



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROPUESTA TECNOLÓGICA

“Estudio técnico y económico sobre la implementación de un sistema de monitoreo del consumo en juntas de agua”

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial

Autores:

López Vitonera Arleth Damaris

Ríos Guiracocha Miguel Ángel

Tutor:

Ing. MSc. Hidalgo Oñate Ángel Guillermo

Latacunga – Ecuador

Agosto 2023



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **López Vitonera Arleth Damaris** con C.I. 0705319671 y **Ríos Guiracocha Miguel Ángel** con C.I. 0704853423, declaramos ser autores del presente propuesta tecnológica: **“Estudio técnico y económico sobre la implementación de un sistema de monitoreo del consumo en juntas de agua”**, siendo el Ing. MSc. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate, tutor del presente trabajo tecnológico; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo tecnológico, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

López Vitonera Arleth Damaris

C.I.: 0705319671

Ríos Guiracocha Miguel Ángel

C.I.: 0704853423



AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“Estudio técnico y económico sobre la implementación de un sistema de monitoreo del consumo en juntas de agua.”, de López Vitonera Arleth Damaris y Ríos Guiracocha Miguel Ángel, de la carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho Trabajo Tecnológico cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Agosto del 2023

Ing. MSc. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate

C.I.: 0503257404



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban la presente Propuesta Tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, los postulantes López Vitonera Arleth Damaris y Ríos Guiracocha Miguel Ángel, con el título de Proyecto de titulación: **“Estudio técnico y económico sobre la implementación de un sistema de monitoreo del consumo en juntas de agua”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes según la normativa institucional.

Latacunga, Agosto del 2023.

Para constancia firman:

Atentamente,

LECTOR 1 (Presidente)
Ing. MSc. Benjamín Chávez
C.C: 1716760374

LECTOR 2
Ing. MSc. Milton Herrera
C.C: 0501503312

LECTOR 3
Ing. MSc. Freddy Quinchimbla
C.C: 1719310508

AVAL DE ESTUDIO DE CASO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

Latacunga 15 de agosto del 2023

Por medio de la presente carta, tengo el honor de certificar que la señorita estudiante LÓPEZ VITONERA ARLETH DAMARIS, con número de cédula de identidad 0705319671, y el señor estudiante RÍOS GUIRACocha MIGUEL ÁNGEL, identificado con número de cédula 0704853423, han llevado a cabo con éxito un estudio de caso en la Junta Administradora de Agua Potable "San Antonio de Aláquez". Este estudio fue realizado como parte integral del proyecto tecnológico titulado "ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DEL CONSUMO EN JUNTAS DE AGUA".

A lo largo de la ejecución de este proyecto, ambos estudiantes han demostrado una destacada habilidad y un profundo conocimiento en el ámbito tecnológico. Su enfoque riguroso y comprometido en el tema propuesto ha dado como resultado hallazgos valiosos que serán de gran utilidad para la Junta Administradora de Agua Potable "San Antonio de Aláquez".

Durante el período en que llevaron a cabo este estudio, los estudiantes han destacado por su responsabilidad, honestidad y alto nivel de profesionalismo. Han establecido un vínculo de confianza con la organización y han demostrado un compromiso con la calidad y profundidad de su trabajo.

Por medio de este aval, certifico con absoluta veracidad lo mencionado anteriormente, y autorizo a los interesados a utilizar este documento de acuerdo a su conveniencia.

Atentamente,



Lic. Alberto Gallo

PRESIDENTE

JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE

"SAN ANTONIO DE ALÁQUEZ"



AGRADECIMIENTO

Le agradecemos al DIOS DE ISRAEL, ya que como dice el Evangelio de Juan 3:27 “No puede el hombre recibir nada, si no le fuere dado del cielo”. Gracias a DIOS por haber puesto en nuestro camino a personas dispuestas a ayudarnos en esta travesía y por darnos una familia que nos apoya siempre.

Nuestra gratitud se extiende a todos los participantes de este estudio, cuya colaboración ha proporcionado las perspectivas esenciales para la realización de este proyecto. Su compromiso y tiempo dedicado han sido esenciales para la obtención de resultados significativos.

Esposos por siempre
Arleth López y Miguel Ríos



DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo al DIOS DE ISRAEL, quien nos dio la capacidad de lograr este proyecto. A nuestros padres cuyo amor incondicional, apoyo constante y sacrificios han sido la fuente de mi inspiración y determinación. Gracias por creer en nosotros y por alentarnos a perseguir nuestros sueños con valentía.

A cada persona que cruzó nuestro camino y contribuyó de alguna manera a nuestro crecimiento personal y académico, nuestro más sincero agradecimiento.

Esposos por siempre
Arleth López y Miguel Ríos

ÍNDICE GENERAL

INFORMACIÓN GENERAL	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. RESUMEN	2
1.2. EL PROBLEMA.....	3
1.2.1. Planteamiento del problema	3
1.2.2. Formulación del problema.....	3
1.3. BENEFICIARIOS	3
1.3.1. Beneficiarios directos	3
1.3.2. Beneficiarios indirectos	3
1.4. JUSTIFICACIÓN	4
1.5. HIPÓTESIS	5
1.6. OBJETIVOS	5
1.6.1. General.....	5
1.6.2. Específicos.....	5
1.7. SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	5
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
2.1. ANTECEDENTES	7
2.1.1. Sistema de Medidor Inteligente de Agua Potable Domiciliario para la Junta Administradora de Agua 'El ABRA'.....	7
2.1.2. Diseño y construcción de un sistema de medición inteligente para la gestión de la energía eléctrica y medición de agua potable en los hogares	8
2.1.3. Implementación de una red de área amplia de baja potencia (LPWAN) para el control de consumo de agua potable utilizando tecnología LoRa	9
2.2. MARCO REFERENCIAL.....	10
2.2.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible	10
2.2.2. El derecho humano al agua y la gestión en Ecuador	12
2.2.3. Norma INEN para medidores de consumo de agua potable.....	15
2.2.4. Herramientas y Técnicas para el estudio de procesos	19
2.2.5. Internet de las cosas (IoT)	21
2.2.6. Análisis económico.....	33

3.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA	38
3.1.	METODOLOGÍA.....	38
3.1.1.	Metodología Waterfall.....	38
3.2.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	40
3.2.1.	Requerimientos del sistema automático del consumo de agua potable.....	40
3.2.2.	Diseño del sistema de medición automática.....	46
3.2.3.	Implementación	61
3.2.4.	Verificación o testeo.....	70
3.2.5.	Análisis de costos del sistema de monitoreo automático de consumo de agua....	78
3.2.6.	Eficiencia del proceso propuesto.....	85
3.3.	EVALUACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICA	86
3.3.1.	Análisis técnico del sistema de medición de consumo de agua inteligente.....	86
3.3.2.	Análisis económico del sistema de medición de consumo de agua inteligente....	92
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
4.1.	CONCLUSIONES.....	95
4.2.	RECOMENDACIONES	95
4.3.	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	96
4.3.1.	Seguridad en IoT	96
4.3.2.	Análisis y visualización de datos masivos.....	96
5.	REFERENCIAS.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Tabla de actividades	6
Tabla 2.1: Principales fuentes de captación de agua del 2021 [8].....	13
Tabla 2.2: Simbología ANSI aplicado a diagramas de flujo [13]	19
Tabla 2.3: Características de los sensores [16].....	23
Tabla 3.1: Características comerciales de Sensores de Flujo	48
Tabla 3.2: Criterios de calificaciones	48
Tabla 3.3: Ponderación de los sensores de flujo.....	49
Tabla 3.4: Tabla comparativa entre comunicaciones LPWAN	50
Tabla 3.5: Ponderación de tecnologías LPWAN.....	51
Tabla 3.6: Tabla de resultados de pruebas de antenas [35]	55
Tabla 3.7: Características técnicas de placas comerciales Dispositivo y <i>Gateway</i>	56
Tabla 3.8: Ponderación de las placas comerciales.....	57
Tabla 3.9: Características del panel solar	68
Tabla 3.10: Pulsos por minuto.....	75
Tabla 3.11: Muestras con el factor k calculado	76
Tabla 3.12: Error promedio de las muestras.....	76
Tabla 3.13: Error con ajuste y sin ajuste de las muestras.....	77
Tabla 3.14: Costos operativos del sistema actual de recolección de datos.....	79
Tabla 3.15: Costos del prototipo - medidor de agua inteligente.....	79
Tabla 3.16: Costos del prototipo - <i>Gateway</i> (receptor del mensaje)	80
Tabla 3.17: Costos del prototipo - repetidor de mensaje	81
Tabla 3.18: Costos de implementar el prototipo del sistema automático	81
Tabla 3.19: Costos de proforma asociados al medidor inteligente.....	82
Tabla 3.20: Costos de proforma asociados al <i>Gateway</i>	83

Tabla 3.21: Costos de proforma asociados al repetidor de mensajes	83
Tabla 3.22: Costo de implementación del sistema de medidores de agua inteligente.....	84
Tabla 3.23: Costos por implementación del sistema inteligente a cargo de la junta de agua...	84
Tabla 3.24: Consumo de energía eléctrica del sistema de medición de agua inteligente.....	93
Tabla 3.25: Costos operativos del sistema de medición de agua inteligente.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Arquitectura del Internet de las cosas	21
Figura 2.2: Diferencia entre LoRa Allience, LoRaWan y LoRa [24]	27
Figura 2.3: Calidad de servicio nivel 0: entrega como máximo una vez [26].....	29
Figura 2.4: Calidad de servicio nivel 1: entrega al menos una vez [26].....	30
Figura 2.5: MQTT Calidad de servicio nivel 2: entrega exactamente una vez [26].....	30
Figura 2.6: Interfaz de Node-RED	31
Figura 2.7: Terminología del ROI: ¿Cómo se relaciona todo? [31].....	33
Figura 2.8: Pasos para calcular el ROI en IoT[32]	34
Figura 2.9: Calculo del ROI simple VS cálculo del ROI simple más sus ventajas [32]	36
Figura 3.1: Fases de la metodología <i>Waterfall</i> [34]	39
Figura 3.2: Mapa de recorrido para la toma de datos manual en la junta de agua	42
Figura 3.3: Diagrama de flujo del proceso de recolección de datos manual	43
Figura 3.4: Matriz FODA del proceso manual de toma de lecturas	44
Figura 3.5: Arquitectura inicial del sistema de monitoreo automático.....	47
Figura 3.6: Topología de red del sistema de medición de agua inteligente.....	53
Figura 3.7: Antenas Lora [35]	54
Figura 3.8: Estructura de los tópicos MQTT	58
Figura 3.9: Flujo de consumo mensual.....	59
Figura 3.10: Visualización de consumo de agua en Ubidots.....	60
Figura 3.11: Correo electrónico de advertencia enviado por Ubidots.....	60
Figura 3.12: Arquitectura IoT final del sistema automático de monitoreo de consumo de agua potable	61
Figura 3.13: Código QR para descarga del controlador CP210X	62
Figura 3.14: Código QR para descarga del gestor de placa Wifi Lora32 V3.....	63

Figura 3.15: Ubicación de la librería en la carpeta correspondiente	63
Figura 3.16: Configuración del dispositivo LoRa	64
Figura 3.17: Variables del paquete LoRa	64
Figura 3.18: Configuración del sensor de flujo	65
Figura 3.19: Parámetros del protocolo de comunicación MQTT	66
Figura 3.20: Fuente de energía del medidor inteligente	67
Figura 3.21: Fuente de energía del receptor de mensajes.....	68
Figura 3.22: Carcasa de protección del medidor de agua inteligente	69
Figura 3.23: Distancia desde <i>Gateway</i> hasta el medidor en sitio La Calera	71
Figura 3.24: Distancia desde <i>Gateway</i> hasta el medidor en calle Álamos y Copal	72
Figura 3.25: Distancia desde <i>Gateway</i> hasta el medidor.....	73
Figura 3.26: Distancia desde <i>Gateway</i> hasta el medidor en sitio Galpón Loma.....	73
Figura 3.27: Condiciones de cuarta prueba	74
Figura 3.28: Distancia desde <i>Gateway</i> hasta el medidor en la parroquia Aláquez	75
Figura 3.29: Diagrama de flujo del funcionamiento del medidor inteligente	87
Figura 3.30: Diagrama de flujo del funcionamiento del <i>Gateway</i>	89
Figura 3.31: Diagrama de flujo del funcionamiento del repetidor	89
Figura 3.32: Medición inicial	90
Figura 3.33: Medición final	90
Figura 3.34: Datos obtenidos del medidor inteligente.....	91

INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto:

Estudio técnico y económico sobre la implementación de un sistema de monitoreo del consumo en juntas de agua.

Fecha de inicio:

10 de abril del 2023

Fecha de finalización:

Agosto del 2023

Lugar de ejecución:

Cotopaxi – Latacunga - San Felipe

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencia de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia:

Ingeniería Industrial

Proyecto de investigación vinculado:

Optimización de procesos productivos utilizando métodos y técnicas para el mejoramiento continuo en el sector productivo

Equipo de trabajo:

Tutor:

Ing. MSc. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate

Autores:

López Vitonera Arleth Damaris

Ríos Guiracocha Miguel Ángel

Área de Conocimiento:

07 Ingeniería Industrial y Construcción

Líneas de investigación:

Procesos industriales

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Producción para el desarrollo sostenible

1. INTRODUCCIÓN

1.1. RESUMEN

El proyecto tecnológico se enfocó en resolver los desafíos que enfrentan las juntas de agua de Ecuador debido a la medición manual del consumo de agua mediante la implementación de un sistema de monitoreo automático. La toma manual de lecturas conlleva a ineficiencias en términos de tiempo y recursos económicos, así como la inclusión de errores. Para abordar esta problemática, se han planteado objetivos que buscan optimizar la medición y complementariamente la facturación. Se ha analizado en detalle el proceso de medición manual actual, también se ha diseñado y construido un prototipo de medidor inteligente basado en Internet of Things (IoT) y tecnologías de comunicación de largo alcance (LoRa); así también se ha evaluado la viabilidad técnica y económica de la implementación del sistema automático de monitoreo. En este proyecto se ha seguido la metodología Waterfall que tiene un enfoque de gestión de proyectos secuencial y lineal. Este método estructurado ha guiado el desarrollo de esta propuesta tecnológica desde la definición de requisitos, diseño, implementación, y verificación o testeo. Para el análisis de resultados se trabajó en la junta administradora de agua potable "San Antonio de Aláquez". Los resultados que más sobresalen de este caso de estudio indican que la distancia máxima de transmisión utilizando tecnología LoRa es de aproximadamente 10 km; además, el máximo error encontrado del medidor inteligente fue de $\pm 1,70\%$. Desde el punto de vista económico y bajo ciertas consideraciones se ha determinado que el Retorno de la Inversión (ROI) es del 54,7%; lo cual demuestra técnica y económicamente que la implementación de esta solución tecnológica en la junta de agua analizada si es factible.

Palabras claves — *Sistema de monitoreo IoT, Juntas de agua, LoRa, MQTT, Node-RED.*

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES
INDUSTRIAL ENGINEERING CAREER

TOPIC: “TECHNICAL AND ECONOMIC STUDY ON THE IMPLEMENTATION OF A CONSUMPTION MONITORING SYSTEM IN WATER COUNCILS”

Authors:

López Vitonera Arleth Damaris

Ríos Guiracocha Miguel Ángel

ABSTRACT

The technological project focused on addressing challenges faced by water councils in Ecuador due to the hand-measurement of water consumption through the implementation of an automatic monitoring system which leads to inefficiencies in terms of time and economic resources, as well as the inclusion of errors. In order to overcome this issue, several objectives have been set aiming to optimize the measurement process and complementarily the billing system. The current hand-measurement process has been thoroughly analyzed, and a prototype of a smart meter based on Internet of Things (IoT) and Long-Range Communication (LoRa) technologies has been designed and constructed. The technical and economic feasibility of implementing the automatic monitoring system has also been evaluated. In this project, Waterfall methodology has been followed, which has a sequential and linear project management approach. This structured method has guided the development of this technological proposal from the definition of requirements, design, implementation, until verification or testing. In order to analyze results, work was conducted within the "San Antonio de Aláquez" water council. The most prominent findings from this case study indicate that the maximum transmission distance using LoRa technology is approximately 10 km. Furthermore, the maximum error found in the smart meter was $\pm 1.70\%$. From an economic point of view and taking into account some considerations, the Return on Investment (ROI) is 54.7% which demonstrates technologically and economically that implementing this technological solution in the water council analyzed is feasible.

Keywords — IoT monitoring system, Water councils, LoRa, MQTT, Node-RED.



AVAL DE TRADUCCIÓN

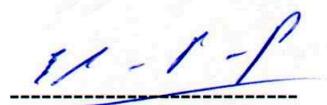
En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma inglés del proyecto tecnológico cuyo título versa: **“ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DEL CONSUMO EN JUNTAS DE AGUA”** presentado por: **López Vitonera Arleth Damaris y Ríos Guiracocha Miguel Ángel**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería Industrial**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicada**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Agosto del 2023

Atentamente,



Lic. Pacheco Pruna Edison Marcelo
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0502617350



CENTRO
DE IDIOMAS



1.2. EL PROBLEMA

1.2.1. Planteamiento del problema

En la actualidad, la recolección de datos sobre el consumo de agua registrado en cada medidor se realiza tomando lecturas físicas de manera manual cada cierto periodo determinado, es decir, existen personas destinadas a realizar este trabajo por lo cual debe trasladarse de casa en casa tomando esta información, para posteriormente realizar los cálculos correspondientes para determinar el costo a pagar del consumo mensual de cada uno de los usuarios. Todo esto implica inconvenientes críticos, ya que no refleja los niveles de consumo de manera automática, toma mucho tiempo y desperdicia recursos, otros problemas que da son la falta de precisión de los datos obtenidos, la imposibilidad de monitorear y recuperar automáticamente la información de cada usuario en tiempo real, porque los recursos a administrar están geográficamente dispersos.

Un factor adicional que agravó esta problemática fue el período de aislamiento debido a la pandemia, durante el cual se detuvo el trabajo manual de registro de datos por parte del operador encargado. Esto generó un desfase entre el consumo real de agua de los usuarios y la facturación, ya que se tuvieron que utilizar aproximaciones y estimaciones en las planillas para determinar el valor a pagar.

1.2.2. Formulación del problema

Ineficiencia en el proceso de recolección manual de datos de consumo de agua, falta de automatización y precisión, y dificultades para el monitoreo en tiempo real durante la pandemia.

1.3. BENEFICIARIOS

1.3.1. Beneficiarios directos

Juntas de agua: La implementación del sistema automatizado de monitoreo de consumo de agua les permitirá simplificar y agilizar el proceso de recolección de datos, reduciendo el tiempo y los recursos necesarios. También mejorarán la precisión de las mediciones y podrán realizar un seguimiento en tiempo real del consumo, lo que facilitará la gestión y la toma de decisiones.

1.3.2. Beneficiarios indirectos

Usuarios de agua: Los usuarios se beneficiarán de una facturación más precisa y transparente. Con un sistema automatizado, se evitarán los errores humanos y las aproximaciones en las mediciones, lo que garantizará que se les cobre de acuerdo con su consumo real. Además, un

monitoreo en tiempo real permitirá a los usuarios detectar posibles fugas o problemas en su consumo y tomar medidas para reducir su uso de agua.

1.4. JUSTIFICACIÓN

El proyecto propuesto es importante debido a los inconvenientes actuales en el proceso de recolección manual de datos de consumo de agua. Sus posibles aportes teóricos y prácticos son significativos y benefician a diversos actores involucrados.

La investigación se realiza para mejorar la eficiencia del sistema de medición de consumo de agua, automatizando el proceso de recolección de datos y permitiendo un monitoreo en tiempo real más preciso. Esto brindará información actualizada y confiable sobre el consumo de agua, facilitando la gestión y la toma de decisiones.

Los posibles aportes del proyecto son múltiples. Desde el punto de vista teórico, se contribuirá al avance del conocimiento en el campo de la gestión del agua, explorando la aplicación de tecnologías avanzadas y metodologías adecuadas. Desde el punto de vista práctico, se optimizará la recolección de datos, mejorando la precisión, eficiencia y reduciendo los costos asociados.

El proyecto beneficia a diferentes actores involucrados en la gestión del agua, incluyendo a las juntas de agua, los usuarios, y las autoridades encargadas de la regulación y supervisión. Para las juntas de agua, se simplificará el proceso de medición, ahorrando tiempo y recursos. Para los usuarios, se obtendrá una facturación más precisa y transparente. Y para las autoridades, se dispondrá de datos confiables para la toma de decisiones y la implementación de políticas adecuadas.

El impacto y relevancia del proyecto radican en la mejora del sistema de suministro de agua y en la optimización de los recursos involucrados. La automatización y precisión en la recolección de datos permitirá una gestión más eficiente y sostenible del recurso hídrico, promoviendo la conservación y el uso responsable del agua.

La utilidad práctica del proyecto se refleja en la implementación de un sistema automatizado de monitoreo de consumo de agua, que brindará información en tiempo real sobre el consumo y facilitará la detección temprana de agua no contabilizada. Esto permitirá una respuesta más rápida y eficiente ante situaciones de emergencia y un uso más eficiente de los recursos disponibles.

La metodología propuesta, basada en la metodología *Waterfall*, es una vía válida para resolver el problema planteado y satisfacer la necesidad identificada. Proporciona una estructura clara y secuencial para el desarrollo del proyecto, garantizando una planificación adecuada, una implementación efectiva y una evaluación rigurosa de los resultados obtenidos.

1.5. HIPÓTESIS

El desarrollo de un prototipo de medición y comunicación inalámbrica permitirá estimar la inversión inicial necesaria para implementar un sistema automatizado de monitoreo de consumo en una junta de agua.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. General

Desarrollar un análisis técnico y económico mediante el cual se evaluará la viabilidad de implementación de un sistema automático de monitoreo de consumo aplicado a juntas de agua.

1.6.2. Específicos

- Caracterizar el método de trabajo actual que se emplea en las juntas de agua para la medición del consumo de agua potable de cada usuario.
- Construir un prototipo de medidor inteligente de consumo de agua potable basado en tecnologías de comunicación de largo alcance.
- Evaluar el costo y beneficio de la implementación de un sistema automático de monitoreo de consumo de agua, para la determinación del Retorno de la Inversión que una junta de agua obtendría.

1.7. SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1.1: Tabla de actividades

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
<p>Caracterizar el método de trabajo actual que se emplea en las juntas de agua para la medición del consumo de agua potable de cada usuario.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de campo del proceso actual de toma de datos. • Identificación de posibles problemas en el proceso de toma de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diagrama de flujo • Análisis FODA 	<p>Técnica: Observación directa</p> <p>Instrumentos: Cuaderno de notas</p>
<p>Construir un prototipo de medidor inteligente de consumo de agua potable basado en tecnologías de comunicación de largo alcance</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación de tecnologías de comunicación a largo alcance • Identificación los componentes tecnológicos necesarios • Diseño del prototipo de medidor inteligente con tecnología Lora • Programación del dispositivo central y del sensor. • Realización de pruebas de funcionamiento del prototipo 	<ul style="list-style-type: none"> • Tabla comparativa de comunicación LPWAN • Tablas comparativas de componentes tecnológicos • Prototipo del medidor inteligente • Visualización del consumo actual en Ubidots • Distancia de comunicación 	<p>Técnica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Revisión y análisis bibliográfico. • Diseño e impresión. • Programación • Pruebas funcionales y pruebas de comunicación. <p>Instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Base de datos online • Software (CAD, SOLIDWORD, ARDUINO IDE) • Instrumentos de medición
<p>Evaluar el costo y beneficio de la implementación de un sistema automático de monitoreo de consumo de agua, para la determinación del Retorno de la Inversión que una junta de agua obtendría</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de los costos de desarrollo del prototipo, considerando los componentes, el tiempo de desarrollo y la mano de obra necesaria. • Análisis de los posibles beneficios económicos a largo plazo • Desarrollo de sugerencia de posibles estrategias para maximizar los beneficios económicos de la implementación del sistema automático de monitoreo de consumo de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tablas de costos del prototipo • Retorno de la inversión (ROI) • Beneficios de los medidores de agua inteligentes 	<p>Técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Revisión y análisis bibliográfico. • Análisis de costos <p>Instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Base de datos online • Hojas de cálculo (Excel)

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Sistema de Medidor Inteligente de Agua Potable Domiciliario para la Junta Administradora de Agua 'El ABRA'

2.1.1.1. Descripción

El sistema permite acceder a información sobre el consumo de agua de cada usuario, ver el estado de los medidores y controlar los servicios desde cualquier lugar con conexión a Internet. Además, se almacena información sobre todo el historial de consumo de agua en una base de datos en la nube que permite la recuperación de datos en caso de pérdida accidental durante el proceso de recopilación. En la placa electrónica ESP E12 se encuentra integrado un medidor y regulador de agua, un sensor de flujo que mide el volumen de agua que fluye a través del sistema y una electroválvula que actúa como una llave de paso. El modo de circulación o corte depende de la configuración establecida por el administrador en la página web de administración [1].

2.1.1.2. Dispositivos empleados

- Placa de control ESP E12
- Sensor de flujo YF-S201
- Electroválvula
- LCD 20x4
- Modulo relé de 5V

2.1.1.3. Resultados

El sistema de medición de agua potable implantado permite controlar local y remotamente el consumo de agua en la Junta Administradora de Agua "El Abra" usando plataformas web especializadas en IoT mediante interfaces de control en línea [1].

La implementación del sistema de medidores resolvió diversos problemas identificados en la evaluación de la situación actual. Entre ellos, se encontraba el largo tiempo necesario para recopilar las lecturas de consumo de agua debido a la ubicación de las viviendas a larga distancia entre sí, el excesivo tiempo empleado en calcular la cantidad consumida por los usuarios y el importe a abonar mensualmente, la pérdida de cuadernos de registro de lecturas y

errores en los registros de datos. La automatización de los procesos mencionados anteriormente reduce el tiempo de ejecución de cada uno de ellos [1].

2.1.1.4. Limitaciones

La principal limitación del sistema radica en su dependencia de la disponibilidad de conexión a Internet. Lamentablemente, muchos hogares atendidos por las juntas de agua no cuentan con acceso a este servicio. Otra limitación presente en el medidor inteligente desarrollado es su falta de una fuente autónoma, lo cual implica su dependencia de la red pública. Dado que la mayoría de los medidores se instalan al aire libre, esto representa una limitación adicional para el funcionamiento adecuado del medidor.

2.1.2. Diseño y construcción de un sistema de medición inteligente para la gestión de la energía eléctrica y medición de agua potable en los hogares

2.1.2.1. Descripción

El propósito del proyecto actual es crear un sistema de medición inteligente para administrar y medir el consumo de energía eléctrica y agua potable en hogares, que esté equipado con tecnología inalámbrica y permita una visualización detallada del consumo de ambas.

Se plantea una opción para mejorar la toma de datos en la medición, mediante la introducción de un novedoso sistema de medición inteligente que proporcionará a los usuarios de viviendas información sobre su consumo de energía eléctrica y de agua potable. Asimismo, esta alternativa permitirá que los usuarios tengan una participación activa en la optimización del uso de los recursos energéticos, adaptándose a los cambios en la demanda y brindando mayor flexibilidad en el uso del medidor. Otro beneficio de este sistema es la capacidad de comparar el consumo con las planillas [2].

El desarrollo del sistema de medición inteligente posibilita que los usuarios domésticos obtengan información sobre el uso de los servicios básicos (electricidad y agua) en términos de consumo diario y mensual, y esta información podrá ser observada en un panel táctil [2].

2.1.2.2. Dispositivos empleados

A continuación, se describen los dispositivos utilizados el sistema de medición inteligente del consumo de agua potable:

- Sensor de agua YF-S201

- Módulo de comunicación XBee-S2
- Tarjeta Arduino Mega 2560
- Transformador reductor de voltaje 120V AC – 9V AC

2.1.2.3. Resultados

- Se demostró que la lectura del medidor inteligente es más detallada que del medidor convencional, debido a que para tomar las lecturas del medidor convencional es sumamente complejo y conlleva, tiempo.
- Obtener información al instante sobre el uso del agua.
- La interfaz gráfica desarrollada en la pantalla es sumamente amigable al usuario, además de estar acorde a los desarrollos tecnológicos existen en la actualidad.

2.1.2.4. Limitaciones

Los autores mencionan explícitamente que los dispositivos, tanto el sensor como el receptor, no pueden estar separados a una distancia superior a los 40 metros, ya que esto resultaría en la pérdida de comunicación

Esta limitación en el alcance de la comunicación inalámbrica es un factor crucial a considerar en la efectividad y el despliegue de este sistema de medición inteligente en los hogares. Si bien es cierto que la tecnología Xbee ofrece numerosas ventajas, como su bajo consumo de energía y su capacidad de transmitir datos de manera confiable, es esencial tener en cuenta su alcance limitado [2].

2.1.3. Implementación de una red de área amplia de baja potencia (LPWAN) para el control de consumo de agua potable utilizando tecnología LoRa

2.1.3.1. Descripción

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar una solución teórico-práctica para analizar el rendimiento de una red LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) con tecnología LoRa. Esto se llevará a cabo mediante la implementación de un medidor inteligente (*Smart meter*) que permitirá monitorear y calcular el consumo de agua potable a distancia en la ciudad de Quito. Todo esto con la finalidad de conocer las variables y parámetros óptimos para implementar una red LPWAN basada en LoRa. Además, permitirá visualizar en tiempo real el consumo de agua a través de una plataforma web, disminuyendo el uso de recursos humanos para realizar la medición del consumo de agua [3].

2.1.3.2. Dispositivos empleados

- Sensor de flujo de caudal YF-S201
- Electroválvula de bola
- Arduino UNO
- Relé
- Módulo adaptador I2C PCF8574
- LCD 20x04
- Banco de batería recargable de 4000 mAh.
- Módulo de reloj Ds3231
- Shield LoRa Dragino SX127x
- *Gateway* LoRa Dragino LG02

2.1.3.3. Resultados

En la propuesta tecnológica mencionada, se logró obtener una distancia de comunicación LoRa que abarcó un área de cobertura de 0.77 km², con un perímetro de 3.95 km. Es importante resaltar que se identificó un retardo promedio en la recepción de cada paquete de 19 segundos. Se instaló un respaldo de energía basado en un banco de baterías de 4000 mAh que proporciona al sistema una autonomía de hasta 10 horas en condiciones ideales.

2.1.3.4. Limitaciones

El autor destaca la importancia de asegurar una conexión eléctrica para el funcionamiento de los elementos del dispositivo, así como la recarga continua de una batería que, en condiciones óptimas, tiene una duración de hasta 10 horas. Esto implica la disponibilidad de suministro eléctrico en el lugar de instalación, lo que puede resultar un desafío en áreas remotas o con infraestructura limitada.

2.2. MARCO REFERENCIAL

2.2.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible

En el 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) aprobó la agenda para el desarrollo posterior a ese año. Esta Agenda representa un plan de acción en beneficio de las personas, el medio ambiente y la prosperidad [4]. Su objetivo principal es establecer compromisos precisos para proteger nuestro planeta contra la degradación y promover un desarrollo sostenible que satisfaga las necesidades actuales y futuras de la humanidad.

En el contexto de esta agenda, se establece un compromiso definitivo para preservar nuestro planeta contra la degradación, mediante el consumo y producción sostenibles, la gestión consciente de sus recursos naturales y medidas urgentes que contrarresten el cambio climático; todo esto con el fin de atender las necesidades tanto del presente como del futuro [4].

Asimismo, dentro de la Agenda 2030 se han establecido una serie de Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que abordan diversos aspectos para promover un futuro sostenible y alcanzar los compromisos establecidos en la agenda. Entre estos objetivos, destacan tres que requieren una atención especial en el desarrollo del trabajo a realizar.

- Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos [4].

El Objetivo 6 busca lograr, para el año 2030, un aumento considerable en el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores, así como garantizar la sostenibilidad de la extracción y el suministro de agua dulce. Además, se pretende implementar la gestión integrada de los recursos hídricos en todos los niveles, promover el uso eficiente de dichos recursos, abordar el tratamiento de aguas residuales y de tecnologías de reutilización

Asimismo, es fundamental apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento[4].

- Objetivo 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles [4].

Entre algunos propósitos del Objetivo 11 están incrementar los esfuerzos para proteger y preservar el patrimonio cultural y natural del mundo, promoviendo el uso eficiente de los recursos, la reducción de los efectos del cambio climático y la capacidad para adaptarse a esta transformación.

- Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles [4]

Una de las metas del Objetivo 12 es alcanzar la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales. Para ello se ha propuesto ayudar a los países en desarrollo a fortalecer su capacidad científica y tecnológica para avanzar hacia modalidades de consumo y producción más sostenibles [4].

Los objetivos comparten la premisa de utilizar de manera eficiente los recursos naturales en todos los sectores, incluyendo el agua. Para lograr este propósito, es fundamental reconocer el

papel crucial que realiza la tecnología, ya que su aplicación permite mejorar los procesos existentes y contribuir de forma significativa a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

2.2.2. El derecho humano al agua y la gestión en Ecuador

El agua es una fuente natural limitada e imprescindible para sostener la vida y la salud de toda persona. El derecho humano al agua es fundamental para vivir dignamente y es un requisito fundamental para el goce de otros derechos humanos, ya que garantiza a todas las personas el acceso a una cantidad suficiente de agua potable, apta para el consumo humano y a un precio razonable. Además, este derecho asegura la disponibilidad del agua en todo momento y en todas las circunstancias, y garantiza que el acceso a este recurso sea equitativo y no discriminatorio[5].

En Ecuador, un habitante consume en promedio 249 litros de agua al día, mientras que el promedio del consumo mundial es de 100 litros de agua habitante por día [6]. Según la encuesta de buenas prácticas ambientales en hogares realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) en 2012 [7], se extrae que el consumo promedio mensual de agua en los hogares ecuatorianos es de 27,02 m³, lo que equivale a aproximadamente 27 mil litros. Dentro de las provincias del país, se encontró que Los Ríos registran el mayor consumo mensual promedio, alcanzando los 54 mil litros de agua. Por otro lado, la provincia de Cotopaxi presenta el menor consumo de agua en Ecuador, con un promedio mensual de 11.800 litros.

En 2021, se registraron un total de 1.195 fuentes de agua cruda, siendo las fuentes subterráneas, con un 53,4 % las de mayor captación por parte de los GADM [8]. En la Tabla 2.1 que se presenta a continuación se detallan las principales fuentes de captación de agua y la cantidad de fuentes existentes en el país.

En ese mismo año, el 62,9 % de GADM gestionaron la prestación del servicio de agua potable y saneamiento a través del municipio, el 30,3 % mediante una empresa pública municipal, y el 6,3 % operó con gestión de empresa pública mancomunada, empresa regional y operador privado con 0,5 % [8].

Tabla 2.1: Principales fuentes de captación de agua del 2021 [8]

Tipo de fuente	Número de fuentes	%
Fuente Superficial	557	46,6%
Quebrada	239	20,0%
Río	177	14,8%
Arroyos	71	5,9%
Esteros	31	2,6%
Embalse o Canal	30	2,5%
Lago	9	0,8%
Fuente Subterráneo	638	53,4%
Pozo	380	31,8%
Vertientes	244	20,4%
Manantiales	9	0,8%
Galerías	5	0,4%
Total de fuentes	1195	100,0%

2.2.2.1. Conformación y legalización de Juntas Administradoras de Agua Potable (JAAP) en Ecuador

Las juntas administradoras de agua potable son entidades comunitarias y sin fines de lucro, cuyo objetivo es proveer a la comunidad el servicio público de agua potable y saneamiento, basándose en los principios de equidad, solidaridad, interculturalidad, eficiencia económica, sostenibilidad de los recursos hídricos y calidad en la prestación de los servicios de distribución del agua. Además, estas entidades garantizan la distribución equitativa y justa del agua para todos los usuarios y sectores de la comunidad [9].

