola.</b>	1	1	2

*Nota: Propio Autor, 2022.*

La electroválvula seleccionada es la senoidal como se muestra en la Figura 26. Ya que cumple con todos los requerimientos necesarios, además de ser compatible con la placa de procesamiento, esta electroválvula es de bajo costo y está disponible en el mercado local. En la Tabla 15 se muestra las principales características de esta electroválvula.

### **Figura 26**

*Electroválvula seleccionada.*



*Nota: Adaptado de, (tecmikro, 2022).*

**Tabla 15.***Características electroválvula.*

<b>Parámetro</b>	<b>Características.</b>
<b>Flujo</b>	5L/min
<b>Temperatura de operación</b>	Hasta 90° C
<b>Voltaje de funcionamiento</b>	12V / 110VCA
<b>Presión del liquido</b>	0.02 – 0.8 Mpa
<b>Diámetro entrada y salida.</b>	½ pulgada
<b>Vida útil</b>	1.000.000 de ciclos

*Nota:* Adaptado de, (tecmikro, 2022).

### **3.4.2 Selección del Software.**

Una vez elegidos los dispositivos hardware para el proyecto, es esencial identificar las opciones de software y plataformas más adecuadas para garantizar el correcto funcionamiento del sistema que se está desarrollando. La placa de procesamiento es el único dispositivo que maneja entorno de programación propio acoplado a sus necesidades.

#### **3.4.2.1 Elección software para la placa de procesamiento.**

Para la elección del software de programación es indispensable tomar en cuenta los requerimientos planteados en la Tabla 6. En la siguiente sección se presenta la Tabla 16 que es una comparación entre los distintos softwares con el fin de elegir la mejor opción, tomando en cuenta que la placa deberá integrar distintos dispositivos los cuales deberán cumplir diferentes acciones dentro del sistema.

**Tabla 16.***Elección del software para la placa.*

Software	Requerimientos.			Valoración
	RSAA6	RSAA7	RSAA10	
<b>IDE Arduino</b>	1	1	1	3
<b>Python</b>	1	1	1	3

*Nota: Propio Autor, 2022.*

En base a los requerimientos definidos con anterioridad, se elige el software de programación IDE Arduino ya que esta cuenta con la compatibilidad con la placa de procesamiento, permitiendo programar y controlar diferentes dispositivos de forma estable.

#### **3.4.2.2 Elección de la plataforma de almacenamiento.**

El registro de información de cada medidor se llevará a cabo en una base de datos. Se necesita una plataforma de base de datos que sea compatible con el sistema en el que se hospedará el servidor y además de que sea basado en software libre. En la Tabla 17 se muestra la elección en base a requerimientos de la plataforma de base de datos.

**Tabla 17***Elección plataforma de almacenamiento*

Plataforma de almacenamiento	Requerimientos.		Valoración
	RSAA8	RSAA9	
<b>phpMyAdmin</b>	1	1	2

---

<b>Oracle</b>	0	1	1
---------------	---	---	---

---

*Nota: Propio Autor, 2023.*

En base a los requerimientos la mejor opción para utilizar como plataforma de almacenamiento es phpMyAdmin, además de tener un sistema muy completo, su diseño facilita su manipulación.

### **3.5 Diseño del sistema.**

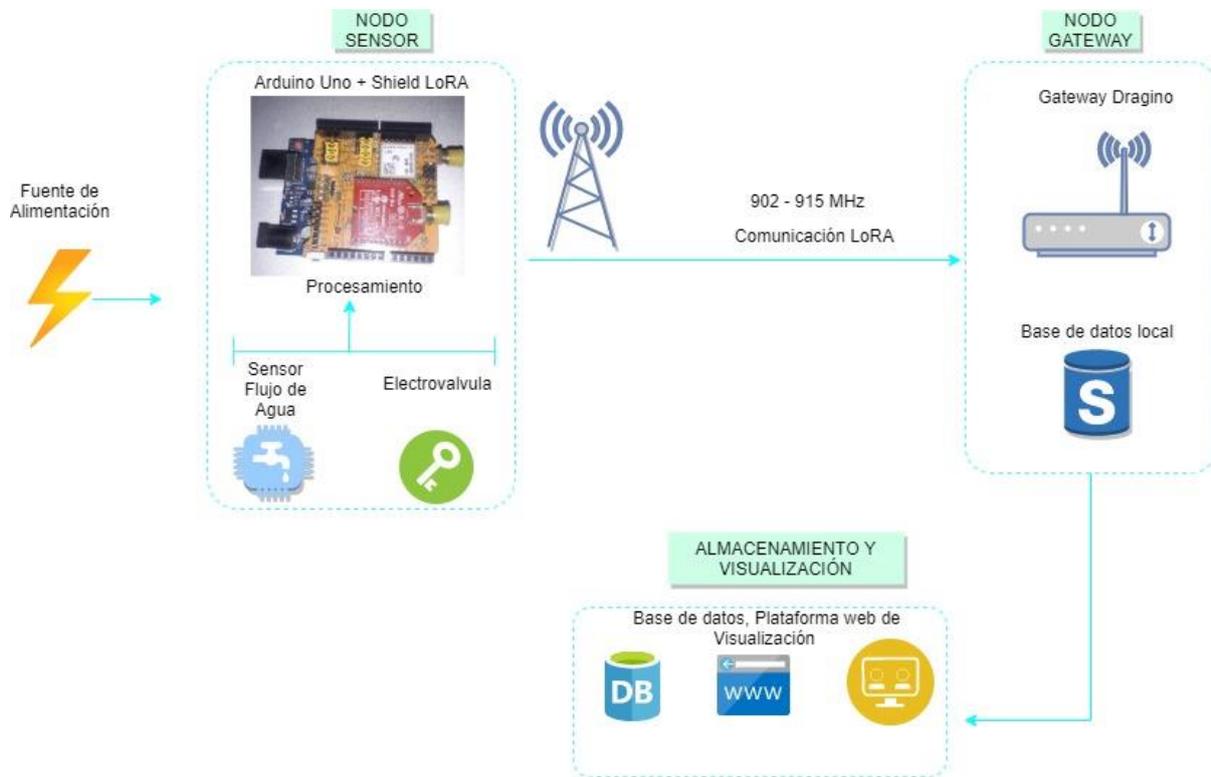
Se utilizará la información previa para construir el sistema de medición de agua. Es crucial considerar las limitaciones, ventajas y requisitos del sistema final. Posterior a la elección de los componentes del sistema, la siguiente fase es el diseño del sistema, donde se describen detalladamente cómo funciona, los procesos y cómo se integran los componentes desarrollados.

#### **3.5.1 Diagrama de arquitectura del sistema.**

La creación de un diagrama de bloques ayuda a definir las fases del diseño, donde cada fase se representa con un bloque que ejecuta diferentes procesos y muestra de manera específica la acción requerida. En la Figura 27 se muestra el diagrama de bloques para el diseño del sistema.

**Figura 27**

*Diagrama de Arquitectura del sistema.*



*Nota: Adaptado de Propio Autor, 2023.*

### **3.5.1.1 Fuente de alimentación.**

La fuente de alimentación provee de energía para el funcionamiento del sistema de recolección de datos, es indispensable contar con una conexión eléctrica cerca de la instalación del dispositivo electrónico, los sensores utilizados en este caso el sensor de flujo de agua funciona con un voltaje de 3 a 5V y la electroválvula funciona con un voltaje de 12V, además cuenta con una batería de respaldo la cual provee energía en caso de cortes repentinos del sistema eléctrico.

Para la conexión con la placa de procesamiento y la electroválvula que funcionan a diferente frecuencia se hace uso de cargadores regulados al voltaje necesario que garanticen

la funcionalidad de los sensores y la placa, por este motivo es indispensable contar con un tomacorriente de 110V cerca de la conexión que se va a realizar del dispositivo electrónico.

### ***3.5.1.2 Nodo sensor.***

En esta sección se lleva a cabo la obtención de datos mediante el uso de un sensor de flujo, el cual se encuentra conectado directamente a una placa de procesamiento. Esta placa se encarga de convertir los pulsos de frecuencia en información comprensible para el usuario. Además, a la placa de procesamiento también se conecta al módulo de relay, el cual posibilita el control de la electroválvula para su accionamiento dependiendo de las necesidades en el sistema.

Todos estos datos obtenidos por el nodo sensor serán transmitidos al nodo Gateway, por medio del módulo shield LoRA el cual tiene la posibilidad de ser montado encima de la placa de procesamiento.

#### ***3.5.1.2.1 Diagrama de flujo nodo sensor.***

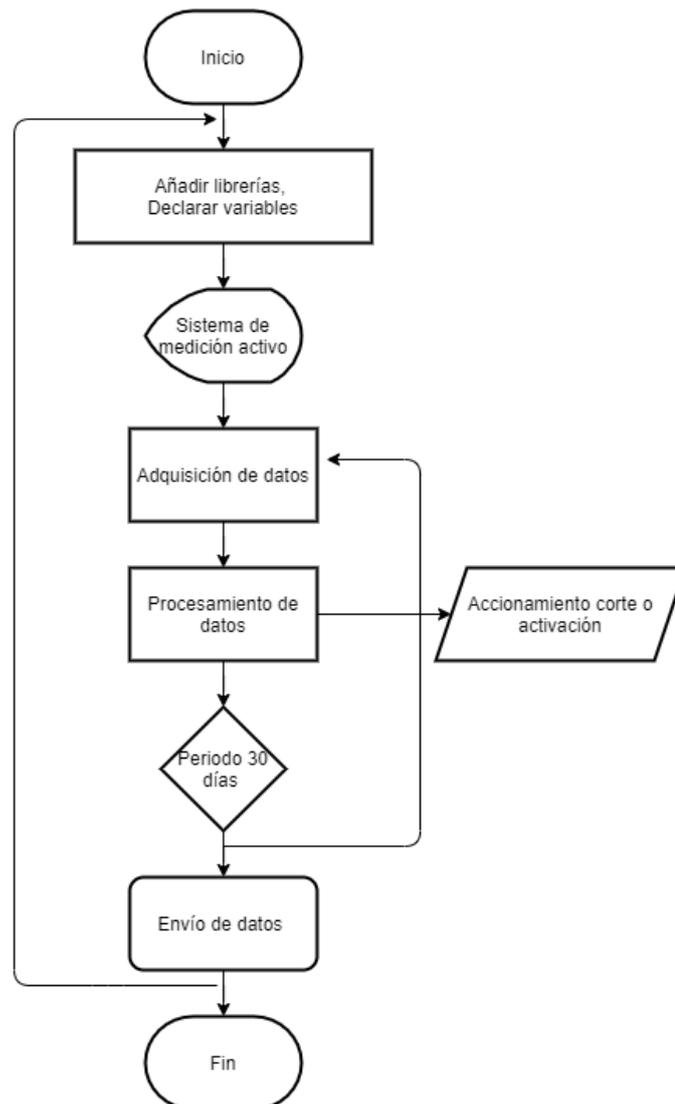
En el presente diagrama se muestra de forma gráfica una secuencia de pasos por medio de los cuales se obtendrá los datos del sensor, estos datos obtenidos serán procesados de forma que los pulsos de frecuencia se transformen en información comprensible para los usuarios, concluyendo con el cálculo del consumo del agua. Este proceso de recolección de datos por parte de los sensores conectados a la placa lo realizan por un periodo de 30 días.

El accionamiento de la electroválvula para corte o activación del servicio de agua potable, el nodo sensor recibirá una instrucción desde la página web que cuenta con campo específico, de este modo se entiende que el nodo Gateway enviara una notificación hacia el nodo sensor el cual deberá realizar la correspondiente acción ya sea de activación o corte del servicio.

Como parte final estos datos son enviados hacia el Gateway LoRA todos estos pasos están descritos en la Figura 28.

**Figura 28**

*Diagrama de flujo del nodo sensor.*



*Nota:* Adaptado de *Propio Autor, 2023.*

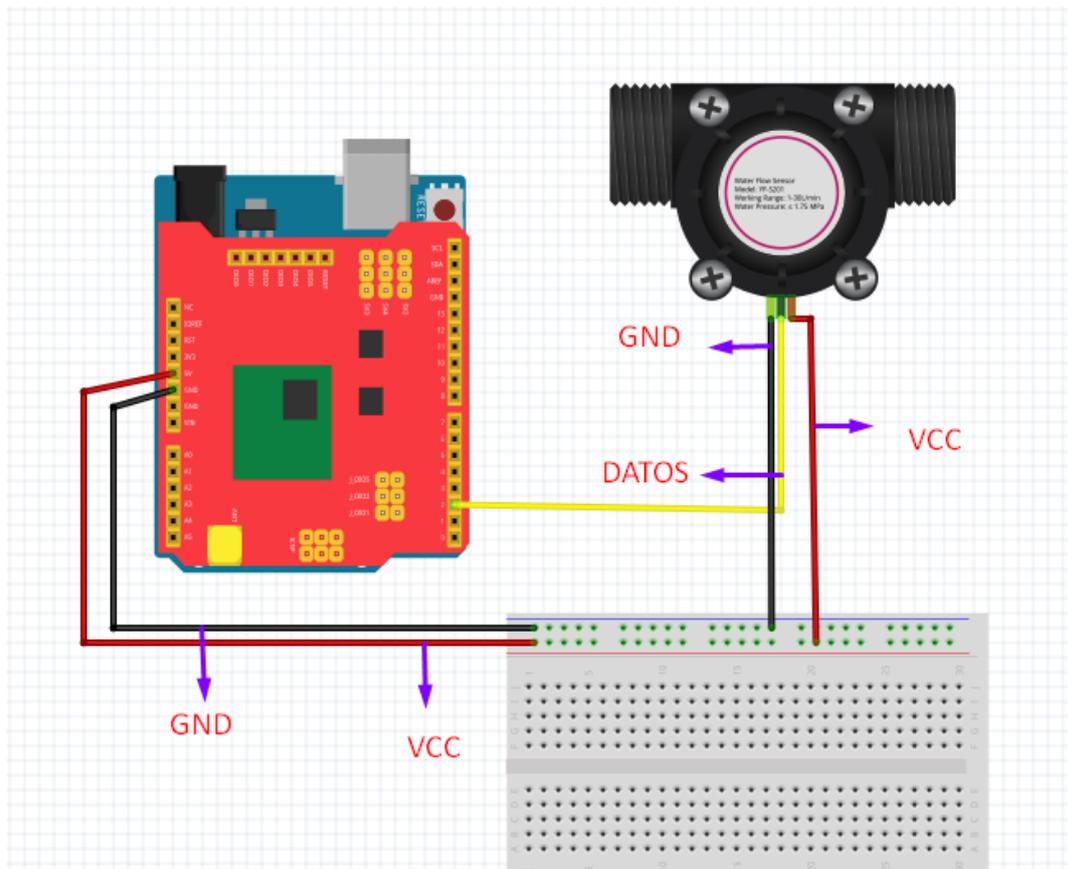
### 3.5.1.2.2 Diagrama de conexión sensor flujo de agua.

Para realizar el diagrama de esta conexión, en primer lugar, se deberá identificar las funciones que cumple cada uno de los pines con los que cuenta el sensor ya que uno de ellos en específico en este caso el de color amarillo es el utilizado para datos, mismo que está

conectado al pin 2 de la placa de procesamiento, el cable rojo es VCC (voltaje de corriente directa) y el cable negro GND (tierra). En la Figura 29 se muestra la conexión del sensor de flujo con la placa de procesamiento.

**Figura 29.**

*Conexión sensor de flujo de agua.*



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023*

### 3.5.1.2.3 Medir el consumo del agua.

En la Figura 30 se muestra parte del código de Arduino que servirá para calcular el flujo de agua por minuto, partiendo del cálculo de la frecuencia para luego realizar la transformación de acuerdo con el caudal que permite pasar por el sensor.

### Figura 30

#### *Código flujo del agua*

```

Q = 450 / diffTime; // Frecuencia de pulsos calculado
flow2 = (pulse_freq2 / 7.5); // Flujo de agua por minuto
Serial.print("Frecuencia de pulsos: ");
Serial.print(pulse_freq2);
Serial.print(" (Hz) ");

flow2 = pulse_freq2 * .00225;
flow2 = (60 * flow2) / diffTime;

Serial.print(" Flow2: ");
Serial.print(flow2, DEC);
Serial.print(" L/Min ");

Serial.print(" Flow3: ");
Serial.print(flow2*60, DEC);
Serial.println(" L/h");

lastTime = currentTime; // Actualiza el tiempo
pulse_freq2 = 0; // Reset al contador

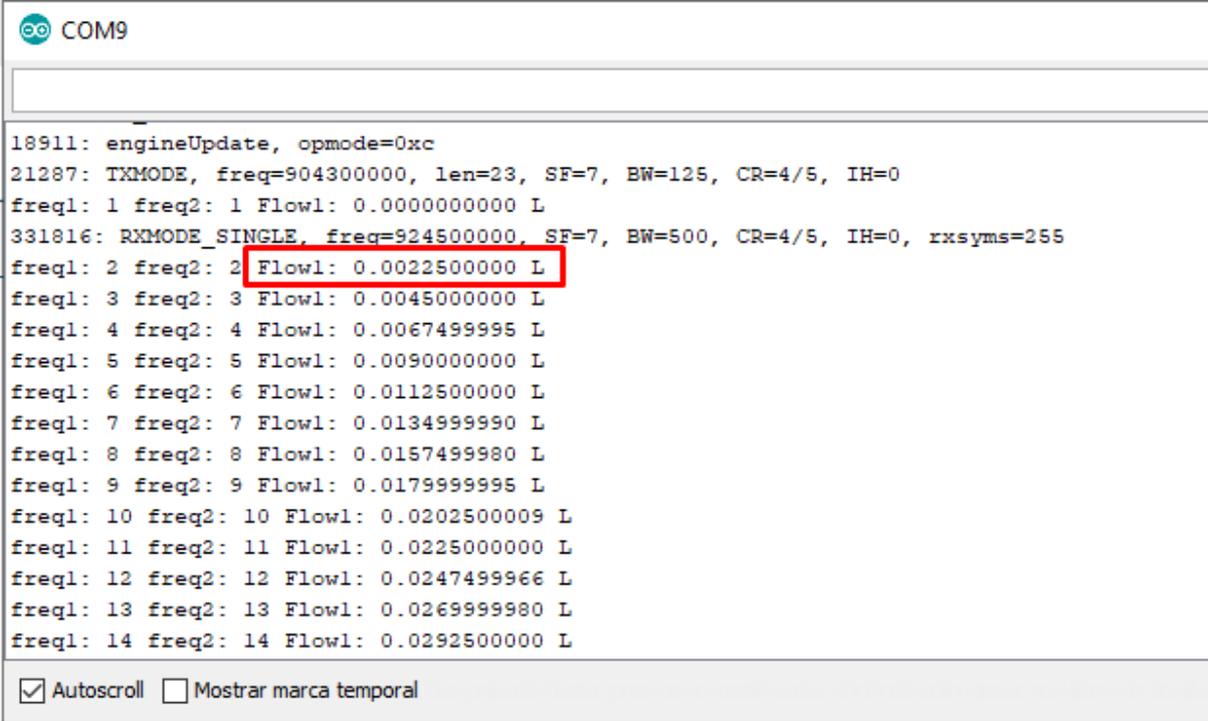
```

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023*

Para comprobar que los datos son tomados por el sensor se realiza una impresión de dichos datos a través del puerto COM donde está conectado la placa de procesamiento. En la Figura 31 se puede apreciar que se capturan los datos exactamente presentando el valor de Flow1 marca el flujo de agua en litros por minuto con esto se comprueba que el sistema de recolección está funcionando correctamente.

### Figura 31

*Visualización del flujo del agua.*



```

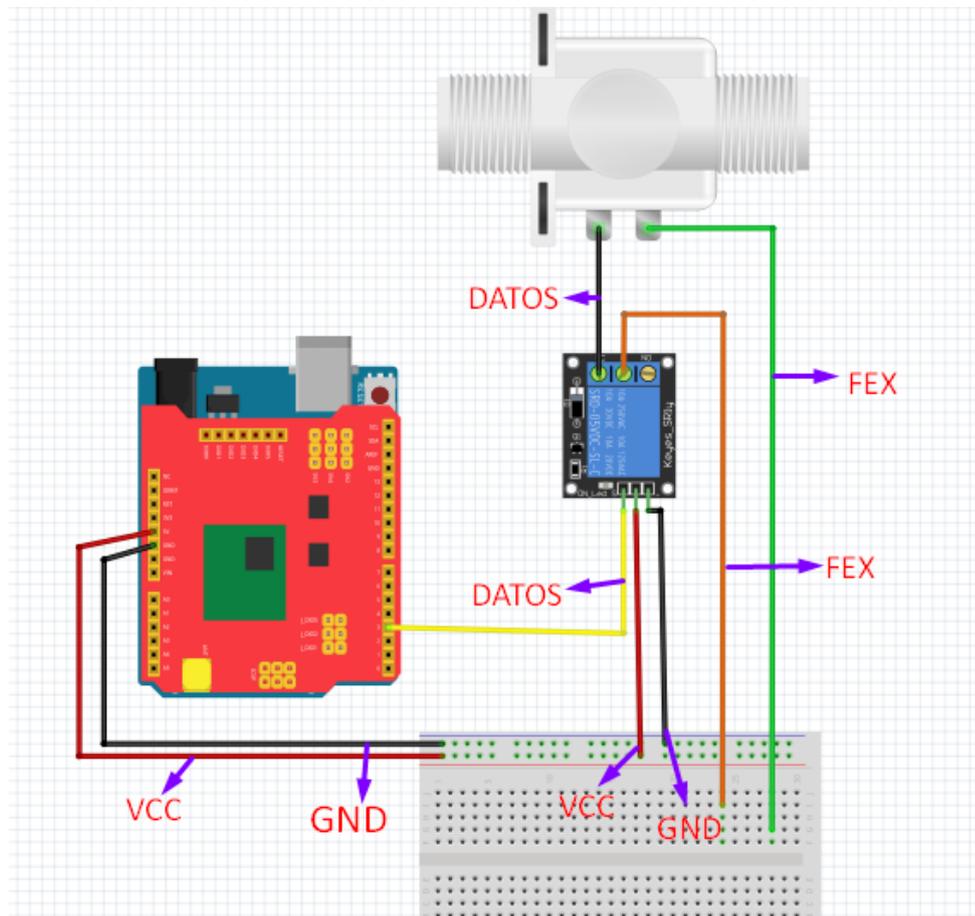
COM9
18911: engineUpdate, opmode=0xc
21287: TXMODE, freq=904300000, len=23, SF=7, BW=125, CR=4/5, IH=0
freq1: 1 freq2: 1 Flow1: 0.0000000000 L
331816: RXMODE_SINGLE, freq=924500000, SF=7, BW=500, CR=4/5, IH=0, rxsyms=255
freq1: 2 freq2: 2 Flow1: 0.0022500000 L
freq1: 3 freq2: 3 Flow1: 0.0045000000 L
freq1: 4 freq2: 4 Flow1: 0.0067499995 L
freq1: 5 freq2: 5 Flow1: 0.0090000000 L
freq1: 6 freq2: 6 Flow1: 0.0112500000 L
freq1: 7 freq2: 7 Flow1: 0.0134999990 L
freq1: 8 freq2: 8 Flow1: 0.0157499980 L
freq1: 9 freq2: 9 Flow1: 0.0179999995 L
freq1: 10 freq2: 10 Flow1: 0.0202500009 L
freq1: 11 freq2: 11 Flow1: 0.0225000000 L
freq1: 12 freq2: 12 Flow1: 0.0247499966 L
freq1: 13 freq2: 13 Flow1: 0.0269999980 L
freq1: 14 freq2: 14 Flow1: 0.0292500000 L
 Autoscroll  Mostrar marca temporal

```

*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

#### 3.5.1.2.4 Diagrama de conexión Electroválvula.

La conexión de igual manera en primer lugar hay que identificar los pines del sensor, en este caso se realiza la conexión de esta electroválvula con un módulo Relay para regular el voltaje, de la misma manera la sigla FEX (Fuente Externa) se realiza esta conexión para asegurar los 15 voltios que necesita la electroválvula para su funcionamiento. En la figura 32 se muestra la conexión del sensor de flujo con la placa de procesamiento.

**Figura 32***Conexión de la electroválvula.**Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

### 3.5.1.2.5 Funcionamiento electroválvula.

En la figura 33 se muestra el código para el funcionamiento de la electroválvula a través del cual se puede activar o desactivar el servicio dependiendo de las necesidades del momento.

### Figura 33

*Código control electroválvula.*

```
if ((received[0] == opencml[0]) && (received[1] == opencml[1]) && (received[2] == opencml[2]) && (received[3] == opencml[3])) {  
  Serial.println("Pin de CONTROL en HIGH (activando Relay!");  
  digitalWrite(ctl_pin, HIGH);  
}  
if ((received[0] == closecml[0]) && (received[1] == closecml[1]) && (received[2] == closecml[2]) && (received[3] == closecml[3]))  
  Serial.println("Pin de CONTROL en LOW (desactivando Relay!");  
  digitalWrite(ctl_pin, LOW);  
}
```

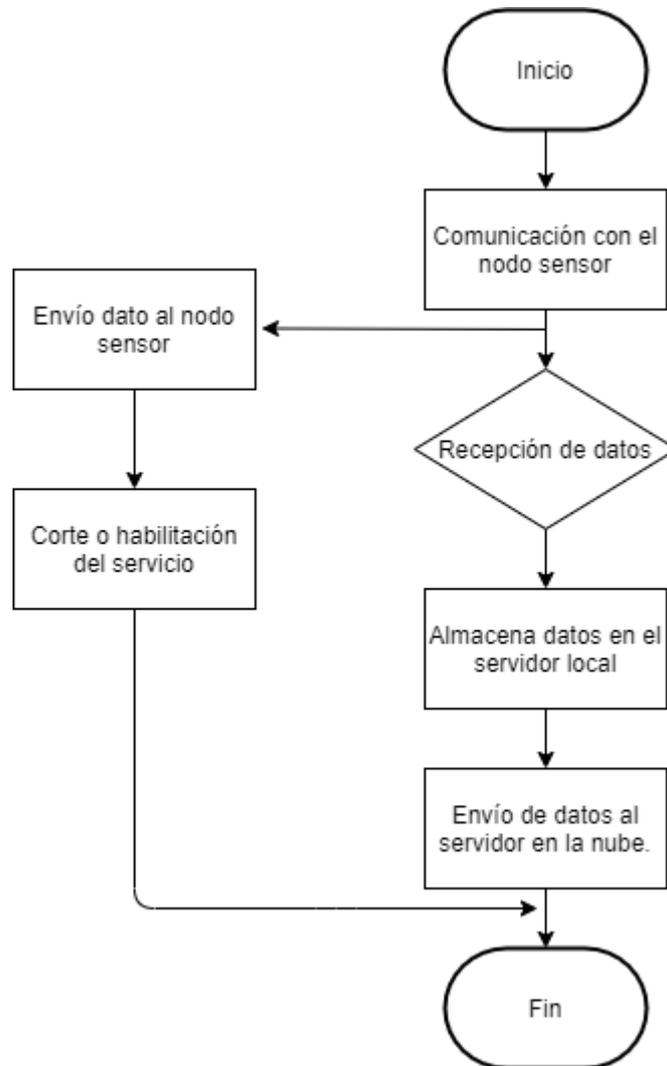
*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

#### 3.5.1.3 Nodo Gateway

En la figura 34 se muestra el esquema de la recepción de los datos recolectados por el nodo sensor, una vez establecida la conexión entre el Gateway y el nodo sensor estos datos son almacenados en una base de datos local para su posterior envío hacia el servidor en la nube. De la misma manera podrá enviar un dato hacia el nodo sensor para poder accionar la electroválvula ya sea el corte o la habilitación del servicio de agua potable.

**Figura 34**

*Diagrama de flujo nodo Gateway.*



*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor*, 2023.

#### **3.5.1.4 Comunicación LoRA Gateway y Shield LoRA.**

Para establecer la comunicación entre el Gateway y el shield se deberán realizar configuraciones indispensables en cada uno de los equipos, de igual manera deberán ser registrados en la TTN, a continuación, se presenta las configuraciones realizadas.

### 3.5.1.4.1 Configuración Gateway.

Para ingresar dentro de las configuraciones del Gateway se lo puede realizar de dos maneras de manera directa al conectar un cable de red desde la PC hacia el Gateway, o la otra forma al conectarse de forma inalámbrica a la red del Gateway. Una vez conectado se ingresa a la configuración digitando en un navegador la dirección 10.130.1.1, se nos pedirá credenciales mismas que son propias del equipo en este caso para el usuario se utiliza (root) y como contraseña (dragino),

Una vez dentro dirigirse al apartado LoRA, como se indica en la Figura 35 se muestra las configuraciones realizadas en esta sección la más indispensable la frecuencia en Hz en este caso el equipo trabaja a una frecuencia de 904300000, luego de realizar los cambios necesarios presionar en Save & Apply para guardar las configuraciones.

**Figura 35**

*Configuraciones Gateway.*

The screenshot displays the 'LoRa Configuration' page in the Dragino web interface. The top navigation bar includes 'LoRa', 'LoRaWAN', 'HTTP', 'MQTT', 'TCP', 'Custom', 'Network', and 'System'. The 'LoRa' tab is active. The configuration page is divided into several sections:

- Debug Level:** Set to 'High'.
- Radio Settings:**
  - Frequency (Hz): 904300000
  - Spreading Factor: SF7
  - Preamble Length: 8
  - RF Power (0-20) dBm: 20
  - RF Bandwidth (Hz): 125kHz
  - Coding Rate: 4/5
  - LoRa Sync Word: 52
- Static GPS coordinates ?**
  - Enable Static GPS:
  - Latitude: 0.358340620627771
  - Longitude: -78.12751297066521
  - Altitude (m): 450

At the bottom, there are three buttons: 'Save&Apply', 'Disable', and 'Cancel'.

*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

La siguiente configuración se lo realiza en la opción LoRAWAN, algunos de los parámetros quedaran por defecto, y los demas como el caso de Service Provider se

seleccionará Custom / Private LoRa Server, además de colocar en los puestos tanto para UPLINK / DOWNLINK en el valor de 1700 como se indica en la Figura 36.