El Ecuador tiene alrededor de 3.685 Juntas Administradoras de Agua Potable (JAAP) legalmente establecidas. Muchas de estas trabajan en condiciones extremadamente desfavorables, debido a diversas razones: falta de apoyo de las municipalidades y/o instituciones del Estado; las tarifas de servicio son insuficientes para cubrir los costos operativos y, mucho menos, las inversiones necesarias; falta de cuidado de las fuentes hídricas; gestión comunitaria ineficiente; y desconocimiento del manejo de los sistemas sanitarios [10].

Las personas naturales o jurídicas que residen en una localidad, donde el GAD correspondiente no preste los servicios de agua potable, podrán solicitar la conformación y legalización de una Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento (JAAPyS) o una Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento Regional (JAAPySR) [9].

Las personas interesadas en crear una Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento (JAAPyS) o una Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento Regional (JAAPySR) deberán presentar ciertos documentos en el Centro de Atención al Ciudadano o en la Subsecretaría de Demarcación Hidrográfica [9]:

- Presentar una solicitud dirigida a la Autoridad de la Demarcación Hidrográfica o al Centro de Atención al Ciudadano solicitando la creación de la Junta correspondiente.
- Presentar una copia original del Acta de la Asamblea Constitutiva debidamente firmada por el presidente, el secretario provisional y los miembros fundadores.
- Así como un ejemplar del Proyecto de Estatuto.
- Por último, es necesario adjuntar una certificación del secretario provisional en la que se indiquen las fechas de las dos asambleas en las que se discutió y aprobó el Estatuto, acompañado de sus correspondientes Actas.

Una vez que se hayan recibido los documentos, la Autoridad Única del Agua llevará a cabo las siguientes tareas:

- Examinar y analizar el proyecto de Estatuto presentado por los solicitantes.
- Emitir un informe técnico en el que se aprueba o rechaza la legalización de las JAAPyS o JAAPySR.
- Si el informe es aprobatorio, se expedirá una resolución que concede la personería jurídica de las JAAPyS o JAAPySR solicitantes, que se inscribirá en el Registro Público del Agua. Si no se aprueba el Estatuto, la comunidad tendrá que realizar las modificaciones solicitadas por los funcionarios de la Demarcación Hidrográfica y volver a presentar el documento para su aprobación.

Después de obtener la personería jurídica, la JAAPyS o JAAPySR deberá llevar a cabo lo siguiente:

- Iniciar el proceso para obtener la autorización necesaria del consumo humano de agua a la Autoridad Única del Agua.
- Convocar elecciones democráticas para sus órganos directivos. Si la organización cuenta con más de cien miembros, deberán solicitar la presencia de un veedor de la Secretaría del Agua en el proceso. En caso de irregularidades, la Secretaría del Agua tendrá que participar obligatoriamente.

- La Autoridad de la Demarcación Hidrográfica reconocerá y registrará los nombramientos de los miembros elegidos para la Directiva de la JAAPyS o JAAPySR.

2.2.3. Norma INEN para medidores de consumo de agua potable

Durante muchas décadas, los fabricantes de contadores de agua sólo han utilizado principios físicos básicos de medición en el diseño de los contadores [11]. El medidor de agua analógico o electromecánico es un dispositivo que se utiliza para medir el consumo de agua en hogares y otros entornos. Su operación se basa en un sistema electromecánico que permite registrar la cantidad de agua que fluye a través de él, convirtiéndolo en una herramienta esencial para el control y la gestión del consumo de agua.

El dispositivo en cuestión se compone de una serie de engranajes o discos que se activan al momento en que el agua fluye a través del medidor. Existe una proporcionalidad directa entre la velocidad de giro y la cantidad de agua consumida, la cual puede ser visualizada a través de una esfera o dial presente en los medidores de agua, que indica el consumo acumulado en metros cúbicos o litros.

Una de las ventajas de los medidores de agua analógicos es su sencillez y confiabilidad. No requiere una fuente de alimentación externa y funcionan de manera autónoma durante largos períodos de tiempo. Sin embargo, su principal desventaja es que requiere una lectura manual para obtener los datos de consumo, lo que implica que un técnico debe visitar físicamente el medidor para obtener la lectura.

2.2.3.1. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-OIML R 49-1:2009

La presente Norma Técnica Ecuatoriana es válida para los medidores de agua utilizados para la medición del volumen efectivo de agua potable fría que circula a través de un canal completamente cerrado que atraviesa el punto de medición [12]. Estos medidores deberán contar con dispositivos de integración que puedan indicar el volumen total que atraviesa los mismos.

A continuación, se detallan algunos de los parámetros establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana, que deben cumplir los medidores de agua [12]:

- a) Condiciones de operación
 - Caudal, Q

Se define como la relación entre el volumen real de agua que fluye a través del medidor y el tiempo que tarda dicho volumen en pasar.

- Caudal permanente, Q^3

Se refiere al máximo caudal que se presenta dentro de las condiciones nominales de operación, en el que se espera que el medidor de agua funcione de manera efectiva, cumpliendo con los errores máximos permitidos.

- Caudal de sobrecarga, Q^4

Es el caudal máximo, al cual se requiere que trabaje el medidor de agua, por un corto periodo de tiempo, dentro de los errores máximos permitidos, en tanto mantenga su desempeño metrológico, cuando es usado posteriormente dentro de sus condiciones de operación.

- Caudal de transición, Q^2

Es el caudal situado entre el caudal permanente Q^3 y el caudal mínimo Q^1 , que divide el rango de caudal en dos zonas, la "zona superior" y la "zona inferior", cada una caracterizada por su propio error máximo permitido.

- Caudal mínimo, Q^1

Es el valor del caudal más pequeño al cual debe trabajar el medidor, dentro de los errores máximos permitidos.

b) Clases de exactitud y errores máximos permitidos

Los errores de los medidores de agua no deben ir más allá de los límites máximos permitidos bajo las condiciones normales de operación, por lo que es necesario diseñar y construir los medidores de agua de forma adecuada para cumplir con esta normativa.

- Medidores de exactitud clase 1

El error máximo permitido en la zona superior de caudal ($Q^2 \leq Q \leq Q^4$) es $\pm 1\%$, para temperaturas de $0,3\text{ }^\circ\text{C}$ a $30\text{ }^\circ\text{C}$, y $\pm 3\%$ para temperaturas mayores a $30\text{ }^\circ\text{C}$.

El error máximo permitido para la zona inferior de caudal ($Q^1 \leq Q < Q^2$) es $\pm 3\%$. La designación de exactitud clase 1 solamente deberá ser aplicada a medidores de agua con $Q^3 \geq 100\text{ m}^3/\text{h}$.

- Medidores de exactitud clase 2

El error máximo permitido en la zona superior de caudal ($Q^2 \leq Q \leq Q^4$) es $\pm 2\%$, para temperaturas de $0,3\text{ }^\circ\text{C}$ a $30\text{ }^\circ\text{C}$, y $\pm 3\%$ para temperaturas mayores a $30\text{ }^\circ\text{C}$. El error máximo permitido para la zona inferior de caudal ($Q^1 \leq Q < Q^2$) es $\pm 5\%$. La designación de exactitud clase 2 deberá ser aplicada a todos los medidores de agua con $Q^3 < 100\text{ m}^3/\text{h}$, pero puede ser aplicada también a medidores de agua con valores de $Q^3 \geq 100\text{ m}^3/\text{h}$.

- El error relativo (de la indicación) se expresa en porcentaje, y es igual a:

$$\frac{V_I - V_a}{V_a} * 100 \quad (2.1)$$

V_a o volumen real: Volumen total de agua que atraviesa el medidor, sin tener en cuenta el tiempo de paso. Este es el mensurando.

V_I o volumen indicado: Es el volumen de agua indicado por el medidor que corresponde al volumen real.

- El fabricante deberá especificar si el medidor de agua está o no diseñado para medir flujo en dirección contraria.

Si el medidor está diseñado para medir flujo en dirección contraria, el volumen real que pasa durante el flujo en dirección contraria deberá ser restado del volumen indicado o el medidor deberá almacenarlo por separado. El error máximo permitido deberá cumplirse en ambos casos para flujo en dirección normal o contraria.

Si el medidor no ha sido diseñado para medir flujo en dirección contraria, deberá evitarse el flujo en dirección contraria, o el medidor deberá ser capaz de soportar un flujo en dirección contraria que pudiera ocurrir de manera accidental, sin sufrir deterioro alguno o variaciones en sus características metrológicas para flujo en dirección normal.

- Los requisitos vinculados a los errores máximos permitidos deberán cumplirse para todas las variaciones de temperatura y presión que puedan ocurrir dentro de las condiciones nominales de operación del medidor de agua.
- El totalizador del medidor de agua no deberá cambiar cuando el caudal sea cero.

c) Medidores de agua equipados con dispositivos electrónicos

Los medidores de agua con dispositivos electrónicos deberán ser diseñados y construidos de tal forma que no presenten fallas significativas cuando estén expuestos a perturbaciones especificadas.

La Norma Técnica Ecuatoriana considera tres categorías distintas de fuentes de energía para medidores de agua con dispositivos electrónicos, permitiendo el uso de estas tres opciones en combinación o de manera individual. Asimismo, se detallan a continuación los requisitos exigidos para cada una de estas fuentes de energía:

- Fuente de energía externa

Los medidores de agua con dispositivos electrónicos deberán diseñarse de manera que, no se pierda la indicación de volumen del medidor después de que ocurra una falla en la fuente de energía externa (AC o DC), y permanezca accesible por un año mínimo. El almacenamiento correspondiente deberá efectuarse al menos, una vez al día o por cada volumen equivalente a 10 minutos de caudal en Q^3 .

Ninguna otra propiedad o parámetro del medidor deberá verse afectado por una interrupción de la alimentación eléctrica.

La alimentación eléctrica deberá estar protegida contra sabotaje.

- Baterías no reemplazables

El fabricante deberá señalar el tiempo de vida de la batería, garantizando que el medidor funcionará correctamente durante al menos un año más que el tiempo de vida operacional del medidor.

- Baterías reemplazables

Cuando la fuente de alimentación eléctrica es una batería reemplazable, el Fabricante deberá dar instrucciones precisas para el cambio de la batería. La fecha de cambio de la batería deberá estar indicada en el medidor. Las propiedades y parámetros del medidor no deberán verse afectadas por la Interrupción de la alimentación eléctrica cuando la batería es reemplazada.

d) Materiales y construcción del medidor de agua

- El medidor de agua debe construirse con materiales que tengan una adecuada resistencia y durabilidad para el propósito para el que será usado.
- El medidor debe construirse con materiales que no se alteren adversamente con las variaciones de temperatura del agua, dentro de los límites de temperatura de trabajo.
- Todas las partes del medidor en contacto con el agua que lo atraviesa, debe construirse con materiales convencionalmente conocidos como no tóxicos, no contaminantes y biológicamente inertes.

- El medidor de agua completo debe hacerse con materiales resistentes a la corrosión interna y externa normales o cuya protección haya sido asegurada por la aplicación de un tratamiento superficial adecuado.
- El dispositivo indicador del medidor de agua debe protegerse con una ventana transparente. Debe proveerse igualmente con una tapa conveniente, como medio de protección suplementaria.
- El medidor de agua deberá tener dispositivos para la eliminación de la condensación de agua, si ésta pudiera producirse por debajo de la ventana del dispositivo indicador del medidor.

2.2.4. Herramientas y Técnicas para el estudio de procesos

2.2.4.1. Diagrama de flujo

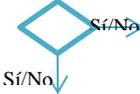
Un diagrama de flujo es una ilustración gráfica del proceso de un algoritmo o de una secuencia de acciones repetitivas, que se representa a través de diversos símbolos para denotar operaciones específicas. Este tipo de diagramas adquieren su nombre por la interconexión de símbolos mediante flechas, lo que indica la secuencia de operaciones [13].

Los diagramas de flujo o flujogramas representan gráficamente las diferentes etapas o pasos de un proceso, su secuencia lógica y la interacción entre los responsables de llevar a cabo dichas actividades. Estas representaciones se utilizan frecuentemente en el ámbito del análisis administrativo y la gestión de organizaciones tanto públicas como privadas, y emplean símbolos para su elaboración [13].

El Instituto Nacional de Normalización Estadounidense (ANSI) es una organización privada y sin fines de lucro, se encarga de la gestión y coordinación de actividades relacionadas con la normalización voluntaria y la evaluación de la conformidad dentro de los Estados Unidos [13].

El ANSI ha creado una serie de símbolos para representar los flujos de información en los diagramas orientados al procesamiento electrónico de datos. Algunos de estos símbolos han sido ampliamente adoptados para la elaboración de los diagramas de flujo en la diagramación administrativa [13]. En la Tabla 2.2 que se muestra a continuación se presentan la simbología ANSI junto con su significado.

Tabla 2.2: Simbología ANSI aplicado a diagramas de flujo [13]

Símbolo	Significado	¿Para qué se utiliza?
	Inicio / Fin	Indica el inicio y el final del diagrama de flujo.
	Operación / Actividad	Símbolo de proceso, representa la realización de una operación o actividad relativas a un procedimiento.
	Documento	Representa cualquier tipo de documento que entra, se utilice, se genere o salga del procedimiento.
	Datos	Indica la salida y entrada de datos.
	Almacenamiento / Archivo	Indica el depósito permanente de un documento o información dentro de un archivo.
	Decisión	Indica un punto dentro del flujo en que son posibles varios caminos alternativos.
	Líneas de flujo	Conecta los símbolos señalando el orden en que se deben realizar las distintas operaciones.
	Conector	Conector dentro de página. Representa la continuidad del diagrama dentro de la misma página. Enlaza dos pasos no consecutivos en una misma página.
	Conector de página	Representa la continuidad del diagrama en otra página. Representa una conexión o enlace con otra hoja diferente en la que continua el diagrama de flujo.

2.2.4.2. Matriz FODA

El análisis FODA es una herramienta muy útil para las empresas y organizaciones, ya que les permite tener una visión clara y objetiva de su situación actual en el mercado y en su entorno. Al identificar sus fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas, se desarrollan estrategias para aprovechar al máximo sus fortalezas y oportunidades, y minimizar los efectos de sus debilidades y amenazas. Además, el análisis FODA es utilizado tanto en el ámbito empresarial como en el personal, ya que permite una reflexión profunda sobre las fortalezas y debilidades de cada individuo y su entorno, lo que ayuda en la toma de decisiones y en la planificación de objetivos a largo plazo.

La Matriz FODA es una metodología que se utiliza para estudiar la situación de una organización o empresa, así como sus características internas, en relación con el entorno en el que se desenvuelve. Esta herramienta permite la determinación de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la organización o empresa en cuestión. La situación interna

comprende dos factores controlables, las fortalezas y debilidades, mientras que la situación externa se compone de dos factores no controlables, las oportunidades y amenazas [14].

2.2.5. Internet de las cosas (IoT)

El Internet de las cosas es la conexión digital entre objetos cotidianos y la red de internet, lo que permite intercambiar información automáticamente con otros dispositivos o centros de control sin necesidad de la intervención humana, recolectando una gran cantidad de datos importantes acerca del uso y rendimiento de los objetos. Esto facilita la monitorización y operación de los objetos, creando una serie de experiencias y oportunidades únicas e innovadoras para personas, empresas y ciudades [15].

El Internet de las cosas es un aspecto fundamental del desarrollo de la Industria 4.0, también conocida como la cuarta Revolución industrial. Dicha revolución se caracteriza por la organización innovadora de los medios de producción, basándose en la digitalización completa de todas las áreas de la vida humana. Esto es un fenómeno relativamente nuevo y tendrá un impacto significativo en la vida y sus procesos de transformación en los próximos años [16].

La arquitectura de IoT está compuesta por diversos componentes fundamentales que colaboran de manera conjunta para habilitar la comunicación, la recopilación de datos y el procesamiento de información en un ecosistema de dispositivos interconectados. Estos componentes son esenciales para lograr una operación eficiente y efectiva del sistema IoT.

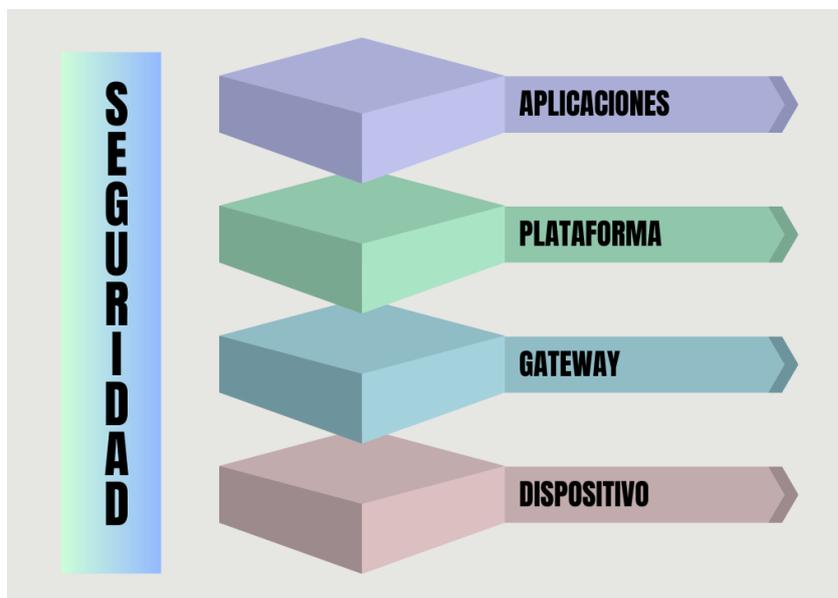


Figura 2.1: Arquitectura del Internet de las cosas

En la Figura 2.1 se muestra una arquitectura inicial que ilustra cómo se pueden interconectar los dispositivos con la nube. Esta representación gráfica proporciona una visión general de la estructura y las interacciones de los componentes involucrados en el entorno IoT.

2.2.5.1. Dispositivos

La primera capa, el hardware, ha evolucionado significativamente en las últimas décadas. En contraste con los pesados y voluminosos ordenadores de hace más de medio siglo, los componentes de hoy en día son cada vez más reducidos, lo que permite crear ordenadores más rápidos y potentes que sus predecesores. Además, como esta capa física es más pequeña, resulta más sencillo conectar prácticamente cualquier cosa desde cualquier lugar y en cualquier momento [17].

Los sensores son dispositivos que incluyen células sensibles capaces de detectar cambios en una magnitud física, química o biológica y transformarlos en señales eléctricas útiles para la medición o el control de un sistema. Su función principal es recibir información sobre una magnitud externa y convertirla en otra magnitud, generalmente eléctrica, que pueda ser cuantificada y manipulada [16].

La función principal de los sensores es la detección de cambios en su entorno, específicamente del objeto que se está monitoreando, para enviar información sobre su estado actual y cualquier posible alteración que se presente. En el mercado hay disponibles varios tipos de sensores que se clasifican según el tipo de variable que deben medir o detectar, como los de contacto, ópticos, térmicos, de humedad, magnéticos, infrarrojos, entre otros. Estos sensores actúan como los sentidos, encargados de observar y controlar los objetos en cuestión [16].

En la Tabla 2.3 se detallan los parámetros fundamentales para la mayoría de los sensores, los cuales deben ser considerados al momento de seleccionar el sensor adecuado a utilizar en aplicaciones de Internet de las cosas [16].

Tabla 2.3: Características de los sensores [16]

Características de los sensores			
1	Sensibilidad	11	Banda muerta
2	Selectividad	12	Desvío (offset)
3	Rango	13	Vida útil
4	Condiciones ambientales	14	Linealidad
5	Precisión	15	Formato de salida
6	Sobrecarga	16	Linealidad dinámica
7	Resolución	17	Costo
8	Histéresis	18	Tamaño
9	Tiempo de respuesta	19	Peso
10	Estabilidad (corto y largo plazo)	20	Fuente de alimentación

a) Sensor de Caudal

Un sensor de caudal es un dispositivo utilizado para medir la velocidad o la cantidad de fluido que pasa por un punto específico de un sistema. Este tipo de sensor se utiliza ampliamente en diversas aplicaciones, como sistemas de distribución de agua, sistemas de calefacción y refrigeración, procesos industriales, control de calidad, entre otros.

El sensor de caudal detecta y mide el flujo de fluido utilizando diferentes principios de medición. A continuación, se detallan algunos de los tipos de sensores de caudal más comunes:

- Sensor de caudal electromagnético

Los sensores electromagnéticos de caudal, también conocidos como sensores magnéticos, son dispositivos volumétricos empleados para medir el flujo de líquidos. Estos medidores destacan por su diseño exento de piezas susceptibles de desgaste, lo que implica una reducción en la necesidad de mantenimiento y reemplazo. Funcionan mediante la integración de electrodos en los extremos opuestos del tubo de caudal o mediante un sensor que recibe la señal, lo cual permite una mayor precisión en un amplio rango de caudal, alcanzando una aproximada de $\pm 0,5\%$ o incluso superior.

- Sensor de caudal de efecto Hall.

En un sensor de agua de efecto Hall, se instala un sensor en el interior de una tubería por la que fluye el agua. El sensor está compuesto por una placa sensible al campo magnético y conectada a un circuito electrónico. Además, se coloca un imán en movimiento junto con el flujo de agua que genera un campo magnético que interactúa con el sensor.

El circuito electrónico del sensor de agua convierte la señal generada por el sensor en una señal eléctrica más adecuada para su procesamiento y visualización. A partir de esta señal, se calcula el caudal de agua que atraviesa el medidor.

Los sensores de agua de efecto Hall son apreciados por su precisión, bajo desgaste y resistencia a la corrosión, lo que los hace ideales para la medición de caudales de agua. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el diseño y funcionamiento específico de estos sensores pueden variar según el fabricante y el modelo utilizado.

- Sensor de caudal ultrasónico de efecto Doppler.

Un sensor ultrasónico de efecto Doppler es un dispositivo utilizado en la medición de caudal de líquidos o gases. Funciona emitiendo pulsos ultrasónicos a través del medio en el que se desea realizar la medición, los cuales se reflejan en las partículas suspendidas en el fluido o en las burbujas de gas presentes en él.

Cuando estas partículas o burbujas se desplazan, se produce un cambio en la frecuencia del pulso ultrasónico reflejado, lo cual es detectado y utilizado para calcular la velocidad del flujo. Conocer el área de la sección transversal del conducto permite determinar el caudal volumétrico del fluido.

Los sensores ultrasónicos de efecto Doppler son especialmente útiles en aplicaciones donde el fluido contiene partículas sólidas en suspensión o burbujas de gas, ya que es el movimiento de estas partículas lo que permite la medición del caudal. Además, estos sensores no requieren de una obstrucción en el flujo, lo que los convierte en una opción adecuada en situaciones donde se desea evitar la pérdida de presión.

2.2.5.2. Gateway

En términos generales, un *Gateway* o puerta de enlace es un dispositivo que permite la comunicación entre redes que utilizan diferentes protocolos. Para lograr esto, traduce los formatos de los datos recibidos al protocolo correspondiente de destino. En el ámbito del IoT, un *Gateway* es un dispositivo que soporta comunicaciones con una variedad de protocolos de

comunicación y formatos de datos, lo que posibilita la interconexión de múltiples tipos de sensores y la agregación de los datos que estos generan para su posterior envío a otro segmento de la red o a Internet [18].

Algunas de las opciones comerciales de *Gateway* que existen son las que se detallan a continuación:

a) ESP8266

Un procesador de arquitectura RISC de 32 bits a 80 MHz, una memoria RAM de 32 kB, conectividad Wi-Fi compatible con múltiples protocolos de red y autenticación, 16 puertos de propósito general y conversores analógico a digital de 10 bits se encuentran entre las características del dispositivo [19].

b) ESP32

El dispositivo cuenta con un procesador de doble núcleo de 32 bits que alcanza hasta 240 MHz, y una memoria SRAM de 520 kB. Además, posee conectividad wifi y Bluetooth, y una amplia oferta de puertos de entrada y salida. Entre ellos se incluyen convertidores DAC (digital a analógico) de 8 y 12 bits, sensores táctiles, y varias interfaces como SPI, I2S, I2C y UART, entre otras. También cuenta con esquemas de seguridad y gestión de energía [19].

De estos dos módulos destaca el ESP 32, debido a que en su diseño ya considera el soporte para el desarrollo de aplicaciones de Inteligencia artificial de las cosas (AI-IoT), un concepto relativamente nuevo que refiere a la integración de inteligencia artificial en aplicaciones de Internet de las cosas [19].

La propuesta tecnológica que se plantea se basa en el uso de la tecnología de comunicación LoRa, y para aprovechar al máximo esta tecnología, se ha identificado que el ESP32 es el *Gateway* adecuado para su implementación.

Al utilizar el ESP32, se aprovechan sus características avanzadas, como su potencia de procesamiento, su capacidad de almacenamiento y su flexibilidad de programación. Además, el ESP32 ofrece una interfaz de conexión a Internet estable a través de wifi, lo que permite una comunicación confiable entre los dispositivos LoRa y los servidores o aplicaciones en la nube.

2.2.5.3. Comunicación entre *Gateways* a través de redes LPWAN

Las redes LPWAN, acrónimo de Low Power Wide Area Networks o, en español, redes de bajo consumo y de área extensa, son tecnologías de comunicación que transmiten pequeñas

cantidades de datos de manera inalámbrica. Estas redes se destacan por su capacidad de comunicación a larga distancia, lo que las convierte en una solución eficiente para conectar dispositivos en áreas extensas y remotas.

En contraste con las redes inalámbricas de sensores de corto alcance (WSN), el objetivo de diseño de las LPWAN es ofrecer una amplia cobertura de baja potencia y, por lo tanto, acceder a ellas a través de un costo más bajo [19].

De acuerdo con la banda de frecuencia operativa, las tecnologías de comunicación aplicadas se pueden dividir en dos tipos: las que operan en un espectro sin licencia y las que operan en un espectro autorizado [19].

Uno de los aspectos más debatidos de la LPWAN es el alcance real de la cobertura. Este aspecto es crucial para estimar correctamente los costes de la cobertura en toda la ciudad, que evidentemente tienen un impacto importante en los gastos de capital de los proveedores de servicios [20]. A continuación, se mencionan dos redes LPWAN:

a) SigFox

Sigfox es una compañía de red de baja potencia y largo alcance (LPWAN) que presenta una solución completa de conectividad IoT basada en su tecnología propietaria [21]. Esta tecnología patentada LPWAN de banda ultra estrecha emplea una velocidad de modulación lenta para lograr una mayor distancia de cobertura [22].

Sigfox despliega sus propias estaciones base equipadas con radios cognitivas definidas por software y las conecta a los servidores de *back-end* mediante una red basada en IP [21]. El precio de utilizar la tecnología SigFox viene dado principalmente por los componentes de hardware del nodo, las estaciones base que enlazan el nodo con la aplicación del usuario final y que son puestas a disposición por los operadores de redes móviles [23].

Las primeras versiones de la tecnología sólo permitían la comunicación unidireccional de enlace ascendente, es decir, desde el dispositivo hacia el agregador; sin embargo, ahora se admite la comunicación bidireccional. SigFox afirma que cada pasarela puede gestionar hasta un millón de objetos conectados, con un área de cobertura de 30 km a 50 km en zonas rurales y de 3 km a 10 km en zonas urbanas [20].

b) LoRaWan

LoRaWAN establece el protocolo de comunicación y la estructura del sistema para la red, mientras que LoRa es la tecnología de enlace físico que posibilita una comunicación de larga distancia. El protocolo y la arquitectura de red son los que más influyen a la hora de determinar la duración de la batería de un nodo, la capacidad de la red, la calidad del servicio, la seguridad y la variedad de aplicaciones a las que da servicio la red [24].

LoRa utiliza la técnica de modulación de espectro ensanchado chirp, lo que permite mantener las características de bajo consumo de energía que presenta la modulación FSK (*Frequency Shift Keying*), pero al mismo tiempo aumenta de manera significativa el rango de alcance de la comunicación. El espectro ensanchado chirp se ha utilizado en comunicaciones militares y espaciales durante décadas por las grandes distancias de comunicación que pueden alcanzarse y su robustez frente a las interferencias, pero LoRa® es la primera implementación de bajo coste para uso comercial [24].

Los elementos básicos que componen una red LoRaWAN son: nodos o dispositivos finales, *Gateways* o puertas de enlace, servidores de red y servidores de aplicación. La topología de la red LoRa está configurada en una estructura estrella especial conocida como "estrella de estrellas", en la que las puertas de enlace funcionan como intermediarios entre los nodos finales y un servidor de red, facilitando la transmisión de mensajes entre ellos. Los nodos generalmente están conectados a sensores o a actuadores, recopilan datos y los transmiten a un *Gateway* a través del protocolo LoRaMAC [19].

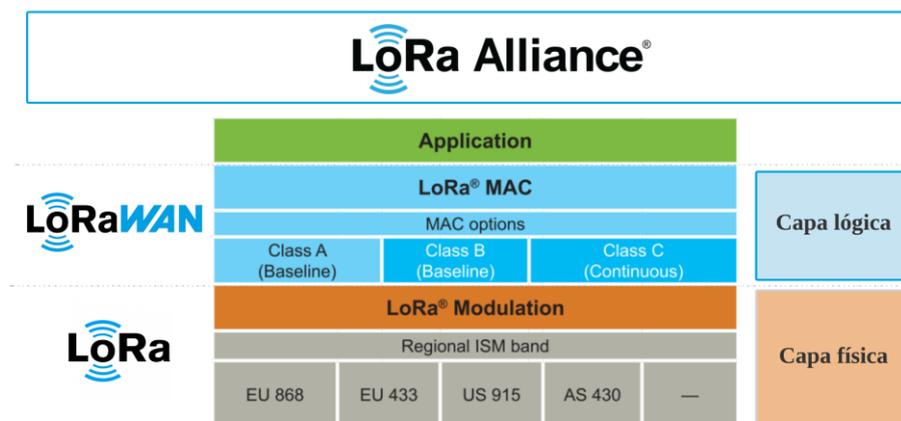


Figura 2.2: Diferencia entre LoRa Alliance, LoRaWan y LoRa [24]

LoRa Alliance es una organización sin fines de lucro que se dedica a respaldar y fomentar la adopción global del estándar de comunicación inalámbrica de área amplia y baja potencia

(LPWAN) líder en el mercado, conocido como LoRaWAN. En la Figura 2.2 se pueden evidenciar las diferencias entre LoRa Alliances, LoRaWan y LoRa.

LoRaWAN está adaptado y modula en la banda de Sub-GHz sin licencia. LoRaWAN comparte la banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) 868 MHz en Europa y 915 MHz en América del Norte junto con SigFox. Lora es capaz de permitir la transmisión bidireccional de una señal de banda estrecha a través de un canal de banda ancha de forma limitada. Utiliza factores de dispersión o *Spreading Factor* (SF) que dan un intercambio entre área de cobertura extendida y ancho de banda; asimismo, dependiendo de diferentes SF, la velocidad de datos puede variar entre 300 bps y 50 Kbps. Esto significa que el usuario del borde de la celda puede transmitir a 300 bps y, cuanto más cerca esté un dispositivo del punto de acceso, mayor rendimiento puede lograr [19].

Una de las principales diferencias entre Sigfox y LoRa es la distinción comercial. Sigfox es desplegado por operadores de red, y los usuarios tienen que pagar las cuotas de suscripción, mientras que LoRa puede desplegarse como una red independiente sin cuotas de suscripción [22].

2.2.5.4. Plataforma

Una plataforma del Internet de las cosas es una infraestructura que en la cual se puede recopilar, almacenar, analizar y aprovechar la inteligencia de los datos generados por dispositivos conectados a Internet. Esta plataforma, que a menudo se aloja en una nube pública, centraliza la recopilación de datos y facilita el intercambio de información entre aplicaciones. Las plataformas IoT se definen como servicios diseñados para interconectar física y digitalmente cosas basadas en tecnologías de la información, utilizando un modelo de cómputo en la nube.

a) Ubidots

Ubidots se presenta como una plataforma de Internet de las cosas (IoT) que capacita a las empresas para construir aplicaciones IoT traduciendo los datos de los sensores en conocimiento práctico y aplicable. La contratación de un equipo de ingeniería destinado a desarrollar una aplicación IoT funcional y estéticamente atractiva resulta costosa tanto en términos de tiempo como de recursos financieros. Ubidots emerge como una solución eficaz y asequible para incorporar el potencial del IoT en una empresa o proyecto de investigación.

2.2.5.5. Comunicación del *Gateway* a la Plataforma

a) Protocolo de comunicación del *Gateway* a la Plataforma

Uno de los protocolos de comunicación del *Gateway* a la Plataforma es MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), un protocolo de mensajería ligero que utiliza un modelo de publicación/suscripción y que se conoce por su eficiencia y bajo consumo de ancho de banda y energía, creado por IBM.

MQTT es un protocolo ligero porque todos los mensajes tienen una huella de código pequeña. Utiliza el protocolo TCP/IP y es adecuado en entornos con restricciones, por ejemplo, cuando un dispositivo tiene pocos recursos de memoria o un procesador limitado. Además, la carga útil de los mensajes está limitada a un máximo de 256 MB de información, lo que hace que este protocolo ligero sea adecuado en redes caras y poco fiables.[25]

En el artículo Soluciones de middleware inalámbrico para contadores de agua inteligentes mencionan que optaron por MQTT por su sencillez y su escasa sobrecarga. De hecho, un único servidor puede soportar miles de clientes remotos. Además, MQTT permite una gran escalabilidad desde el punto de vista del desarrollo y la gestión de aplicaciones.[11]

La confiabilidad en la entrega de mensajes es crucial en muchos casos de uso de IoT. MQTT aborda esta necesidad mediante la implementación de tres niveles de calidad de servicio (QoS):

- En el nivel más bajo, QoS 0 en MQTT ofrece un mecanismo de entrega de mejor esfuerzo donde el remitente no espera un reconocimiento o garantía de entrega del mensaje. Esto significa que el destinatario no reconoce haber recibido el mensaje y el remitente no lo almacena ni lo retransmite. QoS 0, comúnmente llamado "activar y olvidar", funciona de manera similar al protocolo TCP subyacente, donde el mensaje se envía sin más seguimiento o confirmación [26].



Figura 2.3: Calidad de servicio nivel 0: entrega como máximo una vez [26]

- En QoS 1 de MQTT, la atención se centra en garantizar la entrega del mensaje al menos una vez al receptor. Cuando se publica un mensaje con QoS 1, el remitente conserva una copia del mensaje hasta que recibe un paquete PUBACK del receptor, lo que confirma la recepción exitosa. Si el remitente no recibe el paquete PUBACK en un plazo razonable, vuelve a transmitir el mensaje para garantizar su entrega [26].



Figura 2.4: Calidad de servicio nivel 1: entrega al menos una vez [26]

- QoS 2 ofrece el más alto nivel de servicio en MQTT, lo que garantiza que cada mensaje se entregue exactamente una vez a los destinatarios previstos. Para lograr esto, QoS 2 implica un protocolo de enlace de cuatro partes entre el remitente y el receptor [26].

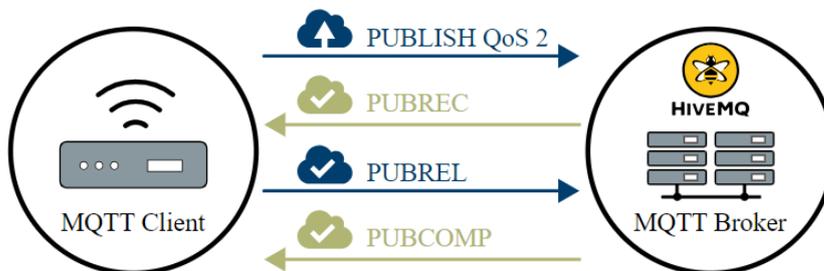


Figura 2.5: MQTT Calidad de servicio nivel 2: entrega exactamente una vez [26]

El cliente que publica un mensaje al intermediario define el nivel de QoS para el mensaje durante la transmisión. Luego, el intermediario transmite el mensaje a los clientes suscriptores utilizando el nivel de QoS definido por cada cliente suscriptor durante el proceso de suscripción. Si el cliente suscriptor define un nivel de QoS más bajo que el cliente de publicación, el intermediario transmitirá el mensaje con el nivel de QoS más bajo [26].