### Figura 36

*Configuraciones Gateway.*

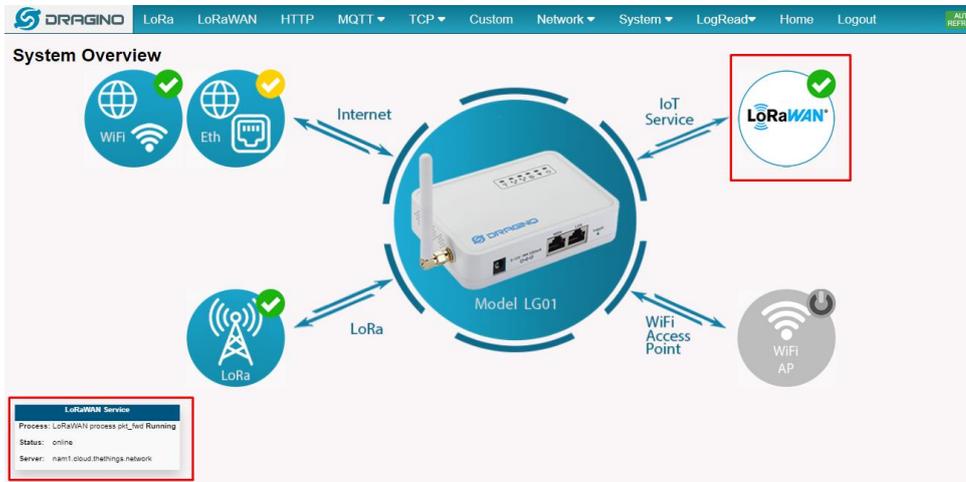
The screenshot shows the Dragino LoRaWAN Configuration interface. The 'LoRaWAN' tab is selected and highlighted with a red box. The configuration is divided into three sections: General Settings, Primary LoRaWAN Server, and Packet Filter. In General Settings, Email is 'dragino-1fd19c@dragino.com' and Gateway ID is 'a840411fd19c4150'. In Primary LoRaWAN Server, Service Provider is 'Custom / Private LoRa', Server Address is 'nam1.cloud.thethings.network', Uplink Port is '1700', and Downlink Port is '1700'. In Packet Filter, Fport Filter and DevAddr Filter are both set to '0'. At the bottom, there are 'Save&Apply' and 'Cancel' buttons.

*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

Como parte final en el equipo Gateway, para verificar la correcta funcionalidad de las configuraciones realizadas se deberá dirigir al apartado HOME en las que se podrá constatar mediante el visto en color verde que el Gateway está configurado correctamente. En la Figura 37 se muestra el estado de las configuraciones del Gateway LoRA.

**Figura 37**

*Página principal Gateway LoRA.*



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

### 3.5.1.4.2 Configuración de la plataforma TTNv3 Registro Gateway y shield LoRA.

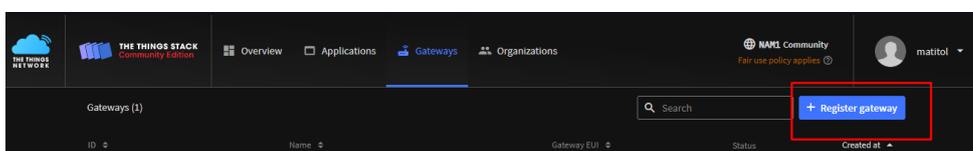
A continuación, para poder visualizar los datos obtenidos por los nodos es necesario registrar nuestros equipos dentro de la plataforma TTNv3, en este caso ayuda a que estos datos sean almacenados en una base de datos local con el fin de poderlos analizar y estudiar.

### 3.5.1.4.3 Registro Gateway.

Inicialmente se debe crear una cuenta dentro de la TTN, escoger la región y continuar con el registro del equipo, para esto seleccionamos en la opción Gateway y Registrar Gateway. En la Figura 38 se muestra la sección en la que se debe seleccionar para el correcto registro del Gateway.

**Figura 38**

*Registrar Gateway.*

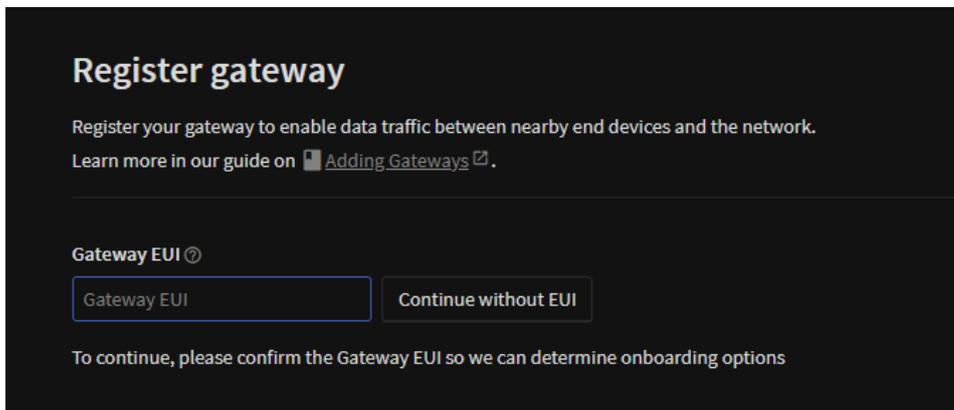


*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

Para registrar este equipo de deberá ingresar el código EUI el cual está en la pestaña LoRAWAN del Gateway específicamente en el campo Gateway ID. En las Figuras 39 y 40 se muestra los pasos y los campos a utilizar en el registro del Gateway.

### Figura 39

*Ingreso del EUI.*



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

### Figura 40

*Gateway ID.*

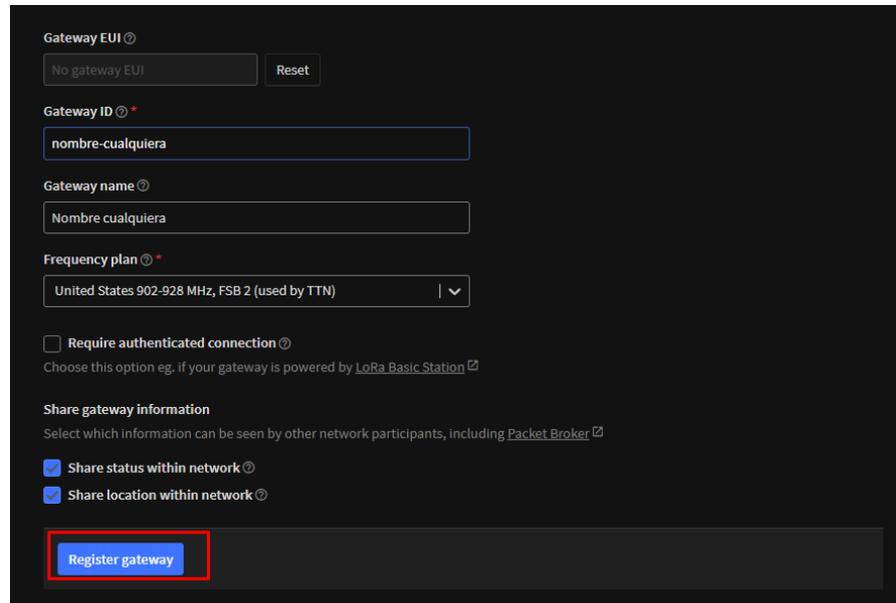


*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

Para culminar con el registro se deberá cambiar el plan de frecuencia y los demas campos se los mantendrá, tal como se muestra en la Figura 41.

## Figura 41

*Configuración final Gateway.*



The image shows a configuration form for a gateway. The fields and options are as follows:

- Gateway EUI**: Input field containing "No gateway EUI" and a "Reset" button.
- Gateway ID**: Input field containing "nombre-cualquiera".
- Gateway name**: Input field containing "Nombre cualquiera".
- Frequency plan**: Dropdown menu showing "United States 902-928 MHz, FSB 2 (used by TTN)".
- Require authenticated connection**: Unchecked checkbox.
- Share gateway information**: Section with a note: "Select which information can be seen by other network participants, including [Packet Broker](#)".
- Share status within network**: Checked checkbox.
- Share location within network**: Checked checkbox.
- Register gateway**: A blue button at the bottom, highlighted with a red box.

*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

### 3.5.1.4.4 Registro shield.

En la pestaña de Applications y seleccionar la Create applications. Para registrar el shield hay que llenar los datos con el formato mostrado en la Figura 42.

## Figura 42

### Registro shield en la TTN

**Create application**

Within applications, you can register and manage end devices and their network data. After setting up your device fleet, use one of our many integration options to pass relevant data to your external services.  
Learn more in our guide on [Adding Applications](#).

**Application ID \***  
familia-cuascota

**Application name**  
Familia Cuascota

**Description**  
Dispositivo colocado en la dirección X, del barrio X de la zona X.  
Monitorea el consumo de agua correspondiente a la Familia Cuascota.

Optional application description; can also be used to save notes about the application

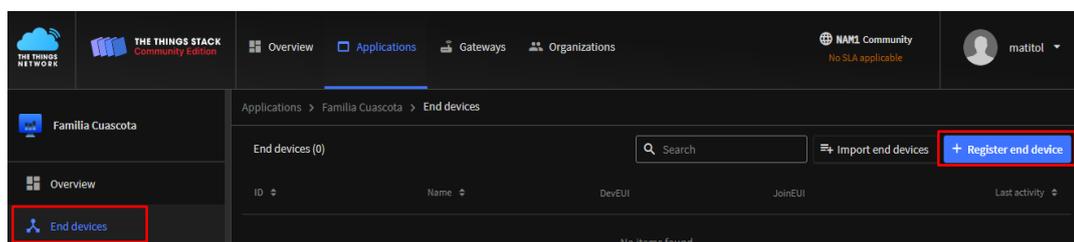
**Create application**

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor*, 2023.

En la aplicación creada en anteriormente seleccionar al a IZQUIERDA la opción End devices, luego hacer click en Register end device, como se muestra en la Figura 43.

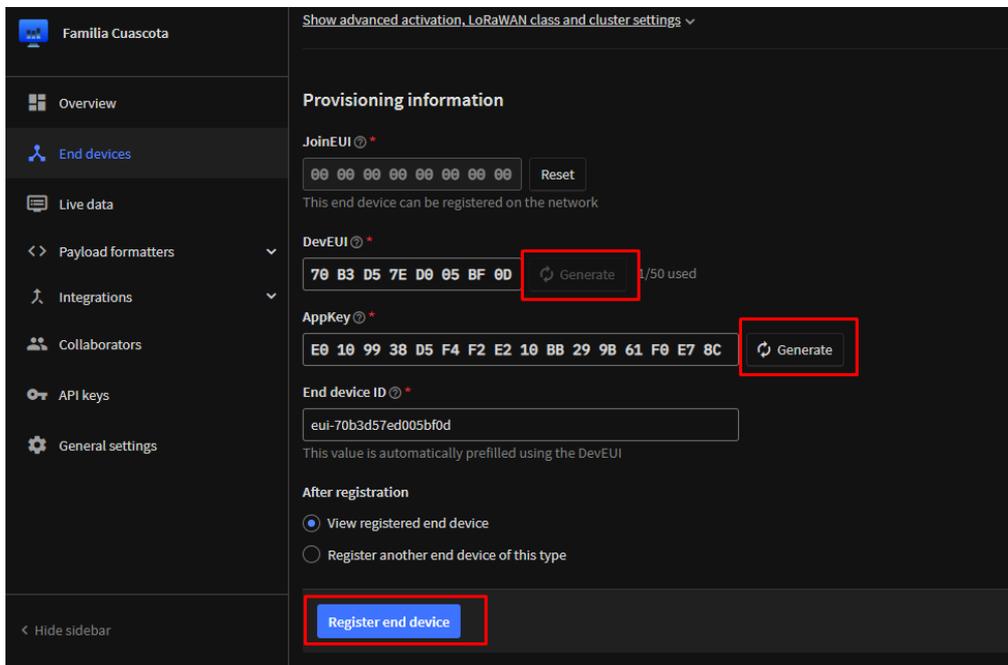
## Figura 43

### Registrar shield en la TTN



*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor*, 2023.

Posteriormente la configuración más importante es la parte de crear los códigos de DevEUI y AppKey, luego terminar el proceso haciendo clic en Register end device. En la Figura 44 se indica como crear estos códigos al presionar en el botón generate.

**Figura 44***Generar AppKey.**Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

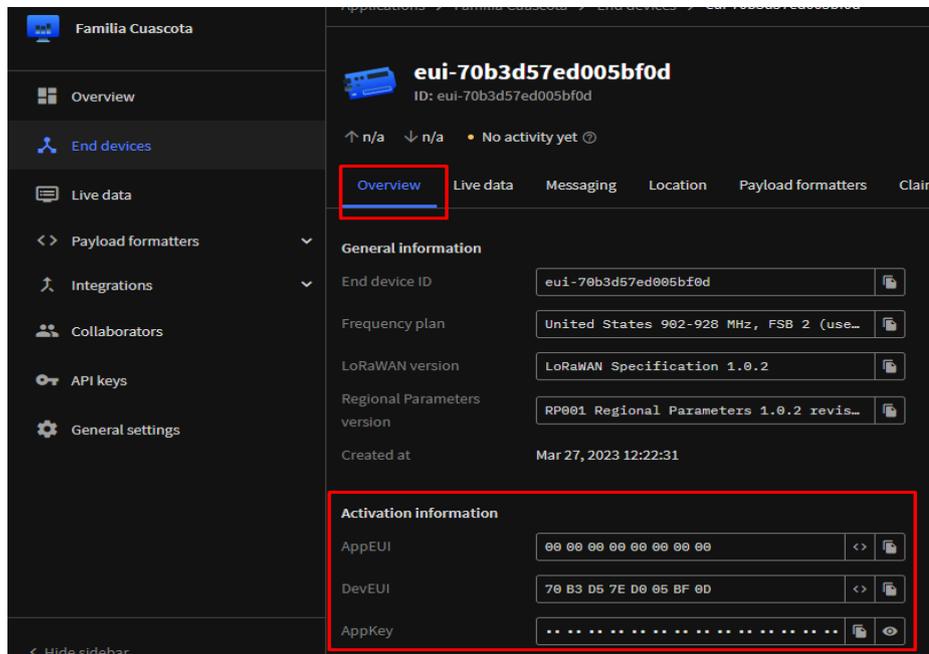
### 3.5.1.5 Comunicación Inalámbrica establecer llaves.

Habiendo realizado los cambios y configuraciones anteriores dirigirse a la pestaña de Overview, los datos que se encuentran en la sección de Activation information serán necesarios más adelante dentro del código de Arduino. Como se puede ver en la Figura 45.

Echo todo esto se guarda las configuraciones realizadas del registro del shield.

## Figura 45

Activación de información.



*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

Abrir el código respectivo y cambiar únicamente lo señalado en rojo en la siguiente imagen por las llaves generadas en anteriores configuraciones de registro del shield. Compilar y cargar al Arduino. En la Figura 46 se muestra los campos a cambiar para comprobar la comunicación entre el Gateway y el shield.

## Figura 46

*Código por modificar.*

```

// .....
static const ul_t PROGMEM APPEUI[8] = { 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00 }; //US 902-928 MHz FSB2
void os_getArtEui (ul_t* buf) {
  memcpy_P(buf, APPEUI, 8);
}

// This should also be in little endian format, see above.
static const ul_t PROGMEM DEVEUI[8] = { 0xCF, 0xC0, 0x05, 0xD0, 0x7E, 0xD5, 0xB3, 0x70 }; //US 902-928 MHz FSB2
void os_getDevEui (ul_t* buf) {
  memcpy_P(buf, DEVEUI, 8);
}

// This key should be in big endian format (or, since it is not really a
// number but a block of memory, endianness does not really apply). In
// practice, a key taken from ttnctl can be copied as-is.
// The key shown here is the semtech default key.
static const ul_t PROGMEM APPKEY[16] = { 0xF0, 0x0B, 0x68, 0x09, 0x34, 0x32, 0xEE, 0x94, 0x32, 0x14, 0x15, 0x3B, 0x30, 0x5B, 0xBF, 0xE7 };
void os_getDevKey (ul_t* buf) {
  memcpy_P(buf, APPKEY, 16);
}

```

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

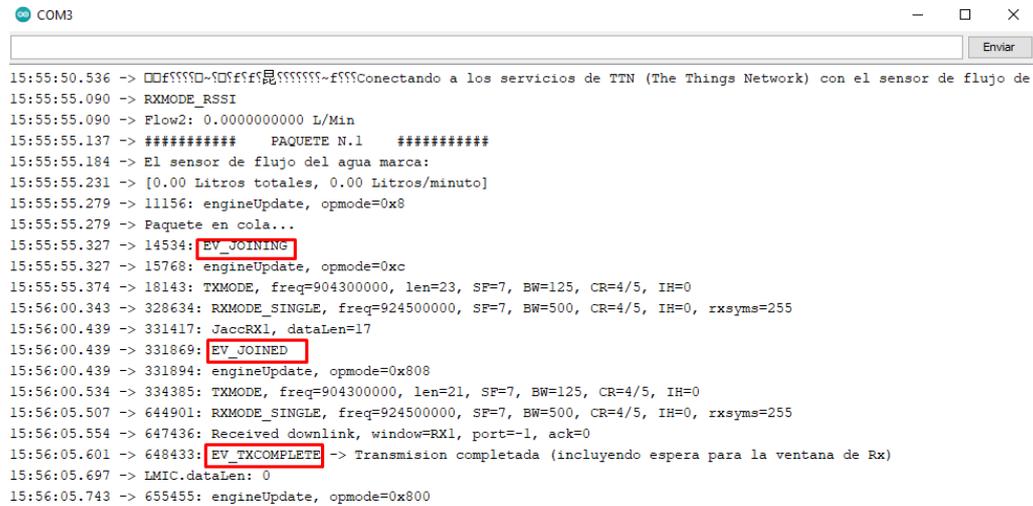
### 3.5.2 Comunicación establecida entre Gateway y shield.

Ya integrado y registrado los equipos en la TTNv3 y realizando la modificación del código Arduino en los campos de las llaves generadas para el shield LoRA se podrá observar la comunicación entre estos equipos entre el nodo sensor el cual se encarga de recolectar los datos en este caso las lecturas del flujo de agua, esta información será enviada hacia el Gateway y almacenada en la plataforma TTNv3.

En la Figura 47 se puede apreciar la comunicación establecida entre estos dos equipos y como se realiza el intercambio de paquetes de solicitud y confirmación para el envío y recepción de la información.

**Figura 47**

*Conexión establecida entre el Gateway y el nodo sensor.*



```

COM3
15:55:50.536 -> Conectando a los servicios de TTN (The Things Network) con el sensor de flujo de
15:55:55.090 -> RXMODE_RSSI
15:55:55.090 -> Flow2: 0.0000000000 L/Min
15:55:55.137 -> ##### PAQUETE N.1 #####
15:55:55.184 -> El sensor de flujo del agua marca:
15:55:55.231 -> [0.00 Litros totales, 0.00 Litros/minuto]
15:55:55.279 -> 11156: engineUpdate, opmode=0x8
15:55:55.279 -> Paquete en cola...
15:55:55.327 -> 14534: EV_JOINING
15:55:55.327 -> 15768: engineUpdate, opmode=0xc
15:55:55.374 -> 18143: TXMODE, freq=904300000, len=23, SF=7, BW=125, CR=4/5, IH=0
15:56:00.343 -> 328634: RXMODE_SINGLE, freq=924500000, SF=7, BW=500, CR=4/5, IH=0, rxsyms=255
15:56:00.439 -> 331417: JaccRX1, dataLen=17
15:56:00.439 -> 331869: EV_JOINED
15:56:00.439 -> 331894: engineUpdate, opmode=0x808
15:56:00.534 -> 334385: TXMODE, freq=904300000, len=21, SF=7, BW=125, CR=4/5, IH=0
15:56:05.507 -> 644901: RXMODE_SINGLE, freq=924500000, SF=7, BW=500, CR=4/5, IH=0, rxsyms=255
15:56:05.554 -> 647436: Received downlink, window=RX1, port=-1, ack=0
15:56:05.601 -> 648433: EV_TXCOMPLETE -> Transmisión completada (incluyendo espera para la ventana de Rx)
15:56:05.697 -> LMIC.dataLen: 0
15:56:05.743 -> 655455: engineUpdate, opmode=0x800

```

*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

Dentro del proceso de diseñar la conexión por radio entre los distintos puntos, se calculan las pérdidas que experimenta la señal desde la emisora de radio hasta el receptor. De esta manera, se comprueba la efectividad del diseño y, al mismo tiempo, se analiza la viabilidad de llevar a cabo su ejecución.

Para ello se determina la ubicación exacta de los nodos con la utilización de la herramienta Google Earth, estos valores obtenidos de longitud y latitud serán utilizados para cálculos que demuestre la operabilidad del sistema.

En la tabla 18 se muestra los valores obtenidos de longitud y latitud, además de la distancia de cada uno de los nodos.

**Tabla 18***Coordenadas de los nodos.*

<b>Coordenadas de los nodos</b>					
<b>Nodo</b>	<b>Coordenadas Geográficas</b>		<b>Coordenadas Angulares</b>		<b>Distancia con el Gateway.</b>
	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	
<b>Nodo Gateway</b>	0°09'04.77" N	78°12'05.47" O	0,15132	-78,20152	----
<b>Nodo Sensor C1</b>	0°09'04.65" N	78°12'08.96" O	0,15129	-78,20249	110m
<b>Nodo Sensor C2</b>	0°09'03.75" N	78°12'04.40" O	0,15104	-78,20122	50m
<b>Nodo Sensor C3</b>	0°09'06.78" N	78°12'01.43" O	0,15188	-78,20040	145m

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

Se realiza los cálculos de pérdidas estimadas en la comunicación para cada nodo con el fin de determinar la eficiencia de la comunicación en base a los resultados obtenidos en la siguiente sección se presenta los cálculos realizados.

### **3.5.2.1 Potencia del Receptor.**

En el contexto de las comunicaciones inalámbricas, como en un sistema de radio o enlaces de comunicación, la potencia del receptor es importante para determinar cuán eficazmente puede el receptor interpretar y procesar la señal que le llega desde la fuente de transmisión. Una potencia de receptor más alta permite captar señales débiles con mayor claridad y eficiencia, lo que a su vez puede mejorar la calidad de la comunicación y la distancia sobre la cual se puede establecer una conexión confiable.

La potencia recibida en el receptor se calcula sumando la potencia transmitida, junto con las mejoras de las antenas de transmisión y recepción, y restando las reducciones causadas por las conexiones de las antenas. En la ecuación 1 se muestra la fórmula para calcular la potencia del receptor.

### **Ecuación 1**

*Potencia de recepción*

$$P_{Rx} = P_{Tx}(dBm) + G_{Tx}(dBi) + G_{Rx}(dBi) - Lc_{Tx}(dB) - Lc_{Rx}(dB)$$

Donde:

$P_{Tx}$  : Potencia de transmisión (dBm)

$G_{Tx}$  : Ganancia de la antena de transmisión (dBi)

$G_{Rx}$  : Ganancia de la antena de recepción (dBi)

$Lc_{Tx}$  : Perdida en el conector de la antena de transmisión (dB)

$Lc_{Rx}$  : Perdida en el conector de la antena de recepción (dB)

Reemplazando los valores obtenidos de la hoja de datos técnica en la Ecuación 1 se tiene el siguiente resultado.

$$P_{Rx} = 20(dBm) + 3(dBi) + 3(dBi) - 0.5(dB) - 0.5(dB)$$

$$P_{Rx} = 25 (dBm)$$

Una vez obtenido el valor de potencia en el receptor se realiza una comparación con el valor de sensibilidad del receptor, para LoRA Shield modelos SX1276/SX1278 presenta una alta sensibilidad de hasta -148 dBm, con esto se demuestra se puede tener una comunicación efectiva ya que la potencia del receptor es mayor que la sensibilidad del receptor.

### 3.5.2.2 *Perdida de trayecto en espacio libre.*

Se refiere a la disminución de la potencia de una señal electromagnética a medida que se propaga a través del espacio, sin tomar en cuenta la flexión y la absorción de objetos cercanos, debido a esto la señal se dispersa en el trayecto del trasmisor al receptor disminuyendo el valor de la potencia de la señal. En la ecuación 2 se muestra la fórmula para calcular la perdida en el trayecto libre.

#### **Ecuación 2**

*Perdida de trayecto en espacio libre*

$$L_p = 32.4 + 20\log(d[km]) + 20\log(f[MHz])$$

Donde:

$L_p$  : Perdida en el espacio libre (dB)

d: Distancia entre el nodo sensor y el nodo Gateway (km)

f: Frecuencia de operación (MHz)

Se realiza el cálculo de cada uno de los nodos sensores con respecto al Gateway para ello remplazamos los valores especificados de distancia en la tabla 18. Lo remplazamos en la ecuación 2 y se obtiene los siguientes resultados mostrados a continuación.

C1: 106m

$$L_p = 32.4 + 20\log(0.110[km]) + 20\log(9043[MHz])$$

$$L_p = 72.35 \text{ dB}$$

C2: 47.20m

$$L_p = 32.4 + 20\log(0.0472[km]) + 20\log(9043[MHz])$$

$$L_p = 65.5 \text{ dB}$$

C3: 145m

$$L_p = 32.4 + 20\log(0.145[\text{km}]) + 20\log(9043[\text{MHz}])$$

$$L_p = 74.75 \text{ dB}$$

### ***3.5.2.3 Potencia de la señal recibida.***

Los valores de RSSI (Received Signal Strength Indicator) en LoRa, al igual que en otras tecnologías inalámbricas, varían según varios factores, como la distancia entre el transmisor y el receptor, las condiciones del entorno, la potencia de transmisión y la presencia de obstáculos o interferencias. Los valores de RSSI se expresan generalmente en decibelios (dBm) y pueden variar en un rango amplio.

En una implementación típica de LoRa, los valores de RSSI pueden oscilar entre alrededor de -120 dBm (señal muy débil) hasta -40 dBm (señal muy fuerte).

### ***3.5.2.4 Relación Señal a Ruido SNR***

En LoRa y otras tecnologías de comunicación, un SNR más alto indica una señal más fuerte en relación con el ruido de fondo, lo que generalmente se asocia con una mejor calidad de la comunicación. Un SNR bajo puede causar problemas de recepción y resultar en errores en la decodificación de los datos.

En LoRa, un SNR positivo y más alto es deseable. Un valor típico de SNR que se considera bueno para una comunicación confiable puede ser alrededor de 10 dB o más. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los valores óptimos pueden variar según la configuración del sistema, la tasa de modulación utilizada y las condiciones del entorno.

En la tabla 19 se muestra la relación señal a ruido en función del factor de propagación SF.

**Tabla 19**

*SNR en función de SF*

<b>SNR en función de SF</b>	
<b>SF (Factor de propagación)</b>	<b>SNR (Relación señal a ruido)</b>
<b>7</b>	<b>-7.5</b>
<b>8</b>	<b>-10</b>
<b>9</b>	<b>-12.5</b>
<b>10</b>	<b>-15</b>
<b>11</b>	<b>-17.5</b>
<b>12</b>	<b>-20</b>

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

### **3.5.2.5 Sensibilidad del receptor.**

La sensibilidad del receptor en LoRa se refiere al nivel mínimo de potencia de señal que el receptor puede detectar y demodular de manera confiable. En otras palabras, es la potencia de señal más débil que el receptor puede captar y decodificar con una alta probabilidad de éxito. La sensibilidad del receptor es un indicador clave de la capacidad de un sistema LoRa para comunicarse a largas distancias o en condiciones de señal débil.

En la ecuación 3 se muestra la fórmula para calcular la sensibilidad del receptor.

### Ecuación 3

*Sensibilidad del receptor*

$$S_{Rx} = -174 + 10\log(BW) + SNR_{limite}(dB) + NF(dB)$$

Donde:

Ruido térmico: tiene un valor de 174 en 1 HZ de ancho de banda en una temperatura ambiente.

BW: ancho de banda utilizado en Hz

NF: factor de ruido

Los receptores de radio bien diseñados, incluidos los utilizados en las implementaciones de LoRa, suelen tener valores de factor de ruido relativamente bajos. En muchas aplicaciones, los receptores pueden tener un factor de ruido en el rango de 6 dB a 10 dB. Para LoRA Shield modelos SX1276/SX1278 el factor de ruido es de 6dB, de igual manera se utiliza un valor de SF igual a 7 por lo tanto el valor SNR limite es de -7.5.

Para obtener el resultado reemplazamos los valores en la ecuación 3.

$$S_{Rx} = -174 + 10\log(125000) + (-7.5)(dB) + 6(dB)$$

$$S_{Rx} = -125 (dBm)$$

#### 3.5.2.6 Margen del enlace.

El margen del enlace es una medida importante de la robustez de una comunicación inalámbrica y proporciona información sobre la calidad y la confiabilidad de la conexión en función de la relación entre la potencia de señal y el nivel de ruido. Cuanto mayor sea el

margen del enlace, más robusta será la comunicación, ya que habrá más potencia disponible para superar las posibles fluctuaciones de señal y el ruido en el canal.

En la ecuación 4 se muestra la fórmula para calcular el margen del enlace.

#### **Ecuación 4**

*Margen del enlace*

$$M_{enlace} = P_{Rx}(dBm) - S_{Rx}(dBm)$$

Reemplazando los valores anteriores calculados en la ecuación 4 se obtiene el siguiente resultado.

$$M_{enlace} = 25(dBm) - (-125)(dBm)$$

$$M_{enlace} = 150 (dBm)$$

#### **3.5.2.7 Presupuesto del enlace.**

El presupuesto del enlace toma en cuenta varios factores, como la potencia de transmisión, la ganancia de la antena transmisora, la pérdida del trayecto en espacio libre, la ganancia de la antena receptora, las pérdidas en el receptor, el margen del enlace y el factor de ruido. La diferencia entre la potencia de transmisión y la potencia recibida, junto con otros ajustes, determina si la señal será detectada y demodulada correctamente por el receptor.