Comprender cómo funciona la entrega de mensajes en MQTT sienta las bases para apreciar la importancia de los niveles de calidad de servicio (QoS) para garantizar una comunicación confiable entre el cliente de publicación, el intermediario y el cliente de suscripción [26].

b) Interfaz entre el *Gateway* y plataforma

Node-RED procede de un proyecto abierto, desarrollado por IBM, que propone una herramienta de programación basada en flujos y dirigida por eventos. El comportamiento de la aplicación se representa como una red de cajas negras que pueden comunicarse entre sí y regular el flujo de información dentro del sistema diseñado. Una representación visual basada en un navegador ayuda a los diseñadores y desarrolladores a comprender mejor las interacciones que se producen en toda la red IoT. De hecho, pueden intervenir muchas entidades, tanto de hardware (por ejemplo, sensores) como de software (por ejemplo, servicios).[27]

Al utilizar Node-RED, los diseñadores y desarrolladores pueden crear redes complejas que involucren tanto entidades de hardware como de software. Los nodos pueden representar desde sensores y actuadores hasta servicios y algoritmos. Esto permite la interacción entre diferentes capas tecnológicas y la implementación de soluciones versátiles y personalizadas en el ámbito del IoT.

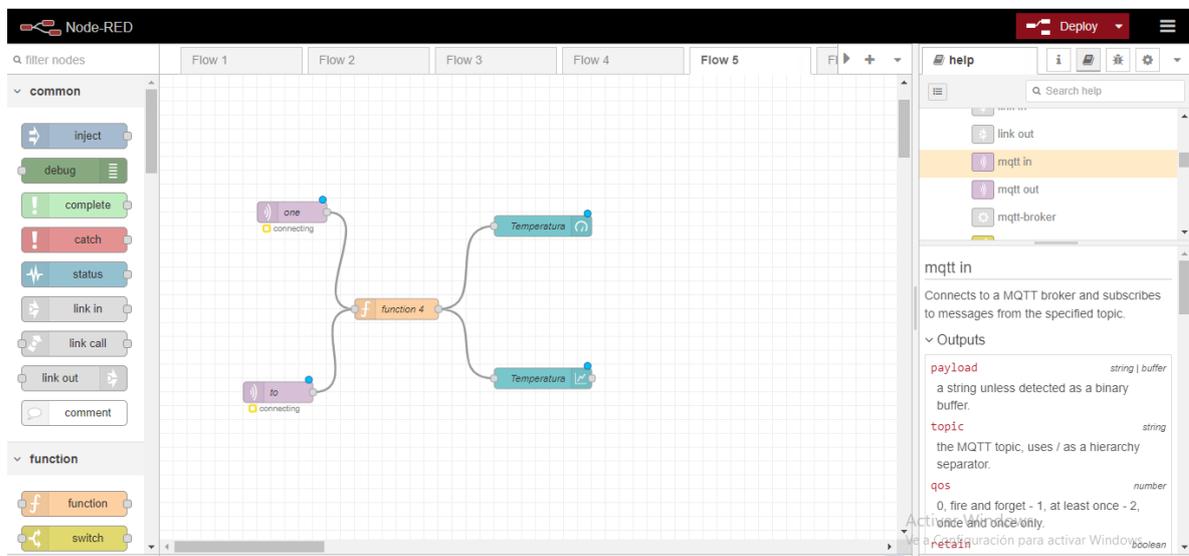


Figura 2.6: Interfaz de Node-RED

La representación visual basada en un navegador es una de las características distintivas de Node-RED. Proporciona una forma intuitiva y clara de diseñar, configurar y depurar la red IoT, en la Figura 2.6 se muestra la interfaz de la herramienta mencionada. Los diseñadores pueden arrastrar y soltar nodos en un lienzo visual y establecer conexiones lógicas entre ellos. Esta visualización ayuda a comprender las interacciones y la lógica del sistema, lo que facilita el desarrollo y la depuración de aplicaciones IoT complejas.

2.2.5.6. Aplicaciones

Las aplicaciones son interfaces de usuario que permiten a los usuarios interactuar con los datos y controlar los dispositivos IoT. Estas aplicaciones pueden ser aplicaciones móviles, aplicaciones web o incluso aplicaciones de escritorio que brindan información en tiempo real y permiten tomar decisiones basadas en los datos generados por los dispositivos IoT.

2.2.5.7. Fuente de Energía

a) Panel solar

La energía solar fotovoltaica (ESFV) constituye una fuente de energía renovable, la cual puede usarse en la generación de electricidad mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos (PSFV) que convierten la radiación solar en electricidad, haciéndola aplicables a múltiples actividades de la vida. [28]

Una celda solar típica está formada por dos capas delgadas de silicio, cada uno de ellas con un alambre (+ y -) incorporado cuyo extremo sale al exterior [29]. Una instalación, además requiere controlar del voltaje, mediante un regulador, y dirigir la corriente hacia una batería, para almacenarla. Como la corriente eléctrica producida es directa, es necesario, para algunas aplicaciones, un inversor para convertirla en corriente alterna.

Los paneles se colocan en serie para conseguir un voltaje adecuado a la aplicación eléctrica en cuestión o demandada; entonces los paneles capturan la energía solar transformándola directamente en eléctrica en forma de corriente continua, que se almacena en acumuladores, para que pueda ser utilizada fuera de las horas de luz. Los módulos fotovoltaicos admiten tanto radiación directa como difusa, pudiendo generar energía eléctrica incluso en días nublados [28].

Debido a que la energía solar es una fuente energética dependiente del clima, es necesario implementar su almacenamiento en forma de calor (y/o electricidad), para su posterior utilización. Para almacenar energía solar en forma de electricidad, se usan baterías- normales, selladas o de ciclos profundos. El tamaño o números de las baterías se pueden calcular por base de consumo diario y la capacidad de cada batería.[29]

2.2.6. Análisis económico

2.2.6.1. Retorno de la inversión – ROI

El ROI mide el rendimiento financiero de una inversión en relación con su coste. El rendimiento puede ser un pago único o un flujo de pagos. El ROI se utiliza a menudo en los mercados de capitales para comparar el rendimiento de varias inversiones.[30]

El ROI suele adoptar un enfoque de balance, en el que se anotan los beneficios y costes que siguen un protocolo determinado. Los beneficios y costes propiamente dichos se dividen en categorías privadas (internas a la empresa) y sociales (externas a la empresa). Los beneficios y costes deben incluir los valores monetizados de todos los beneficios y costes no monetarios para medir plenamente la eficiencia interna y la eficacia externa de una empresa.[31]

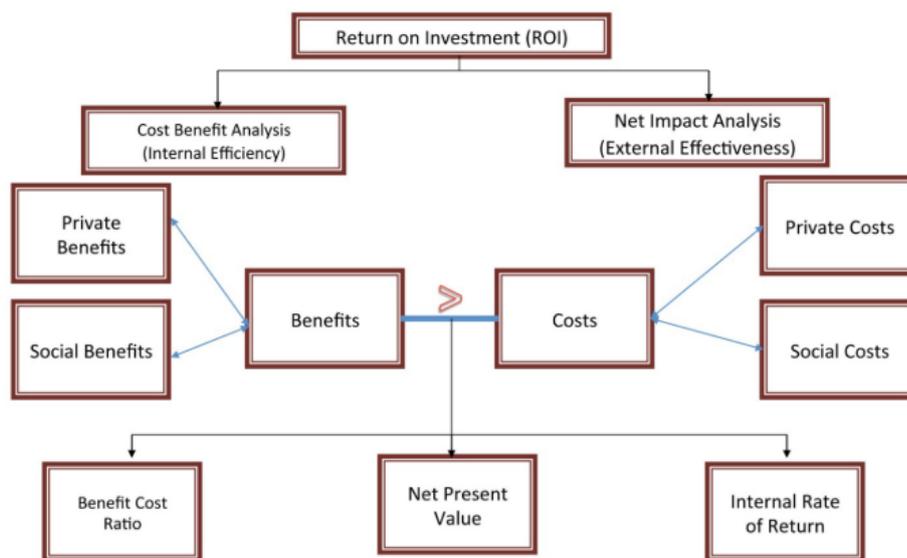


Figura 2.7: Terminología del ROI: ¿Cómo se relaciona todo? [31]

Un ROI positivo indica que la inversión ha sido rentable y ha generado ganancias mayores que los costos iniciales, lo cual es una señal positiva para continuar con un determinado proyecto de implementación. Un ROI igual a cero indica que la inversión ha tenido un retorno igual al costo inicial, sin pérdidas ni ganancias adicionales, lo que podría ser neutral en términos de rentabilidad. Por otro lado, un ROI negativo señala que los beneficios obtenidos no han sido suficientes para cubrir el costo inicial de la inversión, lo que implica pérdidas financieras y la necesidad de analizar los factores que han afectado la rentabilidad del proyecto.

El cálculo del ROI de una solución IoT incluye no sólo los cálculos de costes y ahorros iniciales, sino también las nuevas oportunidades que ofrece la solución conectada [32].

2.2.6.2. Análisis costo-beneficio (ACB)

Este criterio para clasificar proyectos de inversión ha sido una de las reglas más ampliamente utilizadas por los analistas de inversión. Desafortunadamente, a menos que se utilice con mucho cuidado, puede producir una asesoría muy engañadora sobre el atractivo relativo de las oportunidades de inversión. La razón costo-beneficio se calcula dividiendo el valor actual de los beneficios entre el valor actual de los costos, utilizando el costo de oportunidad de los fondos como la tasa de descuento [33].

$$\text{Razon Costo Beneficio} = \frac{\text{Valor actual de los beneficios}}{\text{Valor actual de los costos}} \quad (2.2)$$

Este método fue originalmente utilizado en proyectos sociales con apoyo gubernamental, cuando no era necesario que las inversiones del gobierno fueran económicamente rentables, de ahí el nombre de costo-beneficio; para aceptar un proyecto de inversión, el cociente debería tener un valor de uno, lo cual indicaba que no era necesaria la rentabilidad económica de la inversión, simplemente era necesario que se recuperaran los costos en que se había incurrido.

2.2.6.3. ¿Cómo abordar el retorno de la inversión en las soluciones del Internet de las cosas?

El gran alcance de las soluciones IoT exige una nueva forma de concebir su implantación. A diferencia de las soluciones de TI tradicionales, que afectan principalmente a la tecnología de su empresa, las soluciones de IoT pueden mejorar fundamentalmente los procesos empresariales básicos, que es la razón principal por la que pueden ser tan transformadoras [32].

La implantación de cualquier solución requiere una planificación detallada, pero es crucial comprender el caso de negocio de IoT y presentarlo de manera sencilla. A continuación, se destacan tres secciones principales que se muestran en la imagen

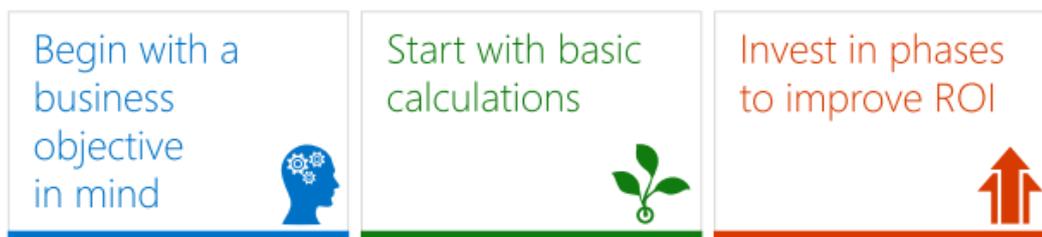


Figura 2.8: Pasos para calcular el ROI en IoT[32]

- a) Empezar con un objetivo empresarial en mente

Aunque las soluciones IoT pueden aportar valor a toda la empresa, resulta útil empezar por determinar un área de negocio específica a la que dirigir el proyecto, como las relaciones con los clientes, las cadenas de suministro o las operaciones. Al limitarse a una única área de negocio, resulta más fácil evaluar los costes y demostrar los beneficios. Sin un área de enfoque definida, demostrar el ROI resulta más complicado, ya que es difícil asociar los costes relacionados.

b) Empezar con cálculos básicos

- Calcular los costes más básicos y el ahorro potencial

Una vez identificado el objetivo, resulta útil empezar a calcular los costes más básicos asociados a esa área de la empresa. Aunque cada empresa y cada escenario son diferentes, este paso puede realizarse a menudo sin calculadoras complejas ni hojas de cálculo exhaustivas.

$$ROI = \frac{\textit{Beneficio} - \textit{Inversión}}{\textit{Inversión}} \quad (2.3)$$

Aunque estos sencillos cálculos suponen un buen punto de partida para evaluar un proyecto de IoT, no cuentan la historia completa. Con solo los cálculos básicos, puede adoptar una solución e incurrir en costes ocultos o rechazar una propuesta y perder enormes oportunidades. Para obtener una predicción más precisa del ROI, debe tener en cuenta los costes menos obvios y considerar las nuevas posibilidades de una solución conectada.

- Tenga en cuenta los costes menos evidentes

Aunque la implantación de una solución IoT ofrece la posibilidad de reducir en gran medida los costes de las operaciones empresariales normales, es importante tener en cuenta que la propia solución conlleva nuevos costes

- Examine las nuevas posibilidades de una solución conectada

Muchas empresas recurren al IoT para reducir costes y gastos. Sin embargo, una vez implantada una solución, puede generar nuevos beneficios más allá del uso previsto inicialmente. La mayoría de estos beneficios tendrán un impacto financiero calculable que, si se cuantifica, puede ayudar a respaldar su caso de negocio para una

implementación de IoT. Incluso aquellos que no se definen fácilmente por cantidades en dólares pueden apoyar una inversión en IoT.

Una solución IoT puede proporcionar beneficios de "ROI blando", como una mayor satisfacción del cliente, una mayor seguridad de los trabajadores y una mayor flexibilidad empresarial. Aunque a menudo contribuyen a aumentar los ingresos, sus beneficios financieros específicos pueden ser difíciles de discernir. Añadir valor al cliente a través de precios más bajos, mayor seguridad o una atención más rápida puede mejorar la fidelidad del cliente y el ROI.

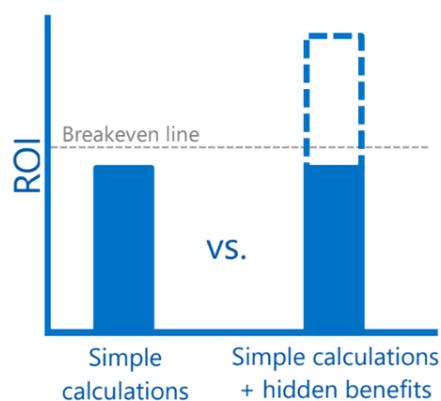


Figura 2.9: Cálculo del ROI simple VS cálculo del ROI simple más sus ventajas [32]

c) Invertir en fases para mejorar el ROI

Las inversiones por fases ayudan a minimizar el riesgo, aunque algunas implantaciones por fases pueden no maximizar su inversión inicial. Las fases permiten ajustar y perfeccionar una implantación a pequeña escala antes de ampliarla a toda la empresa. También reducen el riesgo de detectar un error, una anomalía o un problema imprevisto en plena producción y tener que rehacer cada conexión y punto de integración. Cuando se planifican correctamente, las inversiones por fases también pueden ayudarle a reducir los costes de futuras inversiones, aumentando el retorno de la inversión de toda la solución.

- Empezar poco a poco y rápido

Puede parecer contraintuitivo empezar con unos pocos dispositivos, pero un comienzo a pequeña escala le ayuda a detectar y resolver problemas antes de realizar un despliegue generalizado. Una vez que este subconjunto esté conectado, podrá decidir qué cambios adicionales del proceso empresarial son necesarios, determinar los datos más relevantes y

ajustar la solución para abordar mejor su escenario empresarial objetivo. Todo ello proporciona una base sólida para ampliar la solución cuando esté preparado.

- Escalado a producción

Tras realizar una prueba de concepto o piloto y perfeccionar la solución sobre la base de los conocimientos iniciales, el siguiente paso es ampliarla para lograr el resultado empresarial deseado. Esto puede implicar la conexión de dispositivos adicionales o la incorporación de mayores volúmenes de datos. Durante esta fase seguirá habiendo ajustes a medida que se perfeccionen los flujos de datos y se ajusten los procesos empresariales. Durante esta fase, el retorno de la inversión suele ser más perceptible, ya que el ahorro de costes derivado de la solución, como la reducción de averías en los equipos o el menor consumo de combustible, empieza a compensar las inversiones anteriores. Además, a medida que la solución se implanta en la producción, pueden hacerse ajustes basados en las lecciones aprendidas del piloto, lo que contribuye a un ROI mayor del previsto.

- Ampliar a nuevos escenarios

Con el tiempo, a medida que obtenga beneficios notables de su inversión en IoT, puede empezar a ampliarla a nuevos escenarios y necesidades empresariales. Utilizando el mismo enfoque de la primera solución, evalúe los costes de abordar nuevos escenarios y calcule el ROI esperado. Dado que las inversiones originales ya están en marcha, el retorno de la inversión debería ser mayor y alcanzarse antes para escenarios adicionales. Empiece poco a poco añadiendo una o dos capacidades nuevas al sistema existente. Perfeccione los datos, determine los procesos empresariales que deben modificarse, amplíe la solución y repita el proceso. En algunos casos, añadir nuevas funciones puede transformar por completo los procesos empresariales o crear otros totalmente nuevos.

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1. METODOLOGÍA

El proyecto se llevará a cabo utilizando un enfoque mixto de investigación, combinando elementos cualitativos y cuantitativos para obtener una comprensión completa de la problemática y evaluar la viabilidad de implementar un sistema automático de monitoreo de consumo de agua en juntas de agua.

En cuanto al tipo de investigación, se utilizará una metodología exploratoria para comprender en detalle el método de trabajo actual utilizado en las juntas de agua para medir el consumo de agua potable de cada usuario. Además, se empleará una metodología descriptiva para caracterizar el sistema propuesto de monitoreo automático de consumo de agua. La población objetivo de la investigación son las juntas de agua en la ciudad de Latacunga.

En cuanto a los métodos teóricos y empíricos, se realizará una revisión bibliográfica exhaustiva sobre tecnologías de monitoreo automático de consumo de agua, así como también se recopilarán datos empíricos mediante entrevistas a los responsables de las juntas de agua.

Las técnicas e instrumentos a utilizar incluirán la observación directa, el contacto y entrevistas con las juntas de agua, para recolectar información sobre el método actual de medición, así como también se diseñarán prototipos de medidores inteligentes de consumo de agua potable basados en tecnologías de comunicación de largo alcance (LoRa u otras), los cuales serán validados mediante pruebas en campo.

En cuanto al diseño experimental, se implementará un diseño piloto en una junta de agua, donde se instalarán los medidores inteligentes y se recopilarán datos de consumo de agua durante un periodo determinado. Estos datos se compararán con los obtenidos mediante el método tradicional de medición manual.

Además, se emplearán métodos específicos de la especialidad, como análisis de costos y beneficios económicos, para evaluar la viabilidad financiera de la implementación del sistema automático de monitoreo de consumo de agua. Se calculará el Retorno de la Inversión (ROI) que una junta de agua podría obtener al implementar este sistema.

3.1.1. Metodología *Waterfall*

La metodología *Waterfall* es un enfoque de gestión de proyectos que enfatiza una progresión lineal desde el principio hasta el final de un proyecto. Esta metodología, a menudo utilizada por

los ingenieros, se basa en una planificación cuidadosa, una documentación detallada y una ejecución consecutiva [34]. Esta metodología es un enfoque secuencial y lineal que consta de varias etapas, que se siguen en un orden específico. Estas etapas incluyen la definición de requisitos, el diseño, la implementación, la verificación y la validación, y el mantenimiento.

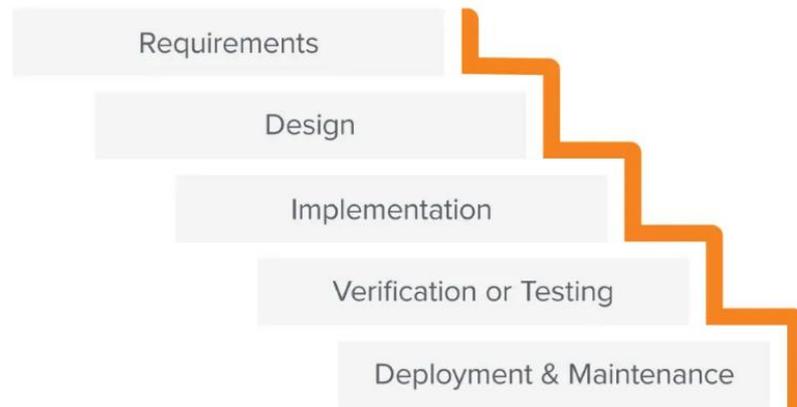


Figura 3.1: Fases de la metodología *Waterfall* [34]

Para alcanzar los objetivos propuestos al inicio del proyecto, se ha decidido implementar la metodología *Waterfall*. Esta metodología proporcionará una estructura sólida y secuencial para el desarrollo del sistema automático de monitoreo de consumo de agua en juntas de agua.

En la Figura 3.1, se muestra la representación gráfica de la metodología *Waterfall*, la cual se utilizará como marco de referencia en este proyecto. Se considerarán específicamente las cuatro primeras fases de esta metodología.

3.1.1.1. Requerimientos de la propuesta

En esta fase inicial, se abordarán los requisitos esenciales para la optimización del proceso actual de medición del consumo de agua potable en las juntas de agua. Cada paso del proceso de medición será examinado, abarcando principalmente la recolección de lecturas de los medidores.

3.1.1.2. Diseño

La etapa de diseño se destinará a la conceptualización y planificación de la arquitectura propuesta para el sistema de monitoreo automático del consumo de agua potable, cuyo desarrollo se llevará a cabo a lo largo de este enfoque tecnológico. Se establecerá una estructura coherente que permita la integración efectiva de los componentes necesarios.

3.1.1.3. Implementación

Durante la fase de implementación, se realizará un análisis para seleccionar los dispositivos adecuados que se incorporarán en el sistema propuesto. La elección de estos dispositivos será esencial para garantizar un desempeño óptimo y una operación fluida del sistema de monitoreo automático.

3.1.1.4. Verificación o testeo

A través de la etapa de verificación y pruebas, se evaluarán los logros obtenidos por el prototipo del sistema automático de medición y monitoreo desarrollado para las juntas administradoras de agua potable. Estos procedimientos permitirán validar la efectividad y precisión del sistema en condiciones reales de operación.

3.2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.2.1. Requerimientos del sistema automático del consumo de agua potable

3.2.1.1. Método actual de trabajo en las juntas administradoras de agua potable del Ecuador

En la actualidad, las juntas de agua potable en Ecuador utilizan un sistema manual para la lectura y toma de valores de los medidores de agua. En aquellas juntas que atienden a una población numerosa, se emplea a múltiples operadores dedicados a esta tarea. En contraste, cuando la población es más reducida, el mismo operador responsable del mantenimiento, reparaciones y conexiones asume la recolección de datos.

Una vez completada la tarea de toma de datos, esta información es transferida al encargado de calcular el consumo mensual de cada indicador, con el objetivo de determinar el monto a pagar por parte de los usuarios correspondientes.

Sin embargo, en ocasiones los operadores encargados de tomar las lecturas no logran registrar con precisión el valor marcado en el medidor. Esto puede ser debido a diversos factores, como medidores empañados o ubicados en espacios cerrados. Ante estas circunstancias, los operadores a veces registran valores similares a los obtenidos en lecturas anteriores o, en ocasiones, por falta de tiempo o errores humanos, asignan valores superiores al consumo real. Esta situación provoca insatisfacción entre los usuarios.

En el proceso de realizar esta actividad, algunos usuarios la llevan a cabo caminando, lo cual resulta en una pérdida de tiempo considerable. Mientras tanto, otras personas cuentan con el

apoyo de un vehículo, lo que les permite abarcar un mayor número de medidores en menos tiempo.

3.2.1.2. Método actual de trabajo en la junta administradora de agua potable "San Antonio de Aláquez"

La junta administradora de agua potable "San Antonio de Aláquez" actualmente emplea un sistema de lecturas y toma de valores manuales de los medidores residenciales. Un operario se encarga de realizar esta tarea, además de llevar a cabo otras actividades multifuncionales, como realizar conexiones de tuberías para nuevos usuarios y reparar roturas en la red.

Sin embargo, este sistema de trabajo presenta algunas limitaciones y desafíos. Por un lado, el operario debe destinar tiempo y esfuerzo para desplazarse a cada domicilio de los usuarios y tomar las lecturas de los medidores de agua. Este proceso se repite mes a mes y puede afectar a las demás responsabilidades del operario, como atender roturas de tuberías. Además, los factores externos, como el clima, pueden interferir en el desarrollo de las tareas de lectura.

En la junta administradora de agua potable "San Antonio de Aláquez", los usuarios tienen establecido un consumo mínimo de 15 metros cúbicos, el cual se factura con un valor fijo de \$2. Sin embargo, si el consumo del usuario supera este límite establecido, se aplicará un cargo adicional de 0,15 centavos por cada metro cúbico en exceso.

Para realizar la factura se debe registrar el consumo de agua en cada domicilio y utilizar esa información para calcular el consumo mensual. Esto se logra restando el consumo acumulado del mes anterior al consumo acumulado del mes actual. Estos datos son luego procesados para generar las facturas correspondientes a cada usuario.

Actualmente, la administración de la junta de agua tiene un total de 650 usuarios y tarda aproximadamente cinco días en recopilar las lecturas de los medidores. Para agilizar este proceso, el operador se desplaza en un vehículo automotor (motocicleta) y recorre una distancia aproximada de 50 kilómetros. En la Figura 3.2 se muestra la ruta general que recorre el operario todos los meses para tomar la lectura de los medidores pertenecientes a la junta de agua "San Antonio de Aláquez"

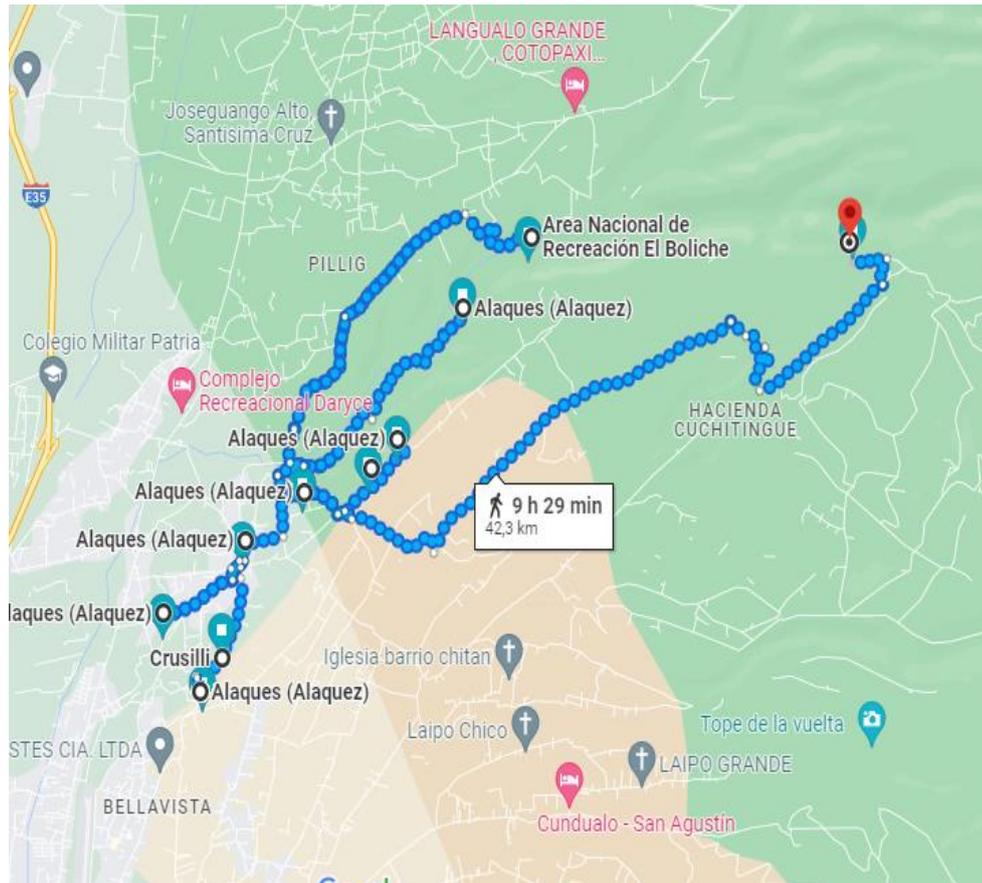


Figura 3.2: Mapa de recorrido para la toma de datos manual en la junta de agua

Para realizar la toma de lectura cuenta con un libro el cual está dividido por barrios, por lo cual realiza las tomas de lecturas por barrios y para no perder tiempo buscando a que sector o barrio pertenece a ese medidor. Debido a la experiencia por tiempo que tiene en este trabajo el operador conoce la ubicación de la mayoría de los medidores, es importante mencionar que cuando empezó con este trabajo se demoraba mucho tiempo buscando en qué lugar está ubicado el medidor, y luego buscando el número del medidor en el libro de anotaciones.

En la Figura 3.3 se muestra detalladamente el diagrama de flujo, evidenciando el proceso a seguir para la recolección y procesamiento de los datos.

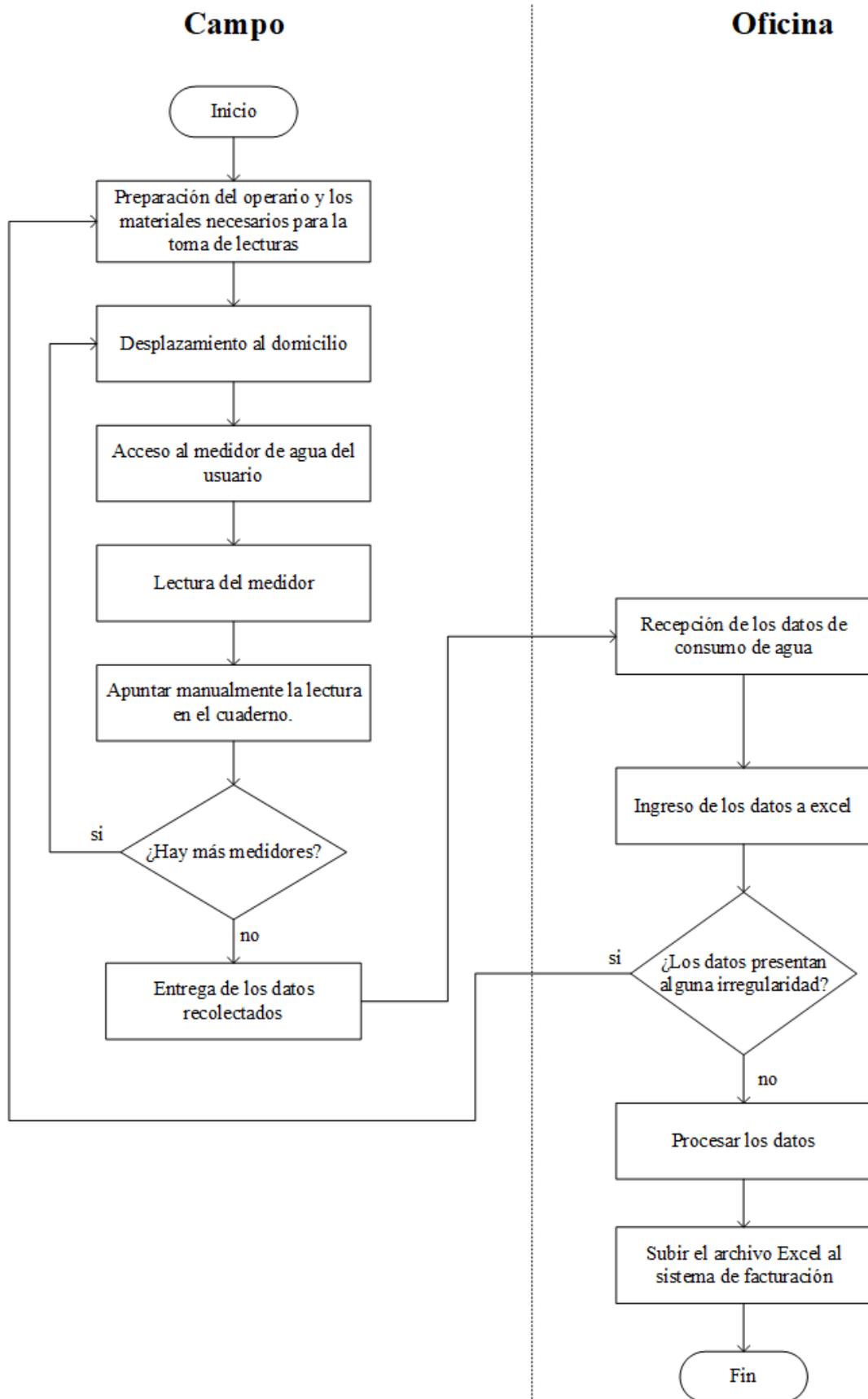


Figura 3.3: Diagrama de flujo del proceso de recolección de datos manual

En la junta de agua también existen situaciones de agua no contabilizada, ya sea debido a rotura de tubería o a conexiones ilícitas, lo cual ocasiona un promedio de pérdidas de agua mensuales de 1500 m³. Esto, a su vez, representa una pérdida económica de \$200.

3.2.1.3. Análisis del proceso de toma de lecturas manuales en la Junta de Agua

Mediante la matriz FODA representada en la Figura 3.4 se obtiene una visión global de la situación actual y las oportunidades de mejora en el proceso de medición de la junta de agua.

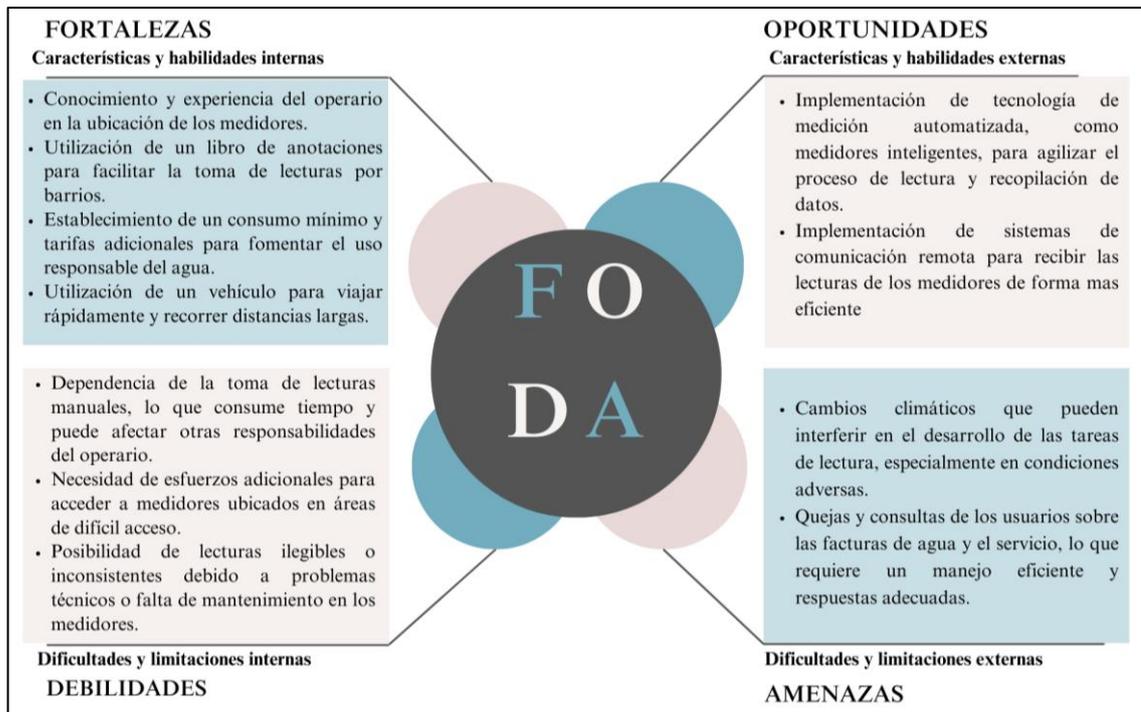


Figura 3.4: Matriz FODA del proceso manual de toma de lecturas

Para mejorar la eficiencia, la junta de agua "San Antonio de Aláquez" puede aprovechar algunas oportunidades mediante la implementación de tecnologías avanzadas, como la adopción de medidores de agua inteligentes. Aunque cuenta con fortalezas, como el conocimiento del operario en la ubicación de los medidores y el uso de motocicletas para trasladarse, también enfrenta debilidades debido a la dependencia de lecturas manuales. Esto puede resultar en lecturas incorrectas debido a errores humanos o factores climáticos que dificultan la lectura adecuada de algunos medidores.