El resultado del cálculo del presupuesto del enlace debe ser positivo para garantizar una comunicación confiable. Si el valor es demasiado bajo o negativo, puede haber dificultades para establecer una conexión confiable o la comunicación podría ser ineficaz.

En la ecuación 5 se muestra la fórmula para calcular el presupuesto del enlace en este caso se lo debe realizar para cada uno de los nodos sensores instalados.

### Ecuación 5

*Presupuesto del enlace*

$$P_{enlace} = P_{Tx}(dBm) + G_{Tx}(dBi) + G_{Rx}(dBi) - L_p(dB) - S_{Rx}(dB) - NF(dB)$$

Todos estos valores reemplazados en la ecuación 5 proporciona los siguientes resultados como se muestra a continuación.

Para C1:  $L_p = 72.35$  dB

$$P_{enlace} = 20(dBm) + 3(dBi) + 3(dBi) - 72.35(dB) - (-125)(dB) - 6(dB)$$

$$P_{enlace} = 72.65 (dB)$$

Para C2:  $L_p = 65.5$  dB

$$P_{enlace} = 20(dBm) + 3(dBi) + 3(dBi) - 65.5(dB) - (-125)(dB) - 6(dB)$$

$$P_{enlace} = 79.5 (dB)$$

Para C3:  $L_p = 74.75$  dB

$$P_{enlace} = 20(dBm) + 3(dBi) + 3(dBi) - 74.75(dB) - (-125)(dB) - 6(dB)$$

$$P_{enlace} = 70.25 (dB)$$

#### 3.5.2.8 Zona de Fresnel

La zona de Fresnel es una región elíptica que rodea la línea de visión directa entre el transmisor y el receptor. Esta zona es crítica para asegurar una propagación de señal adecuada y minimizar la interferencia y las reflexiones que podrían degradar la calidad de la comunicación.

La zona de Fresnel es especialmente relevante en entornos donde hay obstáculos, como edificios, árboles u otras obstrucciones, entre el transmisor y el receptor. Estos obstáculos pueden causar reflexiones y difracciones de la señal, lo que puede resultar en cancelaciones o desvanecimientos que afecten la calidad del enlace.

En términos generales, en aplicaciones de comunicación en línea de visión (LoS) como LoRa, se busca mantener una porción significativa de la zona de Fresnel libre de obstáculos para minimizar la atenuación y la degradación de la señal. Para lograr esto, es común que se intente mantener al menos el 60% (o más) de la zona de Fresnel libre de obstáculos.

En la ecuación 6 se muestra la ecuación para calcular la zona de Fresnel generalmente se mide en función de su radio, y es comúnmente expresada en porcentaje con respecto a la distancia total entre los puntos de transmisión y recepción.

### **Ecuación 6**

*Zona de Fresnel*

$$r = 8.657 * \sqrt{\frac{d}{f}}$$

Donde:

r: zona de Fresnel en (m)

d: distancia entre el nodo sensor y Gateway en (km)

f: frecuencia en GHz

Reemplazando los valores en la ecuación 6 se tiene los siguientes valores para cada uno de los nodos sensores.

C1: 110m

$$r = 8.657 * \sqrt{\frac{0.110}{0.9043}}$$

$$r = 3.01 \text{ m}$$

C2: 47.20m

$$r = 8.657 * \sqrt{\frac{0.050}{0.9043}}$$

$$r = 2.03 \text{ m}$$

C3: 157m

$$r = 8.657 * \sqrt{\frac{0.145}{0.9043}}$$

$$r = 3.46 \text{ m}$$

Para tener una comunicación efectiva es suficiente despejar el 60% del radio calculado de la primera zona de Fresnel, en la tabla 20 se muestra los valores con un 100% libre en el radio y el 60% necesario para la comunicación efectiva de cada nodo.

**Tabla 20**

*Valores Zona de Fresnel*

<b>Valores de la Zona de Fresnel</b>		
<b>Nodos</b>	<b>100% libre</b>	<b>60% necesario</b>

<b>C1</b>	3.01 m	1.80m
<b>C2</b>	2.03 m	1.21m
<b>C3</b>	3.46 m	2.07m

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

### 3.5.2.9 Ángulo de Azimut

Es la medida del ángulo que señala la dirección en la cual se debe rotar la antena en relación con el plano horizontal. Se utiliza la ecuación 7 para su cálculo.

#### Ecuación 7

*Ángulo de Azimut*

$$\text{azimut} = \tan^{-1}(\theta)$$

El  $\theta$  su valor depende de la longitud y latitud de cada nodo.

En la ecuación 8 se muestra la fórmula para calcular el ángulo theta.

#### Ecuación 8

*Ángulo Theta*

$$\theta = \frac{\Delta Longitud}{\Delta Latitud}$$

$$\theta = \frac{Lns - Lng}{Lans - Lang}$$

Donde:

Lns: es la longitud del nodo sensor

Lng: es la longitud del nodo Gateway.

Lans: es la latitud del nodo sensor

Lang: es la latitud del nodo Gateway.

Reemplazamos estos valores en la ecuación 7 y se tiene los siguientes resultados.

$$\theta = \frac{-78.20249 + 78.20152}{0.15129 - 0.15132}$$

$$\theta = 32.33$$

$$\mathbf{azimut} = \tan^{-1}(32.33)$$

C1

$$\mathbf{azimut} = 88.22^\circ$$

C2

$$\mathbf{azimut} = 133.8^\circ$$

C3

$$\mathbf{azimut} = 63.4^\circ$$

### 3.5.2.10 *Angulo de elevación*

El ángulo de elevación señala la dirección en la que se debe rotar la antena en relación con el plano vertical. Y se la calcula con la ecuación 9.

#### **Ecuación 9**

*Ángulo de elevación*

$$\mathbf{Angulo\ de\ elevación} = \tan^{-1}(\alpha)$$

Donde:  $\alpha$  se la calcula con la ecuación 10

**Ecuación 10***Ángulo alfa*

$$\alpha = \frac{Ans - Ang}{d}$$

Ans: Altura del sensor (m)

Ang: Altura del Gateway (m)

D: Distancia entre los nodos.

C1

$$\alpha = \frac{1.5m - 6m}{110m}$$

$$\alpha = -0.0409$$

$$\text{Angulo de elevación} = \tan^{-1}(-0.0409)$$

$$\text{Angulo de elevación} = 2.34^\circ$$

C2

$$\alpha = \frac{2m - 6m}{50m}$$

$$\alpha = -0.08$$

$$\text{Angulo de elevación} = \tan^{-1}(-0.08)$$

$$\text{Angulo de elevación} = 4.57^\circ$$

C3

$$\alpha = \frac{1.5m - 6m}{145m}$$

$$\alpha = -0.0310$$

$$\text{Angulo de elevación} = \tan^{-1}(-0.0310)$$

$$\text{Angulo de elevación} = 1.77^\circ$$

### **3.5.2.11 Almacenamiento.**

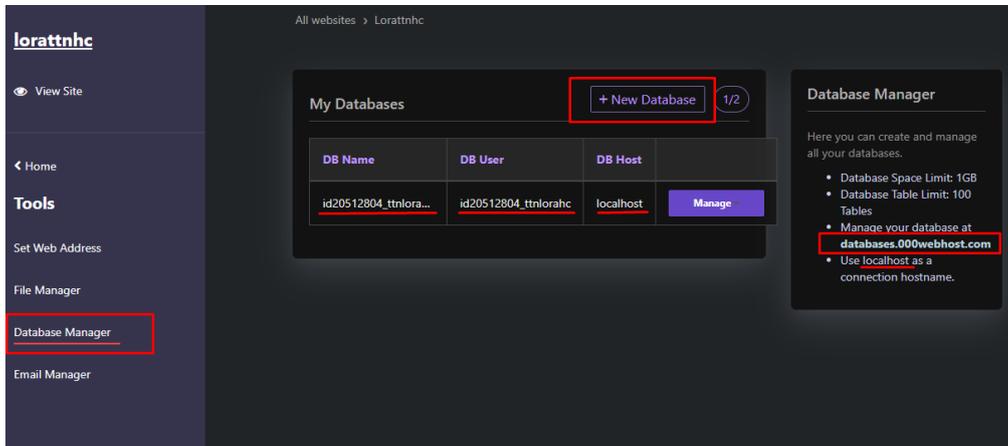
Para el almacenamiento de la información se hace uso de la base de datos phpMyAdmin en una plataforma gratuita la cual de igual manera servirá para el diseño del sistema de facturación que está ligado directamente con la plataforma web. De este modo toda la información se guardará de forma automática cuando se ingrese un nuevo usuario desde la aplicación web.

#### **3.5.2.11.1 Creación de la base de datos.**

En el apartado herramientas, se ingresa al administrador de base de datos, se procede con la creación de una nueva base de datos seleccionando en la opción New Database, donde se deberá ingresar credenciales que permitirán el acceso a la base de datos, una vez creado la base de datos para su configuración se debe presionar en el botón Manage. En la Figura 48 se observa cómo crear una nueva base de datos.

## Figura 48

Crear una nueva base de datos.

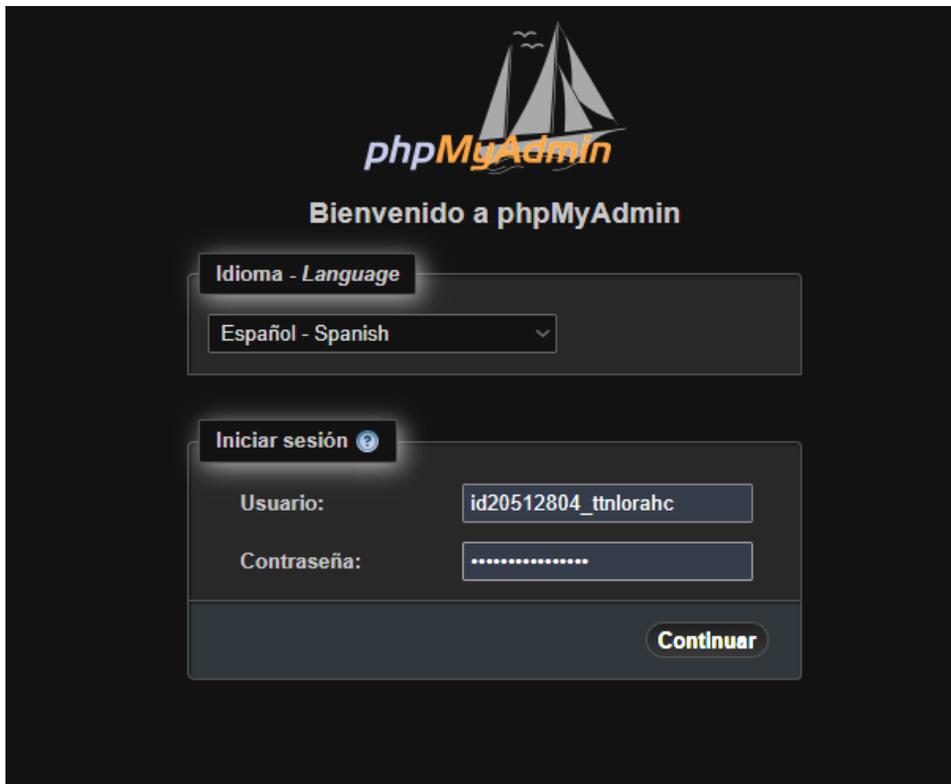


*Nota:* Adaptado de, *000webhost.com*, 2023.

Una vez realizado los pasos anteriores se desplegará una ventana a la cual se ingresará con las credenciales antes ingresadas. En la Figura 49 se muestra el ingreso a la base de datos con credenciales.

**Figura 49**

*Nueva base de datos creada.*



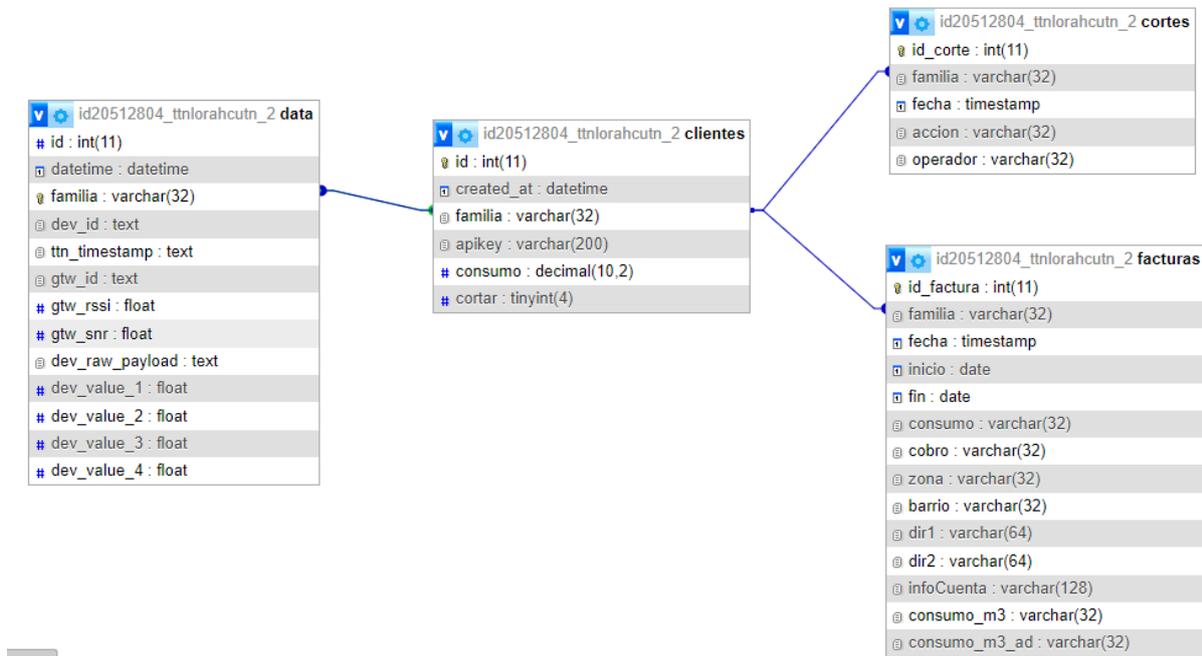
*Nota: Adaptado de, 000webhost.com, 2023.*

**3.5.2.11.2 Modelo relacional de base de datos.**

La tabla de clientes tiene llave foránea porque la tabla data es su tabla padre, es necesario que primero existan lecturas de los sensores almacenados en la tabla data para poder agregar nuevos clientes a la tabla de clientes, porque es necesario obtener o jalar datos como el dev\_id para desactivar o activar el relay, mientras que a su vez las tablas de cobro y de factura dependen de la tabla clientes, primero debe haber un cliente registrado para que se pueda acceder a ver sus facturas/cortes desde la ventana que lista los clientes. En la figura 50 se muestra el modelo relacional de base de datos implementada.

**Figura 50**

*Tablas creadas en la base de datos*



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

### 3.5.2.12 Visualización

Los datos almacenados en la base de datos son indispensables para llevar a cabo los cálculos tanto del consumo del servicio como del importe a pagar. El operario de la comunidad podrá ingresar a la página web para poder gestionar la información que contiene en este caso podrá realizar el cobro mediante una factura que se generará de forma automática al seleccionar un usuario. Del mismo modo podrá realizar el corte o activación del servicio.

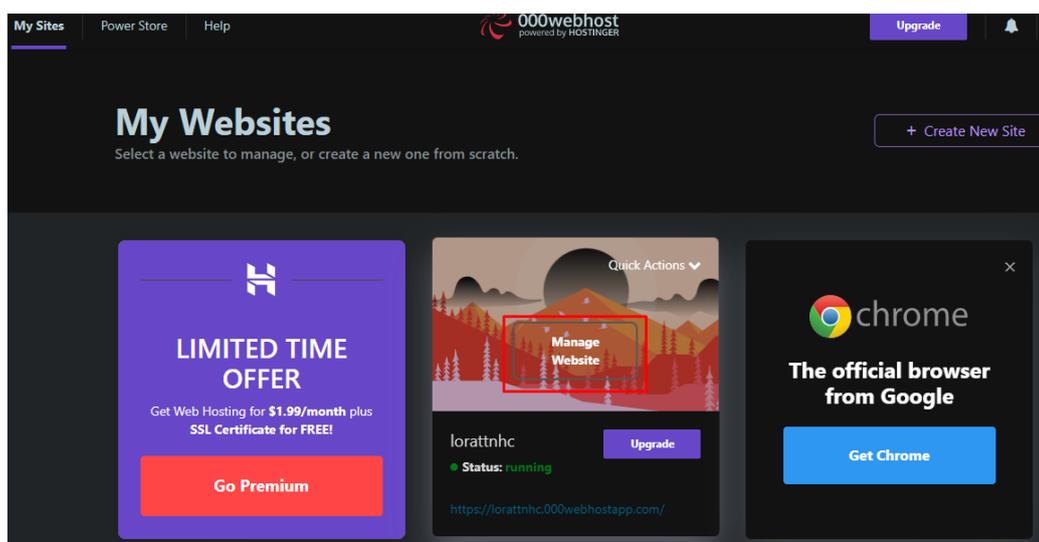
#### 3.5.2.12.1 Desarrollo página web.

Para el desarrollo de la página web se ha seleccionado un hosting gratuito en este caso 000webhost, al crear desde cero simplemente se selecciona una página web en blanco y se construirá acorde a las necesidades del usuario, se utiliza esta página web por el hecho de poder utilizar las extensiones que posee como crear una base de datos misma que estará

ligada directamente con la página web. En la Figura 51 se muestra la imagen del hosting gratuito utilizado para el diseño de la página web.

### Figura 51

*Creación de la página web.*

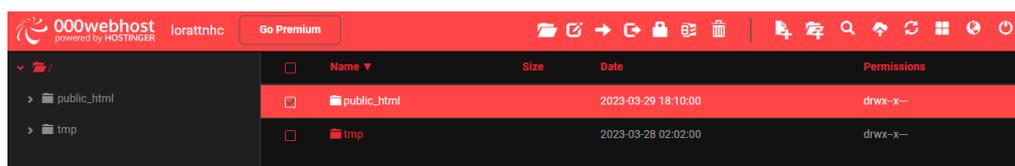


*Nota: Adaptado de, 000webhost.com, 2023.*

En el apartado herramientas se encuentra la sección de configuración FTP y bases de datos, para lo cual se deberá subir una sección de archivos y extensiones necesarias para la creación de la página web. En la Figura 52 se muestra la carpeta a seleccionar para subir archivos.

### Figura 52

*Seleccionar carpeta para subir archivos.*

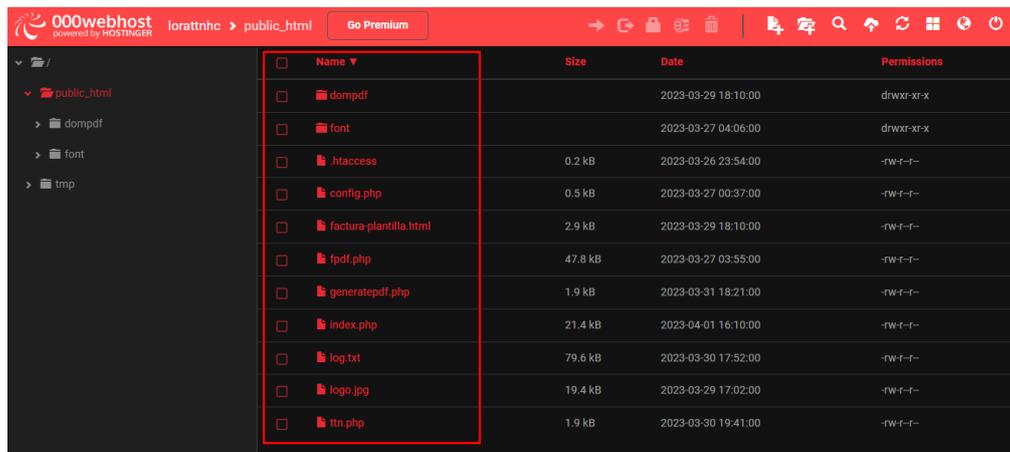


*Nota: Adaptado de, 000webhost.com, 2023.*

Una vez ingresando a la carpeta public\_html se seleccionarán los archivos, mismos que son necesarios y contienen entre otras funciones, el constructor de la página web, el generador de facturas y todas las librerías indispensables. En la Figura 53 se observa los archivos subidos a la carpeta seleccionada con anterioridad.

**Figura 53**

*Subir archivos necesarios para crear página web.*



Name	Size	Date	Permissions
dompokf		2023-03-29 18:10:00	drwxr-xr-x
font		2023-03-27 04:06:00	drwxr-xr-x
.htaccess	0.2 kB	2023-03-26 23:54:00	-rwxr-xr-x
config.php	0.5 kB	2023-03-27 00:37:00	-rwxr-xr-x
factura-plantilla.html	2.9 kB	2023-03-29 18:10:00	-rwxr-xr-x
fpdf.php	47.8 kB	2023-03-27 03:55:00	-rwxr-xr-x
generatepdf.php	1.9 kB	2023-03-31 18:21:00	-rwxr-xr-x
index.php	21.4 kB	2023-04-01 16:10:00	-rwxr-xr-x
log.txt	79.6 kB	2023-03-30 17:52:00	-rwxr-xr-x
logo.jpg	19.4 kB	2023-03-29 17:02:00	-rwxr-xr-x
ttn.php	1.9 kB	2023-03-30 19:41:00	-rwxr-xr-x

*Nota: Adaptado de, 000webhost.com, 2023.*

### 3.5.3 Diagramas de conexión

Después de describir los subsistemas que forman parte del sistema general, se presentarán los diagramas de conexión que se utilizan para integrarlos y llevar a cabo su implementación.

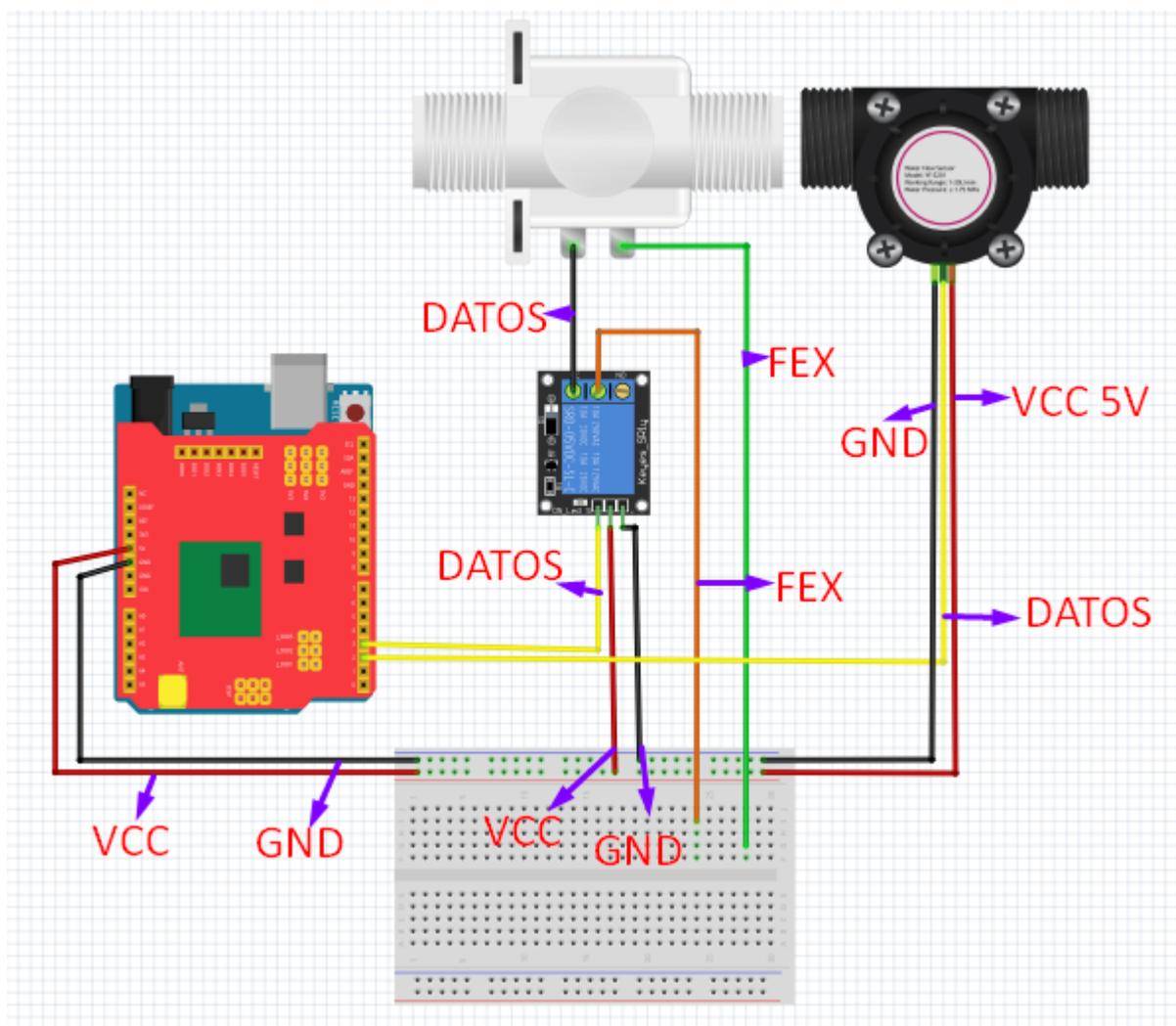
#### 3.5.3.1 Diagrama de conexión nodo sensor.

El diagrama está conformado por el sensor de flujo de agua, una placa Arduino, el shield LoRA, un módulo relé, y una electroválvula. El sensor de flujo de agua consta de 3 cables para la conexión se los puede diferenciar por sus colores y cada uno tiene una funcionalidad, el cable rojo es para la conexión hacia VCC, el cable negro es para la conexión hacia GND, y el ultimo cable de color amarillo es el de datos que estará conectado al pin 3.

Por otro lado, la electroválvula está conectada a una fuente externa de 12V para su funcionamiento y estará interconectado con el módulo relé, mismo que dará la funcionalidad de activación o desactivación del servicio al estar conectado al pin 4 de la placa de procesamiento. En la Figura 54 se muestra el diagrama de conexión incorporados todos los sensores para el nodo sensor.

**Figura 54**

*Diagrama de conexión.*



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

## **4 CAPITULO IV: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

En este capítulo se presenta las pruebas de funcionamiento y se evalúa el funcionamiento de los sensores en la toma de datos. El sistema electrónico, el funcionamiento del sensor de flujo una vez conectado a la línea de suministro de agua, así como el proceso de activación y desactivación del servicio a través de la electroválvula, la comunicación de la red, la visualización de la información, el almacenamiento y el sistema integrado en su totalidad.

### **4.1 Implementación del sistema electrónico.**

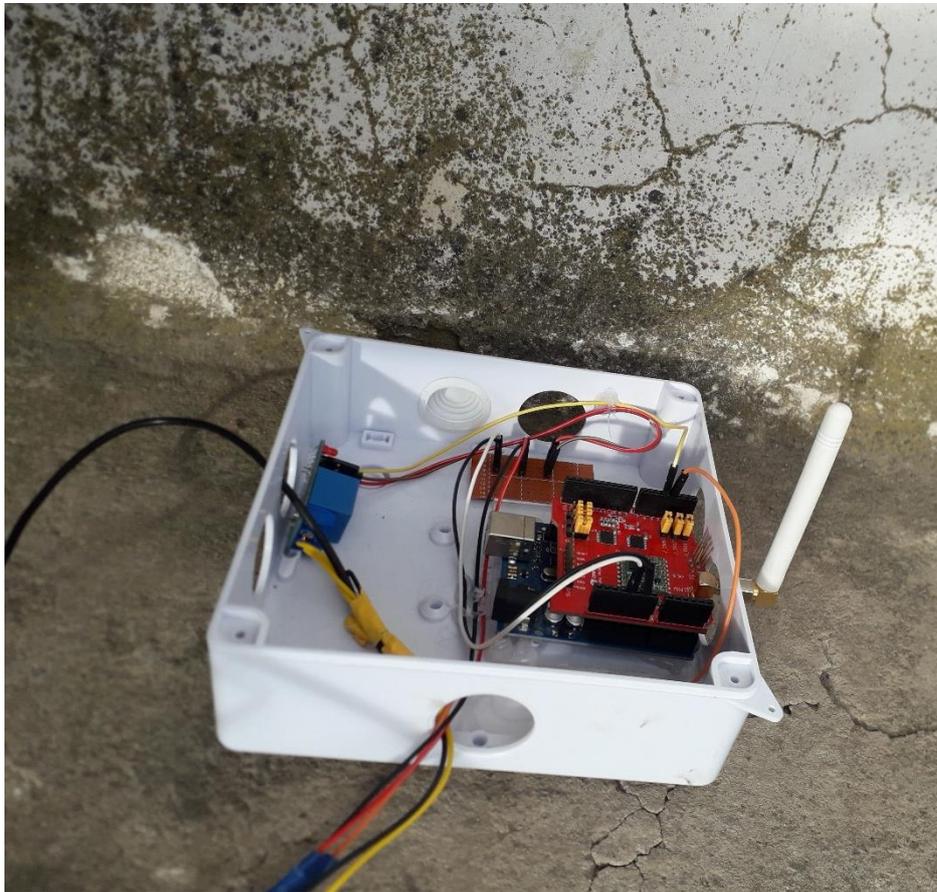
Posterior a completar el desarrollo de cada uno de los componentes del sistema, se inicia la fase de implementación. Para llevar a cabo este proceso, se realizarán las pruebas en tres domicilios que estarán ubicados en distintas zonas de cobertura: una cercana, otra intermedia y otra lejana. Esto se realiza con el propósito de evaluar el desempeño del sistema en diferentes condiciones que influyen en el buen desempeño del sistema como: la presión del agua en las tuberías y en la cobertura de la tecnología inalámbrica dentro de la comunidad.

#### **4.1.1 *Nodo sensor.***

El nodo sensor permitirá recolectar la información una vez instalado en las viviendas seleccionadas, este nodo sensor cuenta con varios sensores y por estar expuesto a la intemperie se lo acopla dentro de una caja protectora. En la Figura 55 se observar cómo se acopla el nodo sensor para su instalación.

**Figura 55**

*Acoplamiento nodo sensor.*



*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor*, 2023.

Por otro lado, se instala tanto el sensor que detecta el flujo de agua como también la electroválvula en la tubería principal de la vivienda, en este caso la instalación se la realiza cerca del medidor de agua con el fin de corroborar las mediciones del sistema propuesto con el medidor tradicional. En este caso se realiza la instalación de los dos sensores cerca de la llave ya que toda la tubería en la mayoría de las viviendas es de material metálico y están cubiertas con material de construcción en su base lo cual lo hace inamovible por esta razón se realiza la instalación de la siguiente manera al ser la única llave que se utiliza en la vivienda. En la Figura 56 podemos observar la instalación de los dos sensores en la tubería del usuario final.

**Figura 56**

*Instalación sensor flujo de agua y electroválvula.*



*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor*, 2023.

#### ***4.1.1.1 Pruebas de medición del consumo de agua.***

Posterior de la instalación correcta del dispositivo de medición, se procede a verificar si las lecturas del medidor de agua electrónico coinciden adecuadamente con las lecturas del

medidor de agua convencional utilizados en la comunidad. Por lo cual, se realiza mediciones utilizando diferentes niveles de presión de agua y un volumen constante de 10 litros. En la Tabla 21 se observa los valores de las mediciones tanto del medidor convencional y el medidor electrónico y su porcentaje de error en la lectura.

**Tabla 21.**

*Tabla comparativa de medición medidor convencional y medidor electrónico.*

<b>Niveles</b>	<b>Medidor convencional Litros</b>	<b>Medidor electrónico Litros</b>	<b>Tasa de error %</b>
<b>Bajo</b>	10	9,97	0.03
	10	9,98	0.02
	10	9.97	0.03
<b>Medio.</b>	10	10.02	0.02
	10	9.99	0.01
	10	10.01	0.01
<b>Alto</b>	10	10.04	0.04
	10	10.02	0.02
	10	10	0

*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

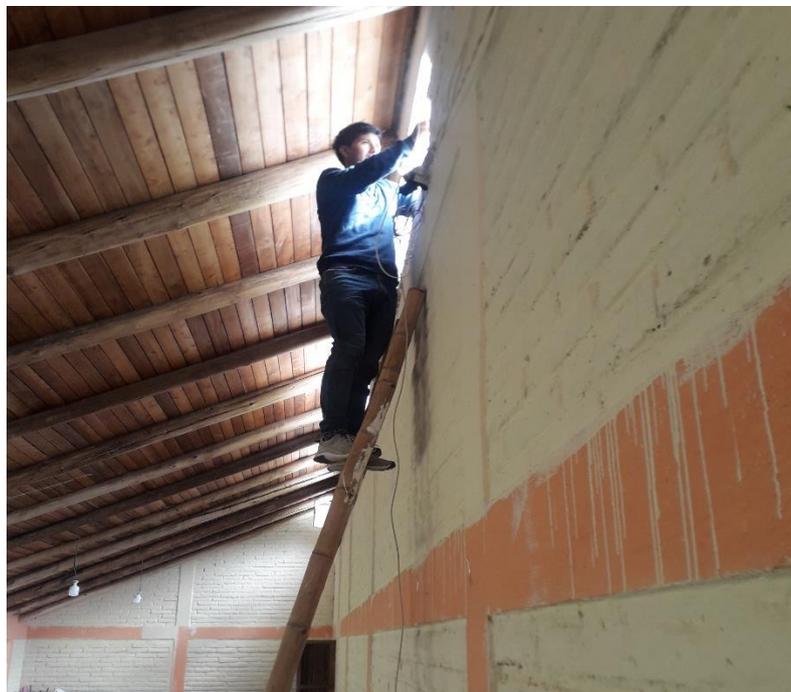
Una vez obtenido estos datos se tiene una tasa de error de 0.02% que está dentro del rango especificado de error del dispositivo sensor YF-S201 sensor de flujo de agua. Lo cual demuestra que el dispositivo electrónico instalado en las viviendas garantiza la toma de mediciones del consumo de agua. Garantizando la precisión de los datos en un 99.98%.

#### **4.1.2 Nodo Gateway.**

El nodo Gateway encargado es el encargado de recibir los paquetes de información enviados desde el nodo sensor. Este nodo Gateway se instala en la casa comunal de la comunidad San Agustín de Cajas, está instalada a una altura de 4 metros cerca del router secundario que nos permite conectarlo a internet y subir toda la información a la base de datos y a la página web. En la Figura 57 se muestra la instalación del nodo Gateway.

#### **Figura 57**

*Instalación nodo Gateway.*



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

En la Figura 58 se muestra la conexión del nodo Gateway y el enrutador para su salida a internet, estarán conectados desde el puerto WAN del nodo Gateway hacia un puerto LAN del enrutador, mismo que le asigna una dirección IP.

### **Figura 58**

*Conexión con el enrutador.*



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

#### **4.2 Pruebas de conectividad.**

Para validar esta conectividad se realizan cálculos pertinentes del enlace inalámbrico, estos datos serán comparados con la simulación de radio haciendo uso de la herramienta Radio Mobile.

Una vez instalados tanto el nodo Gateway y el nodo sensor, se procede a evaluar la conectividad de la red esto realizando las pruebas en distintas áreas con relación a la posición del nodo Gateway: una cercana, una intermedia, y una lejana. En la Figura 59 se puede apreciar cómo se divide las áreas de prueba, además las C1, C2, C3 hacen referencia a las viviendas en las cuales se instaló el nodo sensor.

**Figura 59**

*Área de cobertura del sistema instalado.*



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

En la Tabla 22 se muestra la distancia del nodo sensor con respecto al nodo Gateway, la altura de la instalación es la misma para todos los dispositivos ya que tienen una línea de vista directa entre los dos nodos.

Una de las grandes diferencias de utilizar la comunicación LoRA es que se puede incorporar uno o varios nodos Gateway registrarlos en la plataforma TTN (The Things

Network) en la misma cuenta, y todos los datos de los nodos sensores que se encuentren dentro de su área de cobertura serán capturados por el nuevo nodo Gateway.

**Tabla 22.**

*Distancia del nodo sensor con el nodo Gateway*

Ubicación	Distancia metros
C1	110 metros
C2	50 metros
C3	145 metros

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

Además, se deberá modificar los campos llaves en el programa. ino que es identificativo único de cada nodo sensor. En la Figura 60 se muestra código a cambiar los valores de APPEUI, DEVEUI, APPKEY.

**Figura 60**

*Cambiar valores de cada nodo sensor.*

```
// ***** COMUNICACION CON TIN *****

static const ul_t PROGMEM APPEUI[8]={ 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00 };
void os_getArtEui (ul_t* buf) { memcpy_P(buf, APPEUI, 8);}

static const ul_t PROGMEM DEVEUI[8]={ 0x8B, 0xF8, 0x05, 0xD0, 0x7E, 0xD5, 0xB3, 0x70 };
void os_getDevEui (ul_t* buf) { memcpy_P(buf, DEVEUI, 8);}

static const ul_t PROGMEM APPKEY[16]= { 0xC6, 0x93, 0x85, 0x43, 0x1A, 0x11, 0x00, 0xDF, 0xC8, 0xD4, 0x11, 0x05, 0xE5, 0x84, 0x89, 0x33 };
void os_getDevKey (ul_t* buf) { memcpy_P(buf, APPKEY, 16);}
```

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

Para comprobar la conectividad inicialmente se establece comunicación entre el nodo sensor y el nodo Gateway, a través de paquetes de peticiones desde el nodo sensor para él envío de información, del mismo modo el nodo Gateway envía paquetes de confirmación con lo cual se establece la comunicación entre los dos nodos y se puede enviar los payload que poseen la información de la lectura del consumo de agua en la vivienda.

Se envían paquetes configurados cada 1 minuto, para el establecimiento de conexión el nodo sensor actualiza los paquetes, posterior se coloca en cola para el envío, se envía el paquete **EV\_JOINING** solicitud de unión al nodo Gateway, se establece los parámetros para el envío y recepción de paquetes para:

Los más importantes parámetros a consideraran con los siguientes:

**SF (Factor de ensanchamiento):** Su valor vario de entre 6 y 12, el aumento de este valor reduce a la mitad la velocidad de transmisión, pero se logra mayor alcance ya que tiene mayor capacidad de alegar el ruido de la señal.

**BW (Ancho de banda):** Se tiene únicamente tres opciones 125 kHz, 250 kHz y 500 kHz, para una transmisión rápida es recomendable seleccionar 500 kHz, por otro lado, si se requiere mayor alcance es recomendable seleccionar 125 kHz, a mayor ancho de banda, mayor es el tiempo en el aire en una transmisión, pero de igual manera tiene mayor sensibilidad al ruido por lo que la comunicación tiene un mejor presupuesto de enlace.

**CR (Tasa de codificación):** se puede elegir entre cuatro valores, 4/5, 4/6, 4/7, 4/8, esto indica que cada 4 bits utilices van a hacer codificados por 5, 6, 7 o 8 bits de transmisión según su valor, cuanto más pequeño es este valor conlleva mayor tiempo en la transmisión del paquete.

TXMODE (transmisión de datos) se establecen valores como la frecuencia que es de 90430000 los parámetros de SF=7, BW=125 y CR=4/5, los cuales determinaran la eficiencia en el envío de paquetes.

RXMODE (recepción de datos) se establecen valores como la frecuencia que es de 92450000 los parámetros de SF=7, BW=500 y CR=4/5, los cuales determinaran la eficiencia en el envío de paquetes. Y el valor RXSYMS que es el valor de tiempo de espera para la recepción.

Se tiene una frecuencia diferente tanto para el envío y para la recepción de paquetes ya que esto ayuda a tener un canal y frecuencia única, lo cual garantiza la llegada de paquetes tanto de subida como de bajada.

El paquete **EV\_JOINED** es el que confirma la unión con el Gateway, se establecen los parámetros y se recibe el enlace descendente y con esto se completa la transmisión de un paquete desde el nodo sensor al nodo Gateway. En la Figura 61 se muestra todos los paquetes enviados para establecer comunicación.

### Figura 61

*Establecimiento de conexión nodo sensor y nodo Gateway.*

```

##### PAQUETE N.1 #####
El sensor de flujo del agua marca:
[0.00 Litros totales, nan Litros/minuto]
.4305: engineUpdate, opmode=0x8
?paquete en cola...
.7681: EV_JOINING
.8915: engineUpdate, opmode=0xc
!1290: TXMODE, freq=904300000, len=23, SF=7, BW=125, CR=4/5, IH=0
!31780: RXMODE_SINGLE, freq=924500000, SF=7, BW=500, CR=4/5, IH=0, rxsyms=255
!34786: JaccRX1, dataLen=17
!35238: EV_JOINED
!35264: engineUpdate, opmode=0x808
!37597: TXMODE, freq=904300000, len=26, SF=7, BW=125, CR=4/5, IH=0
!98109: RXMODE_SINGLE, freq=924500000, SF=7, BW=500, CR=4/5, IH=0, rxsyms=255
!01150: Received downlink, window=RX1, port=-1, ack=0
!01641: EV_TXCOMPLETE -> Transmision completada (incluyendo espera para la ventana de Rx)
!07559: engineUpdate, opmode=0x800

```

Nota: Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

#### 4.2.1 Simulación software Radio Mobile.

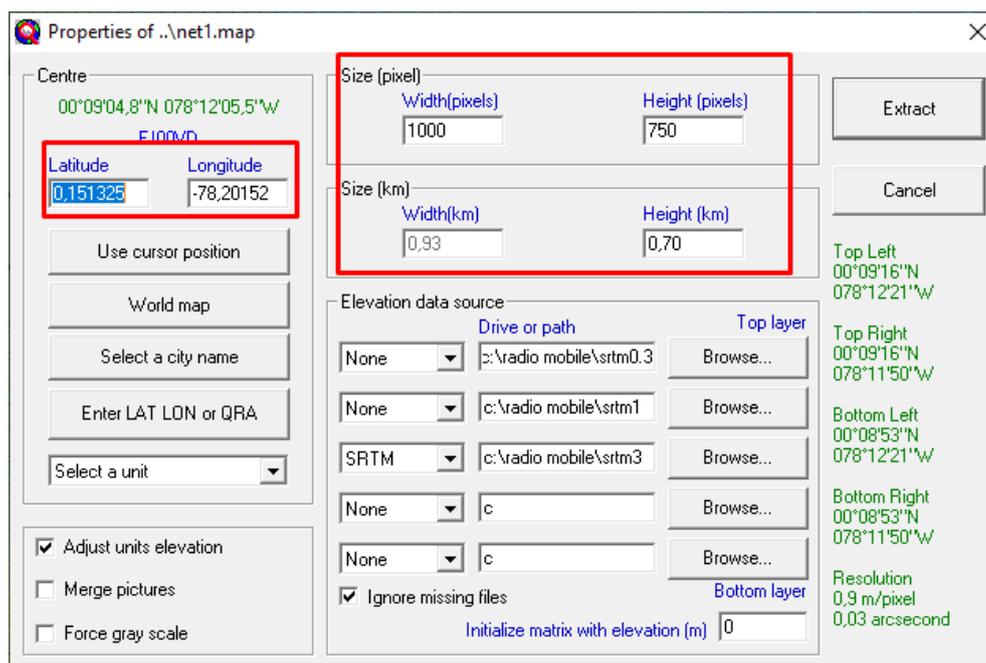
Para validar el funcionamiento de la comunicación inalámbrica con cada uno de los nodos se procede a realizar una simulación haciendo uso de la herramienta Radio Mobile, con esto podremos comparar los datos teóricos obtenidos en base a los cálculos realizados en la sección 3.5.2

En la figura 62 se muestra la ventana de configuración del software Radio Mobile y los valores del Nodo Gateway para la simulación estos valores no cambian por lo cual es utilizado en las tres simulaciones que se mostrara a continuación.

Los valores mostrados del nodo Gateway sirven también para extraer el mapa y ubicar todos los nodos, además muestra el tamaño de la ventana en píxeles y la altura de visualización del mapa.

**Figura 62**

*Simulación Radio Mobile*



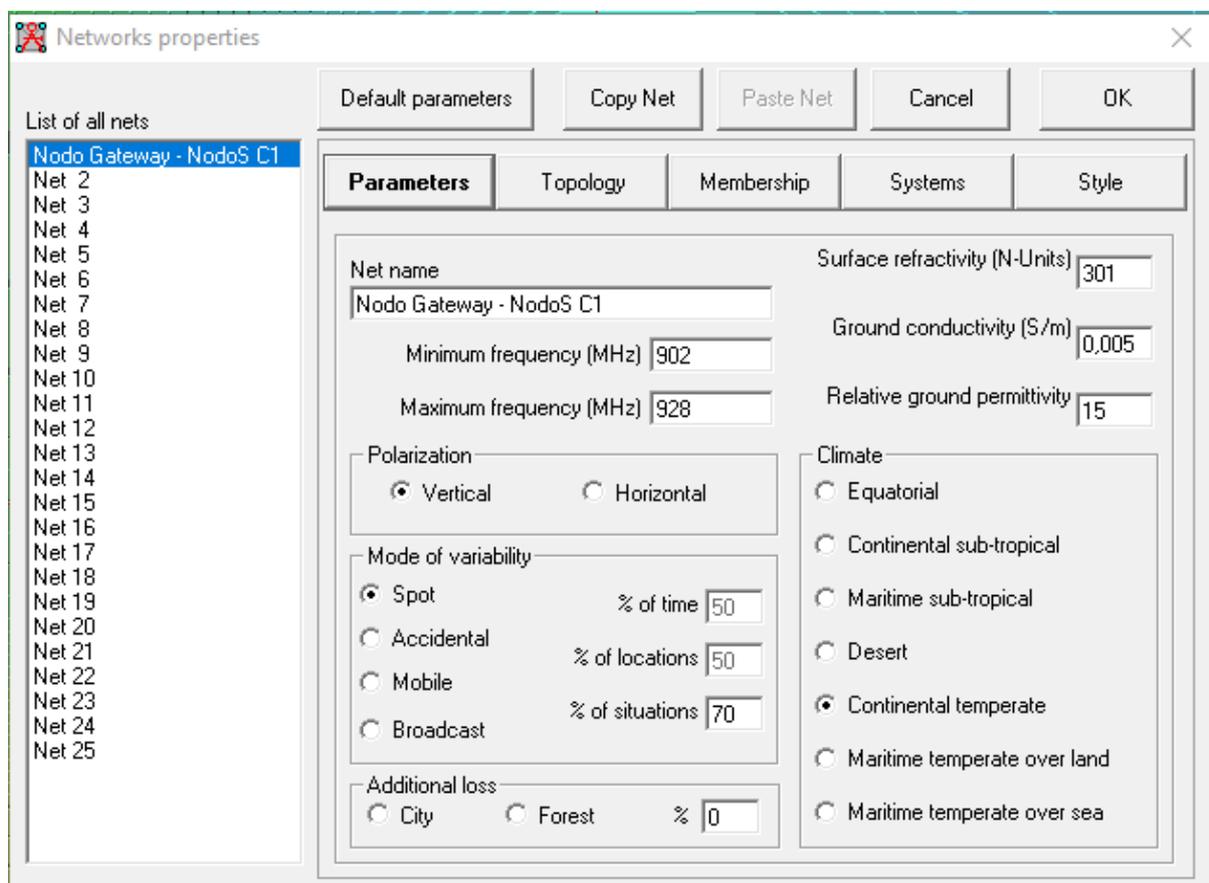
*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

#### 4.2.1.1 Simulación Nodo sensor C1 – Nodo Gateway

En la figura 63 se muestra los parámetros configurados de la red, los más importantes son la frecuencia de operación en este caso los equipos LoRA para la región está determinada por US que va desde los 902MHz hasta los 928Mz los mismo que ha sido configurados en la simulación, además que la polarización de la antena es vertical.

**Figura 63**

*Simulación Nodo sensor C1 – Nodo Gateway*



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

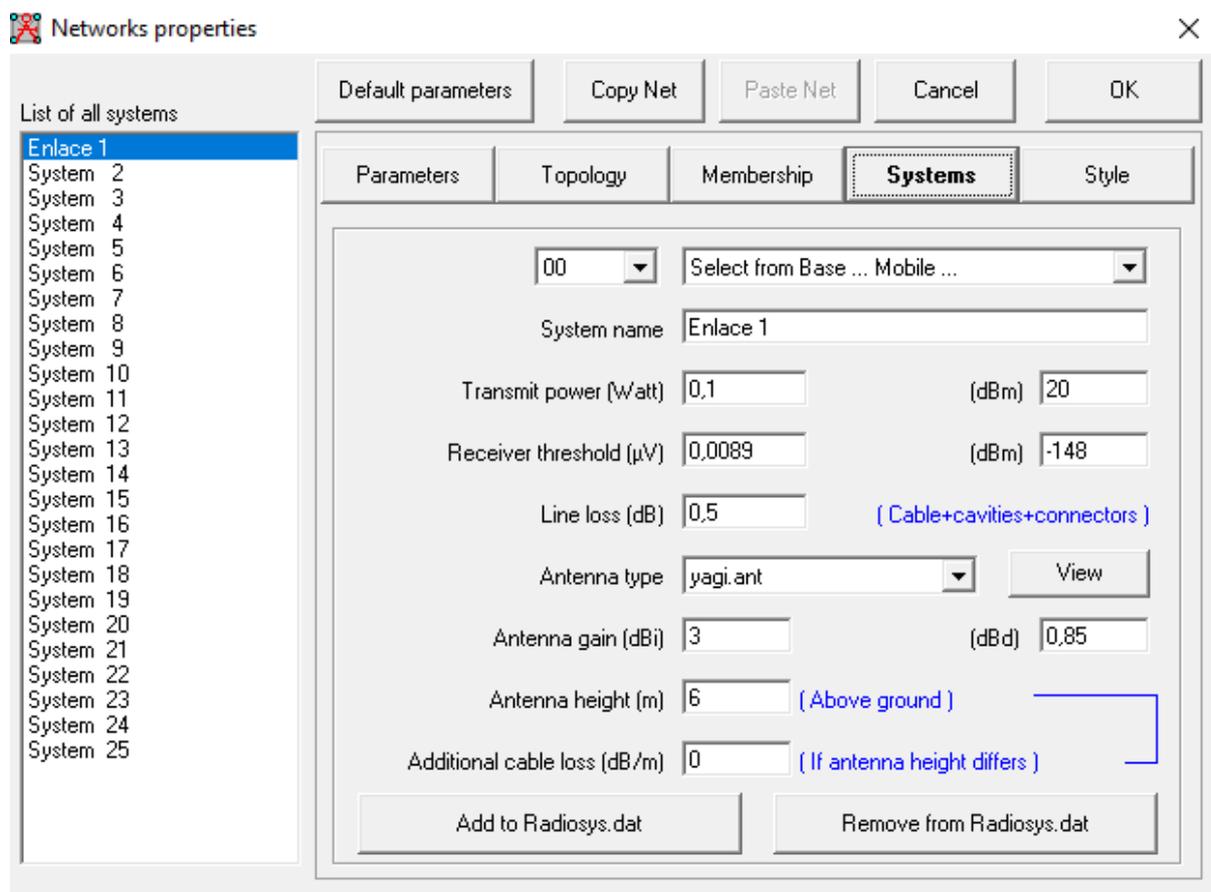
Los demas parámetros a configurar son los valores únicos de los equipos en este caso la potencia de transmisión, el umbral de recepción, la pérdida de línea, el tipo de antena que

se utiliza, la ganancia de la antena, y la altura de ubicación del nodo Gateway, todos estos datos son proporcionados por el fabricante en la hoja de datos técnica de cada equipo.

En la figura 64 se muestra los valores configurados para la red.

### Figura 64

#### Configuraciones de red



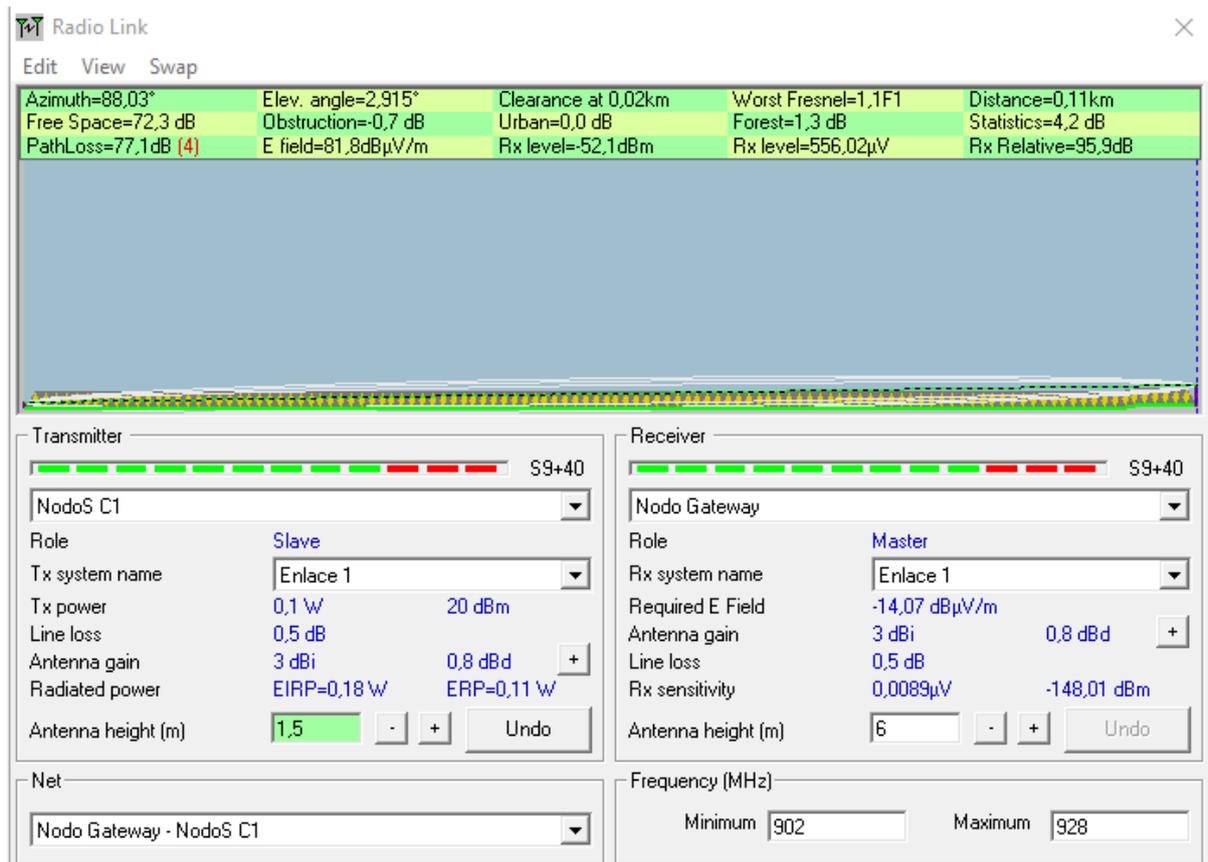
*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

A continuación se presenta el resultado de la simulación con los parámetros ya configurados, como se puede apreciar en la figura 65 se muestra valores de simulación como es el ángulo de azimut, el ángulo de elevación, el peor Fresnel, distancia, la pérdida en espacio libre, la pérdida total, la ganancia del sistema, son los valores más relevantes e

importantes de identificar ya que de estos depende que la comunicación inalámbrica entre el nodo sensor y el Gateway se establezca de manera efectiva.

**Figura 65**

*Resultados simulación NodoS C1 - Gateway*



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

Para obtener una zona de Fresnel totalmente despejada se realiza cambios en la altura de las antenas a continuación en la tabla 23 se muestra las variaciones de los datos y los resultados obtenidos.

**Tabla 23***Resultados de simulación*

<b>Valores simulados Nodo Sensor C1 – Nodo Gateway</b>									
#	Altura nodo sensor C1	Altura nodo Gateway	Frecuencia (MHz)	Peor Fresnel	Perdida en el espacio libre (dB)	Obstrucción (dB)	Perdida de propagación total (dB)	Ganancia del sistema (dB)	Peor recepción (dB)
1	1	6	902-928	0,9F1	72,3	-0,7	77,2	173	95,9
2	1,5	6	902-928	1,1F1	72,3	-0,7	77,2	173	95,9
3	2	6	902-928	1,3F1	72,3	0,2	78	173	95,1

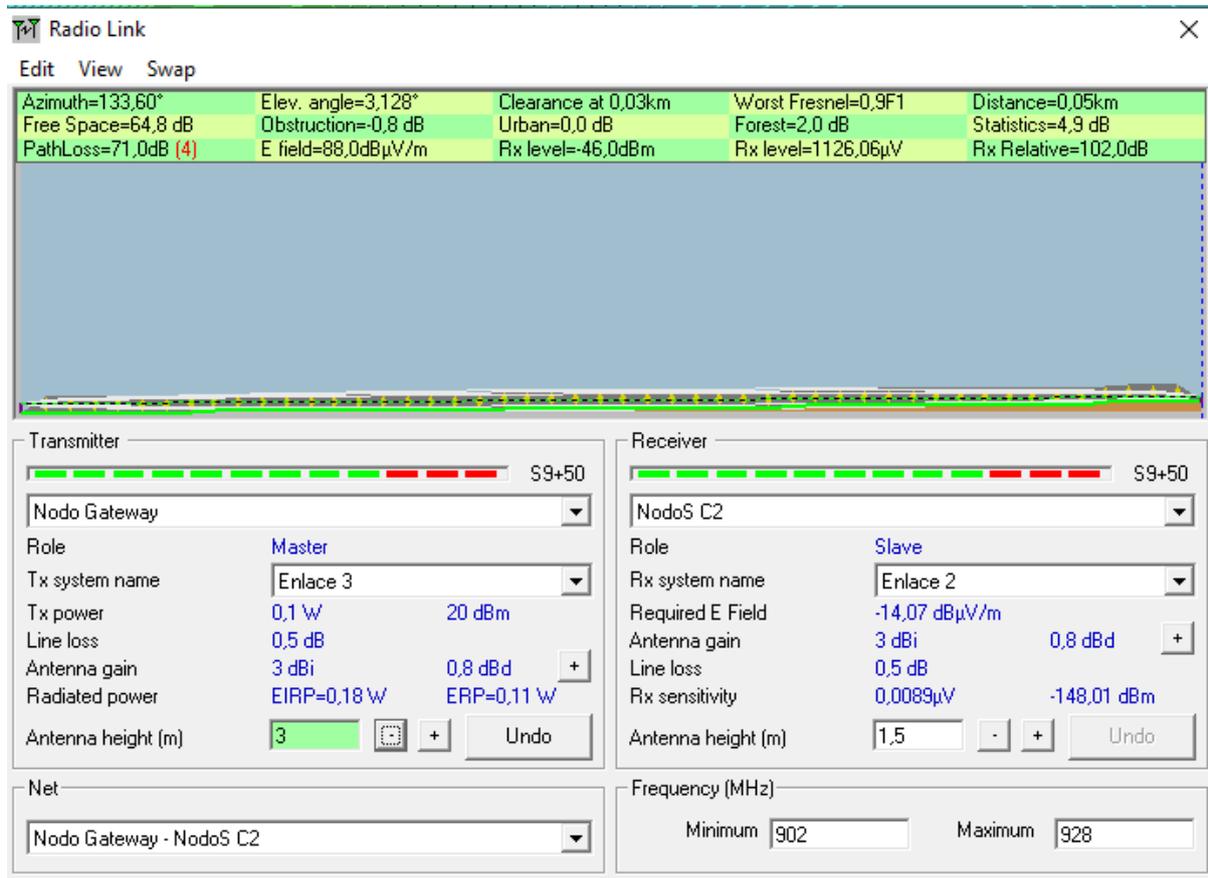
*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

#### **4.2.1.2 Simulación Nodo Sensor C2 – Nodo Gateway.**

De igual manera se debe crear una nueva red para determinar el enlace entre estos dos nodos. En la figura 66 se muestra los resultados de la simulación realizada.