Los medidores inteligentes permitirían una lectura automática y precisa de los consumos de agua, eliminando la dependencia de lecturas manuales. Esto evitaría los problemas asociados

con el empañamiento de medidores debido a situaciones climáticas adversas, asegurando que los datos recopilados sean siempre confiables.

El análisis de los datos obtenidos a través de estos medidores inteligentes también abre la puerta a una mayor comprensión de los patrones de consumo de agua de los usuarios. Esto permitiría una predicción más precisa del consumo y una planificación adecuada para satisfacer las necesidades de agua de la población

3.2.1.4. Eficiencia de las actividades principales del operador

El trabajo principal del operador es garantizar el adecuado mantenimiento y funcionamiento de la línea de distribución de agua de la junta de agua, lo cual es crucial para proporcionar un servicio confiable a los usuarios. Sin embargo, la toma de lecturas manuales de los medidores de agua se ha convertido en un cuello de botella en este proceso. El tiempo y los recursos que se destinan a esta tarea manual representan una carga adicional para el operador, lo que podría afectar su capacidad para atender de manera oportuna y eficiente otras labores de mantenimiento y emergencias.

$$Eficiencia\ del\ flujo = \frac{Tiempo\ de\ ejecución\ del\ trabajo}{Tiempo\ total} * 100\% \quad (3.1)$$

A continuación, se calcula la eficiencia del proceso actual utilizando la ecuación 3.1:

Días trabajados al mes = 20 días

Días destinados a la toma de lectura = 3 días

$$Eficiencia\ del\ flujo = \frac{20 - 3}{20} * 100\%$$

$$Eficiencia\ del\ flujo = 85\%$$

El trabajador de la junta de agua realiza actividades de mantenimiento, reparación de tuberías, instalación de nuevas acometidas, entre otras actividades, con una eficiencia del 85%, ya que también es el responsable de la toma de lecturas manualmente, para lo cual dedica 3 días al mes dejando de lado las actividades principales que realiza en la junta de agua.

3.2.1.5. Requisitos de mejora del proceso de toma de datos manual

Para mejorar el método de trabajo actual en la medición de los medidores de agua, se requieren los siguientes requisitos:

a) Implementación de un sistema de lectura automatizado

Se debe considerar la instalación de medidores de agua inteligentes que permitan una lectura automática y remota de los consumos. Estos medidores pueden transmitir los datos de manera inalámbrica, lo que eliminaría la necesidad de que el operario se desplace físicamente a cada domicilio.

b) Uso de un sistema de gestión de datos

Implementar un sistema centralizado de gestión de datos que almacene y procese la información de consumo de cada medidor. Esto permitiría un cálculo automatizado del consumo mensual y la generación de las facturas correspondientes, agilizando el proceso administrativo.

c) Transmisión de datos a larga distancia

Dado que la junta de agua proporciona servicios a una amplia área geográfica, es fundamental contar con una solución de comunicación de largo alcance que abarque todos los sectores involucrados.

3.2.2. Diseño del sistema de medición automática

Para mejorar el proceso actual de toma de lectura manual en los medidores de agua convencionales, se propone implementar una solución de Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés). Esta solución permitirá migrar hacia un sistema automatizado que mejorará la eficiencia del proceso y proporcionará datos confiables sobre el consumo de agua de cada usuario.

En la Figura 3.5 se puede visualizar la arquitectura IoT inicial para el sistema de medidor de agua inteligente, en la cual se evidencian los dispositivos a utilizar para llevar a cabo dicho sistema. Para llevar a cabo el diseño del prototipo del medidor inteligente, se seguirá la arquitectura de Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés). Esta arquitectura proporciona un marco sólido para la integración y comunicación de los dispositivos en un entorno conectado.

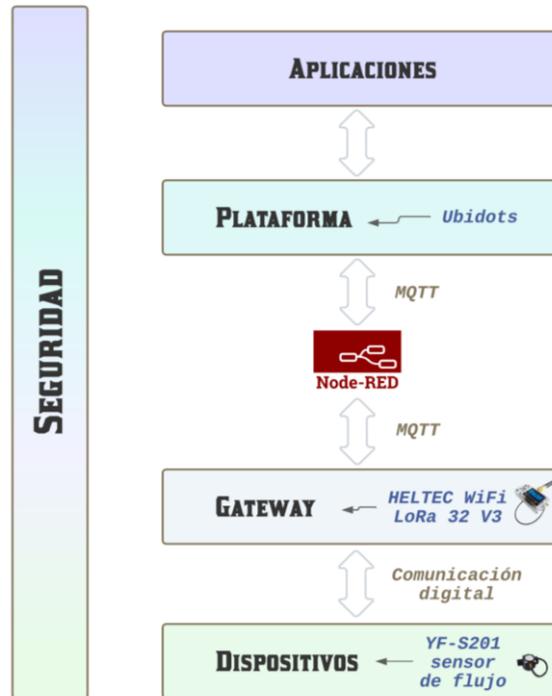


Figura 3.5: Arquitectura inicial del sistema de monitoreo automático

3.2.2.1. Dispositivos

La primera etapa en el diseño del prototipo será determinar los dispositivos a utilizar. Es importante seleccionar cuidadosamente los componentes que formarán parte del medidor inteligente para asegurar su funcionalidad y rendimiento óptimos.

El sensor de flujo desempeña un papel esencial en el medidor inteligente, ya que será responsable de medir y monitorear el caudal de agua que atraviesa el medidor. Es crucial seleccionar un sensor de flujo de alta calidad y precisión para asegurar una medición precisa y confiable del consumo de agua.

a) Selección del sensor de flujo o caudalímetro

La selección del caudalímetro es un proceso crucial que requiere considerar los criterios de mayor presión de trabajo, costo y precisión, ya que estos factores tienen un impacto directo en el rendimiento y la eficiencia del sistema de medición de caudal.

Se ponen a consideración tres sensores de flujo nombrados en la Tabla 3.1 de los cuales se especifican sus características.

Tabla 3.1: Características comerciales de Sensores de Flujo

Parámetro	YF-S201	YF-S201B	YF-S201C
Figura referencial			
Voltaje de funcionamiento	3,5 V a 18 V	3,5 V a 12 V	5 V a 24 V
Corriente de funcionamiento	15 mA @ 5 V	15 mA @ 5 V	15 mA @ 5 V
Diámetro de los conectores	1/2"	1/2"	1/2"
Rango de temperatura de funcionamiento	-25°C a 80°C	-25°C a 80°C	-25°C a 80°C
Presión Máxima	1,75 MPa	2,00 MPa	1,75 MPa
Rango de caudal	1 a 30 L/min	1 - 30 L/min	1 - 30 L/min
Factor de conversión	7,5	7,5	4,5
Precisión	±10%	±5%	±3%
Costo	\$ 9,00	\$ 11,00	\$ 15,00

Con las características dadas de cada sensor se realiza una tabla de ponderaciones para determinar que sensor de flujo es el más adecuado para el prototipo de medición de agua inteligente. Las características son calificadas del 0 al 5, en la Tabla 3.2 se definen los criterios de calificación para realizar las siguientes tablas de ponderaciones.

Tabla 3.2: Criterios de calificaciones

Valor	Calificación	Descripción
5	Sobresaliente	Cumple requisito y es el mejor del parámetro
4	Excelente	Cumple requisito, pero no es el mejor
3	Bueno	Cumple requisito, pero es el peor
2	Regular	Cumple requisito parcialmente
1	Malo	Cumple requisito parcialmente y es el peor
0	Deficiente	No cumple

Para determinar que sensor de flujo es el adecuado para el sistema de medición de flujo de agua se realiza una ponderación, dándole más peso al costo y luego a la precisión del sensor.

Tabla 3.3: Ponderación de los sensores de flujo

Parámetro	Ponderación	YF-S201	YF-S201B	YF-S201C
Corriente de funcionamiento	10%	5	5	5
Diámetro de los conectores	10%	5	5	5
Rango de temperatura de funcionamiento	10%	5	5	5
Presión Máxima	10%	5	5	5
Caudal de trabajo	10%	5	5	5
Precisión	20%	3	4	5
Costo	30%	5	4	3
Resultado	100%	92%	90%	88%

Al analizar la Tabla 3.3 que muestra las características comerciales de los sensores de flujo ponderadas, se puede concluir que la mejor opción es el YF-S201, debido a su mayor rango de presión, costo y precisión. Considerando la relación entre costo y prestaciones, el YF-S201 ofrece un equilibrio adecuado, brindando un buen rendimiento a un precio competitivo.

3.2.2.2. Gateway

La implementación de una comunicación de largo alcance, como una red de baja potencia y largo alcance (LPWAN, por sus siglas en inglés), es necesaria para garantizar una cobertura efectiva de todos los medidores de agua en la extensa área de servicio. Esta tecnología de comunicación permite la transmisión de datos a distancias significativas, superando las limitaciones de las redes tradicionales.

a) Selección de comunicación LPWAN

Al momento de realizar una red inalámbrica, el factor principal a considerar es la comunicación máquina-máquina entre los elementos de la red. Esto es especialmente relevante al implementar una aplicación de monitoreo de consumo de agua en áreas rurales, donde la distancia entre los medidores de agua puede ser considerable.

En este contexto, es crucial elegir la mejor opción tecnológica para garantizar una comunicación eficiente y confiable. Dos de las opciones más conocidas para comunicaciones de largo alcance y baja potencia son SigFox y LoRa.

En la Tabla 3.4 se muestra una comparación entre comunicaciones de largo alcance y baja potencia, las cuales son SigFox y LoRa.

Tabla 3.4: Tabla comparativa entre comunicaciones LPWAN

Parámetros	SigFox	LoRa
Banda de frecuencia	868/902 MHz (ISM)	433/868/780/915 MHz (ISM)
Rango urbano	3 km a 10 km	2 km a 5 km
Rango Rural	30 km a 50 km	15 km a 20 km
Número de mensajes de envío	7 mensajes/h	Definido por el usuario
Número de mensajes de recepción	4 mensajes/día	Definido por el usuario
Tamaño del paquete	12 bytes	Definido por el usuario
Dispositivos por punto de acceso	1 millón	100 mil
Estado	En desarrollo	Especificaciones publicadas en junio de 2015
Topología	Estrella	Estrella
Organización o empresa	SigFox	Alianza LoRa
Cobertura	50 países	Se crea cobertura en cualquier lugar
Accesibilidad	Suscripción	Compra de módulos
Costo	Medio-alto	Bajo

Es una elección acertada seleccionar la comunicación LoRa, considerando la comparación en la Tabla 3.4, LoRa ofrece varias ventajas que lo hacen una opción ideal para la aplicación de monitoreo de consumo de agua en áreas rurales con distancias considerables entre los medidores.

Al analizar los resultados de la ponderación de las características más importantes entre las tecnologías SigFox y LoRa descritos en la Tabla 3.5, se obtiene que la tecnología LoRa obtiene una puntuación más alta con un 78% frente al 56% de SigFox. Esto indica que, en general, LoRa es más favorable en términos de las características consideradas para esta evaluación.

A pesar de que LoRa lleva una ventaja del 22% en cuanto a sus características, es importante mencionar que la tecnología SigFox no se encuentra disponible en el país. Esta situación limita la viabilidad de considerar SigFox como una opción para la comunicación inalámbrica, lo que deja a LoRa como la alternativa más viable en esta región.

Tabla 3.5: Ponderación de tecnologías LPWAN

Parámetro	Ponderación	SigFox	LoRa
Banda de frecuencia	10%	5	5
Rango urbano	10%	5	3
Rango Rural	10%	5	3
Número de mensajes de envío	10%	3	5
Número de mensajes de recepción	10%	1	5
Tamaño del paquete	10%	2	5
Dispositivos por punto de acceso	10%	5	4
Disponibilidad	15%	0	5
Costo	15%	3	5
Resultado	100%	61%	90%

La tecnología de red LoRa presenta varias ventajas para el sistema de medición de agua. En primer lugar, LoRa tiene un largo alcance, lo que garantiza que los datos puedan ser transmitidos de manera efectiva a largas distancias, incluso en áreas rurales con geografía compleja.

En segundo lugar, la tecnología LoRa es conocida por su eficiencia en el consumo de energía, lo que permite que los dispositivos de monitoreo funcionen durante períodos prolongados con

baterías de larga duración, reduciendo así la necesidad de un mantenimiento frecuente y costoso.

Además, LoRa permite enviar grandes cantidades de datos, lo que es crucial para una aplicación de monitoreo de consumo de agua, donde es necesario recopilar información detallada y precisa sobre el uso del recurso hídrico. Otro aspecto importante es el costo. LoRa es una tecnología asequible en términos de infraestructura y dispositivos, lo que contribuye a una implementación más económica y accesible, especialmente en áreas rurales donde los recursos pueden ser limitados.

La combinación de estas características hace que LoRa sea una opción altamente adecuada para una red inalámbrica de monitoreo de consumo de agua en juntas de agua en áreas rurales. Al permitir una comunicación eficiente, capacidad para enviar grandes cantidades de datos y ser una solución de bajo costo, LoRa se convierte en una herramienta valiosa para mejorar la gestión y eficiencia en el uso del agua en estas comunidades.

Con el fin de asegurar que los datos transmitidos por los nodos lleguen de manera efectiva a la base central o *Gateway*, LoRa emplea una topología en forma de estrella. En esta configuración, la información obtenida por los nodos se desplaza en niveles ascendentes hasta alcanzar el *Gateway*, que actúa como punto central de recopilación.

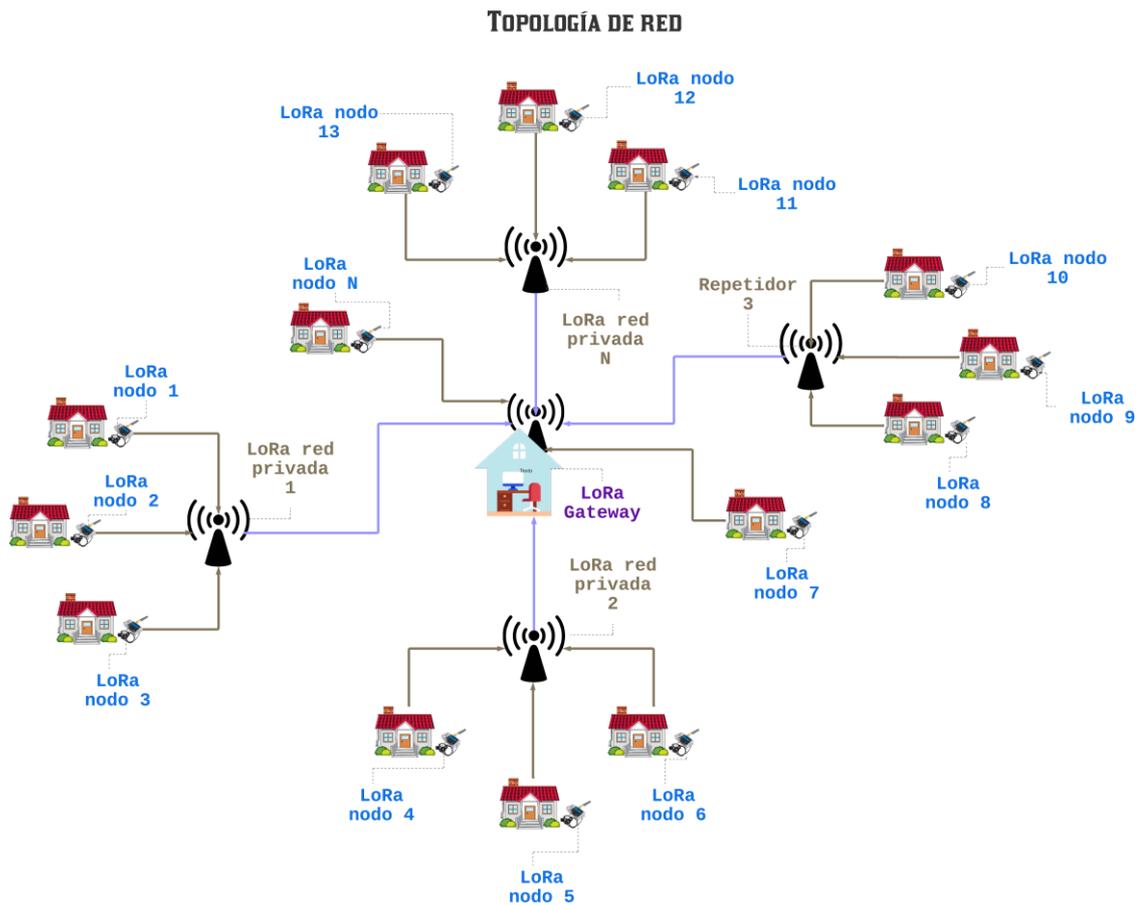


Figura 3.6: Topología de red del sistema de medición de agua inteligente

La topología de red se compone de un *Gateway* central con múltiples emisores y repetidores conectados a él. En la Figura 3.6 se muestra el mapa lógico de los medidores de agua inteligente. El emisor se encarga de censar el flujo utilizado y si este se encuentra lejos del *Gateway* la información pasa a un repetidor, el cual toma el dato de agua utilizada y lo envía al *Gateway*. Por otro lado, si el emisor se encuentra dentro de la cobertura de señal principal, la información va directo al *Gateway*.

b) Selección de antenas de radiofrecuencia.

Para la selección de las antenas a utilizar, se han tomado en cuenta las pruebas realizadas por un creador de contenido alemán en el cual se detallaron los resultados obtenidos con diferentes antenas [35]. Con base en dichos resultados, se procede a verificar y adquirir las mejores antenas para el proyecto.

Las pruebas consistieron en el envío de datos desde un punto fijo utilizando cuatro antenas diferentes, mientras que el receptor se colocó en distintas ubicaciones con diferentes condiciones. En la Figura 3.7 se observa cuatro antenas, TX1, TX2, TX3, TX4.

La antena TX1 es una antena multibanda que funciona para diferentes aplicaciones, como wifi y LoRa. Por otra parte, la antena TX2 cuenta con un soporte magnético diseñado para colocarse en un automóvil. La antena TX3, fabricada con fibra de vidrio, es ideal para su uso en exteriores y condiciones atmosféricas variables. Por último, la antena TX4 es la antena incluida con la compra de las placas de desarrollo Heltec Wifi Lora 32.

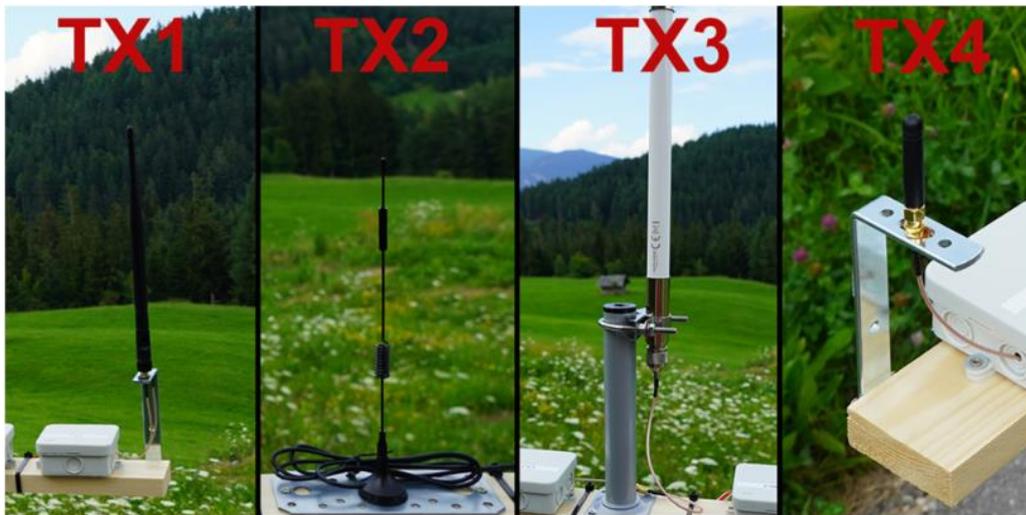


Figura 3.7: Antenas Lora [35]

Los resultados obtenidos se encuentran detallados en la Tabla 3.6 la cual ha sido utilizada como referencia para tomar decisiones de compra tanto para la antena del *Gateway* como para el medidor de agua inteligente, Con esto en mente, se buscó asegurar un rendimiento óptimo y una buena relación calidad-precio en la adquisición de las antenas necesarias.

Teniendo en cuenta los datos recopilados en la Tabla 3.6 se procedió a evaluar las opciones disponibles y se seleccionaron las antenas más adecuadas para cada caso. Para el repetidor de mensaje, se optó por la antena TX3 debido a su capacidad de resistir condiciones exteriores y por ofrecer un excelente rendimiento en términos de alcance y estabilidad de la señal. Esto garantiza una comunicación efectiva con los dispositivos emisores y receptores en el entorno deseado.

Tabla 3.6: Tabla de resultados de pruebas de antenas [35]

Nº	Distancia (m)	Ambiente, Vista	TX1	TX2	TX3	TX4
1	613	Detrás de la colina, sin vista	-96 dBm	-101 dBm	-94 dBm	-110 dBm
2	6.400	Límites de la ciudad, bosque	-119 dBm		-118 dBm	
3	12.350	Prado, vista libre	-114 dBm	-121 dBm	-115 dBm	
4	10.360	Zona boscosa, poca visibilidad.	-110 dBm	-121 dBm	-118 dBm	
5	7.960	Área urbana, vista despejada	-119 dBm		-117 dBm	-110 dBm
6	6.830	Céntrico, sin vistas	-114 dBm		-116 dBm	
7	6.640	Céntrico, sin vistas	-121 dBm			
8	6.100	Céntrico, sin vistas	-116 dBm			
9	5.180	Límites de la ciudad, apenas visibilidad	-114 dBm	-121dBm	-122dBm	
10	4.780	Límites de la ciudad, apenas visibilidad	-121 dBm	-122dBm	-116dBm	

Por otro lado, para *Gateway*, se priorizó la antena TX1. Esta antena cuenta con características específicas que permiten una cobertura óptima en el área donde se instalará el sistema. La elección de la antena TX1 se basó en su capacidad para proporcionar una medición precisa y confiable, asegurando así la calidad de los datos recopilados por el medidor.

c) Selección del *Gateway*

Al diseñar una aplicación IoT con la tecnología LoRa, es crucial considerar que se necesitan un dispositivo emisor y otro receptor con una configuración idéntica en el dispositivo LoRa integrado. Para lograr la conexión deseada entre los dispositivos IoT, se recomienda utilizar dos placas de desarrollo similares. En Ecuador, existen varias opciones de placas LoRa disponibles, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- WiFi LoRa 32 V2.1
- WiFi LoRa 32 V3
- LoRa32 V1.0
- LoRa V2.1_1.6

En la Tabla 3.7 se presentan las características técnicas de las placas comerciales mencionadas anteriormente que pueden ser utilizadas como emisor y *Gateway*.

Tabla 3.7: Características técnicas de placas comerciales Dispositivo y *Gateway*

Parámetro	WiFi LoRa 32 V2.1	WiFi LoRa 32 V3	LoRa32 V1.0	LoRa 32 V2.1_1.6
Figura referencial				
Marca	Heltec	Heltec	LILYGO®TTGO	LILYGO®TTGO
Microcontrolador	ESP32-DO	ESP32-S3FN8	ESP32	ESP32 PICO-D4
Voltaje de funcionamiento	5 V	5 V	3,3 V a 7 V	5 V
Voltaje de batería	3,7 V a 4,2 V	3,7 V a 4,2 V	3,7 V a 4,2 V	3,7 V a 4,2 V
Sleep curren	800 uA	<10 uA	20 mA	1,5 uA
Rango de temperatura de funcionamiento	-20 °C a 70 °C	-20 °C a 70 °C	-40 °C a 90 °C	-40 °C a 85 °C
Potencia de transmisión	20 dBm	22 dBm	20 dBm	20 dBm
GPIOs	27	28	36	18
Puerto I2C	SI	SI	SI	SI
Módulo Wifi integrado	SI	SI	SI	SI
Módulo Bluetooth integrado	SI	SI	SI	SI
Módulo LoRa integrado	SX1276/SX1278	SX1262	SX1276/SX1278	SX-1276
Protocolo MQTT	SI	SI	SI	SI
Costo	USD 35,00	USD 38,00	USD 39,00	USD 45,00

En la Tabla 3.7 se presentan las características técnicas de las placas comerciales que pueden ser utilizadas como emisor, repetidor y *Gateway*. Para determinar que placa es mejor incluir en el sistema de medición de agua inteligente se realiza una ponderación de las características importantes que aporten al sistema.

Tabla 3.8: Ponderación de las placas comerciales

Parámetro	Ponderación	WiFi LoRa 32 V2.1	WiFi LoRa 32 V3	LoRa32 V1.0	LoRa 32 V2.1_1.6
Voltaje de funcionamiento	10%	4	4	5	4
Voltaje de batería	5%	5	5	5	5
Sleep curren	10%	3	4	1	5
Potencia de transmisión	20%	4	5	4	4
GPIOs	10%	4	4	5	3
Módulo WiFi integrado	10%	5	5	5	5
Módulo LoRa integrado	20%	4	5	4	3
Protocolo MQTT	5%	5	5	5	5
Costo	10%	5	4	4	3
Puntaje	100%	84%	92%	82%	78%

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 3.8 se ha seleccionado la placa Heltec WiFi LoRa 32 V3 tanto como dispositivo emisor como para dispositivo receptor (*Gateway*).

Esta elección se basa en varios factores. En primer lugar, la placa Heltec WiFi LoRa 32 V3 ofrece una excelente potencia de transmisión de datos LoRa, lo cual es fundamental para garantizar una comunicación efectiva y confiable en nuestra red. Además, esta placa tiene un consumo energético muy bajo, lo que permite mantener el dispositivo funcionando durante largos períodos de tiempo sin tener que preocuparnos por el agotamiento de la batería.

En cuanto a la economía, la placa Heltec WiFi LoRa 32 V3 es una opción muy asequible en comparación con otras placas disponibles en el mercado. Esto permite implementar la red a un costo razonable sin comprometer la calidad o funcionalidad.

Por último, pero no menos importante, la placa Heltec WiFi LoRa 32 V3 se destaca por su tamaño compacto y reducido. Esto es especialmente mejorado, ya que permite instalar el dispositivo emisor en espacios limitados y transportar fácilmente el *Gateway* a diferentes líneas según nuestras necesidades.

En resumen, la placa Heltec WiFi LoRa 32 V3 cumple con todos los requisitos en términos de potencia de transmisión de datos LoRa, bajo consumo energético, economía, tamaño compacto y reducido. Por estas razones, consideramos que es la elección ideal para el proyecto.

3.2.2.3. Plataforma

a) Protocolo de comunicación del *Gateway* a la Plataforma

Para que el mensaje recibido por el *Gateway* sea enviado a una herramienta que procese el mensaje se utiliza un protocolo de comunicación MQTT el cual se maneja por cliente/suscriptor, en el que el cliente publica información en un determinado tópico u solo las personas suscritas lo reciben.

En el caso del sistema de medición de agua inteligente el *Gateway* es el cliente y la herramienta encargada del procesamiento de datos es el suscriptor. El tópico que se utiliza para enviar y recibir los mensajes es: Número de cuenta/ Volumen. En la Figura 3.8 se muestra un ejemplo de un tópico junto con su descripción.



Figura 3.8: Estructura de los tópicos MQTT

b) Interfaz entre el *Gateway* y la plataforma

El mensaje enviado a través de MQTT llega a una interfaz de usuario conocida como Node-RED, la cual permite la programación visual basada en flujos. A través de un nodo único en la plataforma, esta interfaz se suscribe al tópico correspondiente y, con una programación específica, logra separar los datos enviados por el *Gateway* para facilitar su comprensión.

Desde esta interfaz se genera un archivo CSV que registra el consumo acumulado de cada medidor, y se lleva a cabo la operación pertinente para que los usuarios puedan visualizar su consumo en una plataforma designada.

En la Figura 3.9 se muestra cómo Node-RED se convierte en un enlace fundamental para establecer una comunicación efectiva con la plataforma Ubidots. Este sistema cumple una función esencial al procesar y almacenar los datos que provienen del medidor inteligente, utilizando un flujo de nodos. Un aspecto sobresaliente de este flujo, es la capacidad de calcular automáticamente el consumo mensual en tiempo real, el cual es posteriormente transmitido en Ubidots.

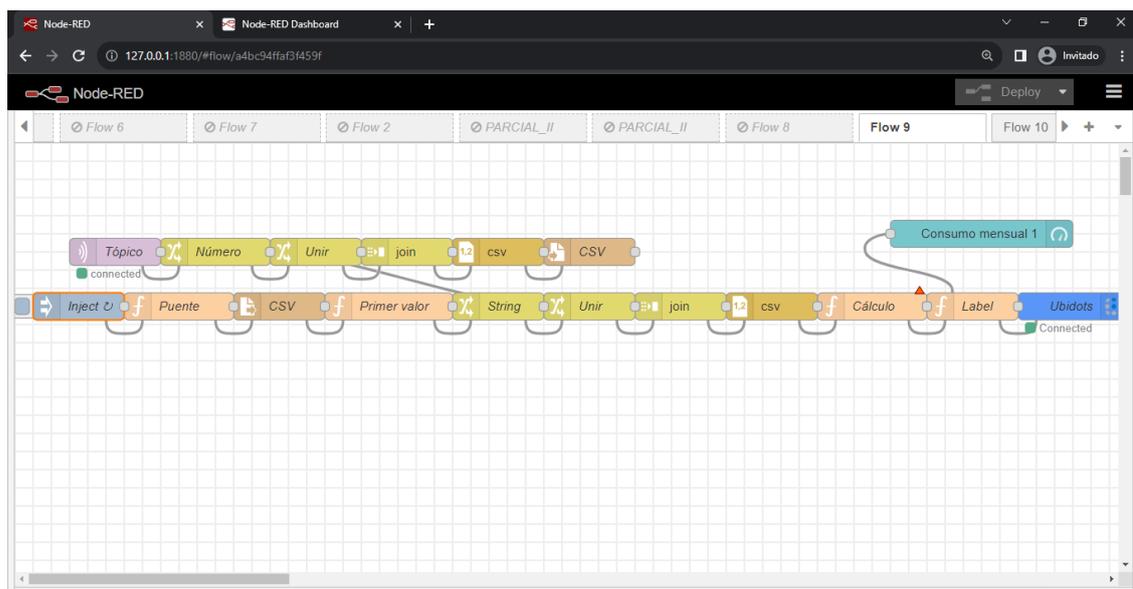


Figura 3.9: Flujo de consumo mensual

Un elemento destacado de esta implementación es la función de cálculo automático del consumo mensual en tiempo real. Esta característica es de gran valor para los usuarios finales y administradores, ya que proporciona un acceso rápido y actualizado a la información sobre su consumo de agua. De esta manera, los usuarios pueden monitorear su uso de agua de manera más consciente y tomar medidas para promover prácticas de conservación.

La integración de Node-RED con la plataforma Ubidots resulta en una poderosa sinergia que facilita la gestión y visualización de datos de manera más eficiente. Gracias a los nodos personalizados y su configuración, se logra una manipulación precisa de los datos recibidos del medidor inteligente. El flujo diseñado permite procesar y transformar los datos brutos en información útil y significativa.

c) Plataforma Ubidots

En Ubidots, los datos de consumo de agua se pueden visualizar en tiempo real a través de paneles personalizados, lo que permite a los usuarios monitorear su consumo y detectar patrones o anomalías. Además, Ubidots ofrece funciones adicionales, como la generación de informes y la configuración de alertas, lo que brinda una mayor capacidad de control y análisis de los datos.



Figura 3.10: Visualización de consumo de agua en Ubidots

En la Figura 3.10 se presenta un widget que brinda una visualización concisa del consumo de agua registrado en un medidor específico. Cada usuario cuenta con acceso a un panel de demostración que exhibe la información de consumo correspondiente a su medidor individual. De esta manera, el usuario se mantiene informado acerca de su consumo mensual de agua. Es importante destacar que este consumo se reinicia al comienzo de cada mes.

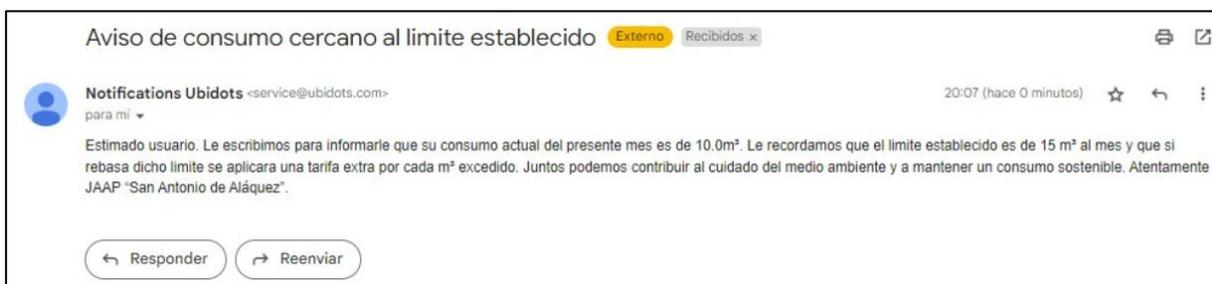


Figura 3.11: Correo electrónico de advertencia enviado por Ubidots

Cuando el consumo del usuario se acerca al límite establecido por la junta de agua automáticamente se envía un mensaje de Ubidots al usuario, como se muestra en la Figura 3.11. Estas alertas son enviadas por medio de correo electrónico al correo del dueño del medidor de agua.

3.2.2.4. Diseño final del sistema automático de monitoreo de consumo de agua potable

Una vez que se ha elegido el hardware y el software para el sistema automático, es viable proceder con el diseño de la infraestructura IoT del sistema. Este diseño se detalla en la Figura 3.12, en la que se presentan los dispositivos empleados en las dos primeras capas y su interconexión. Además, se muestra la plataforma seleccionada y cómo se establece la comunicación del mensaje hasta llegar a dicha plataforma. El sistema automatizado de monitoreo de consumo de agua opera hasta la tercera capa de IoT, lo que implica que no se abarca el nivel de aplicación.