**Figura 66**

*Resultados simulación Nodo Sensor C2 – Nodo Gateway.*



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

Los obtenidos en la simulación de los diferentes escenarios para en nodo sensor C2 se muestra en la tabla 24.

**Tabla 24**

*Resultados de simulación*

### Valores simulados Nodo Sensor C2 – Nodo Gateway

#	Altura nodo sensor C1	Altura nodo Gateway	Frecuencia (MHz)	Peor Fresnel	Perdida en el espacio libre (dB)	Obstrucción (dB)	Perdida de propagación total (dB)	Ganancia del sistema (dB)	Peor recepción (dB)
---	-----------------------	---------------------	------------------	--------------	----------------------------------	------------------	-----------------------------------	---------------------------	---------------------

1	1	6	902-928	1,1F1	64,8	-0,6	70,7	173	102,3
2	1,5	6	902-928	1,5F1	64,8	0,8	72,1	173	100,9
3	2	6	902-928	1,5F1	64,8	-0,6	70,7	173	102,3

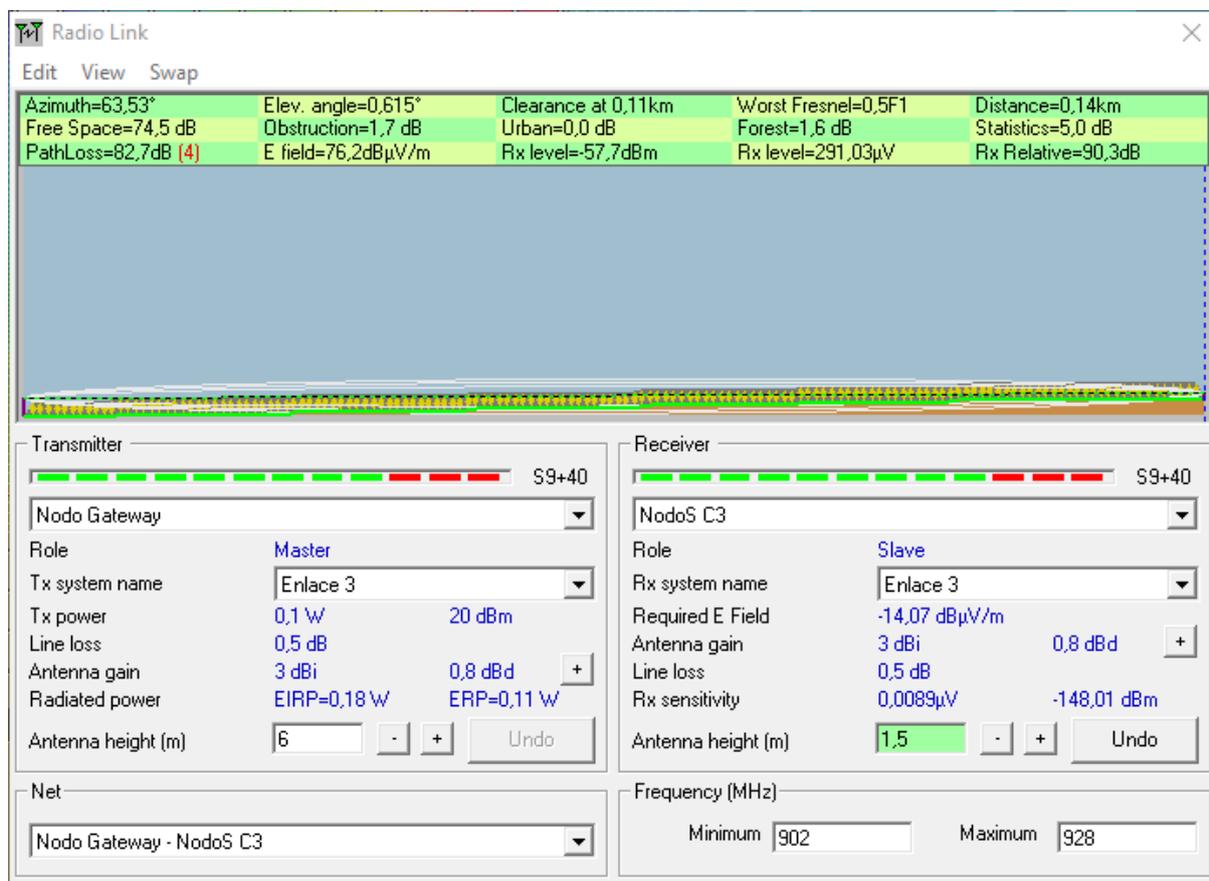
*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

#### 4.2.1.3 Simulación Nodo Sensor C3 – Nodo Gateway.

Se procede con la simulación entre el nodo sensor C3 y el nodo Gateway, siendo el nodo más lógano en la figura 67 se muestra el resultado obtenido de la simulación con los valores del nodo C3.

**Figura 67**

*Simulación nodo sensor C3 - Nodo Gateway*



*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

Los obtenidos en la simulación de los diferentes escenarios para en nodo sensor C3 se muestra en la tabla 25.

**Tabla 25**

*Resultados de simulación*

<b>Valores simulados Nodo Sensor C3 – Nodo Gateway</b>									
#	Altura nodo sensor C1	Altura nodo Gateway	Frecuencia (MHz)	Peor Fresnel	Perdida en el espacio libre (dB)	Obstrucción (dB)	Perdida de propagación total (dB)	Ganancia del sistema (dB)	Peor recepción (dB)
1	1	6	902-928	0,3F1	74,5	3,3	84,4	173	88,7
2	1,5	6	902-928	0,5F1	74,5	1,7	82,7	173	90,3
3	2	6	902-928	0,6F1	74,5	0,3	81,4	173	91,6

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

Basándonos en los datos recopilados de las distintas situaciones, se puede deducir que todos los enlaces de radio son adecuados, ya que la primera zona de Fresnel excede el 60%.

Como parte final se realiza una comparación entre los datos calculados y los datos simulados en la herramienta Radio Mobile tal como se muestra en la tabla 26.

**Tabla 26**

*Comparación de valores*

<b>Comparación de valores calculados y valores simulados.</b>		
Detalles	Valores calculados	Valores simulados

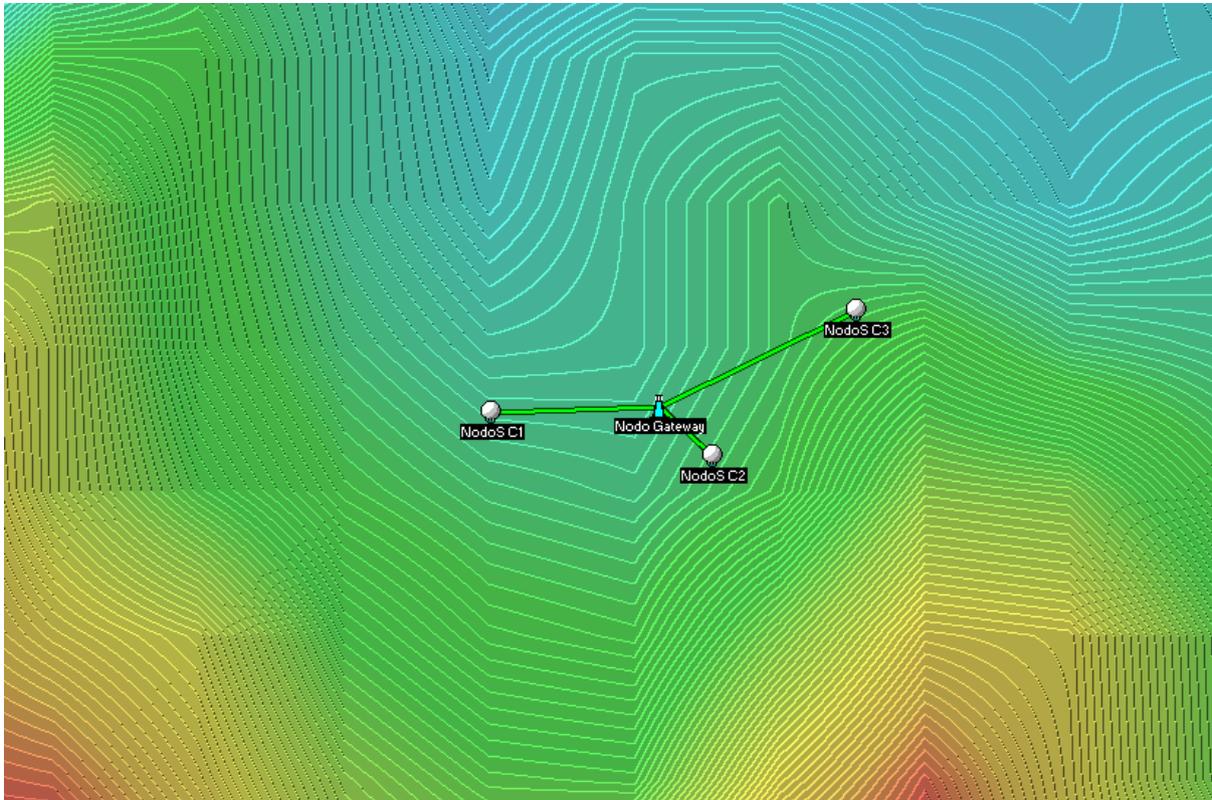
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
<b>Peor Fresnel</b>	1,7F1	1,8F1	0,8F1	1,1F1	1,5F1	0,6F1
<b>Perdidas en el espacio libre</b>	72.35 (dB)	65.5 (dB)	74.75 (dB)	72,3 (dB)	64,8 (dB)	74,5 (dB)
<b>Ángulo de Azimut</b>	88,22°	133,8°	63,4°	88,03°	133.60°	63,53°
<b>Ángulo de Elevación</b>	2,34°	4,57°	1,77°	2,91°	3,12°	0,68°

*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

En la figura 68 se muestra la simulación total de todos los nodos conectados con la simulación realizada al tener una línea de vista entre cada uno de los nodos sensores y el nodo Gateway se presenta la conexión entre cada uno de los nodos con el Gateway con una línea color verde demostrando que existe comunicación inalámbrica en estos nodos.

**Figura 68**

*Simulación de todos los nodos*



*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor*, 2023.

#### **4.2.2 Pruebas con el analizador de espectro.**

En este caso se hace uso de esta herramienta para demostrar la comunicación inalámbrica establecida a una frecuencia que fluctúa entre las permitidas para la región que van desde los 902 MHz hasta los 928 MHz, los módulos shield SX1276 trabajan bajo las frecuencias LoRA no licenciadas. En la 69 se muestra los parámetros a configurar frecuencia y amplitud, esto con el fin de poder identificar de mejor manera a la señal.

**Figura 69**

Valores de frecuencia.

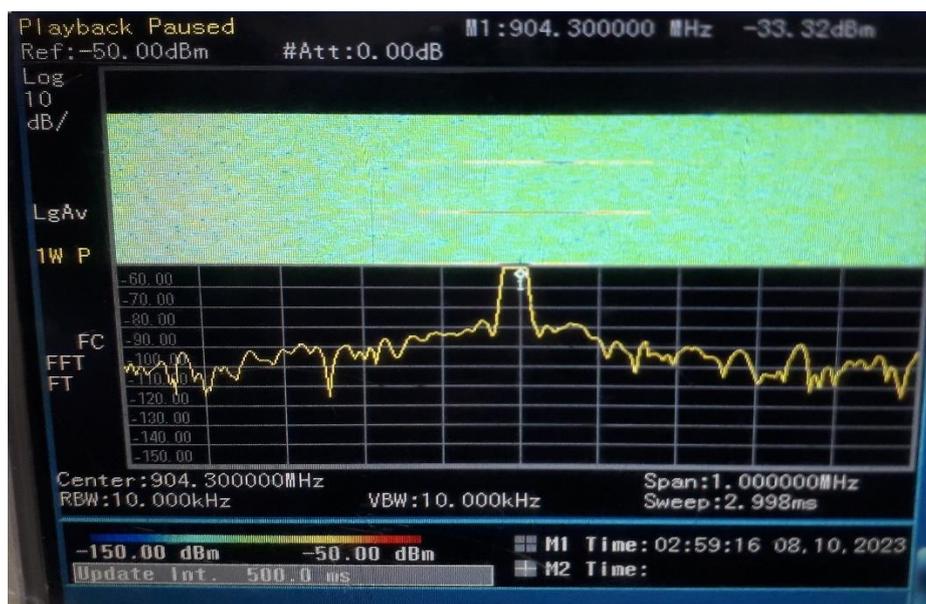


Nota: Adaptado de, *Propio Autor*, 2023.

Además en la figura 70 se presenta el espectro de frecuencia central donde se evidencia la comunicación en los 904.3 MHz.

**Figura 70**

Frecuencia de operación del sistema



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

### 4.3 Pruebas del funcionamiento página web.

En esta sección, es imprescindible llevar a cabo pruebas para evaluar las diversas funcionalidades disponibles en la página web. Estas funcionalidades incluyen el proceso de inicio de sesión verificando las credenciales de accesos almacenadas en la base de datos lo cual debería arrojar un mensaje de acceso o negación dependiendo del caso, el corte o activación del servicio de agua potable, el registro de nuevos usuarios y el sistema de facturación.

#### 4.3.1 Pruebas de inicio de sesión

Para comprobar el inicio de sesión en la página web se ha registrado un único usuario administrador, en este caso se hace uso de este único rol esto con el fin de que los de más usuarios no puedan ingresar a la aplicación y realizar manipulaciones dentro del sistema que podrían afectar al buen desempeño del sistema en general. En la Figura 71 se observa la página principal diseñada para la comunidad.

### Figura 71

*Página principal inicio de sesión.*



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

En caso de digitar de manera errónea ya sea el usuario o la contraseña, se desplegará un mensaje indicando que los datos de inicio de sesión no son correctos. En la Figura 72 se muestra un caso de acceso erróneo a la página web.

## Figura 72

*Acceso erróneo a la página web*

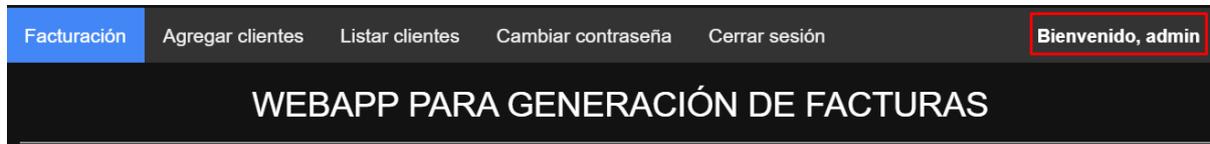


*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

Si las credenciales son ingresadas de forma correcta ingresará a la página principal donde se podrá realizar diferentes acciones como: generar una factura, agregar clientes, listar clientes, cambiar contraseña, cerrar sesión. En la Figura 73 se muestra la página web diseñada para la comunidad.

### Figura 73

*Ingreso a la página web.*



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

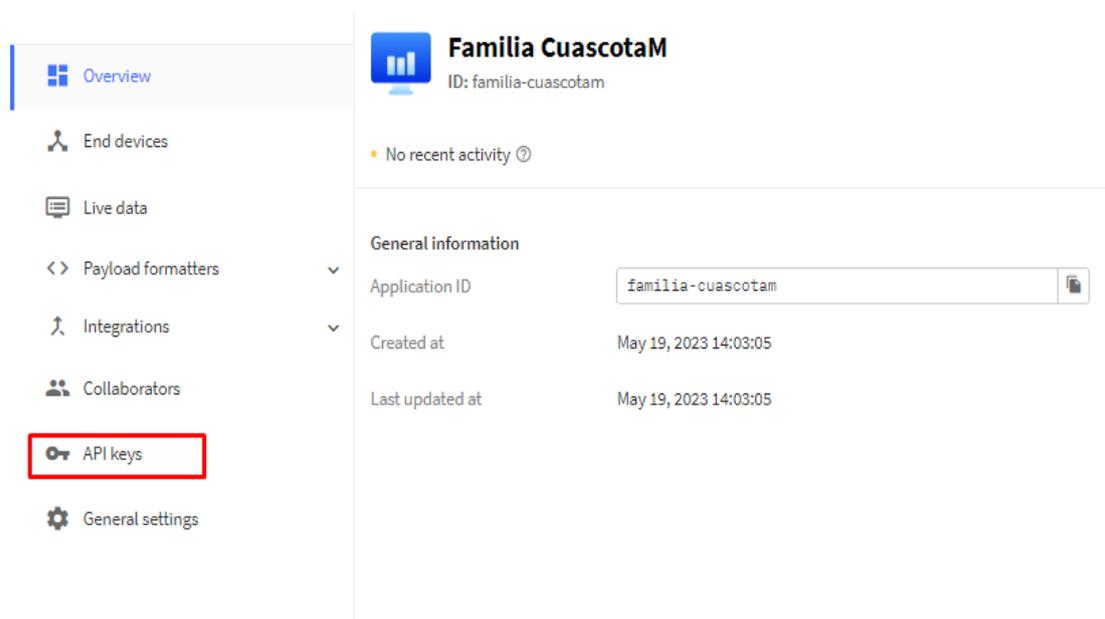
#### 4.3.1.1 Pruebas ingresar y listar clientes.

Para registrar un nuevo cliente en primera instancia se debe registrar dentro de la TTN luego se podrá incorporar a la página web haciendo uso de la Apikeys esta es una clave única para cada cliente que se utiliza para autenticar y autorizar las solicitudes.

Dentro de la aplicación creada en la TTN se deberá colocar en el apartado API keys En la Figura 74 se puede apreciar en campo a seleccionar.

### Figura 74

*Seleccionar familia para generar API key*



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

Al presionar en la nueva ventana en la parte superior derecha se agregará una nueva API Key. En la Figura 75 se muestra el campo a seleccionar.

### Figura 75

*Generar API key.*



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

Una vez hecho esto se generará dicha clave como se muestra a continuación, se deberá copiar la clave en un lugar seguro ya que se lo mostrará por única, por medio de esta clave se podrán comunicar la TTN con la página web es por esto que se debe tener esta clave configurada en ambas páginas. En la Figura 76 se observa la pantalla de la API keys Generada.

## Figura 76

*Clave API key generada.*

### Please copy newly created API key

You won't be able to view the key afterward

#### Granted rights

- ✓ Write downlink application traffic

Your API key has been created successfully. Note: After closing this window, the value of the key secret will not be accessible anymore. Make sure to copy and store it in a safe place now.

#### API key

NNSXS.Z20H6V6R...



✓ I have copied the key

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor*, 2023.

Una vez realizado los anteriores pasos se podrá registrar un nuevo cliente en la página web, los campos son obligatorios y deben ser los mismo con los que se lo registro en la TTN y se le agrega la API key generada. En la Figura 77 se muestra el registro de un nuevo cliente.

**Figura 77**

*Registro nuevo cliente.*

Facturación   **Agregar clientes**   Listar

**Nuevo cliente**  
*Los siguientes campos son obligatorios.*

Familia

familia-cuascotam

API Key

NNSXS.JMSOEBYHQHPE7ZVN4XMV

**Agregar**   Limpiar

*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

Para verificar que el nuevo cliente ha sido agregado de forma correcta nos dirigimos al apartado Listar Clientes. En la Figura 78 se muestra los clientes registrados.

## Figura 78

*Listado de clientes registrados.*

FAMILIA	APIKEY	CONSUMO M3 (ULT. 30 DÍAS)	VÁLVULA	ACCIONES	CONSULTAS	OPCIONES
familia-cuascotam	NNSXS.JMSOEBYHC	0.08917	Abierta	CERRAR	<a href="#">Facturas</a> <a href="#">Cortes</a>	<a href="#">Editar</a> <a href="#">Eliminar</a>
familia-bautista-tocagon	NNSXS.ZGEPZYN2A	0.00016	Abierta	CERRAR	<a href="#">Facturas</a> <a href="#">Cortes</a>	<a href="#">Editar</a> <a href="#">Eliminar</a>
familia-chicaiza	NNSXS.N2YI25TQIQ	0.00014	Abierta	CERRAR	<a href="#">Facturas</a> <a href="#">Cortes</a>	<a href="#">Editar</a> <a href="#">Eliminar</a>

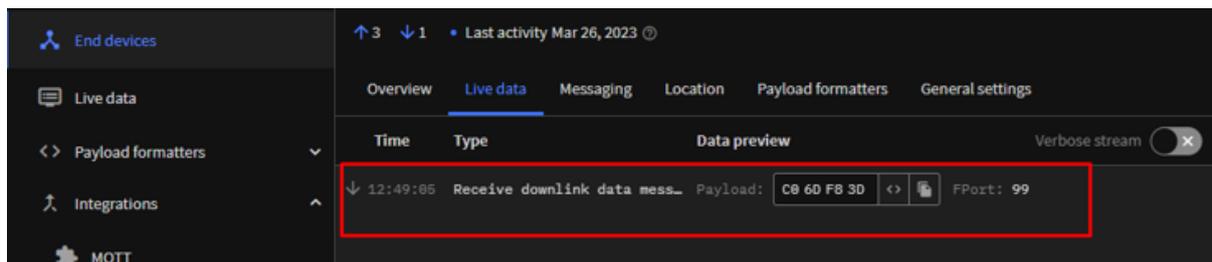
*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

### 4.3.1.2 Pruebas de corte y habilitación.

- 1) Para efectuar esta prueba se ha incorporado una sección de acciones dentro del Listado de Clientes, inicialmente la electroválvula está configurada como normalmente abierto controlado por un relay que controla el cambio de estado de la electroválvula ya que esta funciona a 12 voltios, para gestionar ya sea el corte o habilitación del servicio el administrador lo podrá realizar de forma remota desde la página web, se envía un paquete desde la página web hacía el nodo sensor este paquete cuenta con un campo específico. En la Figura 79 se observa que al presionar la acción cerrar se despliega un mensaje indicando que la acción se ha ejecutado correctamente. Y de igual manera Dentro de TTN se verifica que el mensaje de downlink enviado desde la WebApp haya llegado con éxito.

**Figura 79**

*Cerrar paso de agua.*



*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

Al presionar en ver lista actualizada se evidencia que efectivamente para la familia-cuascotam se ha deshabilitado el servicio y el estado de las acciones ha cambiado a abrir. En la Figura 80 se observa lo antes mencionado.

**Figura 80**

*Acción válvula cerrada.*

FAMILIA	APIKEY	CONSUMO M3 (ULT. 30 DÍAS)	VÁLVULA	ACCIONES	CONSULTAS	OPCIONES
familia-cuascotam	NNSXS.JMSOEBYHC	0.08917	Cerrada	ABRIR	Facturas Cortes	Editar Eliminar
familia-bautista-tocagon	NNSXS.ZGEPZYN2A	0.00016	Abierta	CERRAR	Facturas Cortes	Editar Eliminar
familia-chicaiza	NNSXS.N2YI25TQIQ	0.00014	Abierta	CERRAR	Facturas Cortes	Editar Eliminar

*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

El mismo procedimiento se lo realiza para la activación del servicio en las Figuras 81 y 82 respectivamente se muestra los mensajes y la lista actualizada de los clientes.

### Figura 81

*Abrir electroválvula.*

The screenshot shows a navigation bar with 'Facturación', 'Agregar clientes', 'Listar clientes' (highlighted), 'Cambiar contraseña', and 'Cerrar sesión'. The user is logged in as 'Bienvenido, admin1'. Below the navigation bar, the text reads 'LISTADO DE TODAS LAS FAMILIAS REGISTRADAS' followed by a URL. A large green message states: 'La válvula de familia-cuascotam se ha **ABIERTO** correctamente!' with a link 'Ver lista de clientes actualizada' below it.

The screenshot shows a 'Live data' stream interface. The left sidebar includes 'End devices', 'Live data', 'Payload formatters', 'Integrations', and 'MQTT'. The main area shows a table with columns 'Time', 'Type', and 'Data preview'. Two messages are visible, both with 'Type: Receive downlink data mess...' and 'FPort: 99'. The first message has a payload of 'D3 41 A6 77' and the second has 'C8 60 F8 3D'. A red box highlights the first message's details.

*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

### Figura 82

*Listado de clientes actualizada electroválvula abierta.*

FAMILIA	APIKEY	CONSUMO M3 (ULT. 30 DÍAS)	VÁLVULA	ACCIONES	CONSULTAS	OPCIONES
familia-cuascotam	NNSXS.JMSOEBYHC	0.08917	Abierta	CERRAR	Facturas Cortes	Editar Eliminar
familia-bautista-tocagon	NNSXS.ZGEPZYN2A	0.00016	Abierta	CERRAR	Facturas Cortes	Editar Eliminar
familia-chicaiza	NNSXS.N2YI25TQIQ	0.00014	Abierta	CERRAR	Facturas Cortes	Editar Eliminar

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

Para corroborar la funcionalidad del sistema de corte de servicio de agua potable se realizó 10 pruebas de habilitación y desactivación desde la página principal de acciones, lo cual nos permite determinar la confiabilidad de esta función. En la Tabla 27 se muestra los resultados de las pruebas realizadas.

**Tabla 27.**

*Pruebas electroválvula.*

<b>Operación</b>	<b>Numero de pruebas</b>	<b>Margen de error</b>
<b>Habilitar</b>	10	0
<b>Desactivar</b>	10	0

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

Los resultados de las pruebas indicaron que se encontró un porcentaje de error del 0% y una confiabilidad del 100%. Estos hallazgos sugieren que el sistema demuestra una alta eficiencia al llevar a cabo las acciones de habilitar y deshabilitar el servicio de manera precisa y confiable.

#### **4.3.1.3 Pruebas del sistema de facturación.**

El sistema se fundamenta en la creación de facturas en función de la información almacenada en la base de datos respecto al consumo de los usuarios. Para generar una factura, una vez que se ha obtenido el consumo mensual, se procede a crear una nueva factura y se busca al usuario mediante: su nombre de la familia y se ingresa las fechas de cobro. En la Figura 83 se muestra la forma de buscar un cliente para generar su factura.

**Figura 83***Generar factura del cliente*

The image shows a web interface with a dark background. At the top, the title "Seleccionar familia y fechas de corte" is displayed in white. Below the title, there are three input fields: "ID de la Familia" containing "familia-cuascotam", "Fecha de inicio" containing "01/07/2023", and "Fecha de fin" containing "12/07/2023". Each date field has a calendar icon on the right. A red rectangular box highlights these three input fields. Below the input fields, there are two buttons: a green button labeled "FILTRAR POR FAMILIA" and a red button labeled "LIMPIAR TABLA".

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor*, 2023.

Una vez seleccionado la familia y las fechas se lo filtra y se desplegará una ventana con todos los consumos de la fecha establecida, además en la parte final se podrá generar él .pdf de la factura seleccionando la opción Generar PDF. En la Figura 84 se muestra la tabla filtrada.

## Figura 84

### Datos filtrados para factura

FILTRAR POR FAMILIA
LIMPIAR TABLA

Datos filtrados para FAMILIA: familia-cuascotam, con FECHA DE INICIO: 2023-07-01 y FECHA DE FIN: 2023-07-12 (AAAA-MM-DD).

DATETIME	FAMILIA	RSSI (DBM)	SNR	FLUJO AGUA (L)	FLUJO AGUA (L/M)	RELAY (1/0)
2023-07-07 11:05:05	familia-cuascotam	-79	9	10.3	0	0
2023-07-07 11:04:01	familia-cuascotam	-81	9	10.3	0	0
2023-07-07 11:02:58	familia-cuascotam	-82	9	10.29	0	0
2023-07-07 11:01:54	familia-cuascotam	-74	9	10.29	0	0
2023-07-07 11:00:51	familia-cuascotam	-75	9	10.29	2.58	0

2023-07-07 11:01:54	familia-cuascotam	-74	9	10.29	0	0
2023-07-07 11:00:51	familia-cuascotam	-75	9	10.29	2.58	0
2023-07-07 10:59:31	familia-cuascotam	-76	9	7.71	2.56	0
2023-07-07 10:58:08	familia-cuascotam	-75	10	5.14	0.09	0

MOSTRAR FACTURA EN PDF

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

En la Figura 85 se muestra como está estructurado la factura del cliente se muestra las fechas ingresadas para el corte, además de la cantidad de m3 consumidos y el valor a pagar por el cliente.

**Figura 85***Estructura de la factura*

Zona 4



Barrio El Empedrado

Dirección calle 1

Dirección calle 2

N° de factura: 76

Fecha inicio: 2023-06-01

Fecha fin: 2023-07-31

Cant. consumida	Unidad	Descripción	Precio unitario
0.1012	m3	\$2.50 hasta 15 m3	\$ 2.50
		<b>Total Factura</b>	<b>\$2.50</b>

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

Del mismo modo para comprobar su funcionalidad se realizó 5 pruebas generando factura. En la Tabla 28 se observa las pruebas realizadas.

**Tabla 28.**

*Pruebas sistema de facturación.*

Facturas generadas	Numero de pruebas	Margen de error
Numero de facturas.	5	0

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

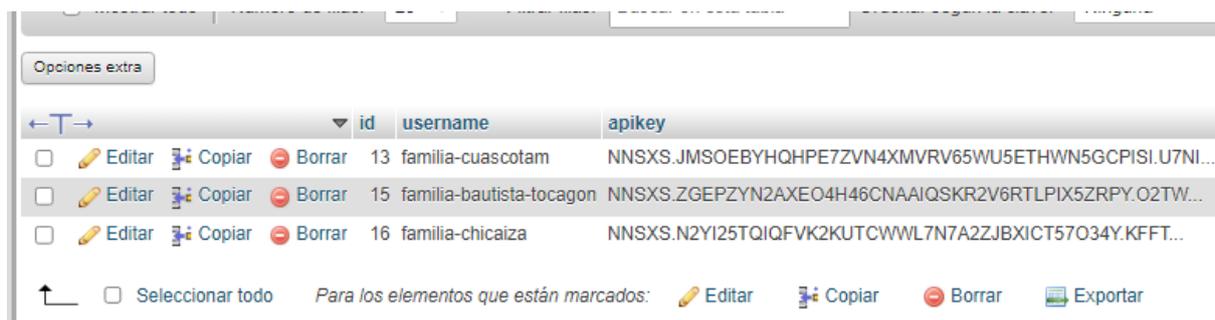
Como resultado se muestra que el margen de error para la facturación es del 0% es decir que el sistema tiene una eficiencia y confiabilidad del 100%.

#### 4.3.2 Pruebas de la base de datos.

Se comprobará que las tablas mantengan los datos ingresados a través de la página web. De esta manera, se asegura la integridad y precisión de los datos almacenados en la base de datos, lo que es esencial para el funcionamiento adecuado de la aplicación web en su conjunto. En la Figura 86 se muestra los clientes registrados y almacenados en la base de datos, se muestra su nombre y su identificativo con el que fue registrado en la página web.

### Figura 86

*Cientes registrados en la base de datos*



	id	username	apikey
<input type="checkbox"/>	13	familia-cuascotam	NNSXS.JMSOEBYHQHPE7ZVN4XMVRV65WU5ETHWN5GCPISI.U7NI...
<input type="checkbox"/>	15	familia-bautista-tocagon	NNSXS.ZGEPZYN2AXEO4H46CNAAIQSKR2V6RTLPIX5ZRPY.O2TW...
<input type="checkbox"/>	16	familia-chicaiza	NNSXS.N2YI25TQIQFVK2KUTCWWL7N7A2ZJBXICT57O34Y.KFFT...

↑  Seleccionar todo    Para los elementos que están marcados:  Editar     Copiar     Borrar     Exportar

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

Además, en la figura 87 se muestra el Id\_factura el número de factura generado y el estado del consumo del agua por parte de los clientes estos campos se actualizarán al entrar en funcionamiento cada uno de los sensores instalados en las viviendas.

**Figura 87***Valor consumo y numero factura*

	id_factura	familia	fecha	inicio	fin	consumo	cobro	zona	barrio	dir1	dir2	infoCuenta	consumo_m3	consumo_m3_ad	punitario	punitario_ad	flowLM	visibility	desc1	desc2
Borrar	81	familia-chicaiza	2023-07-24 20:58:48	2023-06-01	2023-07-31	0.00014	2.50	Zona 4	Barrio El Empedrado	Dirección calle 1	Dirección calle 2	0075 XXXX XX XX... Banco Pichincha Cta: XX 0075 XXXX XX XX X...	0.00014	0.0000	\$ 2.50	10	2.5	visibility: hidden;	\$2.50 hasta 15 m3	
Borrar	82	familia-chicaiza	2023-07-24 21:06:09	2023-06-01	2023-07-31	0.00014	2.50	Zona 4	Barrio El Empedrado	Dirección calle 1	Dirección calle 2	Cta: XX 0075 XXXX XX XX... Banco Pichincha	0.00014	0.0000	\$ 2.50	10	2.5	visibility: hidden;	\$2.50 hasta 15 m3	
Borrar	83	familia-cuscotani	2023-07-26 00:21:13	2023-07-01	2023-07-31	0.08917	2.50	Zona 4	Barrio El Empedrado	Dirección calle 1	Dirección calle 2	Cta: XX 0075 XXXX XX XX... Banco Pichincha	0.08917	0.0000	\$ 2.50	10	2.5	visibility: hidden;	\$2.50 hasta 15 m3	

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

#### 4.4 Presupuesto del sistema

En este apartado se presenta una descripción del presupuesto, la implementación completa del proyecto requerirá costos económicos para la adquisición de materiales, instalación de los dispositivos, implementación de la plataforma de control, configuración de la plataforma de conexión y otros gastos asociados. A continuación, se detalla el presupuesto de la implementación del prototipo en las viviendas seleccionadas para verificar el funcionamiento y operatividad del sistema planteado.

##### 4.4.1 Presupuesto de hardware

El presupuesto de hardware comprende todos los dispositivos electrónicos y componentes físicos utilizados en el diseño y construcción del sistema. Esto puede incluir, entre otros, sensores, actuadores, microcontroladores, placas de circuito impreso (PCB), módulos de comunicación, unidades de procesamiento, fuentes de alimentación, cables y cualquier otro elemento físico necesario para la operación del sistema. En la tabla 29 se muestra una información detallada del presupuesto de hardware.

**Tabla 29***Presupuesto de Hardware*

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
<b>LoRA Gateway Dragino LG – 01N</b>	1	\$200	\$200
<b>Shield LoRA 1276</b>	2	\$45	\$90
<b>Arduino UNO</b>	2	\$10	\$20
<b>Sensor YF – S201</b>	2	\$9	\$18
<b>Electroválvula</b>	1	\$60	\$60
<b>Relay un canal</b>	2	\$3	\$6
<b>Cable UTP</b>	40	\$0.70	\$28
<b>Cable fuente de alimentación</b>	30	\$1	\$40
<b>Total</b>			\$462

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

#### **4.4.2 Presupuesto de software**

El presupuesto de software se refiere a los costos asociados con el uso y manejo de los programas informáticos utilizados en el desarrollo y funcionamiento del sistema. Cuando se utiliza software libre, como en este caso, no se incurre en gastos de licencias o adquisición de derechos de uso, ya que este tipo de software está disponible de forma gratuita y suele venir acompañado de licencias de código abierto que permiten su uso, modificación y distribución sin restricciones. En la tabla 30 se muestra el presupuesto en software.

**Tabla 30***Presupuesto de Software*

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
<b>Plataforma TTN</b>	1	\$0	\$0
<b>IDE de Arduino</b>	1	\$0	\$0
<b>000webhostapp</b>	1	\$0	\$0
<b>Komodo Edit</b>	1	\$0	\$0
<b>Fritzing</b>	1	\$0	\$0
<b>Total</b>			\$0

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

**4.4.3 Presupuesto de Infraestructura.**

El presupuesto de infraestructura se refiere a los recursos utilizados para resguardar y consolidar los componentes del sistema, tal como se muestra en la tabla 31.

**Tabla 31***Presupuesto de Infraestructura.*

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
<b>Caja térmica protectora</b>	2	\$10	\$20
<b>Baquelita</b>	1	\$3	\$3
<b>Total</b>			\$23

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

#### 4.4.4 *Presupuesto total.*

Una vez que se han obtenido los presupuestos individuales de hardware, software e infraestructura, se procede a realizar una sumatoria de estos costos para obtener el presupuesto total del sistema., como se muestra en la tabla 32.

**Tabla 32**

*Presupuesto total del sistema*

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
<b>Presupuesto de Hardware</b>	\$462
<b>Presupuesto de Software</b>	\$0
<b>Presupuesto de Infraestructura</b>	\$23
<b>Total</b>	\$485

*Nota:* Adaptado de, *Propio Autor, 2023.*

#### 4.4.5 *Presupuesto de implementación total del sistema.*

Una vez que se ha elaborado el presupuesto para la implementación del prototipo del sistema, es importante llevar a cabo un nuevo presupuesto para su implementación a gran escala, considerando toda la comunidad que actualmente cuenta con 250 familias, tomando en cuenta que las familias son las personas que poseen hijos, existen familias que viven en un mismo domicilio alrededor de 3 familias en algunos casos esto nos da como resultado un total de 200 medidores a instalar. En este nuevo presupuesto se deben tener en cuenta los costos adicionales asociados con la ampliación del sistema para cubrir a un mayor número de usuarios. También es recomendable contemplar un margen de contingencia para posibles imprevistos.

El presupuesto final refleja una estimación realista y acorde a las necesidades y expectativas de la comunidad, para asegurar una adecuada planificación y ejecución del proyecto además se agregó un 10% del costo total para imprevistos dentro del sistema. Tal como se muestra en la tabla 33

**Tabla 33**

*Presupuesto de implementación total del sistema en la comunidad.*

<b>Presupuesto de implementación total del sistema</b>			
<b>Presupuesto de hardware.</b>			
<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
<b>LoRA Gateway Dragino LG – 01N</b>	20	\$200	\$4.000
<b>Shield LoRA 1276</b>	200	\$45	\$9.000
<b>Arduino UNO</b>	200	\$10	\$2.000
<b>Sensor YF – S201</b>	200	\$9	\$1.800
<b>Electroválvula</b>	200	\$60	\$12.000
<b>Relay un canal</b>	200	\$3	\$600
<b>Cable UTP</b>	1	\$200	\$200
<b>Total de hardware</b>			\$29,600
<b>Presupuesto de software.</b>			
<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
<b>Plataforma TTN</b>	1	\$0	\$0

<b>IDE de Arduino</b>	1	\$0	\$0
<b>000webhostapp</b>	1	\$0	\$0
<b>Komodo Edit</b>	1	\$0	\$0
<b>Fritzing</b>	1	\$0	\$0
<b>Total de software</b>			\$0

#### **Presupuesto de Infraestructura**

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
<b>Caja térmica protectora</b>	200	\$10	\$2.000
<b>Baquelita</b>	20	\$3	\$150
<b>Total de infraestructura</b>			\$2.150

#### **Presupuesto de imprevisto**

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor total</b>
<b>Para imprevisto</b>			\$3.700

#### **Presupuesto de mano de obra**

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
<b>Instalación medidores electrónicos.</b>	200	\$25	\$5.000
<b>Instalación Gateway LoRA</b>	10	\$25	\$250
<b>Total de mano de obra</b>			\$5.250
<b>Presupuesto de implementación total</b>			\$40.700

*Nota: Adaptado de, Propio Autor, 2023.*

El presupuesto presentado en la tabla anterior corresponde al costo total estimado para la implementación completa del sistema propuesto, que consiste en la recolección de información de lecturas de medidores mediante el uso de la tecnología LoRA. No obstante, también es factible realizar la implementación del sistema en fases, instalándolo por sectores.

Si se decide llevar a cabo la implementación por etapas, el presupuesto se puede dividir y ajustar de acuerdo con el alcance de cada fase. Es decir, en lugar de implementar el sistema en toda la comunidad a la vez, se realizaría primero en un sector específico y luego se iría extendiendo gradualmente a otros sectores.

En este enfoque por fases, el presupuesto para cada etapa deberá tener en cuenta los costos asociados con la instalación y puesta en marcha del sistema en el sector seleccionado. Además, también se considerarán los gastos de coordinación y planificación necesarios para llevar a cabo la implementación de manera efectiva y ordenada.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### Conclusiones.

- El sistema de medición de agua potable implementado ofrece la capacidad de monitorear el consumo del agua para la comunidad San Agustín de Cajas perteneciente a la junta de agua Mojanda-Yanaurco, el sistema puede recopilar datos en tiempo real de los dispositivos de medición instalados en las residencias de los usuarios, lo que permite un monitoreo continuo y actualizado del consumo de agua. Estos datos se transmiten y almacenan en plataformas web, además mediante interfaces de control web, los responsables de la administración del agua pueden supervisar y gestionar el sistema de medición de manera intuitiva y eficiente. Esto incluye la capacidad de realizar ajustes, generar informes y tomar decisiones basadas en la información obtenida.
- Para la definición de requerimientos se basa en tres áreas fundamentales (usuario, sistema y arquitectura), se pudo tomar decisiones informadas en cuanto a la selección de los dispositivos de hardware y software más adecuados para el desarrollo del sistema. Esto facilita el proceso de implementación y asegura que el sistema esté bien alineado con las necesidades y expectativas de los usuarios, al tiempo que optimiza su rendimiento y usabilidad.
- Con la implementación de este sistema se automatiza los procesos de recolección, cálculos de valores a pagar, minimiza los errores en los registros, esto ayuda a reducir los tiempos en los procesos antes mencionados. Además, la interpretación de los datos capturados por los sensores es sencilla para el usuario gracias a una plataforma web que facilita la visualización de los datos mediante una interfaz de usuario intuitiva y práctica.

- La tecnología LoRA utilizada para la recolección de la información del consumo del agua por parte de los usuarios, permite la transmisión de datos a larga distancia con un bajo consumo de energía y una alta eficiencia, lo que la hace ideal para aplicaciones que requieren monitoreo y recolección de información de dispositivos distribuidos en áreas extensas. Además, para lograr una mayor cobertura es necesario únicamente agregar un nuevo LoRA Gateway dentro de la misma plataforma TTN de este modo se podrá tener los datos disponibles de los sensores que están distribuidos en diferentes áreas en la misma plataforma.

**Recomendaciones.**

- Es primordial previo a la instalación de dispositivo electrónico asegurarse de conectar correctamente el cable de control del sensor en la placa de control, ya que la señal de salida es digital y solo es compatible con el puerto adecuado en la placa. De lo contrario, se podrían obtener lecturas erróneas en el sistema, lo que afectaría la precisión de los datos recopilados.
- Para el establecimiento de conexión en primera instalación es necesario iniciar el nodo Gateway ya que las peticiones de unión para él envió de información van desde el nodo sensor. Al tener el nodo Gateway operativo previamente, los nodos sensores podrán conectarse de manera más eficiente y efectiva, lo que asegura una comunicación fluida y estable entre ellos.
- Es recomendable que tanto en nodo sensor como el nodo Gateway tenga línea de vista directa, la elección estratégica de la ubicación para los nodos es fundamental para garantizar una comunicación óptima y estable entre ellos. De no contar con una línea de vista directa es necesario realizar la instalación en una ubicación elevada, esto ayuda a minimizar el efecto de la propagación multitrayecto que provoca distorsiones y atenuación de la señal, lo que lleva a una pérdida de calidad en la comunicación entre los dispositivos.
- La tecnología LoRA/LoRAWAN especifica en su hoja de datos técnica que su alcance en cobertura podría alcanzar los 5km, al ser un dato teórico en la práctica no se logró el alcance especificado por ende es recomendable realizar las pruebas hasta una distancia intermedia lo cual garantiza la comunicación entre los dos nodos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Regulación y Control del Agua. (6 de Agosto de 2014). *regulacionagua.gob.ec*.  
<http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/05/Ley-de-RH.pdf>
- arduino. (5 de Febrero de 2020). *arduino.cc*. <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>
- Arduino. (2 de Agosto de 2022). *arduino.cc*. <https://www.arduino.cc/en/hardware>
- avelectronics. (2022). *avelectronics.cc*. <https://avelectronics.cc/producto/sensor-de-flujo-de-agua-yf-s201/>
- Cabascango, E. (6 de Diciembre de 2021). Entrevista presidente. (H. Cuascota, Entrevistador)
- Cabascango, S. (14 de Diciembre de 2021). Entrevista operador de agua. (H. Cuascota, Entrevistador)
- Espada, B. (23 de Abril de 2021). *Okdiario*. <https://okdiario.com/curiosidades/que-porcentaje-superficie-tierra-agua-4854527>
- GAD Gonzales Suarez. (2020). *gadgonzalezsuarez.gob.ec*.  
[https://drive.google.com/file/d/1T\\_dE0kL6t7sTbjbb1UNY4kclpu764sEp/view](https://drive.google.com/file/d/1T_dE0kL6t7sTbjbb1UNY4kclpu764sEp/view)
- González Laura. (Febrero de 2019). *oa.upm.es*.  
[https://oa.upm.es/54465/1/TFG\\_LAURA\\_DOPAZO\\_GONZALEZ.pdf](https://oa.upm.es/54465/1/TFG_LAURA_DOPAZO_GONZALEZ.pdf)
- Hernandez, R. (09 de Diciembre de 2019). *thethingsnetwork.org*.  
<https://www.thethingsnetwork.org/community/santa-rosa/post/que-es-la-tecnologia-lora-y-por-que-es-importante-para-iot>
- IEEE Standards Association. (2020). *standards.ieee.org*.  
[https://standards.ieee.org/standard/802\\_15\\_4-2020.html](https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2020.html)

instructables. (2022). *instructables.com*. <https://www.instructables.com/How-to-Install-the-Arduino-IDE-Application-on-Wind/>

Ionos. (23 de Junio de 2020). *ionos.es*. <https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/modelo-v/>

Lora-Alliance. (9 de Octubre de 2022). *lora-alliance.org*. <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>

Masaquiza Huascar. (2018). *dspace.uniandes.edu.ec*.  
<https://dspace.uniandes.edu.ec/bitstream/123456789/8154/1/PIUASIS007-2018.pdf>

MSP, M. S. (Mayo de 2019). *controlsanitario.gob.ec*.  
[https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua\\_2016-2030.pdf](https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf)

naylampmechatronics. (Enero de 2021). *naylampmechatronics.com*.  
<https://naylampmechatronics.com/valvulas/314-valvula-solenoid-1p2-pulg-12vdc-nc.html>

raspberrypi. (2021). *raspberrypi.org*. <https://www.raspberrypi.org/help/what-%20is-a-raspberry-pi/>

semtech. (2022). *semtech.com*. <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-connect/sx1276#inventory>

SENAGUA. (2021). *gob.ec/senagua*. <https://www.gob.ec/senagua>

Senplades. (04 de Octubre de 2017). *gobiernoelectronico.gob.ec*.  
<https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp->

content/uploads/downloads/2017/09/Plan-Nacional-para-el-Buen-Vivir-2017-2021.pdf

SINELEC. (05 de Mayo de 2021). *gruposinelec.com*. <https://gruposinelec.com/que-son-las-redes-lpwan/>

Sinelec. (5 de Mayo de 2022). *blog.gruposinelec.com*.

<https://blog.gruposinelec.com/actualidad/que-son-las-redes-lpwan/>

tecmikro. (2022). *tecmikro.com*. <https://tecmikro.com/motores/560-electrovalvula-valvula-solenoid.html>

thethingsnetwork. (13 de Febreo de 2022). *thethingsnetwork.org*.

<https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/classes/>

uelectronics. (2021). *uelectronics.com*. <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-flujo-de-agua-yf-s201-efecto-hall/>

## ANEXOS.

## Anexo 1. Aceptación del presidente para la realización del proyecto.

**COMUNIDAD DE SAN AGUSTIN DE CAJAS**

UNOCIGS-PUEBLO KAYAMBI/CHIJALLTA-FICI-ECUARUNARI-CONAIE  
Parroquia González Suárez, Cantón Otavalo, Provincia de Imbabura.  
Acuerdo de Registro CODENPE N 2985 Junio 2014, Pueblo Kayambi Registro n 2 - 2012



Otavalo, 30 de Julio del 2023

A quien corresponda,

Presidente de la comunidad San Agustín de Cajas

**CERTIFICA QUE:**

El señor **HENRY LEONEL CUASCOTA MENDEZ** con cedula de identidad N° **1004681100**, estudiante de la carrera de Ingeniería en Electrónica y redes de comunicación, de la Universidad Técnica del norte, realizo el proceso de investigación, implementación, además de las pruebas de funcionamiento del proyecto **DISEÑO DE UNA RED LPWAN DE MEDICION DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD DE SAN AGUSTIN DE CAJAS PERTENESIENTE A LA JUNTA DE AGUA MOJANDA-YANAURCO**, presentado a la directiva de la comunidad y supervisado por el operario del agua Sr. Santiago Calagullin.

Considero que este sistema será de gran utilidad para nuestra comunidad por lo que agradecemos el proyecto presentado por el Sr. Henry Cuascoto

Atentamente,




Atentamente,  
LIC. MANUEL CATUCUAGO  
PRESIDENTE DE LA COMUNIDAD  
SAN AGUSTIN DE CAJAS

San Agustín de Cajas 

## Anexo 2. Entrevista operador del agua.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**Facultad de ingeniería en ciencias aplicadas**  
**Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de**  
**Comunicación**

Esta entrevista tiene fines de investigación con el cual se pretende obtener datos e información relevante que permita el desarrollo del proyecto. El cual es: "DISEÑO DE UNA RED LPWAN DE MEDICIÓN DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD SAN AGUSTÍN DE CAJAS PERTENECIENTE A LA JUNTA DE AGUA MOJANDA-YANAHURCO"

**Datos Generales:**

Cargo, ocupación dentro de la comunidad: operador de agua

Nombres y Apellidos: Santiago Calagallin

**Preguntas:**

1. – ¿Como es el manejo y control del consumo de agua dentro de la comunidad?

- Se lo maneja de forma manual en su totalidad.
- Hace uso de un sistema embebido.

2. – ¿La lectura de datos del medidor de agua se lo realiza de forma manual cada qué periodo?

Semanal

Mensual

Trimestral.

3. – El sistema de distribución abastece de este recurso hídrico durante las 24 horas del día de forma ininterrumpida?

SI

NO

4. – ¿Cree usted que la utilización de nuevas tecnologías ayude a un mejor manejo del agua, por parte de la junta administradora del agua de la comunidad?

SI

NO

5. – ¿Cree usted que se puede optimizar el tiempo tanto en la toma de lecturas como en el cálculo del valor monetario a cancelar, con la ayuda del sistema a implementar?

SI

NO

6. – Cree usted que los medidores mecánicos instalados brindan información precisa sobre el consumo del agua?

SI

NO

7. – ¿Tiene un medidor de agua incorporado que ayude a medir el consumo del agua?

SI

NO

8. – En que parte de su domicilio está instalado el medidor de agua ?

En el exterior del domicilio

En el interior del domicilio

9. – ¿Desearía tener la información del consumo del agua potable, visible en una página web de forma más ordenada?

SI

NO

**Anexo 3. Código comunicación LoRA.**

```
#include <lmic.h>

#include <CayenneLPP.h>

// DEFINICIONES

#define MAX_SIZE 200 // Longitud maxima del Payload para SF7

CayenneLPP Payload(MAX_SIZE); // Definición del objeto Payload

// PINES

const int ctl_pin = 4; // Pin de CONTROL para encender/apagar relay

const int flowsensor = 3; // Pin para conectar el sensor de flujo de agua

// VARIABLES GLOBALES

static float flow; // Conteo de flujo en Litros totales

static float flow2; // Conteo de flujo en Litros por minuto

static float actualFlow;

static float pastFlow;

unsigned long pulse_freq = 0; // Conteo de flujo en Litros totales

unsigned long pulse_freq2 = 0; // Conteo de flujo en Litros por minuto

unsigned long currentTime; // Conteo de flujo en Litros por minuto
```

```
unsigned long lastTime; // Conteo de flujo en Litros por minuto

// ***** COMUNICACIÓN CON TTN *****

static const u1_t PROGMEM DEVEUI[8]={ 0x52, 0xDC, 0x05, 0xD0, 0x7E, 0xD5, 0xB3,
0x70 };

void os_getDevEui (u1_t* buf) { memcpy_P(buf, DEVEUI, 8);}

static const u1_t PROGMEM APPKEY[16] ={ 0x0C, 0x33, 0x73, 0x24, 0xC6, 0x09, 0xD9,
0xE5, 0x29, 0x03, 0x1E, 0xF2, 0x60, 0x59, 0x92, 0x33 };

void os_getDevKey (u1_t* buf) { memcpy_P(buf, APPKEY, 16);}

// ***** FIN - COMUNICACIÓN CON TTN *****
```

**Anexo4. Código programación calculo consumo del agua y activación electroválvula.**

```
static uint8_t LPP_data[14] = {0x01, 0x02, 0x00, 0x00, 0x02, 0x02, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x04, 0x01, 0x00}; // Estructura basica del payload LPP
```

```
static uint8_t opencml[4] = {0x00, 0x00, 0x64, 0xFF}, closecml[4] = {0x00, 0x00, 0x00,
0xFF}; // Formato de Payload para activar/desactivar relay
```

```
static unsigned int count = 1; // Contador de paquetes enviados
```

```
static osjob_t sendjob;
```

```
// Intervalo de tiempo (aproximado/ticks) en que se enviaran los paquetes
```

```
// puede variar dependiendo de las limitaciones en el ciclo de trabajo
```

```
const unsigned TX_INTERVAL = 60;
```

```
};
```

```
// Definiciones de eventos de la Cx LoRa con TTN/CayenneLPP
```

```
void onEvent (ev_t ev) {
```

```
    Serial.print(os_getTime());
```

```
    Serial.print(": ");
```

```
    switch(ev) {
```

```
        case EV_SCAN_TIMEOUT:
```

```
            Serial.println(F("EV_SCAN_TIMEOUT"));
```

```
            break;
```

```
        case EV_BEACON_FOUND:
```

```
Serial.println(F("EV_BEACON_FOUND"));

break;

case EV_BEACON_MISSED:

Serial.println(F("EV_BEACON_MISSED"));

break;

case EV_BEACON_TRACKED:

Serial.println(F("EV_BEACON_TRACKED"));

break;

case EV_JOINING:

Serial.println(F("EV_JOINING"));

break;

case EV_JOINED:

Serial.println(F("EV_JOINED"));

LMIC_setLinkCheckMode(0);

break;

case EV_RFU1:

Serial.println(F("EV_RFU1"));

break;

case EV_JOIN_FAILED:

Serial.println(F("EV_JOIN_FAILED"));
```

```
        break;

    case EV_REJOIN_FAILED:

        Serial.println(F("EV_REJOIN_FAILED"));

        break;

        break;

    case EV_TXCOMPLETE:

        Serial.println(F("EV_TXCOMPLETE -> Transmision completada (incluyendo
espera para la ventana de Rx)"));

        if (LMIC.txrxFlags & TXRX_ACK)

            Serial.println(F("Recibido ACK!"));

        if(LMIC.dataLen>0)

        {

            int i,j=0;

            uint8_t received[4]={0x00,0x00,0x00,0x00};

            Serial.println("Recibido :");

            for(i=9;i<(9+LMIC.dataLen);i++)

            {

                Serial.print(LMIC.frame[i],HEX);

                received[j]=LMIC.frame[i];

                j++;

            }

        }

    }
```

```

        Serial.print(" ");

    }

    Serial.println();

    //*****ENCIENDE/APAGA EL RELAY *****

    if ((received[0] == opencml[0]) && (received[1] == opencml[1]) && (received[2] ==
    opencml[2]) && (received[3] == opencml[3])) {

        Serial.println("Pin de CONTROL en HIGH (activando Relay)!");

        digitalWrite(ctl_pin, HIGH);

    }

    if ((received[0] == closecml[0]) && (received[1] == closecml[1]) && (received[2] ==
    closecml[2]) && (received[3] == closecml[3])) {

        Serial.println("Pin de CONTROL en LOW (desactivando Relay)!");

        digitalWrite(ctl_pin, LOW);

    }

}

// Programa la siguiente transmision

os_setTimedCallback(&sendjob, os_getTime()+sec2osticks(TX_INTERVAL), do_send);

break;

case EV_LOST_TSYNC:

```

```
Serial.println(F("EV_LOST_TSYNC"));

break;

case EV_RESET:

Serial.println(F("EV_RESET"));

break;

case EV_RXCOMPLETE:

// data received in ping slot

Serial.println(F("EV_RXCOMPLETE"));

break;

case EV_LINK_DEAD:

Serial.println(F("EV_LINK_DEAD"));

break;

case EV_LINK_ALIVE:

Serial.println(F("EV_LINK_ALIVE"));

break;

default:

Serial.println(F("Unknown event"));

break;

}

}
```

```
// Metodo para construir el PAYLOAD y mostrar los datos por pantalla

void prepararPayload()

{

    int16_t flow_LPP;

    int16_t flow_LPP1;

    // Llama al metodo para calcular el flujo de agua por minuto

    flowLM();

    // Imprime el número de paquete, los litros totales y los litros por minuto

    Serial.print("##### ");

    Serial.print("PAQUETE N.");

    Serial.print(count);

    Serial.println(" #####");

    Serial.println(F("El sensor de flujo del agua marca:"));

    Serial.print("[");

    Serial.print(flow);

    Serial.print(" Litros totales");

    Serial.print(", ");

    Serial.print(flow2);

    Serial.print(" Litros/minuto");
```

```
Serial.print("]");

Serial.println("");

count++; // Aumenta el contador de paquetes enviados

// Utiliza la librería CayenneLPP para armar el Payload con los datos de flujo

pinDigital();

Payload.addAnalogInput(1, flow);

Payload.addAnalogInput(2, flow2);

int a = (int)flow;

int b = flow*10 - a*10;

LPP_data[2] = a;

LPP_data[3] = b;

int c = (int)flow2;

int d = flow2*10 - c*10;

LPP_data[6] = c;

LPP_data[7] = d;

}

void pulse() // Interrupcion para contabilizar el flujo de agua

{
```

```
flow = .00225 * pulse_freq;
```

```
pulse_freq++;
```

```
pulse_freq2++;
```

```
Serial.print("freq1: ");
```

```
Serial.print(pulse_freq);
```

```
Serial.print(" freq2: ");
```

```
Serial.print(pulse_freq2);
```

```
Serial.print(" Flow1: ");
```

```
Serial.print(flow, DEC);
```

```
Serial.println(" L");
```

```
}
```

```
void flowLM() { // Metodo para calcular el flujo de agua por minuto
```

```
    unsigned long diffTime; // Tiempo entre cada medición
```

```
    double Q; // Frecuencia de pulsos calculado
```

```
    currentTime = millis();
```

```
    // https://www.dataq.com/products/accessories/flow-sensor/2000362.html
```

```
    // El sensor tiene 450 pulsos por Litro - datasheet, dividiendo este valor para el
```

tiempo se obtiene el flow rate

```
    // Para un minuto exacto esto se calcula así:
```

```
    // Pulse frequency (Hz) = 7.5Q, Q is flow rate in L/min.
```

```
// flow2 = (pulse_freq2 / 7.5);

diffTime = (currentTime - lastTime) / 1000; // Tiempo entre cada medición

Serial.print("diffTime: ");

Serial.println(diffTime);

Q = 450 / diffTime; // Frecuencia de pulsos calculado

flow2 = (pulse_freq2 / 7.5); // Flujo de agua por minuto

Serial.print("Frecuencia de pulsos: ");

Serial.print(pulse_freq2);

Serial.print(" (Hz) ");

flow2 = pulse_freq2 * .00225;

flow2 = (60 * flow2) / diffTime;

Serial.print(" Flow2: ");

Serial.print(flow2, DEC);

Serial.print(" L/Min ");

Serial.print(" Flow3: ");

Serial.print(flow2*60, DEC);

Serial.println(" L/h");

lastTime = currentTime; // Actualiza el tiempo
```

```
pulse_freq2 = 0; // Reset al contador

}

void pinDigital()

{

int pin1;

pin1 = digitalRead(ctl_pin);

if (pin1 == 1){

    Payload.addDigitalOutput(0, 0x01);

        LPP_data[11]=0x01;

        LPP_data[14]=0x01;

} else {

    Payload.addDigitalOutput(0, 0x00);

        LPP_data[11]=0x01;

        LPP_data[14]=0x01;

}

}

void do_send(osjob_t* j){// Metodo para enviar paquetes hacia el LoRa GW

// Comprueba primero si no existen procesos (Tx/Rx) pendientes
```

```

    if (LMIC.opmode & OP_TXRXPEND) {

Serial.println(F("OP_TXRXPEND -> Tx pendiente, no enviando!"));

    } else {

prepararPayload(); // Construye el PAYLOAD

        LMIC_setTxData2(1,LPP_data, sizeof(LPP_data), 0);

//LMIC_setTxData2(1, Payload.getBuffer(), Payload.getSize(), 0); // Envia el
paquete

        Serial.println(F("Paquete en cola..."));

    }

// La siguiente TX se programa luego de terminado el evento TX_COMPLETE

}

void setup() {

    Serial.begin(9600);

    while(!Serial);

    Serial.println("Conectando a los servicios de TTN (The Things Network) con el
sensor de flujo de agua:");

    pinMode(ctl_pin, OUTPUT); // Pin de CONTROL

// Sensor de flujo de agua

```

```
pinMode(flowsensor, INPUT); // Pin del sensor waterflow.

attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(3), pulse, RISING); // Interrupcion para contabilizar

currentTime = millis(); // Tiempo inicial

lastTime = currentTime; //Tiempo actual

#ifdef VCC_ENABLE

// For Pinoccio Scout boards

pinMode(VCC_ENABLE, OUTPUT);

digitalWrite(VCC_ENABLE, HIGH);

delay(1000);

#endif

// Inicia LMIC

os_init();

// Reinicia el estado MAC, cualquier sesión pendiente será descartada

LMIC_reset();

// Start job (sending automatically starts OTAA too)

do_send(&sendjob);

}

void loop() {

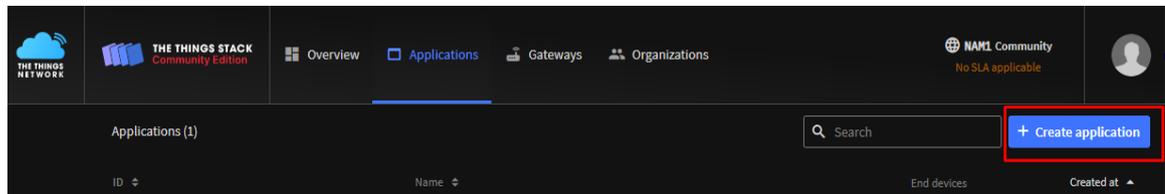
os_runloop_once();

}
```

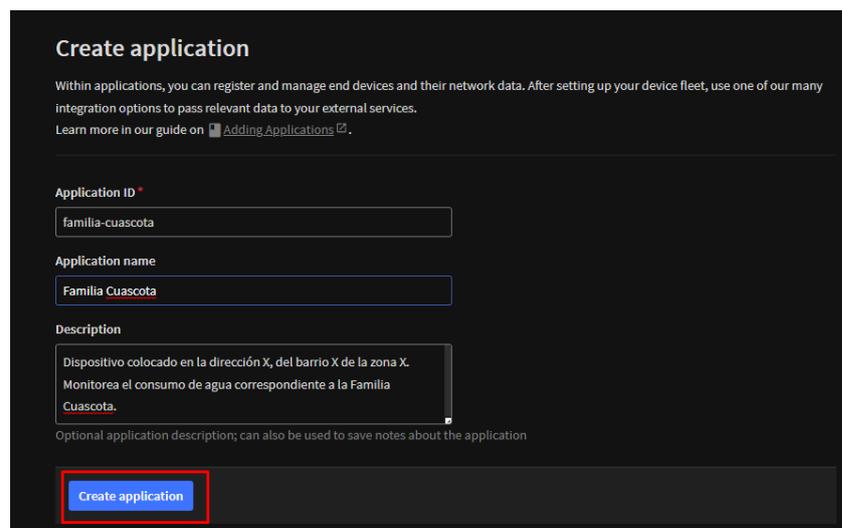
## Anexo 5. Manual de usuario.