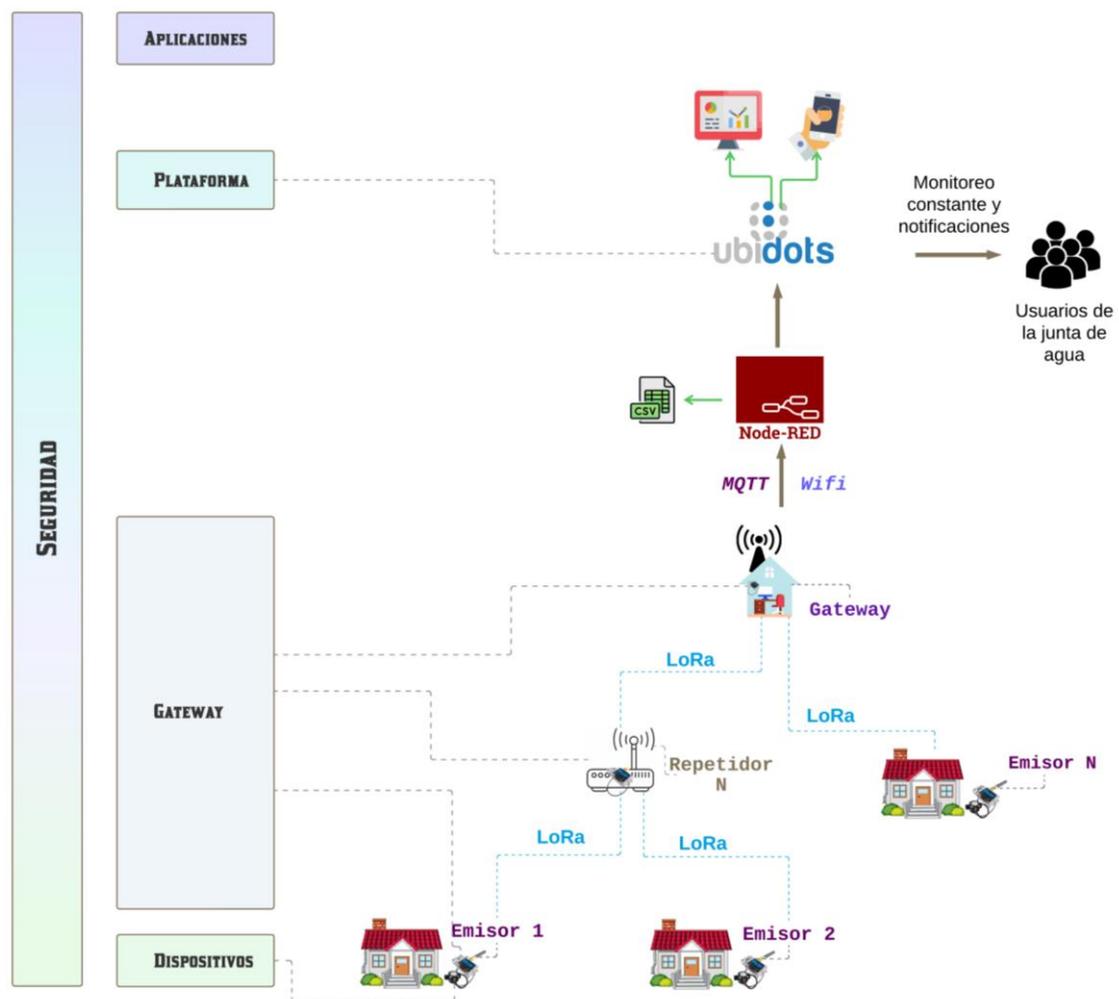


Figura 3.12: Arquitectura IoT final del sistema automático de monitoreo de consumo de agua potable

3.2.3. Implementación

3.2.3.1. Programación de la placa Heltec WiFi LoRa 32 V3

- a) Preparación del Entorno de programación para el módulo Heltec WiFi LoRa 32 V3.

En el desarrollo de este proyecto, se emplea el entorno de desarrollo Arduino IDE para programar y configurar el módulo Heltec WiFi LoRa 32 V3. Para que la computadora pueda reconocer correctamente el dispositivo, es necesario instalar el controlador CP210X, el cual permite la comunicación con el chip integrado CP2102 USB a puerto serie que se encuentra en la placa de desarrollo Heltec WiFi LoRa 32 V3.

Para simplificar la instalación del controlador, se puede utilizar el código QR que se muestra en la Figura 3.13. Al escanear este código con un dispositivo móvil o una herramienta de escaneo de códigos QR, se redirigirá automáticamente al enlace de descarga del controlador CP210X.



Figura 3.13: Código QR para descarga del controlador CP210X

Una vez descargado el controlador, se deben seguir las instrucciones proporcionadas para su instalación adecuada. Esto permitirá establecer la conexión adecuada entre la placa de desarrollo y la computadora, lo que es fundamental para cargar el código y realizar la programación del dispositivo.

b) Gestor de la placa Heltec WiFi LoRa 32 V3 en el entorno Arduino IDE

Para poder utilizar la placa Heltec WiFi LoRa 32 V3 en el entorno de Arduino IDE, es necesario descargar un paquete zip especial que no está disponible directamente a través de *Heltec Automation*. Para facilitar esta descarga, se puede utilizar el código QR que se muestra en la Figura 3.14, el cual se dirigirá automáticamente al enlace de descarga del paquete zip necesario.



Figura 3.14: Código QR para descarga del gestor de placa Wifi Lora32 V3

Una vez descargado el paquete zip, es necesario crear una carpeta llamada "hardware" dentro de la carpeta de instalación de Arduino IDE, tal como se muestra en la Figura 3.15. Esta carpeta "hardware" es el lugar donde se colocarán los archivos descargados del paquete zip.

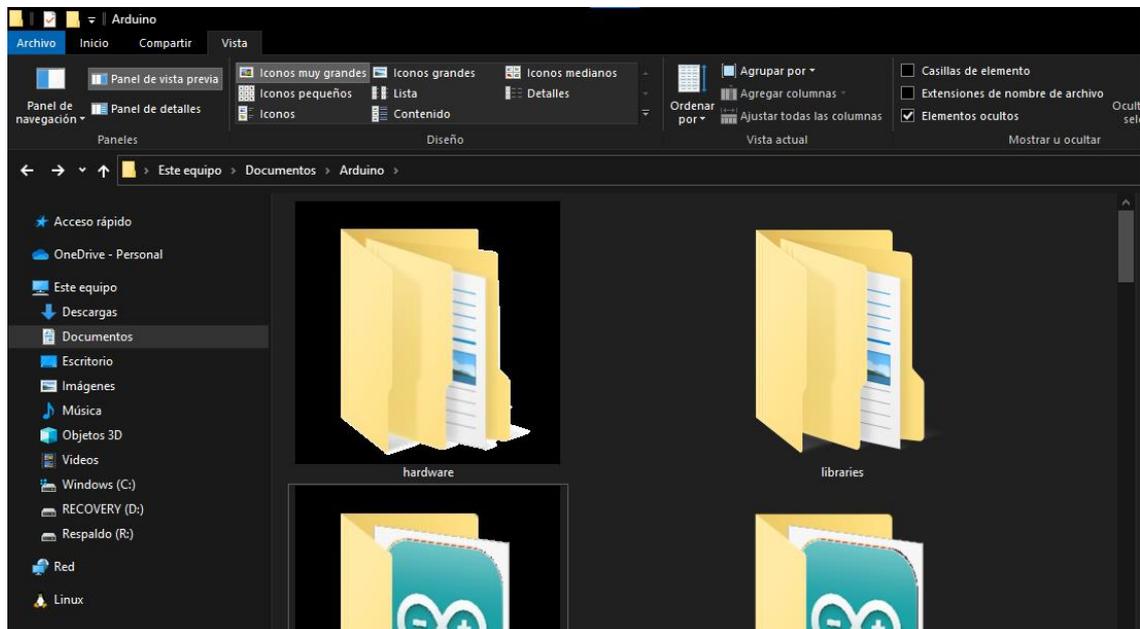


Figura 3.15: Ubicación de la librería en la carpeta correspondiente

Después de descargar el paquete zip, es necesario descomprimirlo dentro de la carpeta "hardware" previamente creada. Esto permitirá utilizar la placa de desarrollo Heltec WiFi LoRa 32 V3 en el entorno de Arduino IDE.

La creación de esta carpeta es importante porque permite que Arduino IDE reconozca y gestione correctamente la placa Heltec WiFi LoRa 32 V3 durante el proceso de programación. Al ubicar los archivos descargados en la carpeta "hardware", se asegura que Arduino IDE pueda acceder a ellos y utilizarlos para la configuración y programación de la placa.

c) Librerías a utilizar

Algunas librerías pueden ser descargadas directamente desde el gestor de bibliotecas de Arduino IDE. Este gestor permite buscar, descargar e instalar librerías de forma sencilla y conveniente.

Una de las librerías fundamentales es la que sirve para configurar LoRa, la cual es esencial para la configuración del chip LoRa SX1262. Esta librería proporciona las funciones y herramientas necesarias para utilizar el módulo LoRa de manera eficiente y realizar la comunicación inalámbrica.

d) Programación del medidor inteligente

Para garantizar una compilación correcta del código, es importante tener instaladas todas las librerías necesarias.

```

9   SX126XLT LT;
10  #define NSS 8
11  #define NRESET 12
12  #define RFBUSY 13
13  #define DIO1 14
14  #define LED1 35
15  #define LORA_DEVICE DEVICE_SX1262
16  #define TXpower 20
17  #define TXtimeout 5000

```

Figura 3.16: Configuración del dispositivo LoRa

En la Figura 3.16 se describen los pines NSS, NRESET, RFBUSY, y DIO1 que se utilizan para encender el dispositivo LoRa, además se establece el dispositivo, que en este caso es SX1262 creando un LT para utilizar diversas funciones de la librería. Por otro lado, el parámetro TXpower sirve para establecer la potencia de salida en dBm la cual corresponde al alcance de la transmisión del mensaje.

```

21  uint16_t PayloadCRC;
22  uint8_t TXPayloadL;
23  uint8_t TXPacketL;
24  int cuenta = 1;
25  const uint16_t NetworkID = 0x3209;

```

Figura 3.17: Variables del paquete LoRa

En la Figura 3.17 se tienen variables que almacenan partes importantes del mensaje, como el cálculo CRC para detección de error en los datos (PayloadCRC), longitud de carga útil (TXPayloadL), tamaño del paquete (TXPacketL). y la identificación de la red (NetworkID).

```

27  #define PinSensor 48
28  volatile int pulseConter;
29  // YF-S201
30  const float factorK = 6.9092827;
31  float frequency = 0;
32  float flow_Lmin = 0;
33  float volume = 0;
34  float volumen = 0;
35  float lastvolume = 0;
36  long t0 = 0;
37  long dt=0; //variación de tiempo por cada bucle

```

Figura 3.18: Configuración del sensor de flujo

En la Figura 3.18 se encuentran los ajustes para el sensor de flujo YF-S201 con el factor K de 6,91. El dispositivo une el número de cuenta, el volumen consumido y transmite ese mensaje por medio de LoRa,

e) Determinación del factor para reducir el error en el sensor YF-201

Para determinar el factor del sensor, se implementó un código que contaba el número de pulsos generados en un minuto, utilizando la ecuación 3.2 para calcular dicho factor. Para llevar a cabo el proceso de prueba, el medidor se instaló en un dispensador de agua, y posteriormente se pesó el agua utilizando una balanza digital, considerando que la densidad del agua es de 1 kg/L.

Con base en los datos obtenidos, se reducirá el factor con el menor error de medición. Esta metodología permitió identificar el valor más preciso para el factor del sensor, asegurando una mayor exactitud en las medidas realizadas. Adicionalmente, se tomó en cuenta la posibilidad de obtener más muestras con el fin de seguir perfeccionando la corrección del error.

$$k = \frac{N^{\circ}}{V * T} \quad (3.2)$$

Donde:

K: Factor de conversión

N°: Número de pulsos en un minuto

V: Volumen de agua de prueba

T: Tiempo de medición 60 segundos

Cada vez que una muestra fue tomada se reiniciaba desde cero el medidor, para obtener valores similares en ambos dispositivos de medición.

f) Programación del *Gateway*

Para programar la *Gateway*, es esencial realizar el cambio de comunicación, es decir, el mensaje recibido a través de LoRa debe ser enviado mediante MQTT a la interfaz de Node-RED y de ahí enviado a Ubidots.

Para lograr esto, lo primero que se debe hacer es seleccionar las librerías adecuadas que permitan la conexión a una red wifi y, además, a MQTT.

Para transmitir los datos recibidos a la plataforma Node-RED a través de MQTT, se utiliza la librería "PubSubClient.h". En la Figura 3.19 se muestra cómo se configura el bróker utilizado, que en este caso es "bróker.hivemq.com"

```
29  const char espmqtt_broker[]="broker.hivemq.com";
30  WiFiClient  wificlient;
31  PubSubClient client(wificlient);
```

Figura 3.19: Parámetros del protocolo de comunicación MQTT

Una vez recibido el mensaje, este es convertido a formato de texto *string* y se almacena en una variable llamada *string*, con el propósito de separar los elementos del mensaje utilizando la función "s.separa".

Esta operación es necesaria para enviar el dato al tópico correcto del medidor, pues al separarse el mensaje, la primera parte es el número de cuenta que se le agrega “/Volumen” para formar el tópico.

3.2.3.2. Fuente de energía

a) Fuente de energía del sensor de flujo

Con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del medidor de agua inteligente, se decidió incorporar un panel solar que alimenta una batería de litio conectada al dispositivo. Esta elección estratégica permite que el prototipo opere de manera autónoma, sin depender de una conexión a la red eléctrica.

La utilización de un panel solar ofrece numerosos beneficios para el sistema de medición de consumo de agua. En primer lugar, permite aprovechar una fuente de energía renovable y sostenible, reduciendo la dependencia de fuentes de energía convencionales y disminuyendo el impacto ambiental. Además, la disponibilidad de energía solar garantiza el funcionamiento continuo del medidor, incluso en ubicaciones remotas o en áreas donde la infraestructura eléctrica es limitada o inestable.

La energía generada por el panel solar se almacena en una batería de litio conectada al medidor de agua inteligente, como se muestra en la Figura 3.20. Esto asegura un suministro constante de energía, incluso durante períodos de poca o ninguna radiación solar. La batería de litio, conocida por su alta densidad de energía y su larga vida útil, permite que el medidor funcione de manera confiable y sin interrupciones.

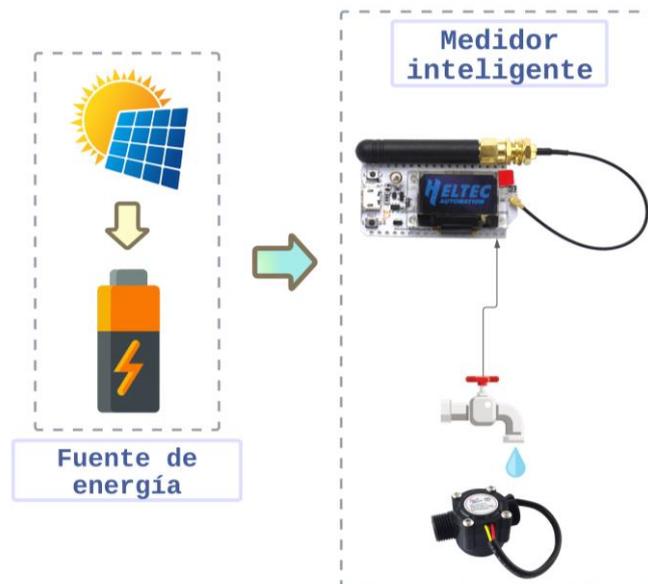


Figura 3.20: Fuente de energía del medidor inteligente

La inclusión del panel solar y la batería de litio en el diseño del medidor de agua inteligente brinda una solución eficiente y autónoma en términos energéticos. Al no depender de una conexión a la red eléctrica, se minimizan los costos operativos y se aumenta la flexibilidad en la ubicación de los medidores. Además, se asegura la disponibilidad de energía en todo momento, garantizando el registro preciso y continuo del consumo de agua.

Tabla 3.9: Características del panel solar

MODELO	JY-D145x145
Potencia/Corriente máxima:	3 W
Voltaje:	6V
Tamaño:	145x145x3 mm
Tipo:	Monocristalino
Corriente:	500 mA

El panel solar debe tener una potencia de 3 W para poder cargar las baterías, en la Tabla 3.9 se observa las características del panel solar utilizado.

b) Fuente de energía del *Gateway* o receptor de mensaje

El receptor de mensajes, ubicado en el interior de la oficina de la junta de agua, utiliza la energía eléctrica como fuente de alimentación. Esta elección se debe a la disponibilidad constante de energía en la oficina, lo que garantiza el funcionamiento ininterrumpido del receptor y permite recibir y procesar los datos enviados por los consumidores de agua inteligentes. Además, el uso de la energía eléctrica como fuente de energía para el receptor evita la necesidad de depender de baterías o fuentes de energía alternativas.

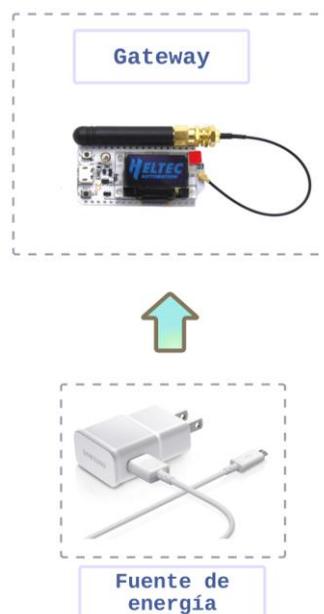


Figura 3.21: Fuente de energía del receptor de mensajes

Como se observa en la Figura 3.21, el receptor de mensajes está conectado a un cargador de celular debido a que la placa Heltec WiFi LoRa V3 utiliza un voltaje de 5 V para su correcto funcionamiento. El uso de un cargador de celular como fuente de alimentación proporciona el voltaje adecuado y asegura un suministro constante de energía al receptor. Esta configuración garantiza que el receptor esté operativo de manera continua y receptiva para recibir los mensajes enviados por los medidores de agua inteligentes. Además, estos cargadores son fácilmente reemplazables en caso de ser necesario.

3.2.3.3. Diseños 3D

Los diseños 3D de la carcasa de protección del medidor de agua inteligente, *Gateway* y Repetidor, fueron realizados utilizando el software Fusion 360. Este software es una opción accesible y gratuita para estudiantes. El objetivo del diseño en 3D es proporcionar una carcasa robusta y funcional que proteja el medidor de agua inteligente de posibles daños externos y condiciones climáticas adversas.

La Figura 3.22 muestra el resultado del diseño en 3D, donde se puede apreciar la carcasa de protección del medidor de agua inteligente, separada en 3 partes, en la parte izquierda la base, en el centro la tapa lateral y por último la tapa superior.



Figura 3.22: Carcasa de protección del medidor de agua inteligente

Con el objetivo de garantizar un desempeño óptimo del medidor inteligente, se tomó la decisión de separar la sección electrónica de la parte encargada de medir el caudal. Esta separación se implementó con el propósito de prevenir cualquier contacto entre los componentes electrónicos y el agua, minimizando así la posibilidad de posibles fallas o daños que podrían dañar el funcionamiento del medidor inteligente en su totalidad.

En la sección superior de la base del medidor inteligente observado en la Figura 3.22 se encuentra ubicado el circuito electrónico. En esta área, se ha dispuesto una abertura estratégica que permite la conexión precisa del dispositivo con la placa Heltec WiFi LoRa 32 V3. En la sección inferior de la base del medidor inteligente se ha colocado el sensor de flujo junto con una unión roscable. Además, tiene orificios para las uniones universales del medidor, por otro lado, se han incorporado ranuras de drenaje en esta sección específica, diseñadas para gestionar cualquier posible fuga de agua que pudiera presentarse.

La tapa superior de la Figura 3.22 ha sido diseñada con el propósito específico de prevenir la entrada de agua de lluvia en la sección del circuito ubicada en la base del medidor de agua.

3.2.4. Verificación o testeo

3.2.4.1. Distancia de transmisión LoRa

Las pruebas de distancia de transmisión LoRa fueron realizadas en diferentes lugares de la ciudad de Latacunga. El rango de transmisión alcanzados con los dispositivos LoRa adquiridos fue de 2 km a 10 km aproximadamente. Es importante tener en cuenta que el rango de transmisión de los dispositivos LoRa puede variar según diferentes factores ambientales y de configuración. Algunos de estos factores incluyen la presencia de obstáculos físicos (como edificios, árboles o colinas), interferencias de otras señales y la potencia de transmisión utilizada por los dispositivos.

a) Primera prueba de distancia realizada

En la primera prueba, se alcanzó una distancia aproximada de 3 km con línea de vista directa hasta el *Gateway*. Esto significa que los dispositivos de comunicación tienen una visión clara y directa del *Gateway* sin obstáculos importantes en el camino. Durante la prueba las condiciones climáticas y de transmisión fueron favorables, ya que no había obstáculos significativos entre ambos dispositivos y la línea de visión era clara y directa.

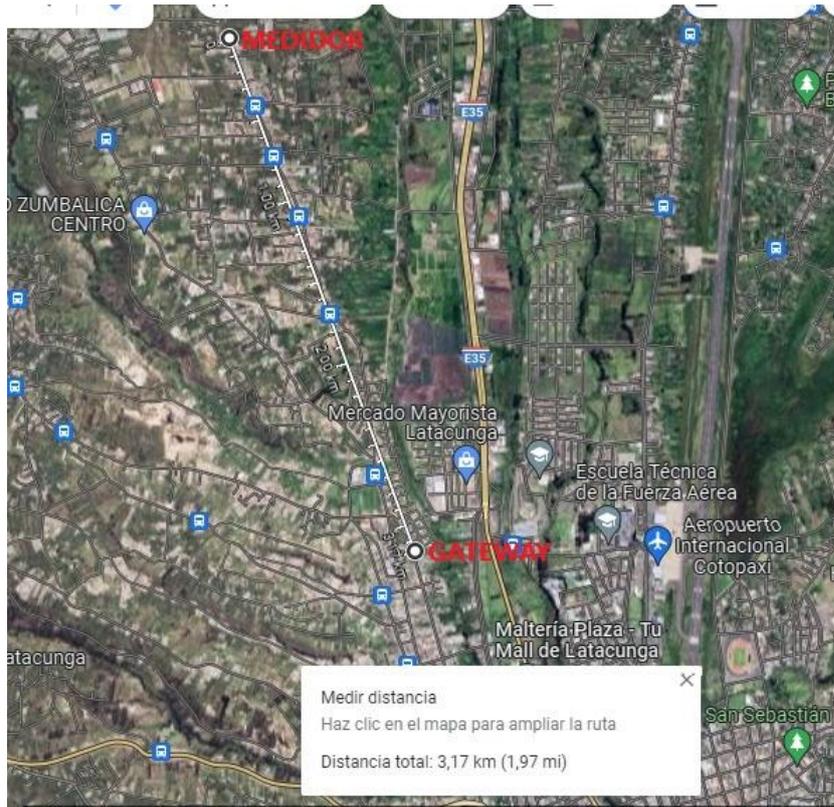


Figura 3.23: Distancia desde *Gateway* hasta el medidor en sitio La Calera

En la Figura 3.23 se muestra la ubicación del *Gateway* en el barrio El Ejido, sector San Felipe, situado a una altura equivalente a cuatro pisos. Además, se puede observar la ubicación del medidor, que se encuentra en la iglesia de La Calera.

b) Segunda prueba de distancia realizada

En la segunda prueba, se pudo alcanzar una distancia de 4,61 km entre el *Gateway* y el medidor. A pesar de encontrarse algunos obstáculos como terreno con cierto relieve y algunas casas, se logró superar la distancia de la prueba anterior.

El hecho de que se haya logrado una mayor distancia a pesar de la presencia de obstáculos indica una mejora en la capacidad de penetración de la señal LoRa en este entorno. Sin embargo, es importante considerar que la presencia de obstáculos aún puede tener un impacto en la calidad de la señal y en la estabilidad de la comunicación.

En la Figura 3.24 se muestra la ubicación del medidor situado en la calle Álamos y Copal, con las características mencionadas anteriormente, como la distancia alcanzada en la segunda prueba (4,61 km) y la presencia de algunos obstáculos, como terreno con cierto relieve y casas.

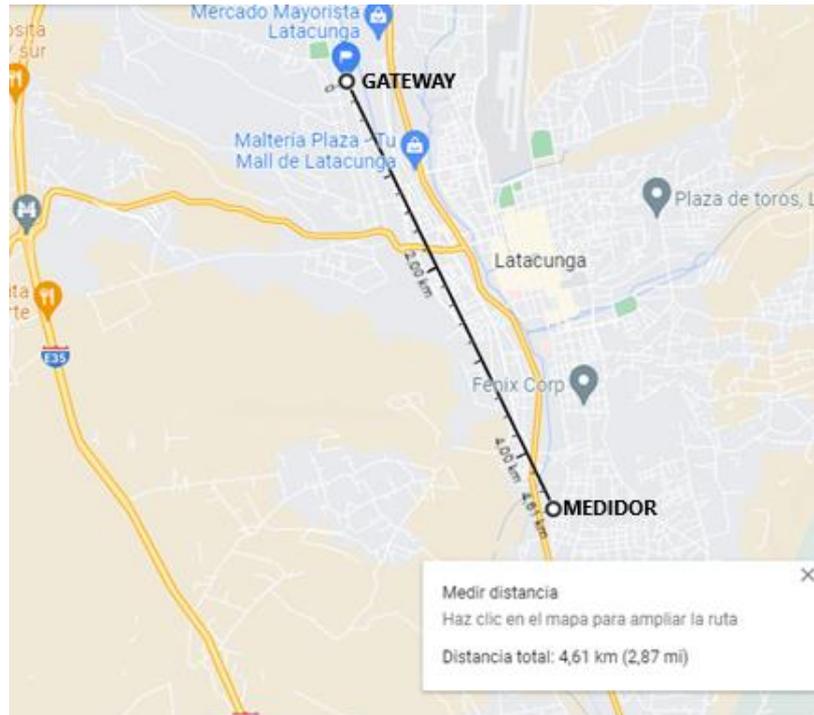


Figura 3.24: Distancia desde *Gateway* hasta el medidor en calle Álamos y Copal

c) Tercera prueba de distancia realizada

En la tercera prueba, representada en la Figura 3.25, se logró alcanzar una distancia de transmisión de 5,12 km hasta el sitio Bethlemitas. Un factor clave que contribuyó a este éxito fue la ubicación estratégica del sitio Bethlemitas, el cual se encuentra a una altura considerable.

La elevada altitud del sitio Bethlemitas fue un factor determinante para la transmisión efectiva. Esta disposición permitió una línea de vista clara y directa entre los dispositivos, lo que disminuyó la presencia de obstáculos y mejoró la calidad de la señal LoRa.

Gracias a esta configuración favorable, fue posible superar la distancia de transmisión de 5,12 km en esta tercera prueba. Estos resultados destacan la importancia de seleccionar ubicaciones estratégicas y alturas adecuadas para los dispositivos LoRa, especialmente en áreas donde se desea una mayor cobertura y alcance.

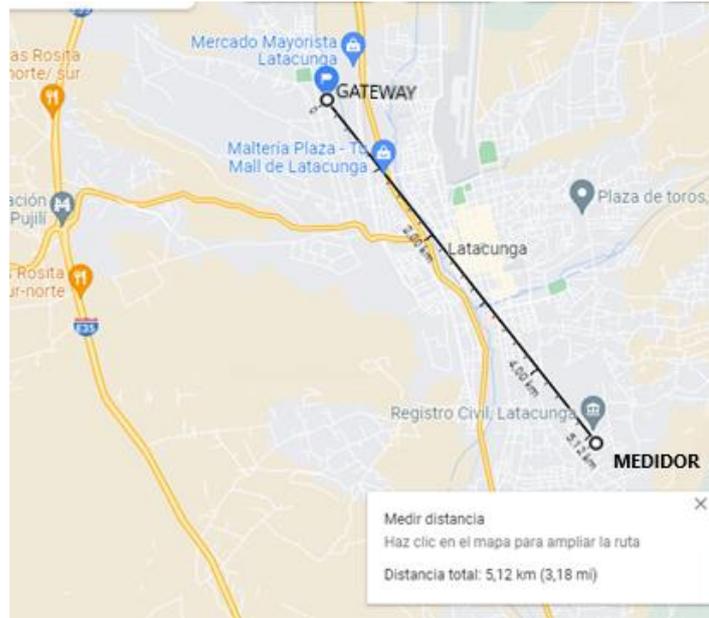


Figura 3.25: Distancia desde *Gateway* hasta el medidor

d) Cuarta prueba de distancia realizada

En la cuarta prueba, representada en la Figura 3.26 se logró alcanzar una distancia de transmisión de 7,13 km, a pesar de enfrentar condiciones desfavorables. Entre los obstáculos presentes se encontraban lomas, cables de alta tensión y casas algo agrupadas.



Figura 3.26: Distancia desde *Gateway* hasta el medidor en sitio Galpón Loma

Las condiciones desfavorables observadas en la Figura 3.27 , tuvieron un impacto en la calidad de la señal LoRa durante esta prueba. A pesar de haber logrado una distancia considerable, la presencia de obstáculos influyó en la recepción de mensajes, ocasionando retrasos en la transmisión.



Figura 3.27: Condiciones de cuarta prueba

Es importante tener en cuenta que, en entornos con obstáculos significativos, la señal LoRa puede experimentar pérdida de potencia y atenuación, lo que resulta en una recepción más lenta de mensajes.

e) Quinta prueba de distancia realizada

Se realizó una quinta prueba en la parroquia de Aláquez donde se ubica la junta administradora de agua potable "San Antonio de Aláquez", en esta prueba se logró alcanzar una distancia de transmisión de aproximadamente 10 km, esta distancia fue desde la junta de agua, en la cual se ubicó el *Gateway* hasta el medidor más lejano al que proporcionan el servicio de agua potable utilizando el *Gateway* la antena de 9 dBi y el repetidor una antena de fibra de vidrio de 5,8 dBi de potencia. En la Figura 3.28 se observa la distancia alcanzada con la tecnología LoRa.

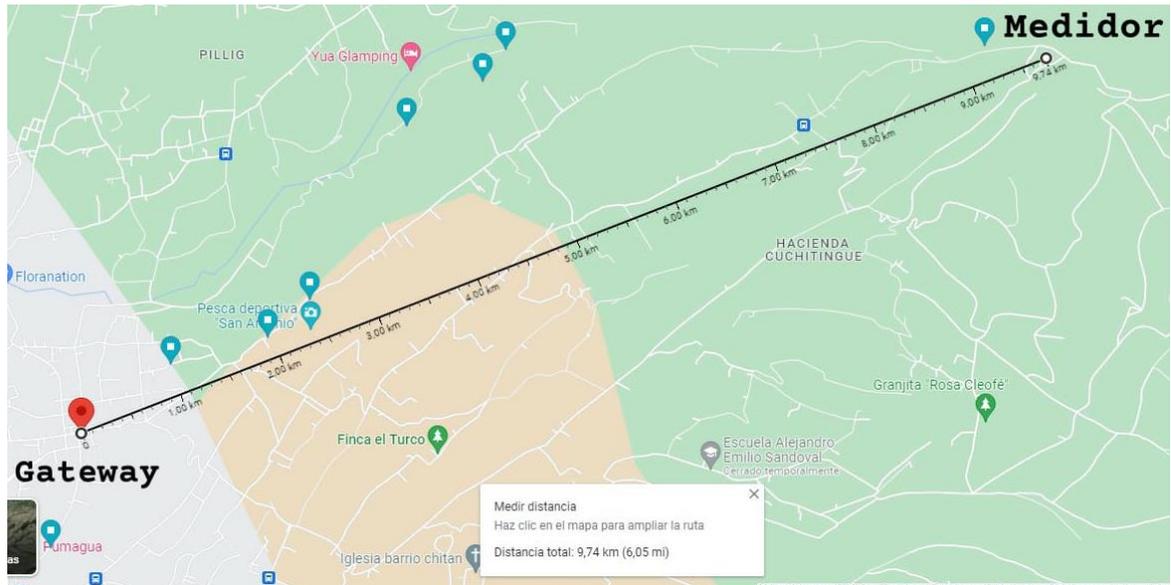


Figura 3.28: Distancia desde Gateway hasta el medidor en la parroquia Aláquez

3.2.4.2. Desviación del sensor

Para determinar el error en la medición del caudal, se calculó el factor k para calibrar el sensor utilizando la ecuación (3.4). Esto se llevó a cabo ejecutando un código en la placa de desarrollo para contar el número de pulsos en 1 minuto, al mismo tiempo que se registra la cantidad de volumen que pasaba a través del medidor. En la Tabla 3.10 se presentan los resultados obtenidos durante este proceso de calibración.

Tabla 3.10: Pulsos por minuto.

Tiempo (s)	60
Volumen real (mL)	2528
Número de pulsos	1048

$$K = N^{\circ} \frac{Pulsos}{Volumen * 60} \quad (3.3)$$

$$K = \frac{1048}{2.528 * 60}$$

$$K = 6,9092827$$

Con este valor de k se tomaron muestras para calcular el error de la medición, como se muestra en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11: Muestras con el factor k calculado

Muestra	Real (mL)	Medidor (mL)
1	952	936
2	1.021	1.008
3	979	979
4	997	1.004
5	1.092	1.081
6	1.030	1.028
7	1.013	1.028
8	2.072	2.099
9	4.981	4.868
10	5.046	4.897
11	5.034	4.965

Utilizando los datos de la Tabla 3.11 se realizó el cálculo del error promedio y la exactitud para cada medida, los cuales se muestran en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12: Error promedio de las muestras

Muestra	Real (mL)	Medidor (mL)	Exactitud	Error
1	952	936	98,32%	1,68%
2	1.021	1.008	98,73%	1,27%
3	979	979	100,00%	0,00%
4	997	1.004	100,70%	0,70%
5	1.092	1.081	98,99%	1,01%
6	1.030	1.028	99,81%	0,19%
7	1.013	1.028	101,48%	1,48%
8	2.072	2.099	101,30%	-1,30%
9	4.981	4.868	97,73%	2,27%
10	5.046	4.897	97,05%	2,95%
11	5.034	4.965	98,63%	1,37%
Error promedio				1,06%

El cálculo del error promedio arrojó un valor del 1,0%, el cual es utilizado para ajustar la precisión del sensor dentro del código de la placa. Este error promedio proporciona información clave para corregir posibles desviaciones y mejorar la exactitud de las mediciones realizadas por el caudalímetro.

Al utilizar este valor de error promedio en el código de la placa de desarrollo, se pueden realizar los ajustes necesarios para compensar y minimizar las posibles discrepancias en las mediciones. Esto garantiza una mayor precisión en la lectura del caudal y brinda resultados más confiables en aplicaciones futuras.

La capacidad de ajustar la precisión del sensor a través del código de la placa permite optimizar el rendimiento del caudalímetro y asegurar mediciones más precisas y consistentes. Es importante tener en cuenta este valor de error promedio al implementar cualquier cálculo o algoritmo relacionado con la medición del caudal, ya que su consideración contribuye a la obtención de resultados más exactos y confiables en el sistema de medición.

Como último paso para el cálculo del error, se recolectaron muestras con el ajuste realizado y se realizó una medición continua del consumo de agua, tal como se muestra en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13: Error con ajuste y sin ajuste de las muestras.

Muestra	Real (mL)	Medidor ajustado (mL)	Exactitud con ajuste	Error
1	764	751	98,30%	1,70%
2	1.120	1.112	99,29%	0,71%
3	1.395	1.394	99,93%	0,07%
4	1.745	1.765	101,15%	-1,15%
5	2.249	2.287	101,69%	-1,69%
6	3.557	3.583	100,73%	-0,73%
7	4.018	4.076	101,44%	-1,44%
8	5.191	5.231	100,77%	-0,77%
9	6.146	6.163	100,28%	-0,28%
10	6.461	6.455	99,91%	0,09%
Exactitud promedio			100,35%	
Error Promedio			±0,35%	
Precisión			1,04%	

Con estos datos, se puede evaluar el desempeño del caudalímetro después de realizar el ajuste correspondiente. Comparando el volumen medido con el volumen real, se puede determinar si existen discrepancias significativas y calcular el error en cada muestra.

Estos resultados son valiosos para evaluar la precisión y confiabilidad del sistema de medición de caudal después de aplicar el ajuste. El cálculo del error en cada muestra permite identificar cualquier desviación y tomar las medidas correctivas necesarias para mejorar la precisión en futuras mediciones y/o calibración del dispositivo.