### CREACIÓN DE APLICACIÓN Y END DEVICE

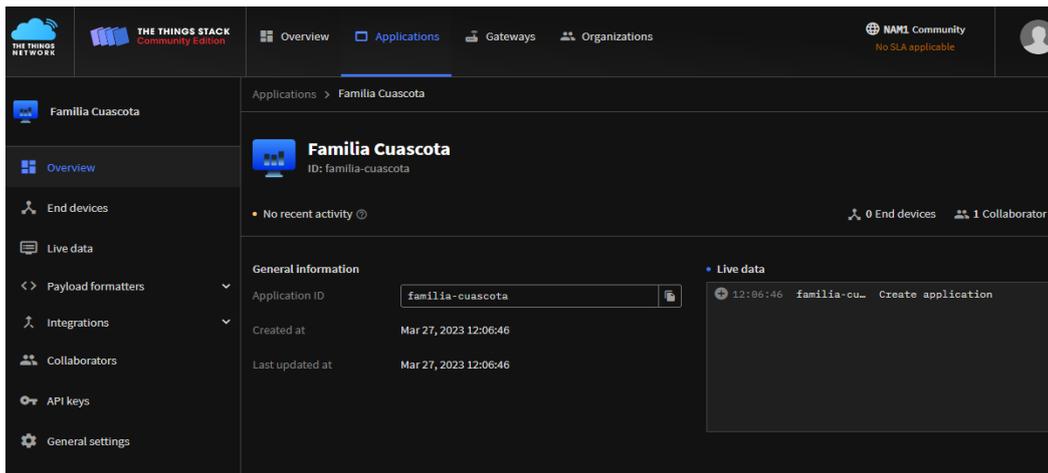
- 1) Dirigirse a la pestaña de **Applications** y seleccionar la **Create applications**.



- 2) Para registrar la aplicación hay que llenar los datos con el formato mostrado en la siguiente imagen. El campo **Application ID** debe contener solamente letras minúsculas sin espacios ni caracteres especiales, usar solamente letras, guiones y números. Es necesario crear UNA NUEVA APLICACIÓN por cada familia o casa.

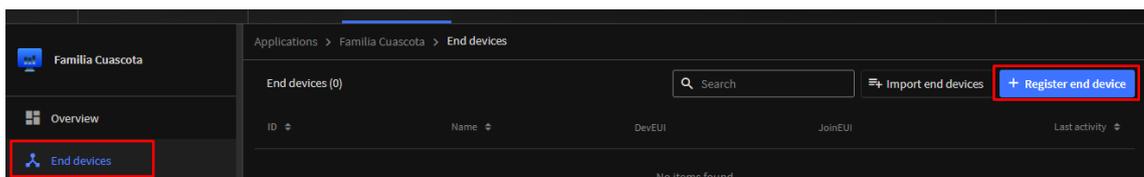
The image shows a 'Create application' form. The title is 'Create application'. Below the title, there is a paragraph of text: 'Within applications, you can register and manage end devices and their network data. After setting up your device fleet, use one of our many integration options to pass relevant data to your external services. Learn more in our guide on [Adding Applications](#).' The form has three input fields: 'Application ID \*' with the value 'familia-cuascota', 'Application name' with the value 'Familia Cuascota', and 'Description' with the value 'Dispositivo colocado en la dirección X, del barrio X de la zona X. Monitorea el consumo de agua correspondiente a la Familia Cuascota.' Below the description field, there is a note: 'Optional application description; can also be used to save notes about the application'. At the bottom of the form, there is a 'Create application' button highlighted with a red box.

- 3) Al registrar la aplicación se mostrará la siguiente ventana si todo se hizo correctamente.



## CREAR UN END DEVICE

- 4) En la aplicación creada anteriormente seleccionar a la IZQUIERDA la opción **End devices**, luego hacer click en **Register end device**.



- 5) Para registrar el dispositivo seleccionar la opción **Enter end device specifics manually** en el **Input Method**. Luego dejar el resto de las configuraciones tal y como se muestran en la siguiente imagen. En el campo **JoinEUI** llenar con 0 y hacer click en **Confirm**.

**End device type**

Input Method <sup>ⓘ</sup>

Select the end device in the LoRaWAN Device Repository

Enter end device specifics manually

Frequency plan <sup>ⓘ</sup> \*

United States 902-928 MHz, FSB 2 (used by TTN) | v

LoRaWAN version <sup>ⓘ</sup> \*

LoRaWAN Specification 1.0.2 | v

Regional Parameters version <sup>ⓘ</sup> \*

RP001 Regional Parameters 1.0.2 revision B | v

Show advanced activation, LoRaWAN class and cluster settings v

**Provisioning information**

JoinEUI <sup>ⓘ</sup> \*

00 00 00 00 00 00 00 00 | Confirm

To continue, please enter the JoinEUI of the end device so we can determine onboarding options

- 6) Una vez hecho el anterior paso se despliegan campos adicionales, hacer click UNA SOLA VEZ en los botones de **Generate** para crear los códigos de **DevEUI** y **AppKey**, luego terminar el proceso haciendo click en **Register end device**.

Show advanced activation, LoRaWAN class and cluster settings v

**Provisioning information**

JoinEUI <sup>ⓘ</sup> \*

00 00 00 00 00 00 00 00 | Reset

This end device can be registered on the network

DevEUI <sup>ⓘ</sup> \*

70 B3 D5 7E D0 05 BF 0D | Generate 1/50 used

AppKey <sup>ⓘ</sup> \*

E0 10 99 38 D5 F4 F2 E2 10 BB 29 9B 61 F0 E7 8C | Generate

End device ID <sup>ⓘ</sup> \*

eui-70b3d57ed005bf0d

This value is automatically prefilled using the DevEUI

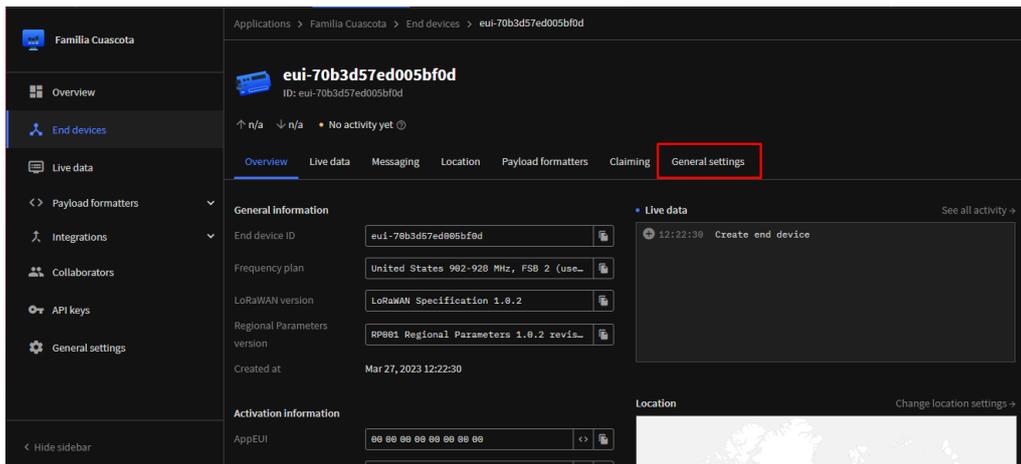
**After registration**

View registered end device

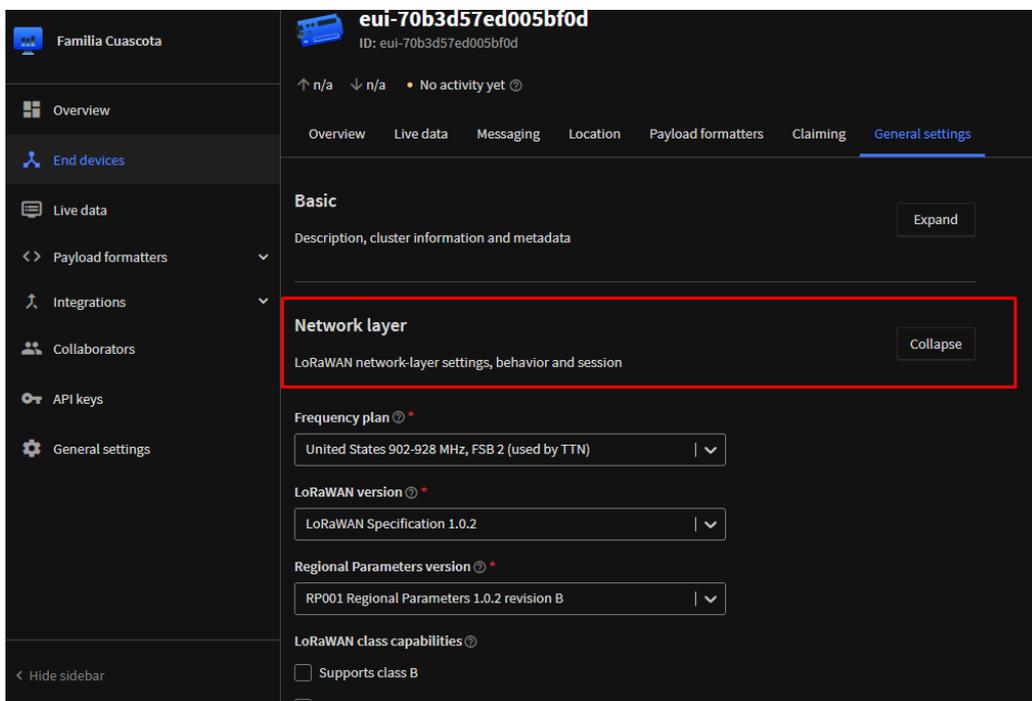
Register another end device of this type

Register end device

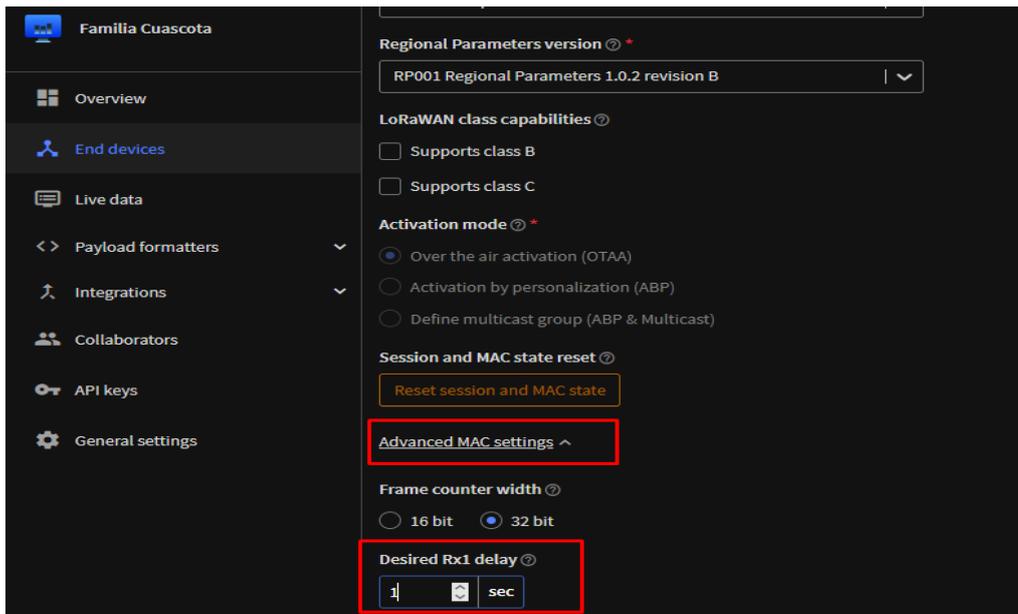
- 7) Con el end device creado, hacer click en la opción **General settings**.



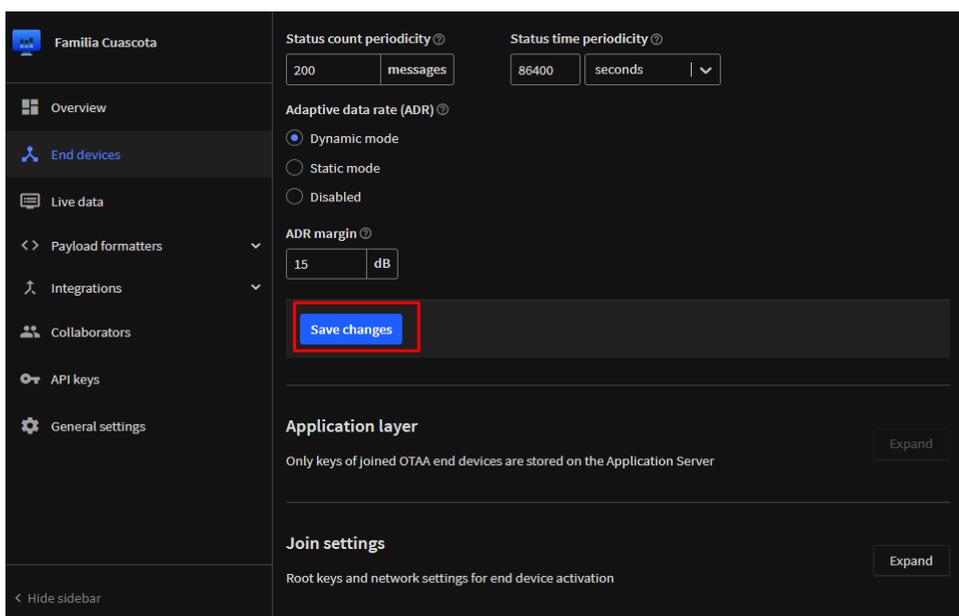
8) Dirigirse a la sección **Network Layer**.



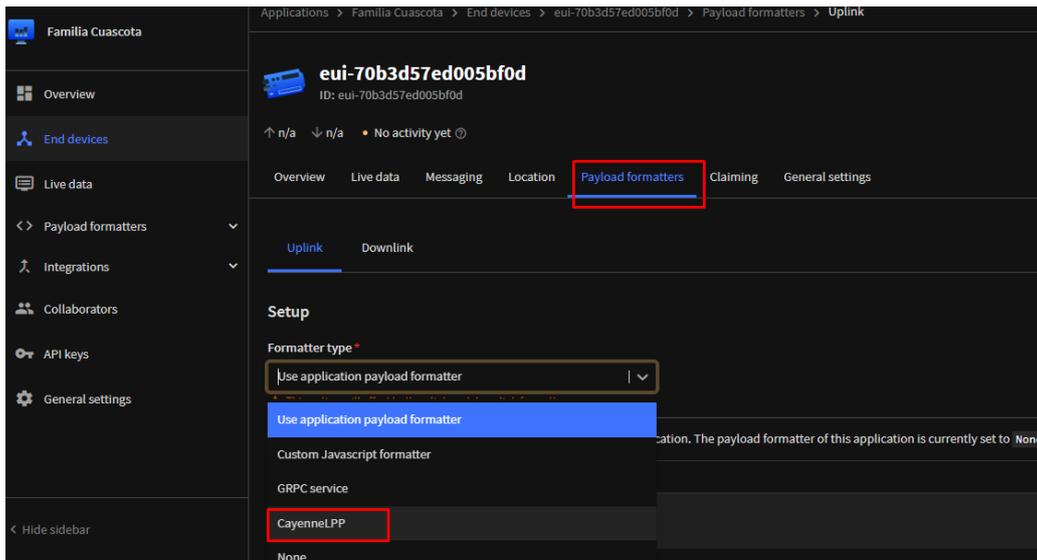
9) Hacer click en **Advanced MAC settings**, cambiar el valor bajo **Desired Rx1 data rate offset** para que sea 1



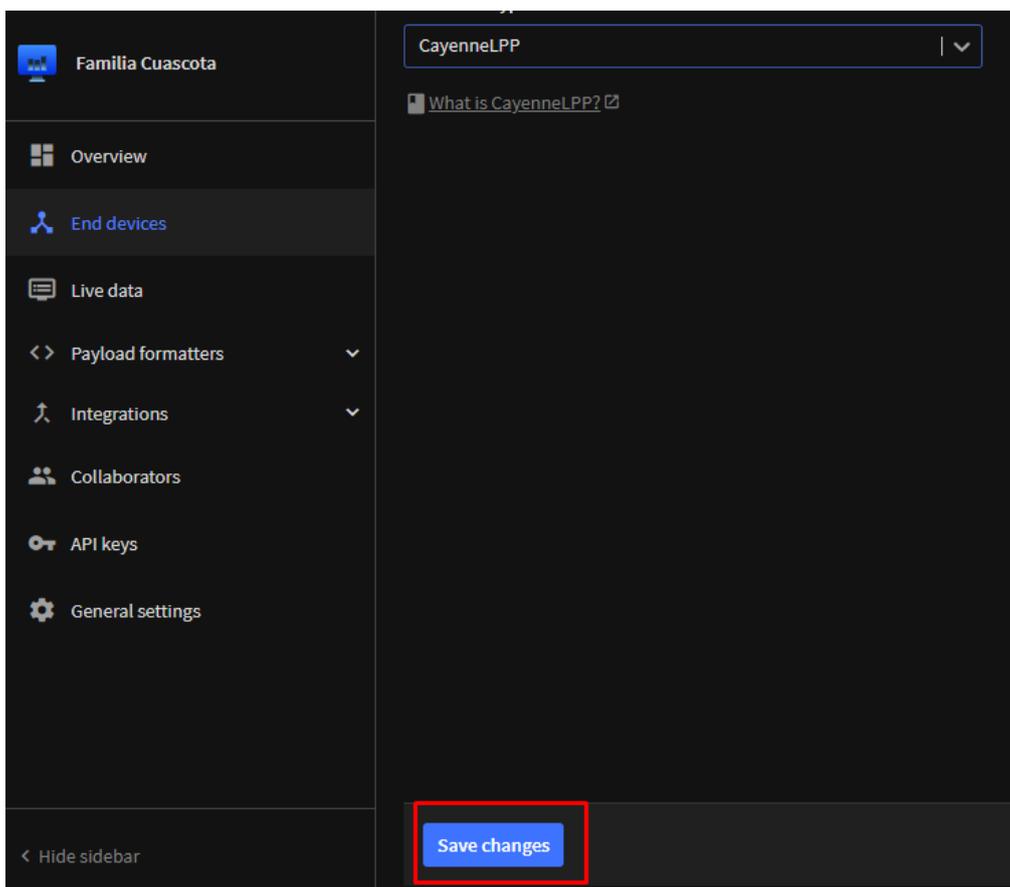
10) Para guardar los cambios hacer click en **Save changes**.



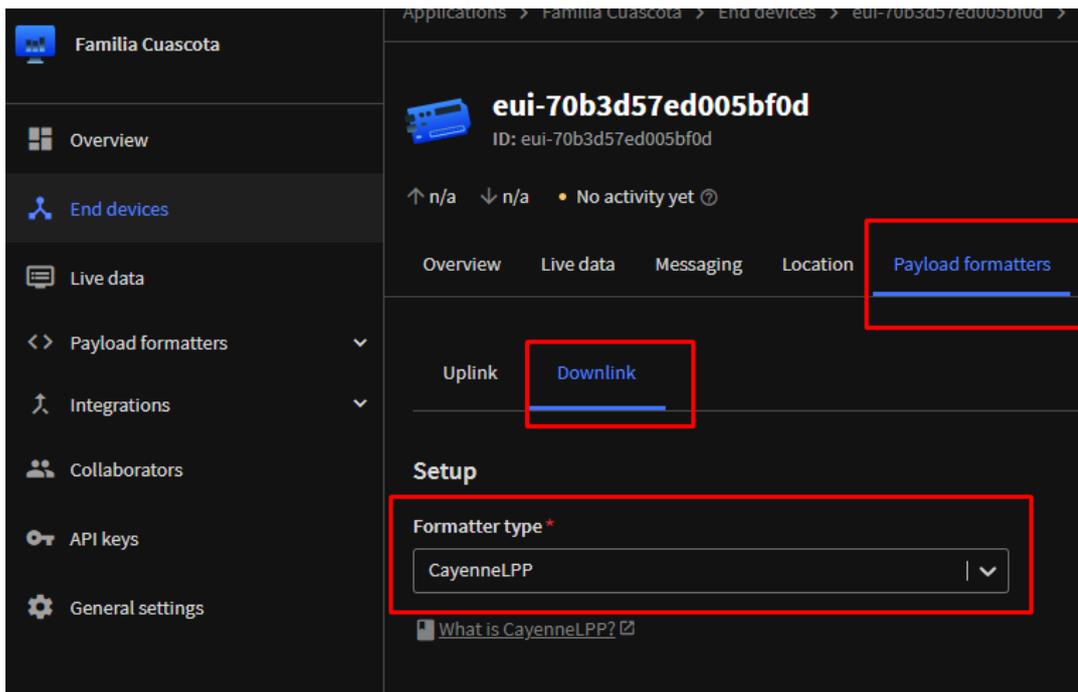
11) Lo siguiente es dirigirse a la pestaña **Payload formatters**, para UPLINK seleccionar la opción **CayenneLPP** bajo el campo **formatter type**.



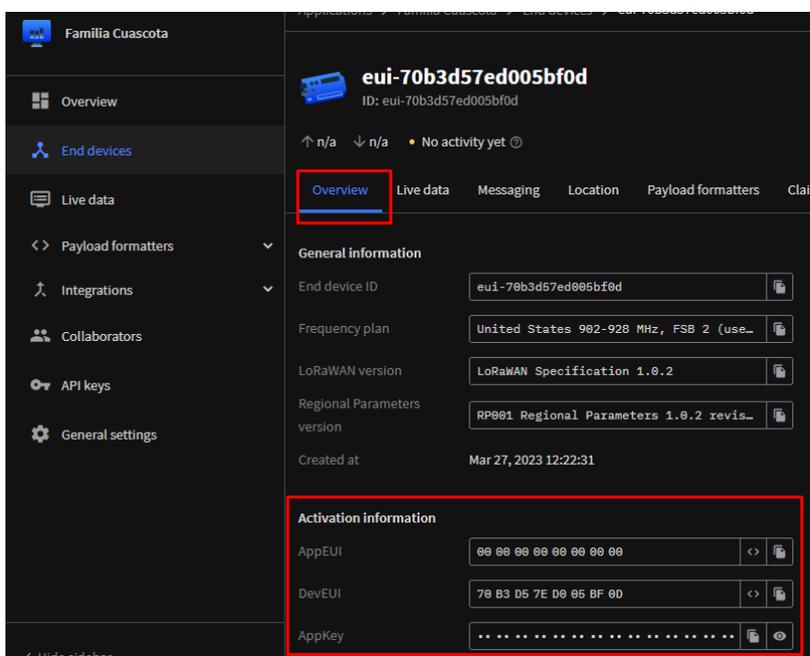
12) Al final de la ventana se encuentra la opción para guardar los cambios, hacer click.



13) Repetir este proceso para el DOWNLINK y guardar los cambios realizados.



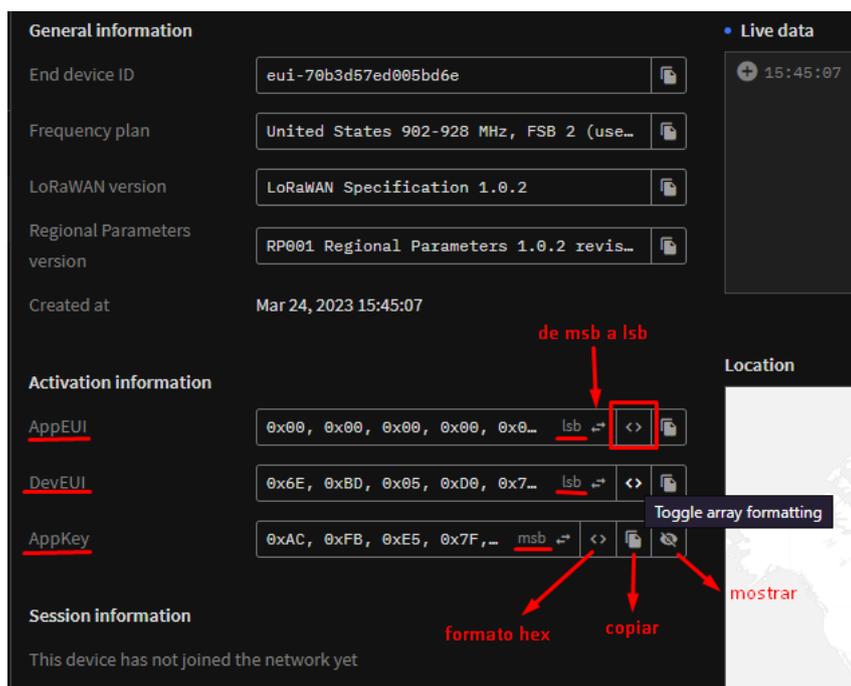
- 14) Habiendo realizado los cambios y configuraciones anteriores dirigirse a la pestaña de **Overview**, los datos que se encuentran en la sección de **Activation information** serán necesarios más adelante dentro del código de Arduino.



- 15) Para que estos datos sean utilizables en el código de Arduino se deberán cambiar de formato, para eso hacer click en la opción con este ícono: < > para cambiar el formato

a hexadecimal, luego hacer click en las flechas para cambiar de **msb a lsb** (less significant byte), con esto hacer click en el ícono de las hojas de papel para copiar la **AppEUI** y la **DevEUI**. Para la **AppKey** se deberá primero hacer click en el ícono del ojo para mostrar el código, luego en las flechas para cambiar a hexadecimal y finalmente copiarlo al portapales haciendo click en el ícono de hojas en blanco.

GUARDAR PARA DESPUÉS ESTAS LLAVES/CÓDIGOS.