3.2.5. Análisis de costos del sistema de monitoreo automático de consumo de agua

El cálculo del ROI de una solución IoT incluye no sólo los cálculos de costes y ahorros iniciales, sino también las nuevas oportunidades que ofrece la solución conectada. [32]

Para determinar el Retorno de la Inversión en los medidores de agua inteligente se seguirán los siguientes dos primeros pasos propuestos por Microsoft:

- a) Empezar con un objetivo empresarial en mente
 - Mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos asociados a la gestión del suministro de agua. Con los medidores inteligentes, se elimina la necesidad de realizar lecturas manuales, lo que ahorra tiempo y recursos humanos.
- b) Empezar con cálculos básicos

La Agencia de Regulación y Control de Agua estipula: Que, en el inciso quinto del artículo 93 ibídem, dispone que el titular de una autorización para el aprovechamiento del agua en actividades productivas deberá instalar a su cargo los aparatos de medición del flujo de agua en los términos que defina la Autoridad Única del Agua[36]

Esto implica que cuando un usuario solicita el servicio de agua, tanto la adquisición del medidor de agua como su instalación son responsabilidad del propio usuario.

Una vez establecido el objetivo, se realiza el cálculo de los costos fundamentales

Para la toma de datos manual de los medidores de agua de los aproximadamente 650 medidores, el encargado del trabajo requiere aproximadamente 3 días. Posteriormente, para calcular el consumo mensual, la secretaria dedica aproximadamente medio día a cargar los datos en Excel y luego transferirlos al sistema de facturación para emitir las correspondientes facturas. Estos costos se encuentran detallados en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14: Costos operativos del sistema actual de recolección de datos

Detalle	Precio mensual	Precio anual
Operador	\$67,50	\$810,00
Secretaria	\$11,25	\$135,00
Agua no contabilizada	\$200,00	\$2.400
Costos de transporte	\$30,00	\$360
Suma	\$308,75	\$3.705,00

3.2.5.1. Costos de un producto mínimamente viable (PMV)

La Tabla 3.15 presenta un desglose detallado de los costos vinculados al medidor de agua inteligente. Dado que se trata de un prototipo en funcionamiento, los costos de ingeniería se calculan en función del tiempo y la complejidad del sistema. Sin embargo, es importante señalar que, en una implementación a mayor escala, estos costos tienden a reducirse de manera sustancial conforme aumenta la cantidad de unidades a producir.

Tabla 3.15: Costos del prototipo - medidor de agua inteligente

Detalle	Cantidad	Precio por unidad	Precio Total
Módulo Wifi LoRa 32 marca Heltec V3	1	\$38,00	\$38,00
Batería de Li-ion 3.7v (8800 mAh)	1	\$3,50	\$3,50
Soporte de Batería	1	\$1,00	\$1,00
Tornillos General	8	\$0,25	\$2,00
Cables Jumpers Dupont	11	\$0,10	\$1,10
Caudalímetro digital Yf-201	1	\$9,00	\$9,00
Carcasa de protección	1	\$20,00	\$20,00
Universal 1/2"	2	\$1,20	\$2,40
Unión roscable	1	\$0,75	\$0,75
Cargador de batería TP4056	1	\$3,00	\$3,00
Placa PCB Soldada	1	\$15,00	\$15,00
Panel Solar 6V y 500 mAh	2	\$11,00	\$22,00
Costo de mano de obra			\$1.030,00
Total			\$1.147,75

Debido a que los medidores utilizan comunicación LoRa, es necesario contar con un receptor que también emplee esta misma tecnología (LoRa). En la Tabla 3.16 se detallan los costos asociados al *Gateway* o receptor.

Tabla 3.16: Costos del prototipo - *Gateway* (receptor del mensaje)

Detalle	Cantidad	Precio por unidad	Precio Total
Módulo Wifi LoRa 32 marca Heltec V3	1	\$38,00	\$38,00
Carcasa de protección	1	\$10,00	\$10,00
Antena multibanda 9 dBi	1	\$16,89	\$16,89
Led	1	\$0,10	\$0,10
Cargador de celular con cable	1	\$5,00	\$5,00
Resistencia	1	\$0,04	\$0,04
Cable SMA 65 ft	1	\$33,06	\$33,06
Placa PCB Soldada	1	\$12,00	\$12,00
Costo de mano de obra			\$670,00
Total			\$785,09

Algunas viviendas que reciben el suministro de agua de la junta están situadas a considerable distancia de las oficinas centrales de la misma, lugar donde se tiene previsto instalar el *Gateway*. Por esta razón, en ciertas zonas resulta necesario implementar repetidores como intermediarios de comunicación, permitiendo así que la señal del consumo de agua pueda llegar sin problemas hasta su destino final, es decir, el *Gateway*. En la Tabla 3.17 se muestra el costo asociado a los repetidores de mensajes.

Tabla 3.17: Costos del prototipo - repetidor de mensaje

Detalle	Cantidad	Precio por unidad	Precio Total
Módulo Wifi LoRa 32 marca Heltec V3	1	\$38,00	\$38,00
Batería de Li-ion 3.7v (8800 mAh)	1	\$3,50	\$3,50
Soporte de Batería	1	\$1,00	\$1,00
Carcasa de protección	1	\$10,00	\$10,00
Antena de fibra de vidrio 5,8 dBi con cable (3m)	1	\$39,89	\$39,89
Placa PCB Soldada	1	\$12,00	\$12,00
Panel Solar 6V y 500 mAh	1	\$11,00	\$11,00
Costo de mano de obra			\$270,00
Total			\$385,39

En la Tabla 3.18 se presentan los costos asociados a los elementos físicos necesarios de un prototipo funcional del sistema de medidores de agua inteligente. Para determinar los costos del sistema de medición de agua inteligente se utilizarán los valores de un PMV que cumpla con los requisitos funcionales y técnicos necesarios. El PMV se considera como un prototipo que permite validar la viabilidad técnica y económica del sistema.

Tabla 3.18: Costos de implementar el prototipo del sistema automático

Detalle	Cantidad	Precio por unidad	Precio total
Medidor inteligente	1	\$1.147,75	\$1.147,75
<i>Gateway</i>	1	785,09	\$785,09
Repetidor de mensajes	1	385,39	\$385,39
Total			\$2.318,23

Además, se debe tener en cuenta que, al implementar el sistema, los costos por unidad serían menores que al construir solo un prototipo, debido a las economías de escala y a la optimización de los procesos.

3.2.5.2. ROI de la implementación del sistema de medición de agua potable inteligente

Para obtener una estimación más precisa y cercana a la realidad, se elaboró una proforma destinada a la implementación del sistema automático de monitoreo de agua. En este proceso, se recopilaron los costos de los mayoristas locales asociados a los dispositivos y componentes empleados en el sistema. En la Tabla 3.19 se evidencian los costos al por mayor para el medidor de agua inteligente.

Tabla 3.19: Costos de proforma asociados al medidor inteligente

Detalle	Cantidad	Precio por unidad	Precio Total
Módulo Wifi LoRa 32 marca Heltec V3	1	\$28,00	\$28,00
Batería de Li-ion 3.7v (8800 mAh)	1	\$2,85	\$2,85
Soporte de Batería	1	\$0,80	\$0,80
Tornillos General	8	\$0,10	\$0,80
Cables Jumpers Dupont	11	\$0,07	\$0,77
Caudalímetro digital Yf-201	1	\$7,00	\$7,00
Carcasa de protección	1	\$20,00	\$20,00
Universal 1/2"	2	\$1,20	\$2,40
Unión roscable	1	\$0,75	\$0,75
Cargador de batería TP4056	1	\$2,30	\$2,30
Placa PCB Soldada	1	\$8,00	\$8,00
Panel Solar 6V y 500 mAh	2	\$5,50	\$11,00
Costo de mano de obra	1	\$1,58	\$1,58
Total			\$86,25

Dado que únicamente se requiere un *Gateway* por sistema, no se incurre en alteraciones en los costos de mano de obra. En la Tabla 3.20 se muestran los costos en relación al *Gateway*.

Tabla 3.20: Costos de proforma asociados al *Gateway*

Detalle	Cantidad	Precio por unidad	Precio Total
Módulo Wifi LoRa 32 marca Heltec V3	1	\$28,00	\$28,00
Carcasa de protección	1	\$10,00	\$10,00
Antena multibanda 9 dBi	1	\$16,89	\$16,89
Led	1	\$0,10	\$0,10
Cargador de celular con cable	1	\$5,00	\$5,00
Resistencia	1	\$0,04	\$0,04
Cable SMA 65 ft	1	\$33,06	\$33,06
Placa PCB Soldada	1	\$12,00	\$12,00
Costo de mano de obra			\$870,00
Total			\$975,09

En la Tabla 3.21 se desglosan los costos mayoristas aplicados al repetidor de mensajes, enriqueciendo aún más el análisis y comprensión integral de los gastos asociados al sistema propuesto.

Tabla 3.21: Costos de proforma asociados al repetidor de mensajes

Detalle	Cantidad	Precio por unidad	Precio Total
Módulo Wifi LoRa 32 marca Heltec V3	1	\$28,00	\$28,00
Batería de Li-ion 3.7v (8800 mAh)	1	\$2,85	\$2,85
Soporte de Batería	1	\$0,80	\$0,80
Carcasa de protección	1	\$10,00	\$10,00
Antena de fibra de vidrio 5,8 dBi con cable (3m)	1	\$39,89	\$39,89
Placa PCB Soldada	1	\$8,00	\$8,00
Panel Solar 6V y 500 mAh	1	\$5,50	\$5,50
Costo de mano de obra	1	\$27,00	\$27,00
Total			\$122,04

Cabe destacar que, debido a la localización geográfica de la junta de agua, se ha determinado la conveniencia de ubicar estratégicamente 10 repetidores, con el objetivo de asegurar una recepción óptima de los mensajes provenientes de los medidores de agua. En la Tabla 3.22 se detallan los valores de inversión del sistema completo de medición de agua inteligente

Tabla 3.22: Costo de implementación del sistema de medidores de agua inteligente

Detalle	Cantidad/hora	Precio por unidad	Precio total
Medidor inteligente	650	\$86,25	\$56.065,50
<i>Gateway</i>	1	\$975,09	\$975,09
Repetidor de mensajes	10	\$122,04	\$1.220,40
Capacitación	10	\$200,00	\$2.000,00
Total		\$1.183,38	\$58.260,99

Como se ha expuesto previamente, el usuario debe cubrir los costos relacionados con el medidor de agua, por lo que la junta de agua no tiene la obligación de asumir el valor del mismo. En la Tabla 3.23 se especifica el valor y los elementos que corresponden a la junta de agua adquirir para la puesta en marcha del sistema de medidores de agua inteligentes.

Tabla 3.23: Costos por implementación del sistema inteligente a cargo de la junta de agua

Detalle	Cantidad o hora	Precio por unidad o por hora	Precio total
Capacitación	10	20	\$200,00
<i>Gateway</i>	1	975,09	\$975,09
Repetidor de mensajes	10	122,04	\$1.220,40
Total			\$2.395,49

A continuación, se lleva a cabo el cálculo correspondiente para determinar el Retorno de la Inversión del sistema completo de medidores de agua inteligentes, siendo el beneficio el ahorro que se produciría al implementar mencionado sistema.

$$ROI = \frac{3.705,00 - 2.395,49}{2.195,49}$$

$$ROI = 0,547$$

Al multiplicar el resultado por el 100% se obtiene un resultado del 54,7%, lo cual confirma que la implementación de medidores de agua inteligentes en la junta de agua será una inversión rentable y se esperan obtener beneficios significativos.

La implementación de los medidores de agua inteligentes requiere una inversión inicial que no ha sido considerada en el cálculo del ROI. Por ello, se plantea a la junta de agua un convenio con sus clientes, consistente en que ambas partes cubran el 50% del costo de los medidores, y que los usuarios amorticen el saldo restante mediante un recargo mensual en sus facturas de agua.

Este sistema de medición inteligente ofrece ventajas tanto para la junta de agua como para los clientes. Por un lado, permite a la junta de agua optimizar el cobro y el control del consumo de agua, reduciendo los costos operativos y administrativos. Por otro lado, permite a los clientes acceder a información detallada sobre su consumo diario de agua, lo que les facilita adoptar hábitos más eficientes y ecológicos.

Asimismo, se propone habilitar un sistema de pago electrónico o en línea, mediante el cual los clientes puedan consultar y cancelar sus facturas mensuales desde su dispositivo móvil, sin necesidad de acudir a la oficina. De esta manera, se agiliza el proceso de pago y se evitan las demoras y las multas.

3.2.6. Eficiencia del proceso propuesto

Anteriormente, el operador encargado debía movilizarse mensualmente hasta cada uno de los medidores instalados por la junta de agua para registrar los datos necesarios. Este procedimiento implicaba un consumo considerable de tiempo. Sin embargo, con la introducción de los medidores inteligentes, esta tarea se vuelve innecesaria.

A continuación, se calcula la eficiencia del proceso propuesto utilizando la ecuación 3.1:

Días trabajados al mes = 20 días

Días destinados a la toma de lectura = 0 días

$$Eficiencia\ del\ flujo = \frac{20 - 0}{20} * 100\%$$

$$Eficiencia\ del\ flujo = 100\%$$

Con la implementación del sistema de automático de monitoreo de agua el trabajador de la junta de agua puede desempeñar de manera más eficiente las actividades principales que conlleva una junta de agua, debido a que la toma de lectura manual fue reemplazada por un sistema digital el operador puede alcanzar una eficiencia del 100% en sus actividades principales.

Por otro lado, la persona encargada de realizar las facturas también se beneficia de esta innovación. Antes, tenía que invertir tiempo y esfuerzo en transcribir manualmente los datos proporcionados por el operador en la computadora, lo que aumentaba el riesgo de errores humanos. Con los medidores inteligentes, esta tarea se simplifica, ya que los datos se obtuvieron de manera directa, impidiendo así el proceso de escritura manual y disminuyendo la posibilidad de cometer errores en el proceso de facturación.

3.3. EVALUACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICA

3.3.1. Análisis técnico del sistema de medición de consumo de agua inteligente

El sistema de medición está compuesto por 3 dispositivos, *Gateway*, medidor inteligente y repetidores de mensaje. Como resultado de análisis de requerimientos, se obtuvo 3 algoritmos o procesos principales que realizan los dispositivos.

El primero de ellos que se observa en la Figura 3.29 corresponde al medidor inteligente, el cual se programó para que envíe un mensaje cada hora y que tenga el valor de volumen se almacene en la memoria interna de la placa Heltec WiFi LoRa 32 V3.

El segundo proceso de la Figura 3.30, corresponde al *Gateway*, que se configuró para recibir los mensajes del medidor inteligente, procesar y enviar por medio de MQTT al bróker.

El tercer proceso de la Figura 3.31 corresponde al funcionamiento del repetidor de mensaje, que cumple la función de recibir los mensajes de un conjunto de medidores de una red con un único tipo de ID de red y enviar a la red que el *Gateway* recibe los mensajes.

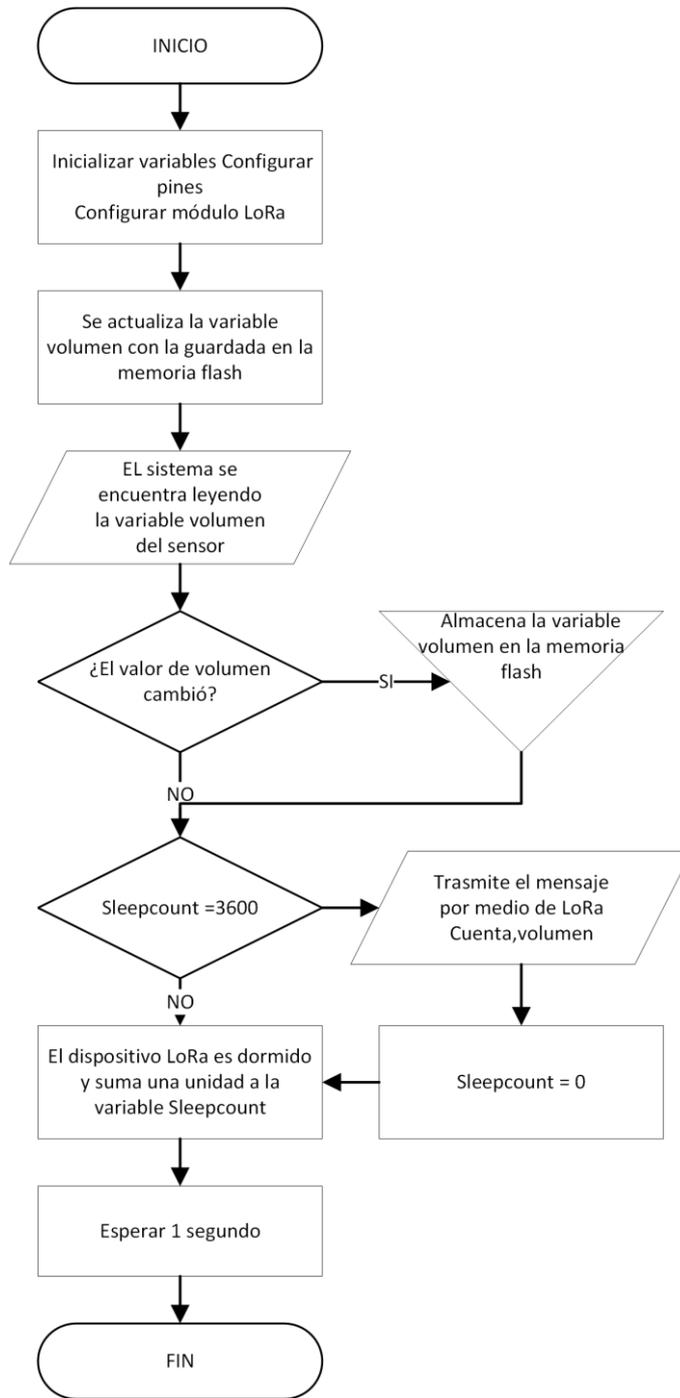


Figura 3.29: Diagrama de flujo del funcionamiento del medidor inteligente

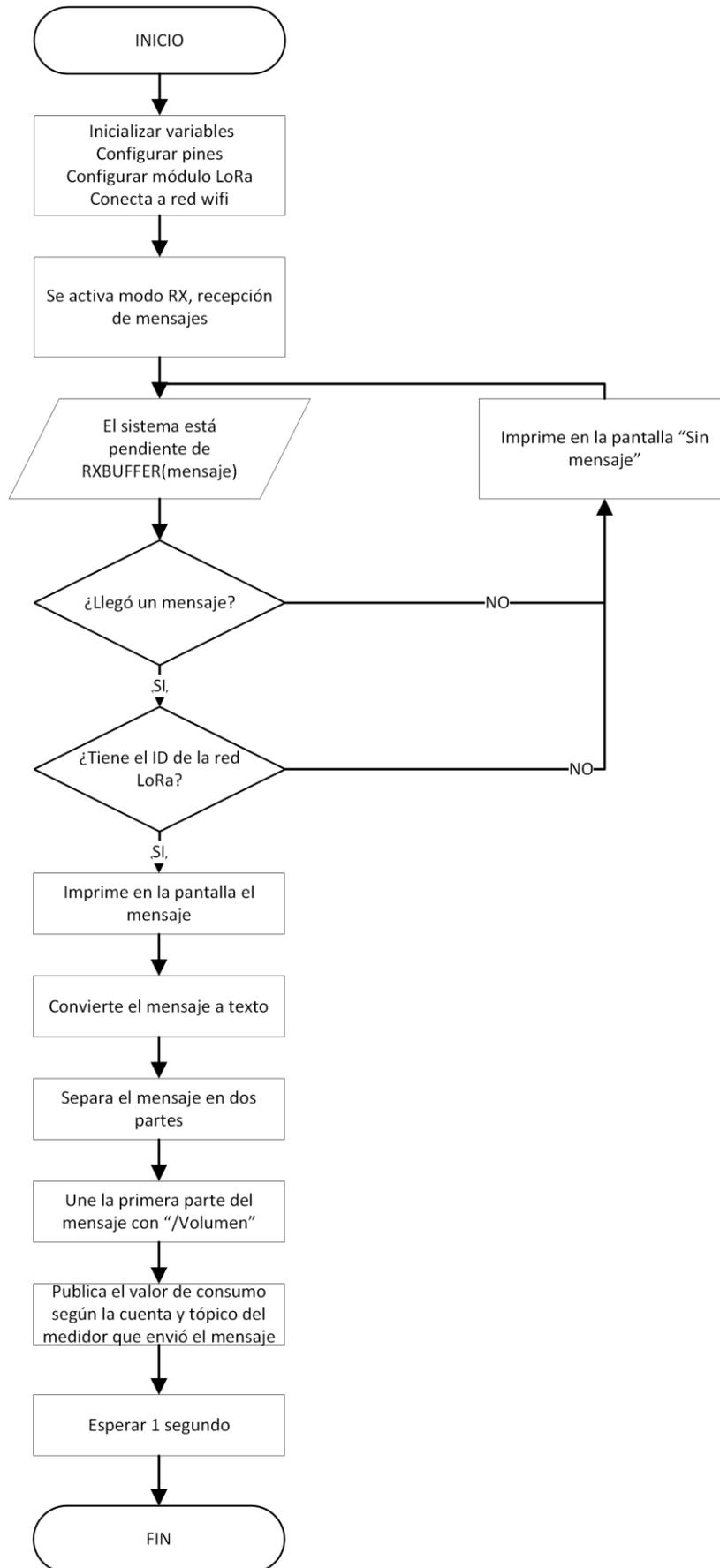


Figura 3.30: Diagrama de flujo del funcionamiento del Gateway

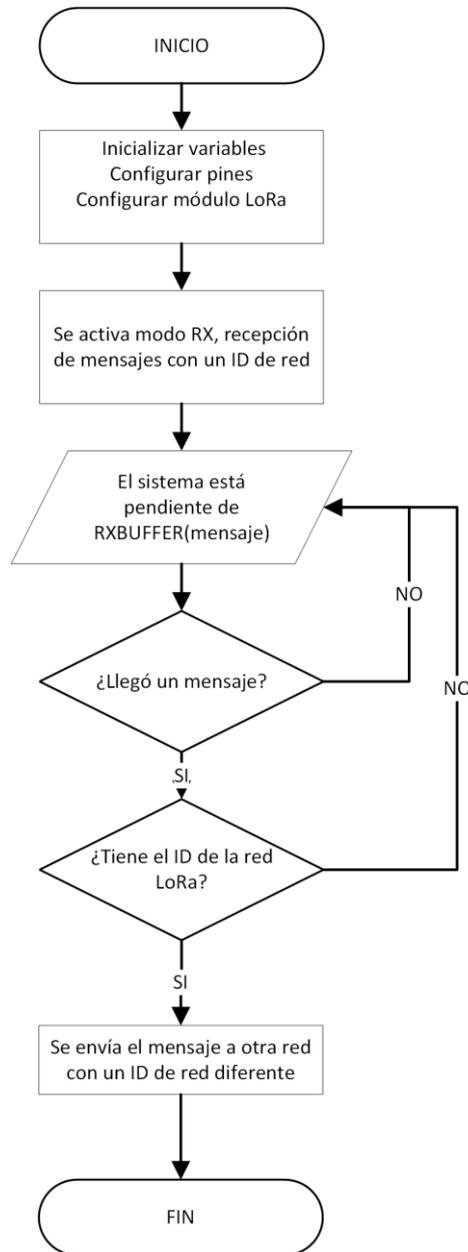


Figura 3.31: Diagrama de flujo del funcionamiento del repetidor

3.3.1.1. Comparación de precisión del medidor analógico con el medidor inteligente

Una vez corregido el factor K, se llevó a cabo una prueba de precisión en comparación con los medidores tradicionales. Durante esta prueba, se dejó que el agua pasara por ambos medidores durante el mismo período de tiempo para determinar la precisión del medidor de agua inteligente.



Figura 3.32: Medición inicial

En la Figura 3.32, se puede observar que el medidor tradicional tuvo un volumen inicial de $2,8644 \text{ m}^3$. Mientras que en la Figura 3.33 se muestra que el medidor tradicional ganó un volumen final de $2,9153 \text{ m}^3$.



Figura 3.33: Medición final

Restando la medición de m^3 de la Figura 13 a la de la Figura 14, se obtiene un resultado de $0,0509 \text{ m}^3$, que representa el volumen de agua que pasó por el medidor durante el tiempo de prueba.

medidor 01	
Medidor01,0.0499	16:03:18
Medidor01,0.0499	16:02:49
Medidor01,0.0499	16:02:19
Medidor01,0.0499	16:01:50
Medidor01,0.0499	16:00:18
Medidor01,0.0499	15:59:47
Medidor01,0.0499	15:59:17
Medidor01,0.0499	15:58:47
Medidor01,0.0499	15:58:17
Medidor01,0.0499	15:57:47
Medidor01,0.0499	15:57:17
Medidor01,0.0499	15:56:46
Medidor01,0.0499	15:56:16
Medidor01,0.0499	15:56:13
Medidor01,0.0497	15:56:12
Medidor01,0.0491	15:56:07
Medidor01,0.0488	15:56:06
Medidor01,0.0485	15:56:03
Medidor01,0.0482	15:56:01

Figura 3.34: Datos obtenidos del medidor inteligente

En la Figura 3.34 se presentan las mediciones realizadas por el medidor inteligente durante la prueba de precisión, siendo la última medida registrada de 0,0499 m³, correspondiente al volumen obtenido durante el mismo período de tiempo determinado por el medidor inteligente. Para calcular la precisión del medidor inteligente, se utiliza la ecuación (3.4):

$$E = \left(1 - \frac{\text{Valor medido}}{\text{Valor real}}\right) * 100\% \quad (3.4)$$

$$E = \left(1 - \frac{0,0499}{0,0509}\right) * 100\%$$

$$E = 1,9646\%$$

Esto indica que el medidor inteligente presenta una similitud del 98% en sus mediciones en comparación con el medidor tradicional. Para realizar este cálculo se realizó una prueba, la cual consistía en dejar que el agua pase un determinado tiempo por el medidor tradicional, y luego que el agua pase el mismo tiempo por el medidor inteligente.

3.3.1.2. Vida útil del sistema de medición de agua inteligente

Al tratarse de dispositivos electrónicos modernos, la disponibilidad de información precisa sobre su vida útil es limitada. Para establecer con certeza la duración del medidor de agua inteligente, se requiere someter dicho dispositivo a pruebas completas de resistencia de sus

componentes. La evaluación de la durabilidad de los materiales y componentes constituirá un factor determinante en la definición de su vida útil.

En relación a la implementación de una comunicación de bajo consumo energético, se destaca que esta elección contribuye significativamente a la extensión de la vida útil del dispositivo. En particular, tanto las baterías como el panel solar tienen un rendimiento óptimo durante aproximadamente 10 años. Esta estimación se basa en el uso de tecnologías eficientes que minimizan el desgaste de los componentes y maximizan la eficiencia del consumo energético.

3.3.2. Análisis económico del sistema de medición de consumo de agua inteligente

El análisis económico del sistema de medición de consumo de agua inteligente es fundamental para evaluar la viabilidad y el impacto financiero de su implementación. Este análisis considera diversos aspectos, desde los costos iniciales hasta los beneficios a largo plazo. A continuación, se presenta un análisis detallado.

3.3.2.1. Costos iniciales del sistema de medición de agua inteligente

Los costos iniciales del sistema de medición de agua inteligente se detallan en la Tabla 3.22 y se especifican a continuación:

- a) Medidores Inteligentes: Incluye la adquisición y el uso de los medidores inteligentes en la red de distribución.
- b) Infraestructura Tecnológica: Requiere la instalación de *Gateway*, antenas y otros equipos para la comunicación y la transmisión de datos.
- c) Desarrollo de Software: Implica la programación del sistema para la visualización y el análisis de datos de consumo. Este costo está implicado en la mano de obra de cada dispositivo del sistema de medición de agua inteligente.
- d) Capacitación: Los costos de formación del personal para la implementación y el soporte técnico del sistema de medición de agua inteligente.

3.3.2.2. Costos operativos del sistema de medición de agua inteligente

- a) Mantenimiento: Comprende los costos anuales de mantenimiento tanto de los medidores como de la infraestructura tecnológica. Además, después de la instalación, se realiza una revisión exhaustiva del estado general de la infraestructura. En caso de que algún dato no se visualice correctamente en el

archivo CSV, se realiza una inspección específica de dicho medidor para asegurar su funcionamiento

- b) Energía eléctrica: Parte del sistema de medición de agua potable inteligente funciona con energía eléctrica, como lo es el *Gateway* y una computadora en la que esté abierto Node-RED. En la Tabla 3.24 se evidencia el consumo de energía eléctrica anual del sistema de medición de agua potable.

Tabla 3.24: Consumo de energía eléctrica del sistema de medición de agua inteligente

Consumo por hora (kWh)	Consumo anual (kWh)	Costo al año
0,07	613,20	\$56,41

En la Tabla 3.25 se detallan los costos operativos del sistema de medición de agua potable al año. El valor calculado es relativamente bajo, en comparación a los gastos generados actualmente por el proceso de toma de lecturas de agua manual. Al ser un costo bajo, este no está dentro del cálculo del ROI.

Tabla 3.25: Costos operativos del sistema de medición de agua inteligente

Detalle	Costo al año
Energía Eléctrica	\$56,41
Mantenimiento	\$100,00
Total	\$156,41

3.3.2.3. Beneficios del sistema de medidores de agua inteligente

Los beneficios de la implementación del sistema de medidores de agua inteligente son variados y significativos. Este sistema proporciona una serie de ventajas que mejoran la eficiencia y la gestión en el control del consumo de agua, así como en la operación general de las juntas de agua y sus usuarios. Algunos de los beneficios destacados son:

- Mediciones precisas: El sistema de medidores inteligentes permite obtener mediciones precisas y en tiempo real del consumo de agua en cada usuario. Esto elimina los errores asociados a las lecturas manuales y proporciona datos confiables para la facturación exacta.

- **Monitoreo continuo:** La tecnología de comunicación en tiempo real facilita el monitoreo continuo del consumo de agua. Las juntas de agua pueden identificar patrones de consumo, fugas y anomalías de manera rápida, lo que contribuye a la detección temprana de problemas y ahorra recursos.
- **Eficiencia en la facturación:** Gracias a la información precisa y actualizada, el proceso de facturación se vuelve más eficiente y transparente. Los usuarios reciben facturas más precisas y comprensibles, lo que reduce disputas y reclamos.
- **Ahorro de recursos:** La automatización de la medición y el monitoreo reduce la necesidad de recursos humanos para realizar lecturas manuales y tareas administrativas. Esto disminuye los costos operativos y mejora la estimación de personal.
- **Identificación de pérdidas:** El sistema inteligente puede identificar fugas y consumos anómalos de manera inmediata. Esto permite tomar medidas rápidas para reducir las pérdidas de agua y evitar desperdicios.
- **Control de consumo:** Los usuarios tienen acceso a información detallada sobre su consumo de agua en tiempo real. Esto promueve una mayor conciencia y responsabilidad en el uso del recurso, lo que puede llevar a hábitos más sostenibles.
- **Optimización de recursos:** La información por el sistema permite a las juntas de agua optimizar la distribución de agua, planificar mantenimientos preventivos y tomar decisiones informadas para mejorar la gestión.
- **Datos Transparentes:** Los usuarios pueden verificar y comprender sus propios datos de consumo, mostrando confianza en la facturación.
- **Plataforma para Innovación:** La infraestructura del sistema inteligente puede servir como plataforma para futuras innovaciones, como la implementación de sistemas de pago en línea, alertas automáticas y análisis avanzados de datos.

3.3.2.4. Análisis de Costo-Beneficio del sistema de medición de agua

El sistema de medición de agua inteligente ofrece un retorno de la inversión muy favorable. Según los cálculos realizados, el beneficio neto obtenido por cada dólar invertido es de 0,55 dólares, lo que significa un aumento de aproximadamente el 55% respecto al capital inicial. Esta cifra demuestra la eficiencia y rentabilidad de la solución tecnológica para la gestión del agua. Se determina que el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial a través de los ahorros generados por el sistema es de 1 año.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Se ha determinado una inversión inicial necesaria de \$58.260,99 para la implementación del sistema automático de monitoreo de consumo en la JAAP “San Antonio de Aláquez” para el prototipo disponible actualmente, lo cual podría variar en función de nuevas mejoras y validaciones de campo del sistema. Esto proporciona una guía útil para el análisis, planificación y la asignación de recursos correspondientes en la adopción de esta solución tecnológica.
- La caracterización del método de trabajo actual del operador de la JAAP “San Antonio de Aláquez” revela que su eficiencia de trabajo puede mejorar en un 15% al reemplazar el registro manual de consumo de agua potable por el sistema automático de medición, lo cual permitirá fortalecer las actividades de mayor criticidad como nuevas instalaciones, mantenimientos y reparaciones.
- Se ha logrado alcanzar una distancia efectiva de transmisión de datos del sistema de alrededor de 10 km con el uso de antenas de potencia superior a 5 dBi; así como también, mediante la modificación del factor K del sensor de caudal, se obtuvo un margen de error del medidor inteligente de $\pm 1.70\%$.
- Se ha estimado que el retorno a la inversión (ROI) con el sistema implementado completamente es del 54.7% indicando que por cada unidad monetaria invertida, se espera obtener un retorno de 55 centavos en términos de ahorro y optimización de recursos.

4.2. RECOMENDACIONES

- Para obtener una inversión inicial más cercana a la realidad, se recomienda trabajar en la acreditación del medidor inteligente elaborando un diseño dimensional, conforme a las pautas establecidas en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-OIML R 49-1:2009.
- Para medir el incremento inicial en la eficiencia del operador y la resistencia a condiciones ambientales de los prototipos, se recomienda realizar una prueba de concepto con algunos medidores inteligentes en lugares más lejanos.
- Con el propósito de mejorar la seguridad y eficiencia en la transmisión de información, se sugiere considerar la migración de la computadora en la que se ejecuta la interfaz de

Node-RED ya sea hacia un servidor de la nube o la adopción de un Raspberry Pi; y considerar la migración hacia un bróker local.

- Para acortar el tiempo de mejora del prototipo y afinar el Retorno de la Inversión (ROI) en proyectos futuros, se sugiere llevar a cabo sesiones estratégicas de interacción con los *stakeholders* del proyecto y así recibir *feedback* sobre los avances actuales y planear los futuros.

4.3. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Las futuras líneas de investigación que podrían desarrollarse se mencionan a continuación.

4.3.1. Seguridad en IoT

Investigar y desarrollar soluciones avanzadas para garantizar la seguridad y privacidad de los datos perdidos en entornos IoT, incluyendo el cifrado de datos, autenticación y protección contra ataques cibernéticos.

4.3.2. Análisis y visualización de datos masivos

Trabajar en una aplicación web y móvil para gestión y usuarios finales. También desarrollar técnicas de análisis de grandes volúmenes de datos generados por los dispositivos IoT, para extraer información valiosa y tomar decisiones estratégicas.

5. REFERENCIAS

- [1] A. DE Uso Y Publicación, L. Esperanza -Comuna, E. Abra, y J. Carlos Farinango Tuquerres, «“SISTEMA DE MEDIDOR INTELIGENTE DE AGUA POTABLE DOMICILIARIO PARA LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA «EL ABRA».”»
- [2] JÁCOME OMAÝRA y LEÓN JOSÉ, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN INTELIGENTE PARA LA GESTIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y MEDICIÓN DE AGUA POTABLE EN LOS HOGARES».
- [3] B. Pozo, A. Gerardo, I. Montoya Lara, y L. Hernán Mgs, «Implementación de una red LPWAN para el control de consumo de agua potable utilizando tecnología LoRa».
- [4] «Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible».
- [5] «El derecho al agua».
- [6] Ministerio del Ambiente y Agua, «Los Guardianes del Agua, promotores de la conservación del recurso hídrico para la vida».
- [7] «7 de cada 10 hogares en el país no ahorran agua. INEC presenta Encuesta». Accedido: 13 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/7-de-cada-10-hogares-en-el-pais-no-ahorran-agua-inec-presenta-encuesta/#:~:text=A%20nivel%20nacional%20el%20consumo,consume%20con%2059%2C3%20Kw>.
- [8] C. Terán, J. Argüello, C. Cando, D. Salazar, y J. Muñoz, «Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales». [En línea]. Disponible en: www.ecuadorencifras.gob.ec
- [9] «“INSTRUCTIVO PARA CONFORMACIÓN Y LEGALIZACIÓN DE JUNTAS ADMINISTRADORAS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO; JUNTAS ADMINISTRADORAS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO REGIONAL; Y, JUNTAS DE SEGUNDO Y TERCER GRADO”, Y EL

“INSTRUCTIVO PARA CONFORMACIÓN Y LEGALIZACIÓN DE JUNTAS DE RIEGO Y/O DRENAJE”».