16) Abrir el código respectivo y cambiar únicamente lo señalado en rojo en la siguiente imagen por las llaves copiadas del paso anterior. Compilar y cargar al Arduino.

```
// ***** COMUNICACION CON TTN *****
|
static const ul_t PROGMEM APPEUI[8] = { 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00 };
void os_getArtEui (ul_t* buf) { memcpy_P(buf, APPEUI, 8);}

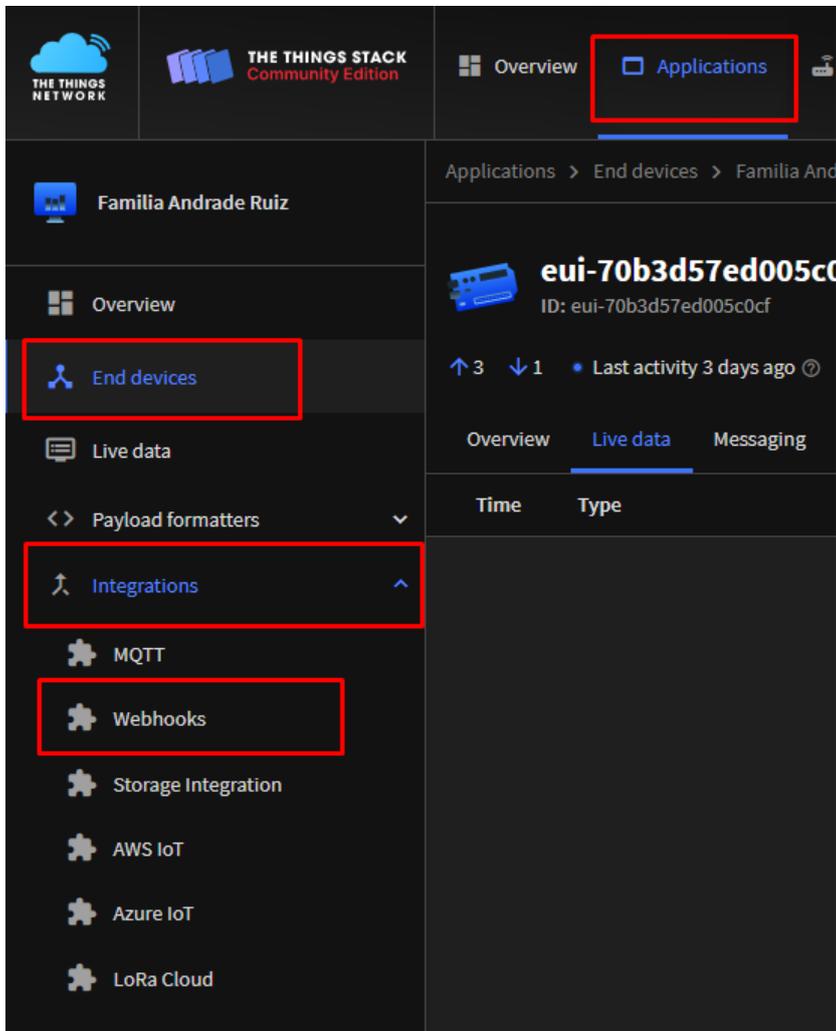
static const ul_t PROGMEM DEVEUI[8] = { 0x17, 0xF5, 0x05, 0xD0, 0x7E, 0xD5, 0xB3, 0x70 };
void os_getDevEui (ul_t* buf) { memcpy_P(buf, DEVEUI, 8);}

static const ul_t PROGMEM APPKEY[16] = { 0xD3, 0x36, 0x6E, 0x4F, 0xBD, 0x35, 0x0C, 0x0C, 0x42, 0xA9, 0xEE, 0x03, 0x93, 0xE4, 0x24, 0x40 };
void os_getDevKey (ul_t* buf) { memcpy_P(buf, APPKEY, 16);}

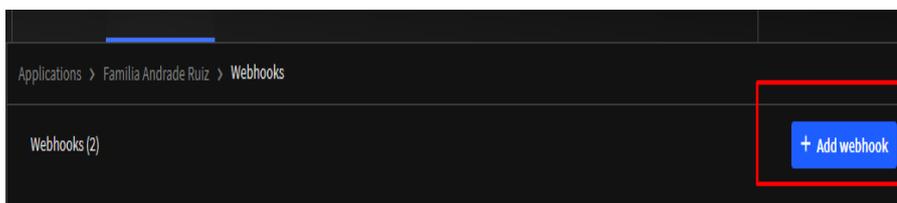
// ***** FIN - COMUNICACION CON TTN *****
```

CONFIGURAR LA CONEXIÓN ENTRE TTN Y LA PÁGINA WEB

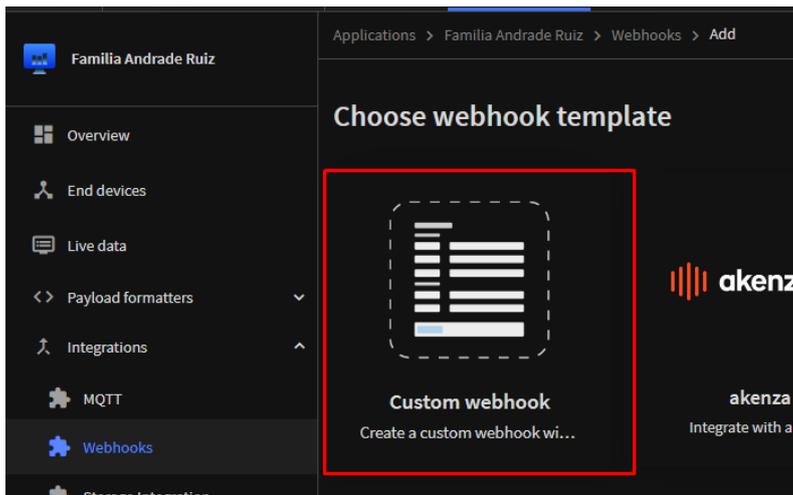
17) Dentro de la plataforma TTN, seleccionar la aplicación que se desee y seleccionar el end device (solo debe haber uno). Luego hacer click en **Integrations** y seleccionar **webhook**.



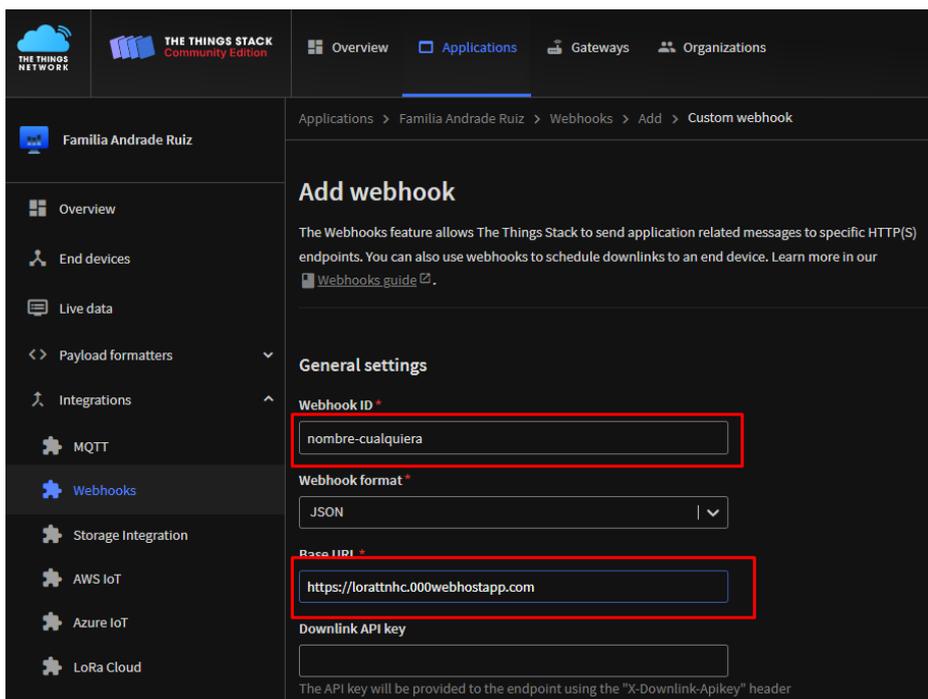
18) Seleccionar la opción **Add webhook**.



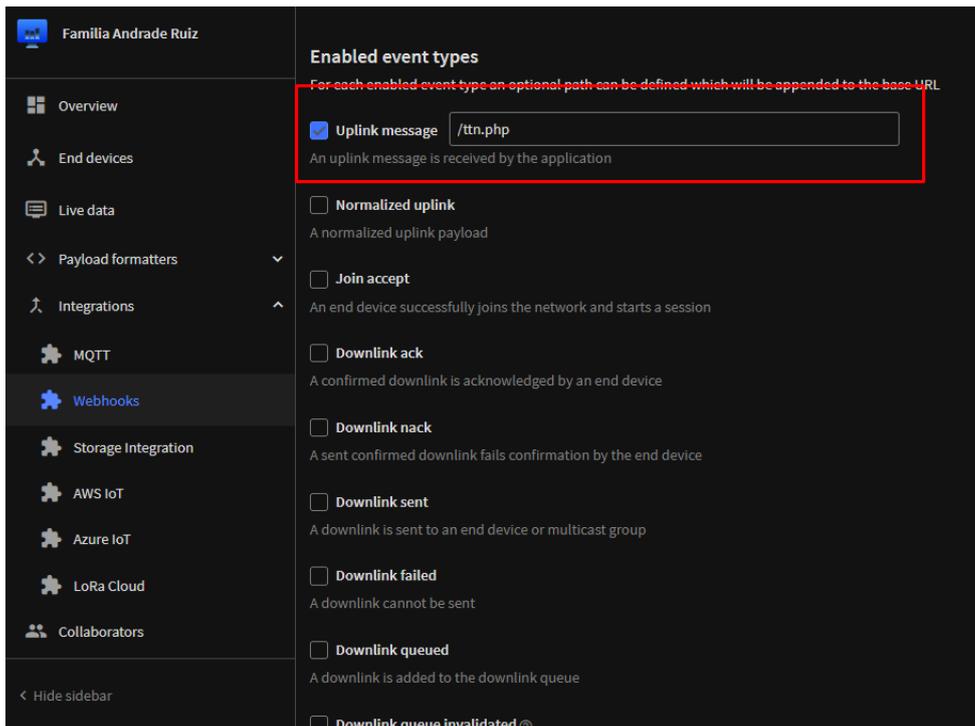
19) Seleccionar la opción **Custom webhook**.



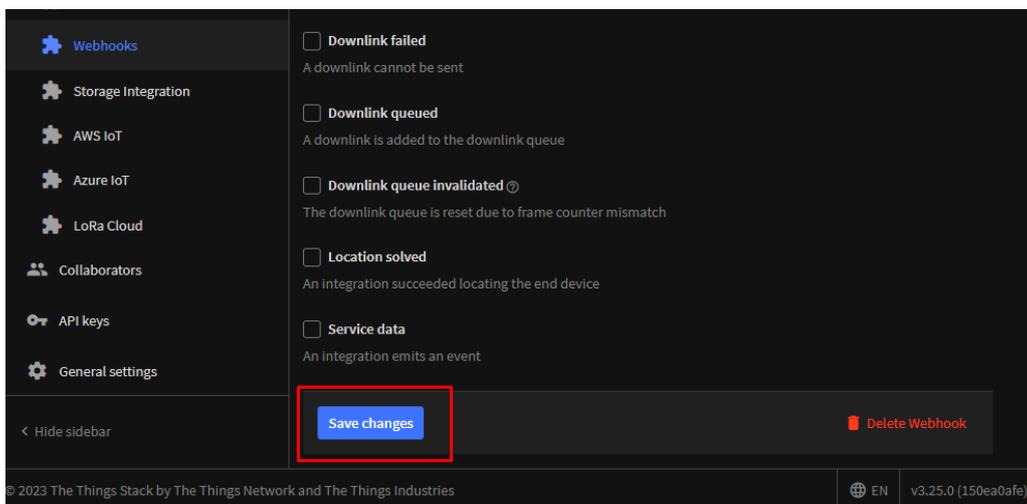
- 20) Los datos necesarios para configurar el webhook será el ID (nombre cualquiera), el formato debe mantenerse como JSON, en la URL pegar la dirección de la página web. El resto de las opciones dejarlas tal y como están por defecto (en blanco).



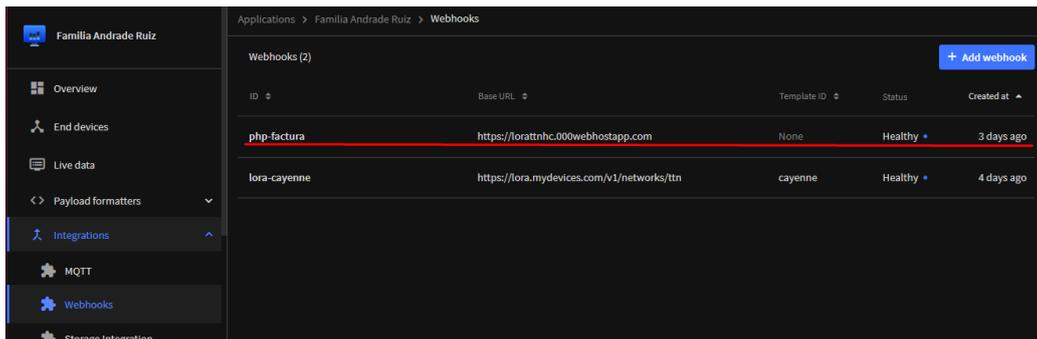
- 21) Dentro de la misma ventana dirigirse a la sección de **Enable event types**, activar la casilla de **Uplink message** y colocar `/ttn.php`, este será el fichero que se encargará de manejar los datos enviados desde TTN para ser almacenados dentro de la base de datos creada y alojada en 000webhost.



22) Guardar la configuración haciendo click en **Save changes**.

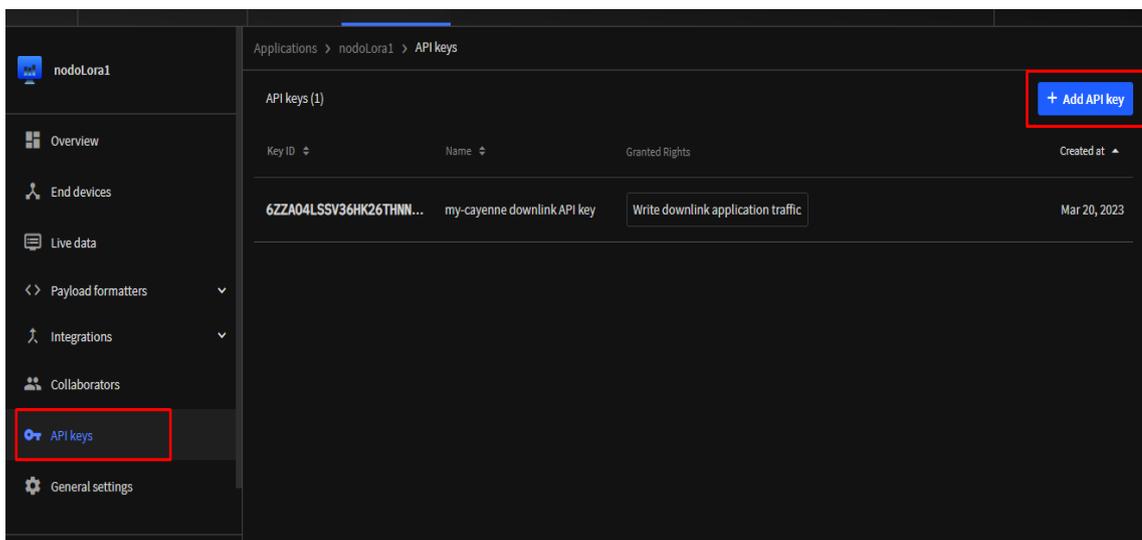


23) Si todo se realizó como se indica, el webhook deberá tener el estado de **healthy** cuando el end-device este recibiendo datos.



## CONFIGURACIÓN DE LA PLATAFORMA TTN

24) Para obtener la APIKEY necesaria para registrar un cliente en la WebApp, ingresar a la plataforma TTN y dentro de la aplicación que deseemos utilizar (recordando que un solo sensor/end device se crea por cada aplicación y cada aplicación debía tener como nombre familia-nombre) seleccionar la opción de API keys a la izq. Aquí escoger Add API key.



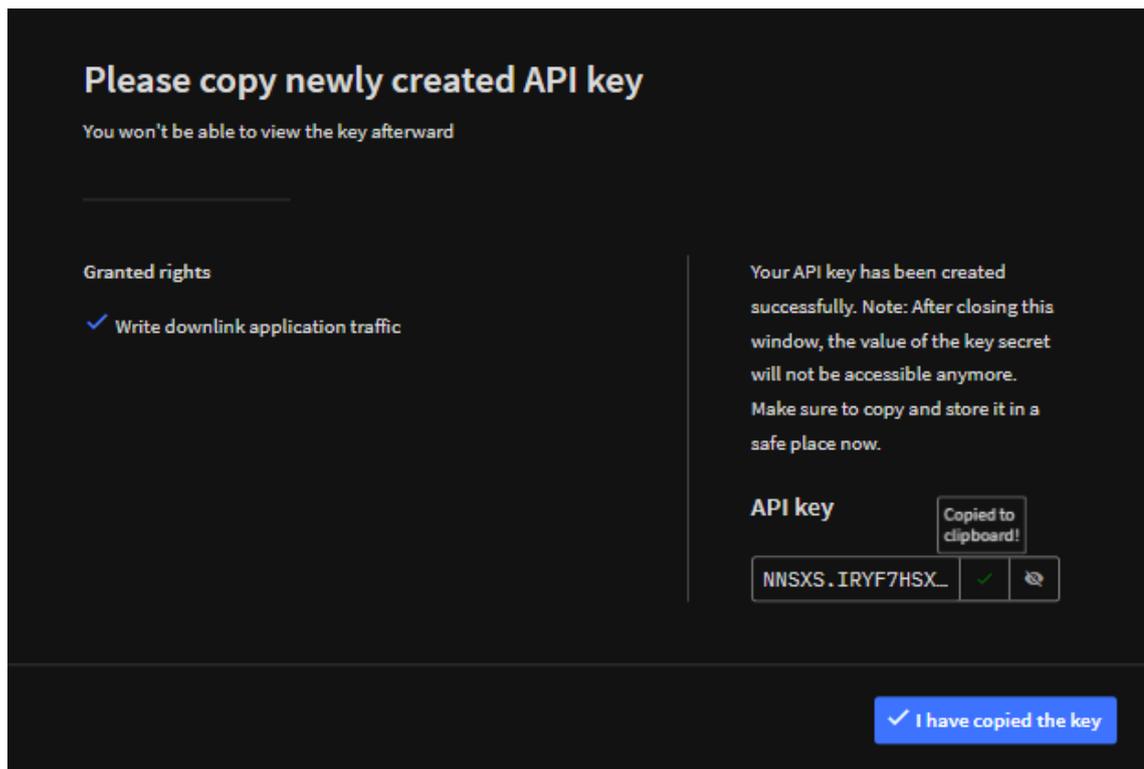
25) Los datos que se deberá ingresar se encuentran señalados, se recomienda usar incluso el mismo nombre que se muestra a continuación. Al final no olvidar guardar.

The screenshot shows the 'Create API key' form in a dark-themed interface. The form includes the following fields and options:

- Name:** nueva-apikey
- Expiry date:** dd/mm/aaaa
- Rights:**
  - Grant all current and future rights
  - Grant individual rights
  - Select all
  - Delete application
  - View devices in application
  - View device keys in application
  - Create devices in application
  - Edit device keys in application
  - View application information
  - Link as Application to a Network Server for traffic exchange, i.e. read uplink and write downlink  
This implicitly includes the rights to view application information, read application traffic and write downlinks
  - View and edit application API keys
  - Edit basic application settings
  - View and edit application collaborators
  - view and edit application packages and associations
  - Write downlink application traffic
  - Read application traffic (uplink and downlink)
  - Write uplink application traffic

At the bottom of the form, there is a blue button labeled 'Create API key'.

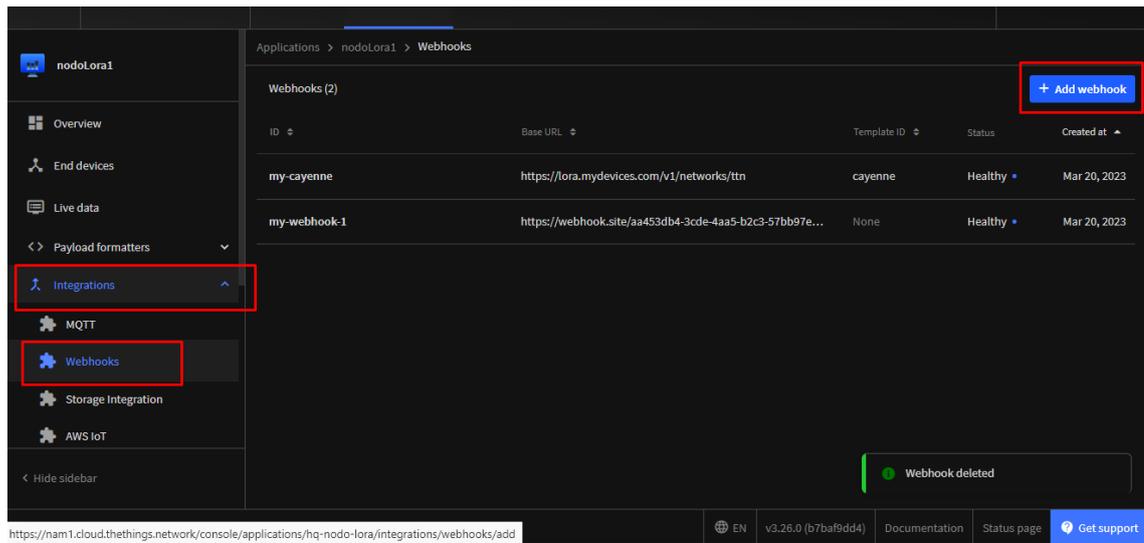
26) Al crear la API KEY se mostrará el siguiente mensaje, esta es la UNICA vez que se podrá copiar la API KEY en este formato, de modo que es necesario copiarla y guardarla en un lugar seguro o en su defecto registrarla directamente en la Web App.



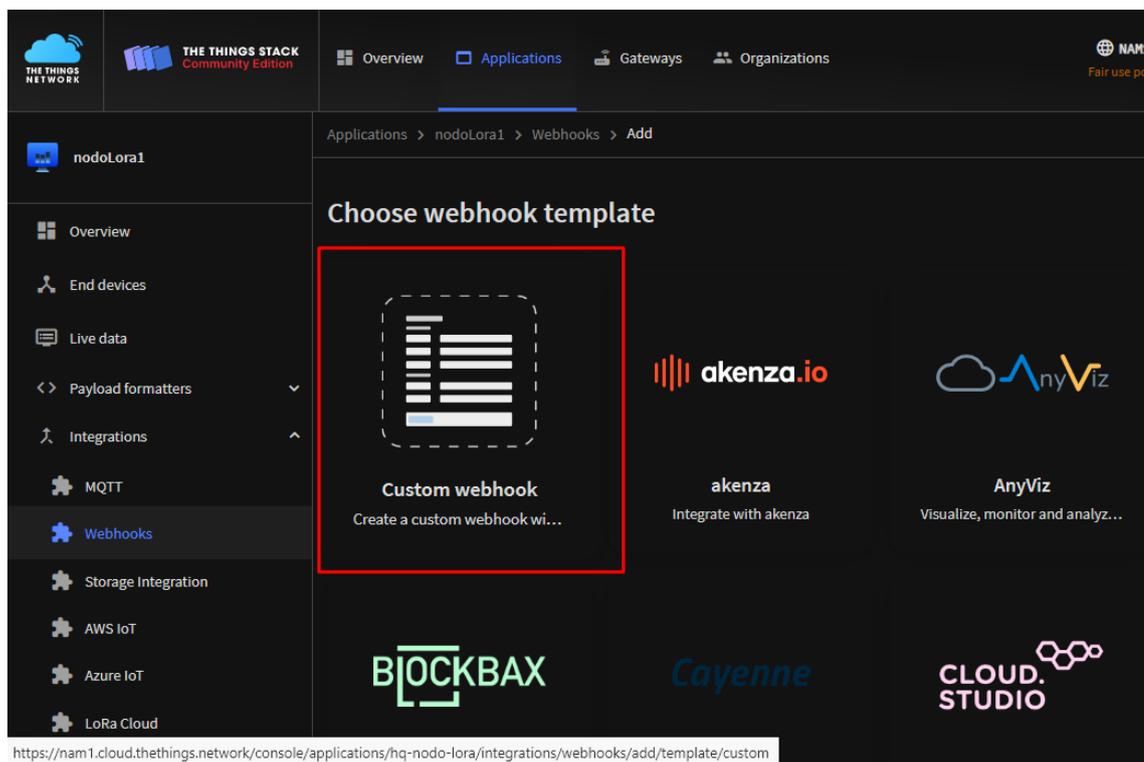
27) A manera de ejemplo la siguiente es una API KEY generada, notar el formato de puntos y longitud de esta.

NNSXS.IRYF7HSXSJOXOTZRPK7MZUII7JQ623RE2QV47MA.WFJN4QKWWX  
AFK6EKWZS7AIKVFCFT22VXOE2RF33RJ5R54PK3VFWQ

28) El siguiente paso será dentro de la misma aplicación donde hemos generado la llave, hay que seleccionar la opción de Integrations y luego weebhooks, aquí se deberá hacer click en Add weebhook.



29) Escoger la opción personalizada.



30) Y crearlo con la información EXACTA que se encuentra señalada en la siguiente imagen, la única excepción será la API key, aquí se deberá pegar la llave obtenida en pasos anteriores.

Applications > nodoLora1 > Webhooks > Add > Custom webhook

## Add webhook

The Webhooks feature allows The Things Stack to send application related messages to specific endpoints. You can also use webhooks to schedule downlinks to an end device. [Learn more in our Webhooks guide](#).

### General settings

**Webhook ID \***  
test-webhook1

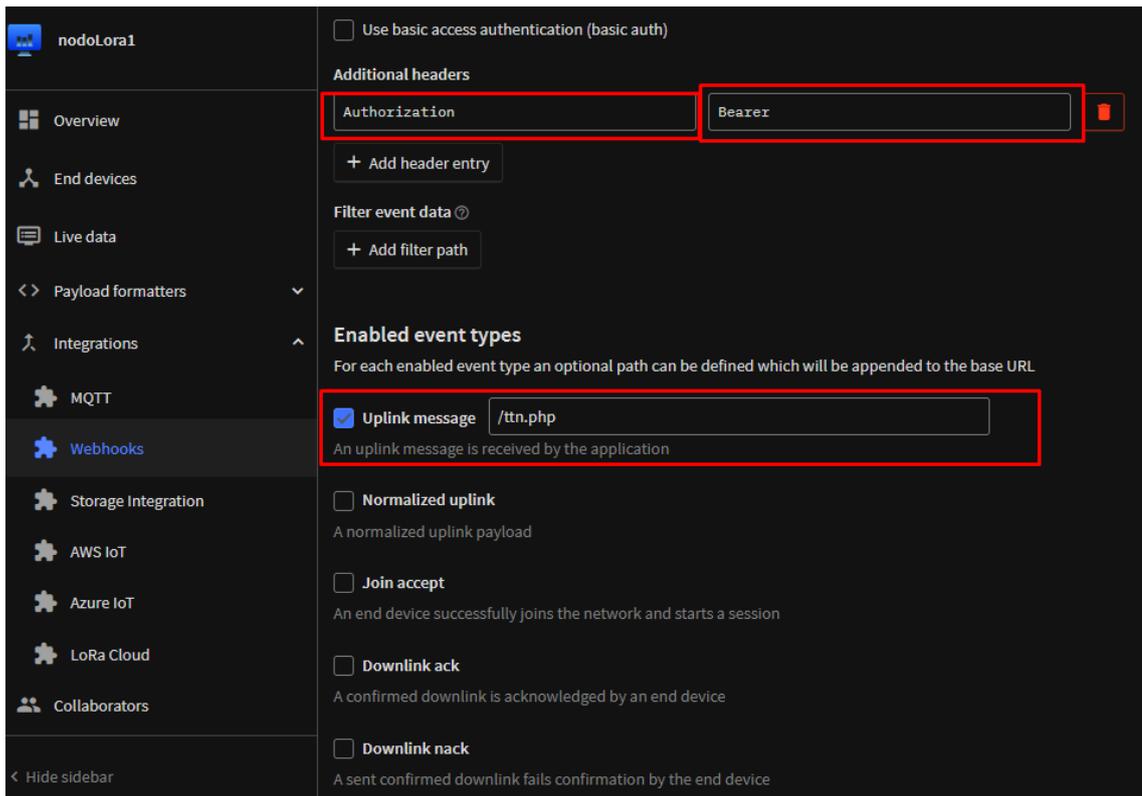
**Webhook format \***  
JSON

**Base URL \***  
https://lorattnhc.000webhostapp.com

**Downlink API key**  
NNSXS . IRYF7HSXSJ0X0TZRPK7MZUII7JQ623RE2QV47MA . WFFJN4(

The API key will be provided to the endpoint using the "X-Downlink-Apikey" header

31) Más abajo en la misma ventana, hacer click en la opción Add Header entry y colocar las palabras Authorization y Bearer, tal como se encuentra señalado. Luego marcar la casilla de uplink y llenar con la misma ruta. No hay que olvidarse de guardar los cambios.



## REGISTRO DE NUEVOS USUARIOS EN LA PÁGINA WEB

32) La manera de ingresar a la web es a través del enlace

<https://lorattnhc.000webhostapp.com>, se mostrará una vista de inicio de sesión, ya

existe un usuario creado cuyo nombre de usuario es admin y su contraseña es

Rf?c+P)@4%\*K!j5k.



- 33) Agregar el cliente hq-nodo-lora, mismo que ya cuenta con entradas/registros en la tabla de datos que se puede observar en la pestaña de facturación. La llave usada es la que se ha generado a través de los pasos anteriores. En la pestaña Agregar clientes ingresamos el nombre y la API Key generada en la TTN

The screenshot shows a web browser at the URL 'loratnhc.000webhostapp.com/registerClient.php'. The navigation menu includes 'Facturación', 'Agregar clientes' (highlighted), 'Listar clientes', 'Cambiar contraseña', and 'Cerrar sesión'. The main content area is titled 'Nuevo cliente' and includes the instruction 'Los siguientes campos son obligatorios.' Below this are two input fields: 'Familia' with the value 'hq-nodo-lora' and 'API Key' with the value 'CFT22VXOE2RF33RJ5R54PK3VFWQ'. At the bottom are 'Agregar' and 'Limpiar' buttons.