- [10] «Oficio Nro. SNP-SGP-SPN-2022-1135-OF».
- [11] S. Alvisi *et al.*, «Wireless middleware solutions for smart water metering», *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, n.º 8, abr. 2019, doi: 10.3390/s19081853.
- [12] Q. -Ecuador y P. Edición, «INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN METROLOGÍA. MEDIDORES DE AGUA POTABLE FRÍA. PARTE 1: REQUISITOS TÉCNICOS Y METROLÓGICOS», 2009.
- [13] «Guía para la Elaboración de Diagramas de Flujo».
- [14] H. Ballesteros *et al.*, «ANÁLISIS FODA (FORTALEZAS, OPORTUNIDADES, DEBILIDADES Y AMENAZAS)», 2010.
- [15] W. Ferney, L. Garzón, J. Camilo, y C. López, «Tecnología internet of things (IoT) y el big data». [En línea]. Disponible en: <http://cipres.sanmateo.edu.co/index.php/mi>
- [16] Oswaldo Quiñonez Muñoz, *Internet de las cosas (IoT)*. 2016. doi: <https://doi.org/10.1016/C2015-0-04135-1>.
- [17] «El Internet de las Cosas», 2011.
- [18] J. Macias, H. Pinilla, W. E. Castellanos-Hernández, D. Alvarado-Moreno, y A. Armando Sánchez-Martin, «Diseño e implementación de un *Gateway* IoT multiprotocolo Design and implementation of a multiprotocol IoT *Gateway*». [En línea]. Disponible en: <https://orcid.org/0000-0002-8288-3120>
- [19] «Internet de las cosas Teoría y práctica enfoque académico».
- [20] «Long-Range Communications in unLicensed Bands: The rising stars in the iot and smart City escenarios».
- [21] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, y F. Meyer, «A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment», *ICT Express*, vol. 5, n.º 1, pp. 1-7, mar. 2019, doi: 10.1016/j.icte.2017.12.005.

- [22] B. S. Chaudhari, M. Zennaro, y S. Borkar, «LPWAN technologies: Emerging application characteristics, requirements, and design considerations», *Future Internet*, vol. 12, n.º 3. MDPI AG, 1 de marzo de 2020. doi: 10.3390/fi12030046.
- [23] A. I. Petrariu y A. Lavric, «SigFox Wireless Communication Enhancement for Internet of Things: A study», en *12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, ATEE 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., mar. 2021. doi: 10.1109/ATEE52255.2021.9425213.
- [24] T. Rheinland, «A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™ What is it?», 2015.
- [25] L. Nastase, «Security in the Internet of Things: A Survey on Application Layer Protocols», en *Proceedings - 2017 21st International Conference on Control Systems and Computer, CSCS 2017*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., jul. 2017, pp. 659-666. doi: 10.1109/CSCS.2017.101.
- [26] Equipo de HiveMQ, «HiveMQ».
- [27] S. Sicari, A. Rizzardi, y A. Coen-Porisini, «Smart transport and logistics: A Node-RED implementation», *Internet Technology Letters*, vol. 2, n.º 2, p. e88, mar. 2019, doi: 10.1002/itl2.88.
- [28] Arencibia Gustavo, «La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica».
- [29] S. S. Nandwani, «ENERGIA SOLAR-CONCEPTOS BASICOS Y SU UTILIZACION».
- [30] L. Spy Pond Partners *et al.*, *Return on investment in transportation asset management systems and practices*.
- [31] P. Kotamraju, J. L. Mettelle, y I. Nrccte, «Guidelines for Measuring Career and Technical Education (CTE) Internal Efficiency and External Effectiveness USING RETURN ON INVESTMENT (ROI) AND OTHER RELATED TOOLS», 2012.
- [32] «Addressing ROI in Internet of Things Solutions A practical approach to calculating the return on investment for the Internet of Your Things. Executive Summary», 2016. [En línea]. Disponible en: www.InternetofYourThings.com

- [33] G. P. Jenkins y A. C. Harberger, «ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO DE LAS DECISIONES DE INVERSIÓN», 2000.
- [34] Equipo de comunicaciones de Adobe, «Adobe Experience Cloud Blog», *Metodología Waterfall: una guía completa*, 18 de marzo de 2022.
- [35] «El blog de tecnología», *Las mejores antenas LoRa*.
- [36] D. Ejecutiva, «AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL AGUA RESOLUCIÓN Nro. ARCA-DE-002-2021 Msc. María Luisa Coello Recalde».



ANEXO I. Informe Anti Plagio Proyecto de Titulación

Facultad:	Ciencias de Ingeniería y Aplicadas
Carrera:	Ingeniería Industrial
Nombre del docente evaluador que emite el informe:	Ing. MSc. Hidalgo Oñate Ángel Guillermo
Documento Evaluado:	“ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DEL CONSUMO EN JUNTAS DE AGUA”
Autores del documento:	Srta. López Vitonera Arleth Damaris Sr. Ríos Guiracocha Miguel Ángel
Programa de similitud utilizado:	Sistema COMPILATION
Porcentaje de similitud según el programa utilizado:	4%
Observaciones: Calificación de originalidad atendiendo a los siguientes criterios: <ul style="list-style-type: none">• El documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones.• El documento cumple criterios de originalidad, con observaciones.• El documento no cumple criterios de originalidad.	-X-
Fecha de realización del informe:	17/08/2023

Captura de pantalla del documento analizado:

CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

López Arleth - Ríos Miguel_Estudio técnico y económico sobre la implementación de un sistema de monitoreo del consumo en juntas de agua

4% Similitudes

2% Texto entre comillas
< 1% similitudes entre comillas
< 1% Idioma no reconocido

Nombre del documento: López Arleth - Ríos Miguel_Estudio técnico y económico sobre la implementación de un sistema de monitoreo del consumo en juntas de agua.pdf
ID del documento: c9ade26b7a513d931526a6341c38d50daa2e40da
Tamaño del documento original: 3,87 MB

Depositante: ANGEL GUILLERMO HIDALGO OÑATE
Fecha de depósito: 17/8/2023
Tipo de carga: interface
Fecha de fin de análisis: 17/8/2023

Número de palabras: 25.648
Número de caracteres: 164.945

Ing. MSc. Hidalgo Oñate Ángel Guillermo
Director del Proyecto de Tecnológico



López Arleth - Ríos Miguel_Estudio técnico y económico sobre la implementación de un sistema de monitoreo del consumo en juntas de agua

4%

Similitudes



2%

Texto entre comillas
< 1% similitudes entre comillas

< 1% Idioma no reconocido

Nombre del documento: López Arleth - Ríos Miguel_Estudio técnico y económico sobre la implementación de un sistema de monitoreo del consumo en juntas de agua.pdf
ID del documento: c9ade26b7a513d931526a6341c38d50daa2e40da
Tamaño del documento original: 3,87 MB

Depositante: ANGEL GUILLERMO HIDALGO OÑATE
Fecha de depósito: 17/8/2023
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 17/8/2023

Número de palabras: 25.648
Número de caracteres: 164.945

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www2.competencias.gob.ec http://www2.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/03-01IGC2016-INSTRUCTIVO.pdf	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (184 palabras)
2	1library.co Simbología para representar los procesos - IMPORTANCIA DEL DIAGR... https://1library.co/article/simbología-representar-procesos-importancia-diagrama-flujo.qvl9v9ry 6 fuentes similares	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (159 palabras)
3	revistacid.itslerdo.edu.mx http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2021/CID017.pdf 3 fuentes similares	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (109 palabras)
4	repositorio.espe.edu.ec Diseño y construcción de un sistema de medición intelig... http://repositorio.espe.edu.ec:8080/bitstream/21000/8293/4/T-ESPEL-ENI-0321.pdf.txt 1 fuente similar	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (116 palabras)
5	members.wto.org https://members.wto.org/crnattachments/2019/tbt/per/19_7177_01_s.pdf 1 fuente similar	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (98 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.sic.gov.co https://www.sic.gov.co/sites/default/files/normatividad/102017/PRTM-Medidores-Agua-20171020.pdf	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
2	hdl.handle.net Auditoria energética y estudio de implantación de los ODS en la e... http://hdl.handle.net/2117/365743	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
3	revistes.urv.cat Derecho y políticas ambientales internacionales (Segundo semes... https://revistes.urv.cat/index.php/rcda/article/download/1603/1569	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
4	repositorio.espe.edu.ec Diseño y construcción de un sistema de medición intelig... http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8293	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
5	repositorio.espe.edu.ec https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/25837/1/T-ESPE-044763.pdf	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <http://cipres.sanmateo.edu.co/index.php/mi>
- <https://doi.org/10.1016/C2015-0-04135-1>
- <https://orcid.org/0000-0002-8288-3120>

ANEXO II: Toma de datos manual



Figura II. 1: Operador tomando lectura de medidor de agua analógico



Figura II. 2: Estado de los medidores analógicos



Figura II. 3: Presión de la red de distribución de agua en 7 bares

ANEXO III: Datasheet de la placa Heltec WiFi LoRa 32 V3



HTIT-WB32LA V3

LoRa Node Development Kit



<https://heltec.org>

Documents

Rev 1.1

P 1/15

Sep, 2022

Heltec Automation © Limited standard files



Document version

Version	Time	Description	Remark
V1.0	2022-08-16	Documents creating	肖鸿
V1.1	2022-09-21	Document structure update	Aaron

<https://heltec.org>

Documents

Rev 1.1

P 2/15

Sep. 2022

HelTec Automation © Limited standard files



Copyright Notice

All contents in the files are protected by copyright law, and all copyrights are reserved by Chengdu Heltec Automation Technology Co., Ltd. (hereinafter referred to as Heltec). Without written permission, all commercial use of the files from Heltec are forbidden, such as copy, distribute, reproduce the files, etc., but non-commercial purpose, downloaded or printed by individual are welcome.

Disclaimer

Chengdu Heltec Automation Technology Co., Ltd. reserves the right to change, modify or improve the document and product described herein. Its contents are subject to change without notice. These instructions are intended for you use.

<https://heltec.org>

Documents

Rev 1.1

P 3/15

Sep. 2022

HelTec Automation © Limited standard files



Content

HTIT-WB32LA_V3	1
Document version	2
Copyright Notice	3
Disclaimer	3
Content	4
1. Description	5
1.1 Overview	5
1.2 Product features	6
2. Pin Definition	7
2.1 Pin assignment	7
2.2 Pin description	8
3. Specifications	10
3.1 General specifications	10
3.2 Power supply	11
3.3 Power output	11
3.4 Power characteristics	11
3.5 LoRa RF characteristics	12
3.5.1 Transmit power	12
3.5.2 Receiving sensitivity	12
3.6 Operation Frequencies	13
4. Hardware resource	14
4.1 Physical dimensions	14
5. Resource	15
5.1 Relevant Resource	15
5.2 Contact Information	15



1. Description

1.1 Overview

WiFi LoRa 32 is a classic IoT dev-board designed & produced by Heltec Automation. Since its launch in 2017, it has been loved by developers and makers. The newly launched V3 version has the same pin sequence as the V2 version, and retains Wi-Fi, BLE, LoRa, OLED display and other functions. On this basis, the V3 version has been upgraded as follows:

Table 1.1-1: Version comparison

	WiFi LoRa 32 (V2)	WiFi LoRa 32 (V3)
MCU	ESP32-D0	ESP32-S3
LoRa Chip	SX1276	SX1262
USB Socket	Micro USB	Type C
Crystal Oscillator	Ordinary crystal oscillator	High precision temperature compensated crystal oscillator
Low power features in deep sleep	800uA	<10uA
Other		Better impedance matching of RF circuits.

WiFi LoRa 32 are available in two product variants:

Table 1.1-2: Product model list

No.	Model	Description
1	HTIT-WB32LAF	470~510MHz working LoRa frequency, used for

<https://heltec.org>



		China mainland (CN470) LPW band.
2	HTIT-WB32LA	For EU868, IN865, US915, AU915, AS923, KR920 and other LPW networks with operating frequencies between 863~928MHz.

1.2 Product features

- Microprocessor: ESP32-S3FN8 (Xtensa® 32-bit LX7 dual core processor, five stage pipeline rack Structure, main frequency up to 240 MHz).
- SX1262 LoRa node chip.
- Type-C USB interface with a complete voltage regulator, ESD protection, short circuit protection, RF shielding, and other protection measures.
- Onboard SH1.25-2 battery interface, integrated lithium battery management system (charge and discharge management, overcharge protection, battery power detection, USB / battery power automatic switching).
- Integrated WiFi, LoRa, Bluetooth three network connections, onboard Wi-Fi, Bluetooth dedicated 2.4GHz metal spring antenna, reserved IPEX (U.FL) interface for LoRa use.
- Onboard 0.96-inch 128*64 dot matrix OLED display, which can be used to display debugging information, battery power, and other information.
- Integrated CP2102 USB to serial port chip, convenient for program downloading, debugging information printing.
- Support the [Arduino development environment](#).
- We provide [ESP32 + LoRaWAN](#) protocol Arduino® library, this is a standard

<https://heltec.org>

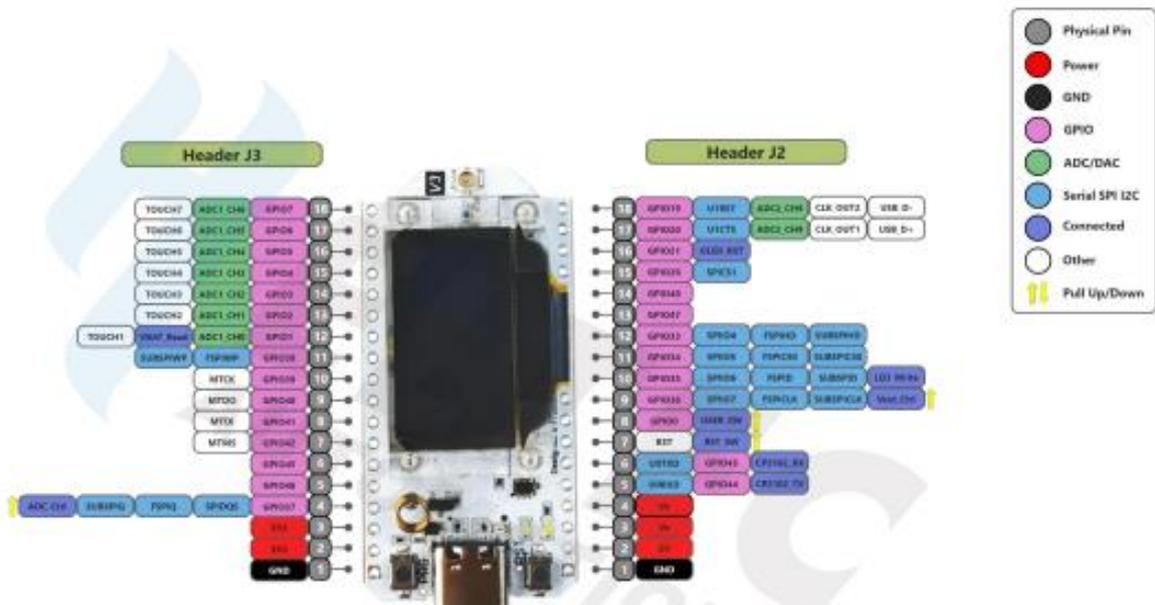


LoRaWAN protocol that can communicate with any LoRa gateway running the LoRaWAN protocol. In order to make this code running, a unique license is needed. it can be found on [this page](#);

- With good RF circuit design and low-power design.

2. Pin Definition

2.1 Pin assignment





2.2 Pin description

- Header J2

Table 2.2-1: Pin description

No.	Name	Type	Function
1	GND	P	Ground.
2	5V	P	5V Power Supply.
3	Ve	P	Output 3.3V, power supply for external sensor.
4	Ve	P	Output 3.3V, power supply for external sensor.
5	RX	I/O	GPIO44, U0RXD, connected to CP2102 TXD
6	TX	I/O	GPIO43, U0RXD, connected to CP2102 RXD
7	RST	I	CHIP_PU, connected to RST switch
8	0	I/O	GPIO0, connect to PRG switch
9	36	I/O	GPIO36, SPIIO7, FSPICLK, SUBSPICLK, Vext Ctrl
10	35	I/O	GPIO35, SPIIO6, FSPID, SUBSPID, LED Write Ctrl
11	34	I/O	GPIO34, SPIIO5, FSPICS0, SUBSPICS0.
12	33	I/O	GPIO33, SPIIO4, FSPIHD, SUBSPIHD.
13	47	I/O	GPIO47, SPICLK_P_DIFF, SUBSPICLK_P_DIFF.
14	48	I/O	GPIO48, SPICLK_N_DIFF, SUBSPICLK_N_DIFF.
15	26	I/O	GPIO26, SPICS1.
16	21	I/O	GPIO21, OLED RST
17	20	I/O	GPIO20, U1CTS, ADC2_CH9, CLK_OUT1, USB_D+ ¹ .

¹ DP pin connectable to USB socket, solder R29



18	19	I/O	GPIO19, U1RTS, ADC2_CH8, CLK_OUT2, USB_D- ² .
----	----	-----	--

Header J3

Table 2.2-2: Pin description

No.	Name	Type	Function
1	GND	P	Ground.
2	3V3	P	3.3V Power Supply.
3	3V3	P	3.3V Power Supply.
4	37	I/O	GPIO37, SPIDQS, FSPIQ, SUBSPIQ.
5	46	I/O	GPIO46.
6	45	I/O	GPIO45.
7	42	I/O	GPIO42, MTMS.
8	41	I/O	GPIO41, MTDI.
9	40	I/O	GPIO40, MTDO.
10	39	I/O	GPIO39, MTCK.
11	38	I/O	GPIO38, FSPIWP, SUBSPIWP.
12	1	I/O	GPIO1, ADC1_CH0 ³ , TOUCH1, Read VBAT Voltage
13	2	I/O	GPIO2, ADC1_CH1, TOUCH2.
14	3	I/O	GPIO3, ADC1_CH2, TOUCH3.
15	4	I/O	GPIO4, ADC1_CH3, TOUCH4.
16	5	I/O	GPIO5, ADC1_CH4, TOUCH5.

² DN pin connectable to USB socket, solder R3

³ ADC1_CH0 is used to read the lithium battery voltage, the voltage of the lithium battery is:

$$VBAT = 100 / (100+390) * VADC_IN1$$



17	6	I/O	GPIO6, ADC1_CH5, TOUCH6.
18	7	I/O	GPIO7, ADC1_CH6, TOUCH7.

3. Specifications

3.1 General specifications

Table 3.1: General specifications

Parameters	Description
Master Chip	ESP32-S3FN8 (Xtensa®32-bit lx7 dual core processor)
LoRa Chipset	SX1262
USB to Serial Chip	CP2102
Frequency	470~510 MHz, 863~928 MHz
Max. TX Power	21 ± 1 dBm
Max. Receiving sensitivity	-139 dBm
Wi-Fi	802.11 b/g/n, up to 150Mbps
Bluetooth	Bluetooth LE: Bluetooth 5, Bluetooth mesh
Hardware Resource	7*ADC1 + 2*ADC2; 7*Touch; 3*UART; 2*I2C; 2*SPI; etc.
Memory	384KB ROM; 512KB SRAM; 16KB RTC SRAM; 8MB SiP Flash
Interface	Type-C USB; 2*1.25 lithium battery interface; LoRa ANT(IPEX1.0); 2*18*2.54 Header Pin
Battery	3.7V lithium battery power supply and charging
Operating temperature	-20 ~ 70 °C
Dimensions	50.2 * 25.5* 10.2 mm

<https://heltec.org>

Documents

Rev 1.1

P 10/15

Sep. 2022

HelTec Automation © Limited standard files



3.2 Power supply

Except when USB or 5V Pin is connected separately, lithium battery can be connected to charge it. In other cases, only a single power supply can be connected.

Table 3.2: Power supply

Power supply mode	Minimum	Typical	Maximum	Company
Type-C USB($\geq 500\text{mA}$)	4.7	5	6	V
Lithium battery($\geq 250\text{mA}$)	3.3	3.7	4.2	V
5V pin($\geq 500\text{mA}$)	4.7	5	6	V
3V3 pin($\geq 150\text{mA}$)	2.7	3.3	3.5	V

3.3 Power output

Table 3.3: Power output

Output Pin	Minimum	Typical	Maximum	Company
3.3V Pin			500	mA
5V Pin (USB Powered only)			500	mA
Vext Pin			350	mA

3.4 Power characteristics

Table 3.4: Power characteristics

Mode	Condition	Min.	Typical	Max.	Company
WiFi Scan	USB powered		115		mA
WiFi AP	USB powered		150		mA
BT	USB powered		115		mA



TX	14dBm, USB powered, 868	200		mA
	17dBm, USB powered, 868	210		mA
	22dBm, USB powered, 868	230		mA
RX	TX disabled; RX enabled	90		mA
sleep	USB powered	2		mA
	VBAT/battery powered	15		uA
	3.3V header powered	10		uA

3.5 LoRa RF characteristics

3.5.1 Transmit power

Table3.5.1: Transmit power

Operating frequency band	Maximum power value/[dBm]
470~510	21 ± 1
867~870	21 ± 1
902~928	21 ± 1

3.5.2 Receiving sensitivity

The following table gives typically sensitivity level of the HTIT-WB32LA.

Table3.5.2: Receiving sensitivity

Signal Bandwidth/[KHz]	Spreading Factor	Sensitivity/[dBm]
125	SF12	-139
125	SF10	-130
125	SF7	-124

<https://heltec.org>

Documents

Rev 1.1

P 12/15

Sep. 2022

HelTec Automation © Limited standard files



3.6 Operation Frequencies

HTIT-WB32LA supports LoRaWAN frequency channels and models corresponding table.

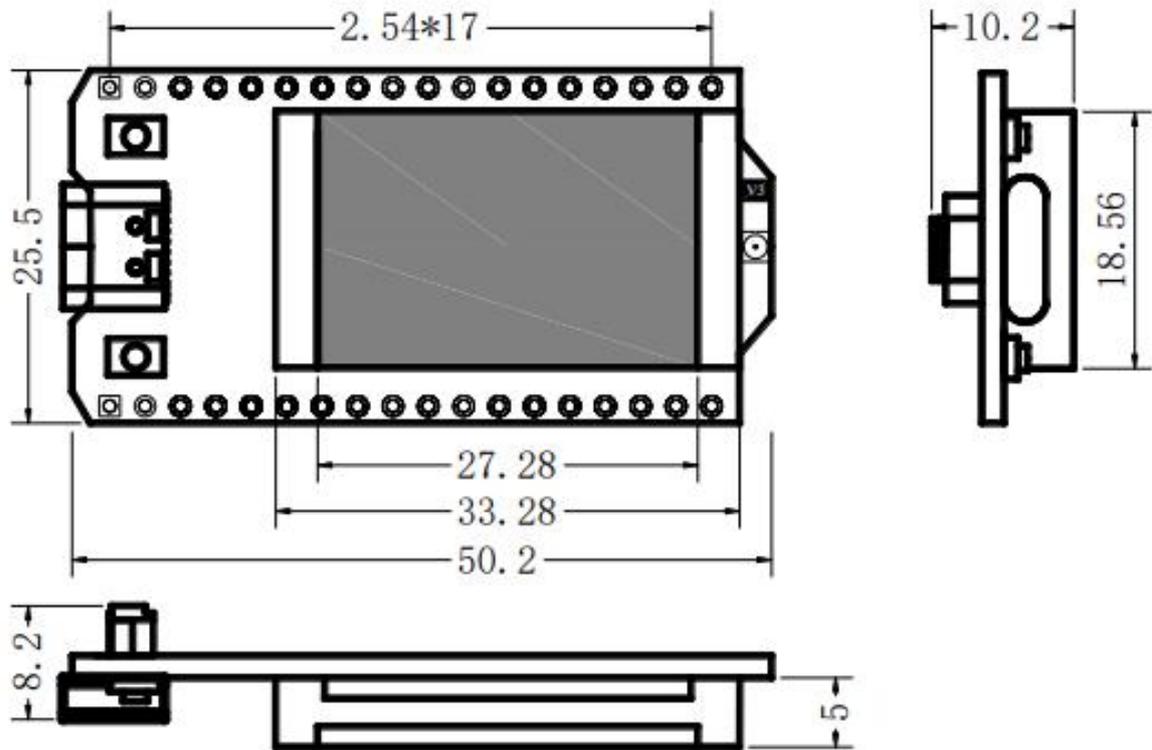
Table3.6: Operation Frequencies

Region	Frequency (MHz)	Model
EU433	433.175~434.665	HTIT-WB32LAF
CN470	470~510	HTIT-WB32LAF
IN868	865~867	HTIT-WB32LA
EU868	863~870	HTIT-WB32LA
US915	902~928	HTIT-WB32LA
AU915	915~928	HTIT-WB32LA
KR920	920~923	HTIT-WB32LA
AS923	920~925	HTIT-WB32LA



4. Hardware resource

4.1 Physical dimensions





5. Resource

5.1 Relevant Resource

- Source Code
 - [Heltec ESP \(ESP32 & ESP8266\) framework](#) (Already included Heltec ESP32 LoRaWAN library)
 - [Heltec ESP32 library](#)
- [Schematic diagram](#)
- [Pin map](#)
- [Downloadable resource](#)

5.2 Contact Information

Heltec Automation Technology Co., Ltd

Chengdu, Sichuan, China

Email: support@heltec.cn

Phone: +86-028-62374838

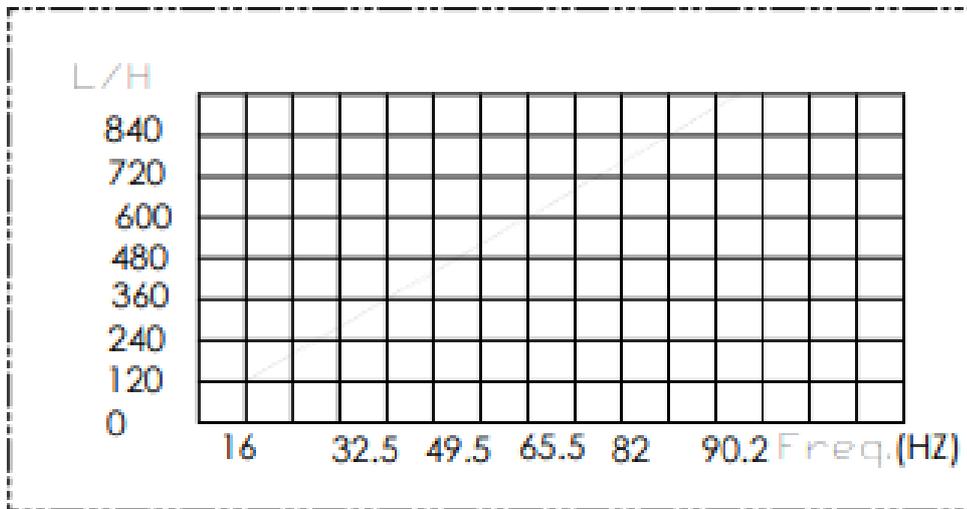
<https://heltec.org>

ANEXO IV: Datasheet del sensor de flujo YF-201

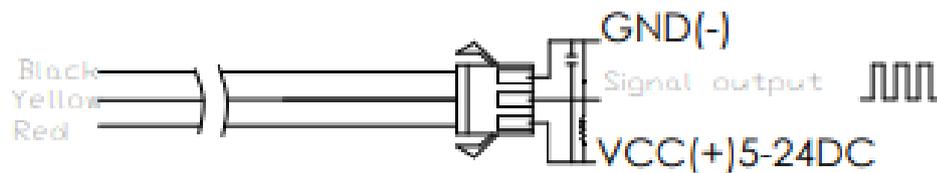
Flow-Pulse	Flow-Curve	Connection method
------------	------------	-------------------

→.Flow Range:100L/H-/1800H-L/H

Flow (L/H)	Frezq.(HZ)	Erro range
120L/H	16	±10
240L/H	32.5	
360L/H	49.3	
480L/H	65.5	
600L/H	82	
720L/H	90.2	



Connection method:



YIFA the plastics Ltd Product Introduction

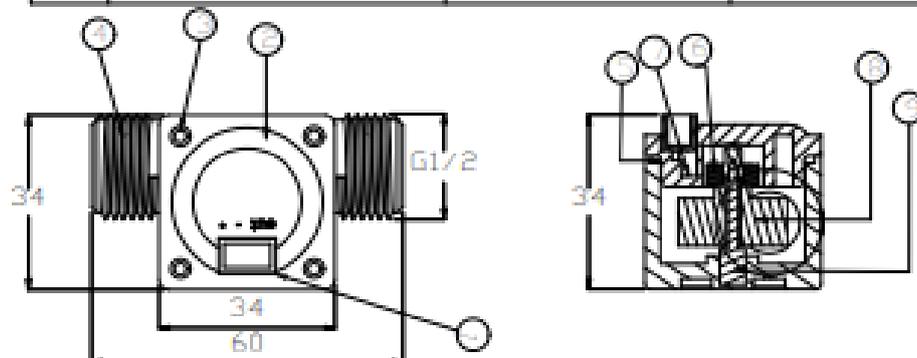
- 1.Modle:YF-21
- 2.Product Name:Hall sensor
- 3.Flow Range: 1-30L/MIN
- 4.(1)Connection Method



- (2)Voltage Range 3.5-24VDC, Pulse Characteristic:F=7Q(L/MIN)
- (3)Extent of error±5%.
- (4)Flow-Pulse
 - 2L/MIN=16HZ 4L/MIN=32.5HZ 6L/MIN=49.3HZ
 - 8L/MIN=65.5HZ 10L/MIN=82HZ

5.Bom

No.	Item	Material	Qty.
1	Connection wire		1
2	Bonnet	PA	1
3	Screw		4
4	Valve body	PA	1
5	Leak press valve		1
6	Magnet		1
7	Hall		1
8	Impeller	POM	1
9	Rustless steel axis	SUS304	1
10			
11			



ANEXO V: Diseño del circuito del medidor inteligente

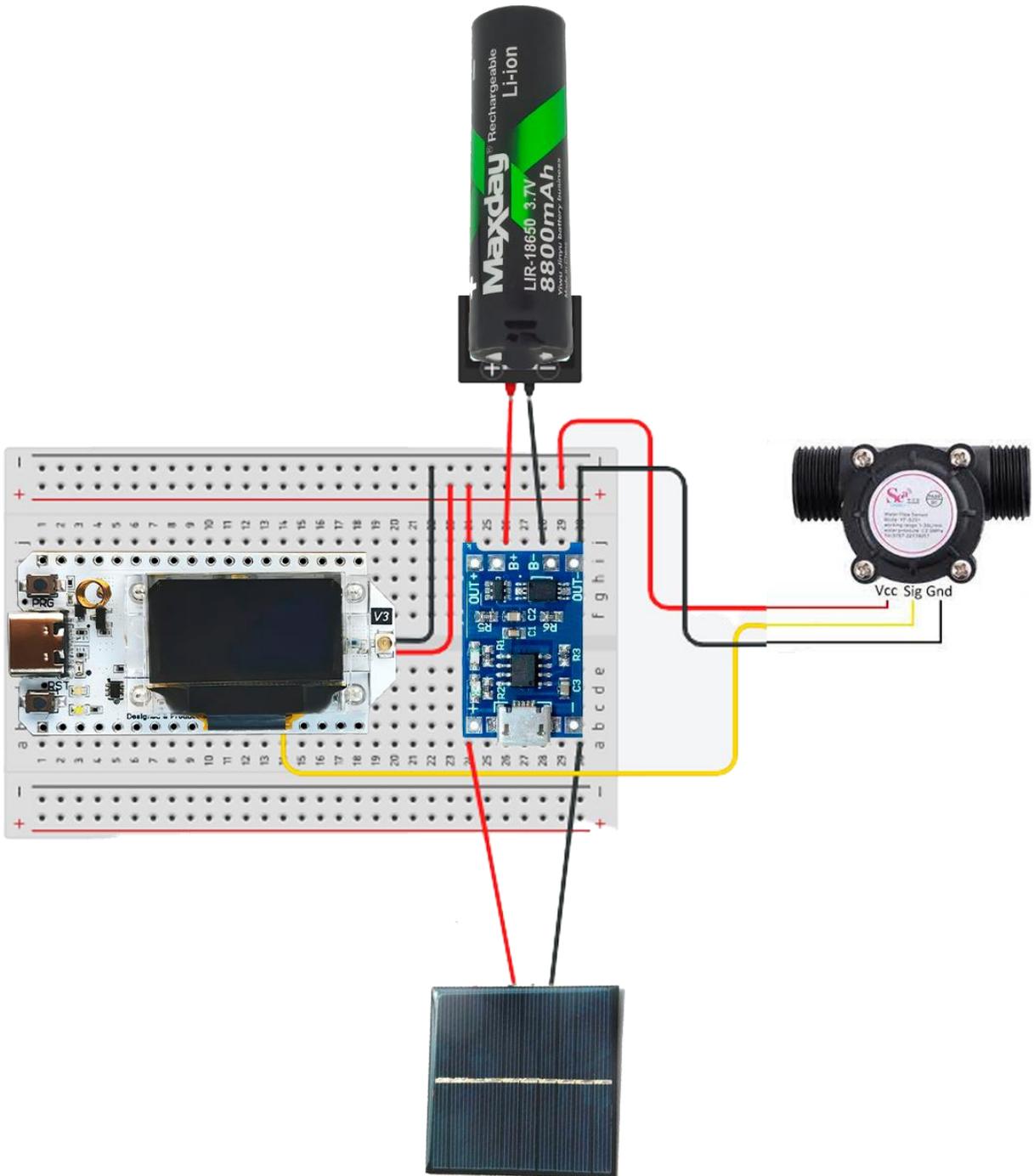


Figura V. 1: Diagrama de conexiones del circuito del medidor inteligente.

ANEXO VI: Diseño 2D de la placa de circuito impreso del medidor inteligente y Gateway

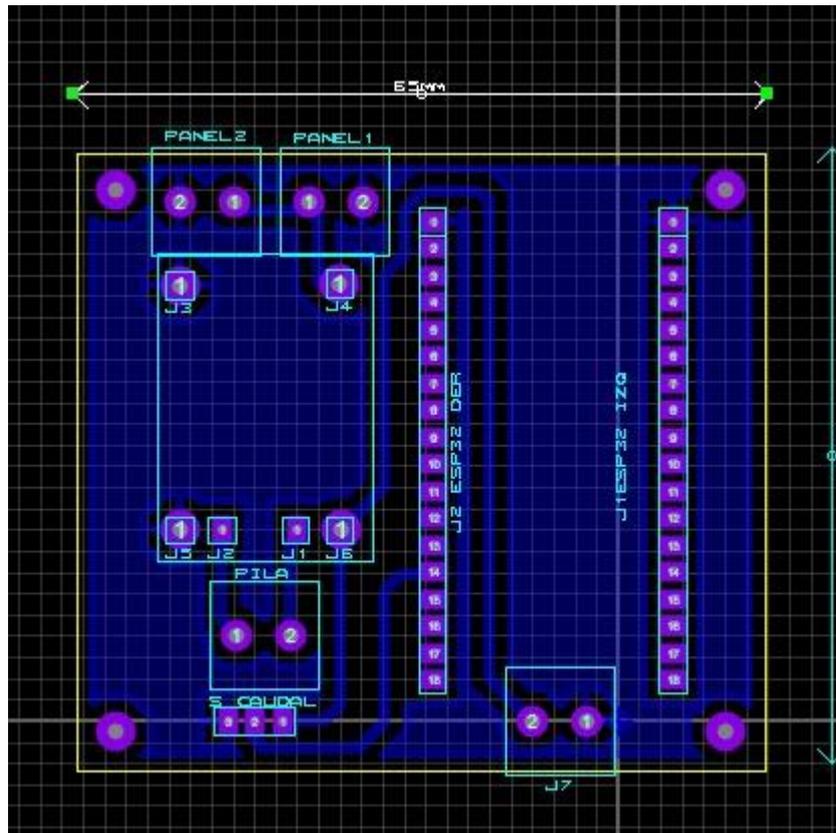


Figura VI. 1: Diseño 2D de la placa de circuito impreso del medidor inteligente

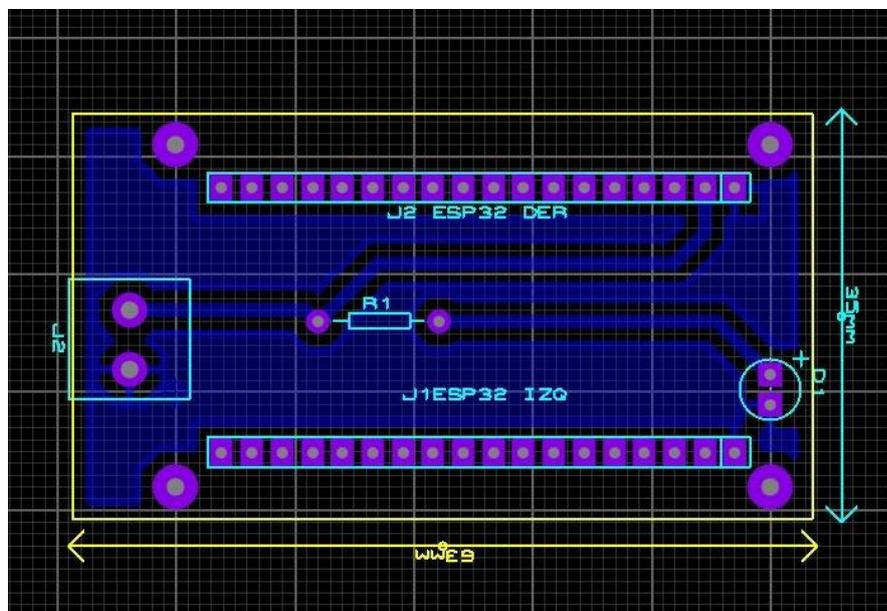
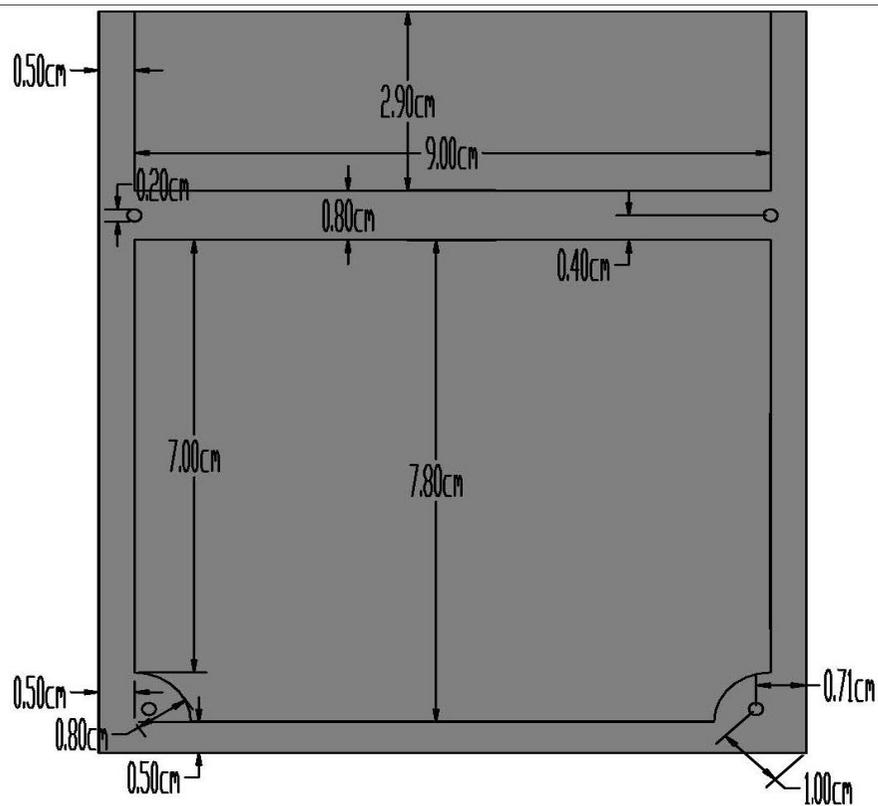
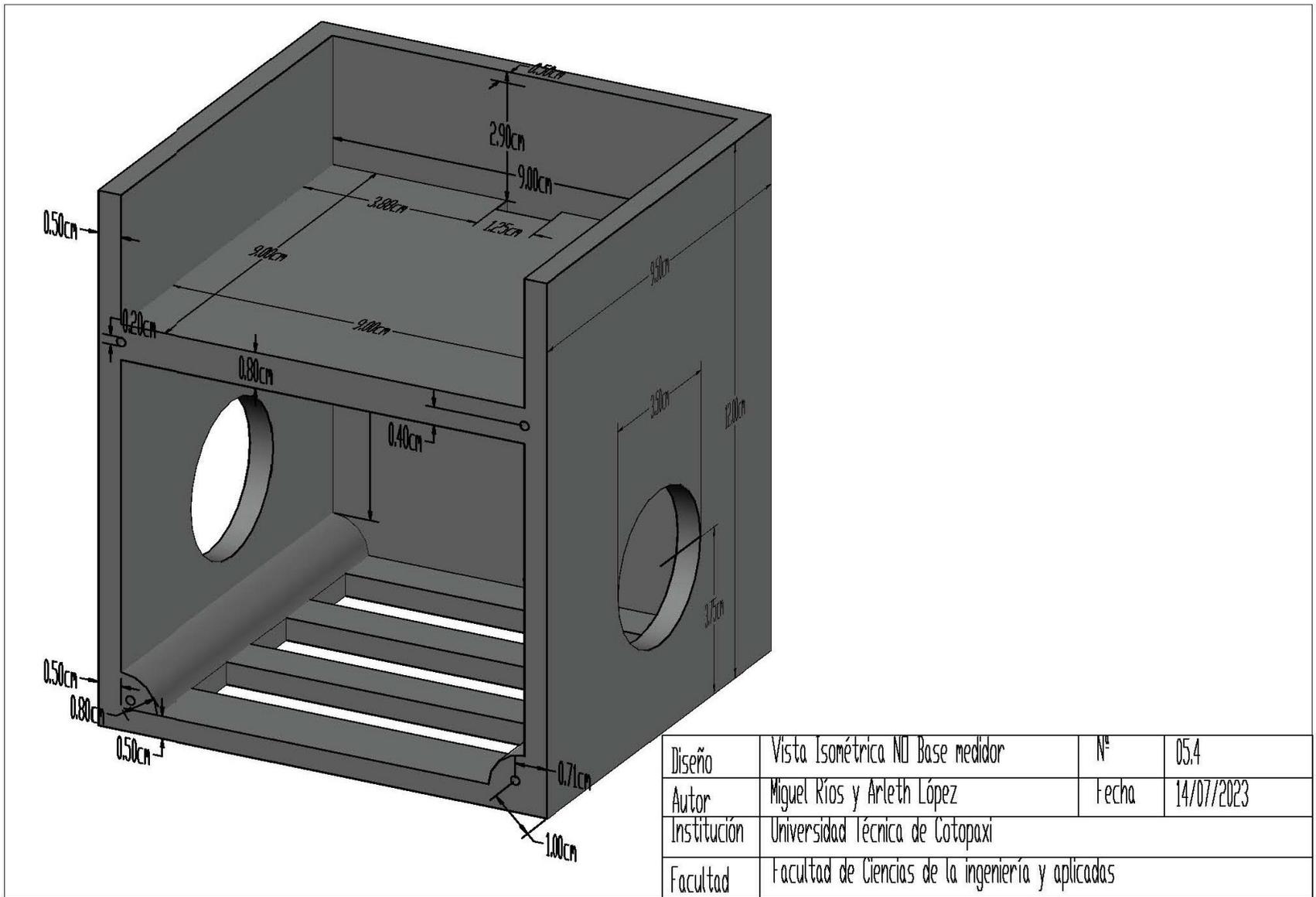


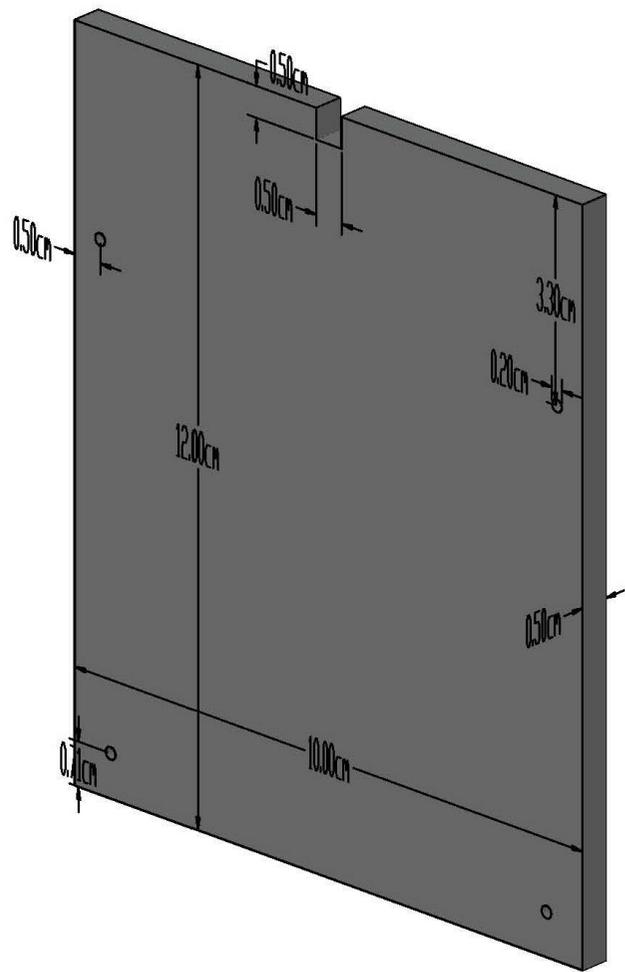
Figura VI. 2: Diseño 2D de la placa de circuito impreso del Gateway

ANEXO VII: Planos del diseño de carcasa del medidor de agua inteligente

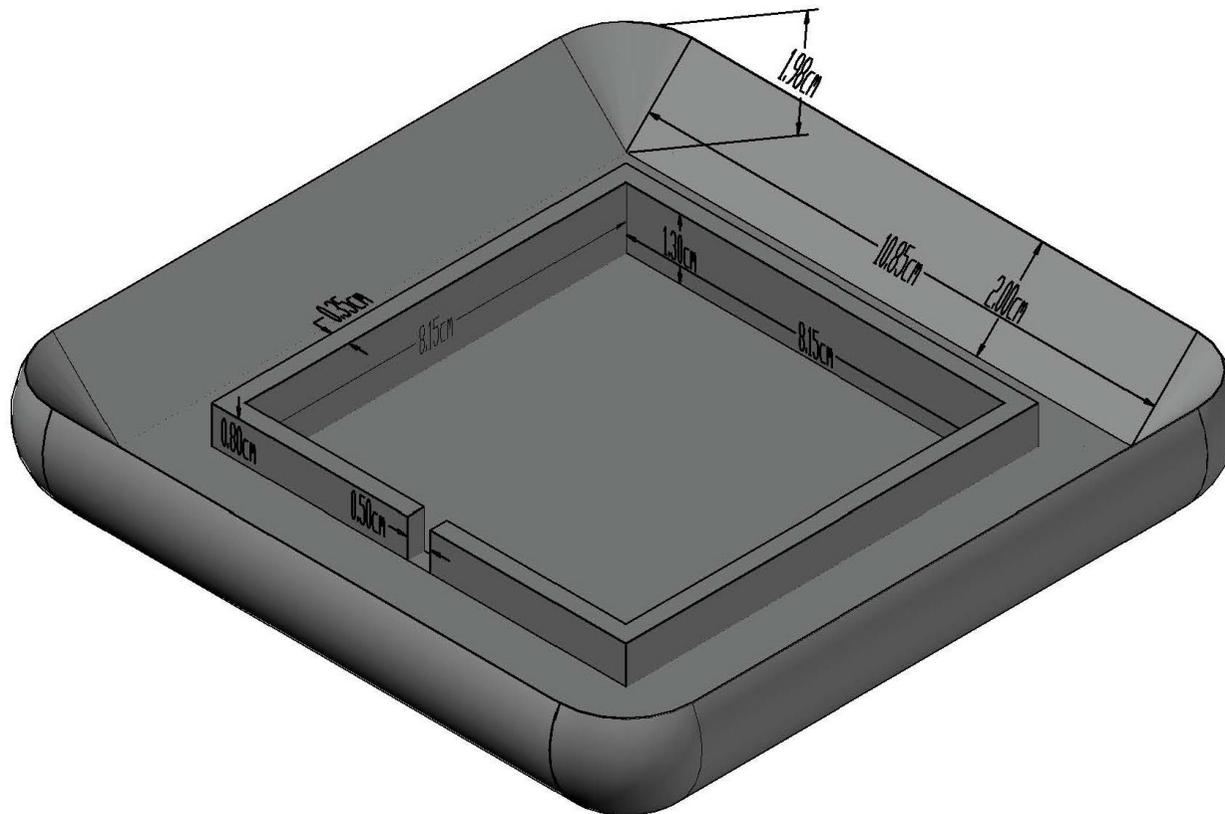


Diseño	Vista Frontal Base Medidor	Nº	05.2
Autor	Miguel Ríos y Arleth López	Fecha	14/07/2023
Institución	Universidad Técnica de Cotopaxi		
Facultad	Facultad de Ciencias de la ingeniería y aplicadas		



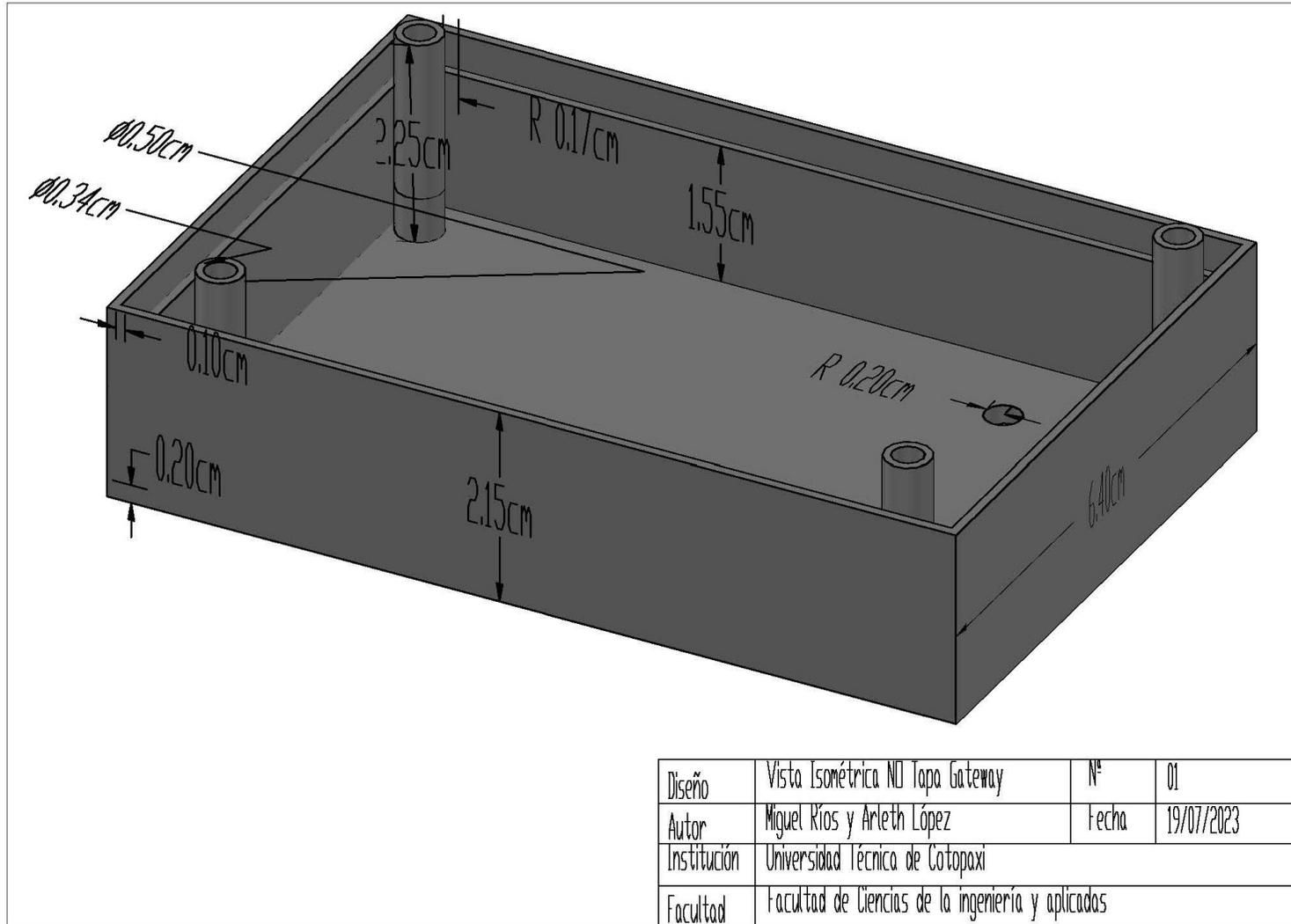


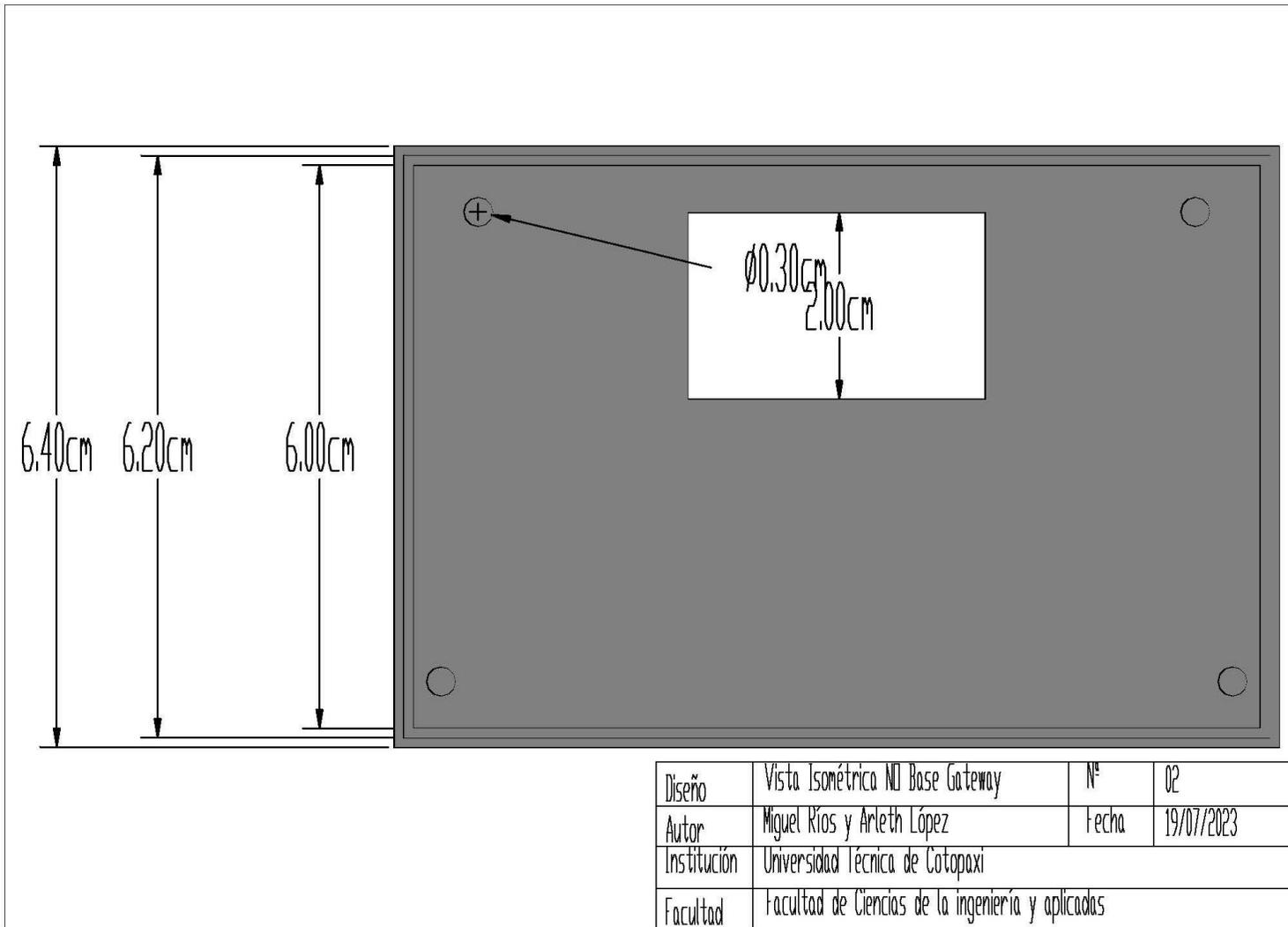
Diseño	Vista Isométrica NI Tapa Medidor	Nº	06
Autor	Miguel Ríos y Arleth López	Fecha	15/07/2023
Institución	Universidad Técnica de Cotopaxi		
Facultad	Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas		

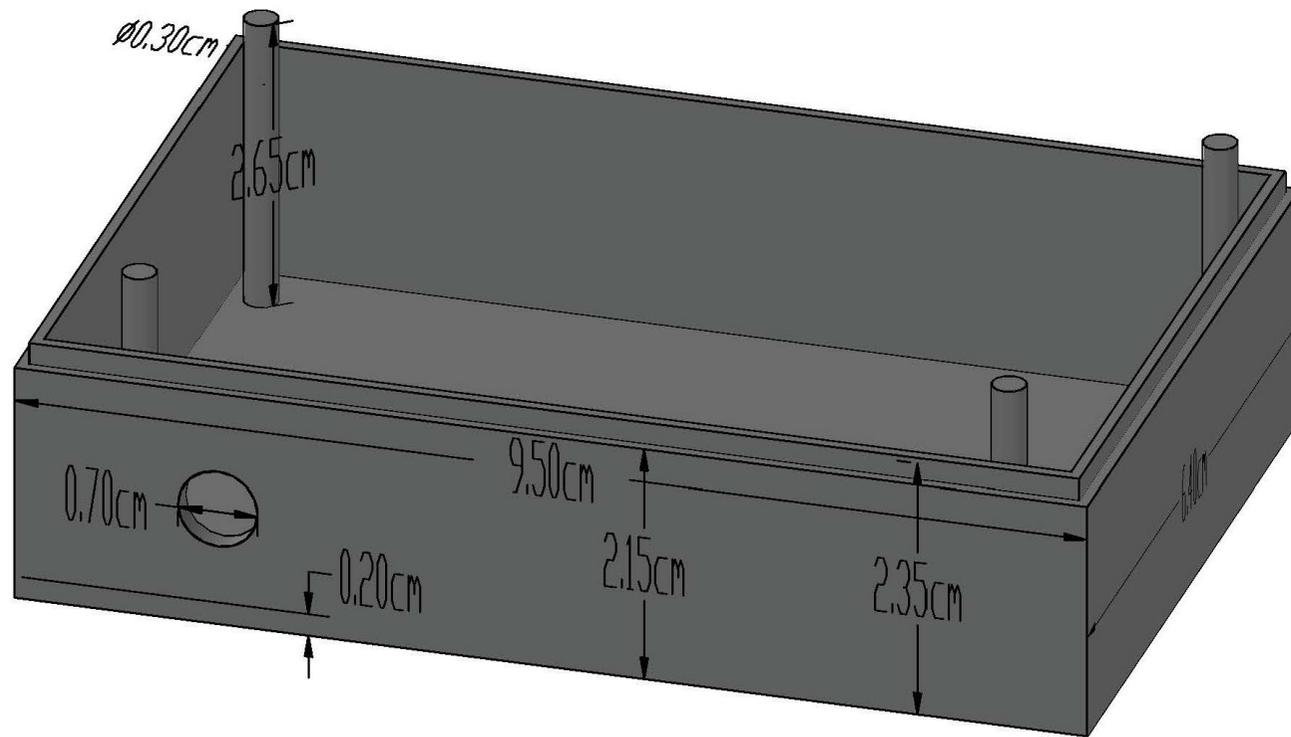


Diseño	Vista Isométrica ND Tapa Superior Medidor	Nº	07
Autor	Miguel Ríos y Arleth López	Fecha	15/07/2023
Institución	Universidad Técnica de Cotopaxi		
Facultad	Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas		

ANEXO VIII: Planos del diseño de carcasa del Gateway

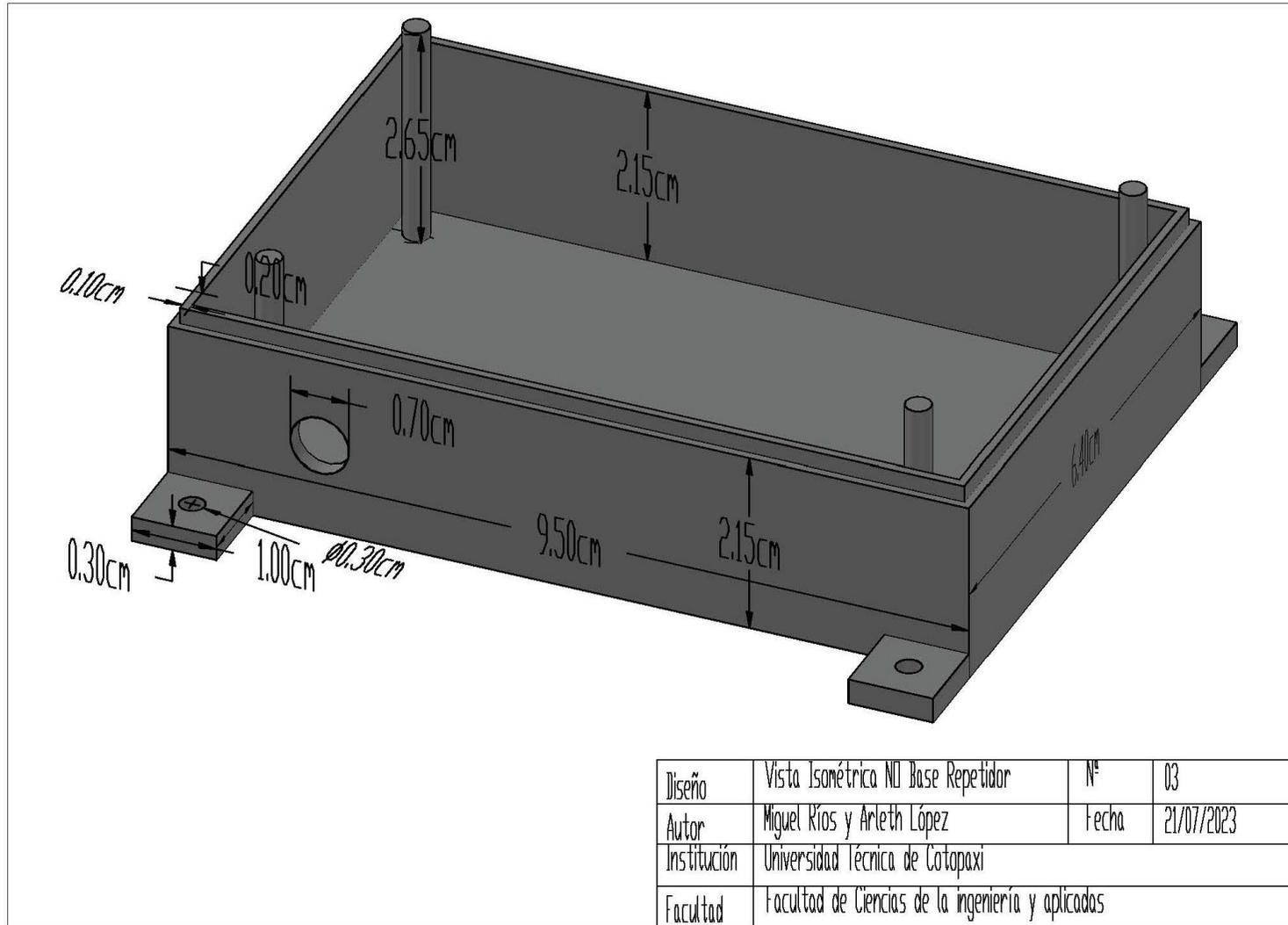


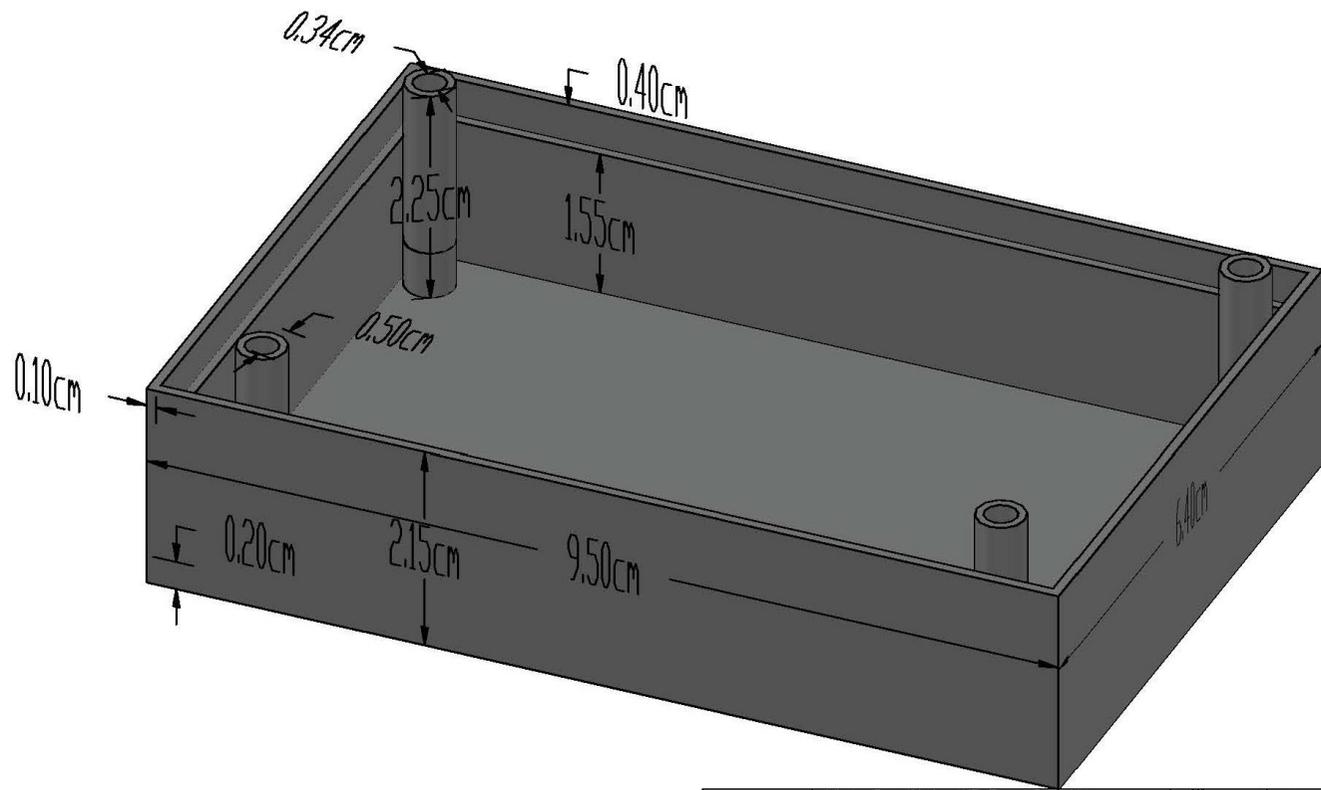




Diseño	Vista Isométrica ND Base Gateway	Nº	02.1
Autor	Miguel Ríos y Arleth López	Fecha	19/07/2023
Institución	Universidad Técnica de Cotopaxi		
Facultad	Facultad de Ciencias de la ingeniería y aplicadas		

ANEXO IX: Planos del diseño de carcasa del repetidor





Diseño	Vista Isométrica NO Tapa Repetidor	Nº	04
Autor	Miguel Ríos y Arleth López	Fecha	21/07/2023
Institución	Universidad Técnica de Cotopaxi		
Facultad	Facultad de Ciencias de la Ingeniería y aplicadas		

ANEXO X: Impresión 3d del prototipo



Figura X. 1: Impresión 3D de la base del medidor inteligente

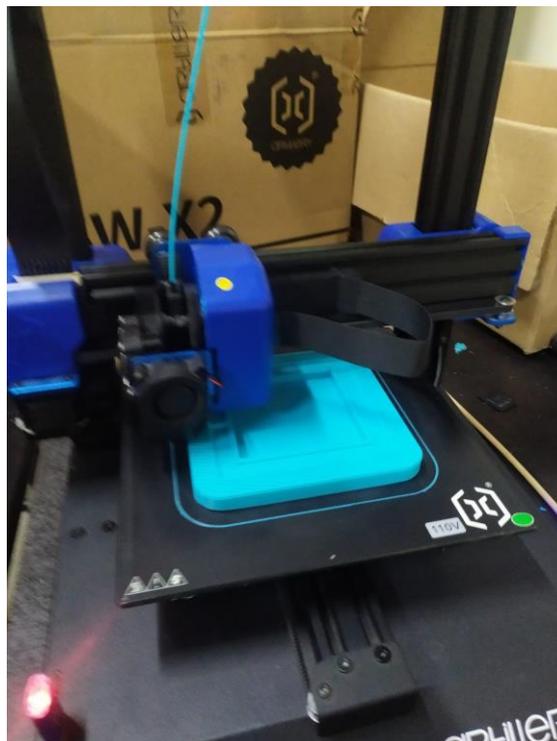


Figura X. 2: Impresión 3D de la tapa del medidor inteligente

ANEXO XI: Prototipo del sistema de monitoreo final

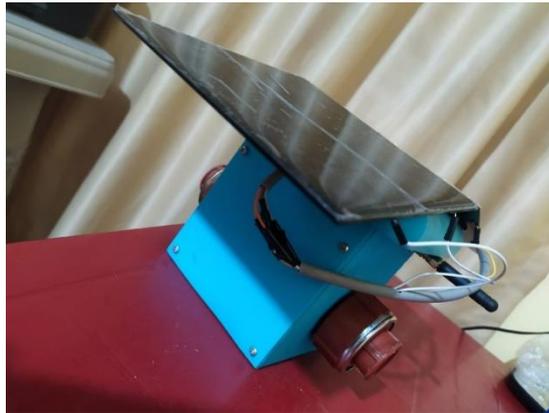


Figura XI. 1: Medidor inteligente final



Figura XI. 2: Gateway final



Figura XI. 3: Repetidor final

ANEXO XII: Pruebas de funcionamiento



Figura XII. 1: Pruebas realizadas con dispensador de agua



Figura XII. 2: Medidor inteligente conectado al suministro de agua potable de Latacunga



Figura XII. 3: Instalación de medidor en el punto más lejano a la junta de agua



Figura XII. 4: Medidor inteligente instalado en el punto más lejano a la junta de agua

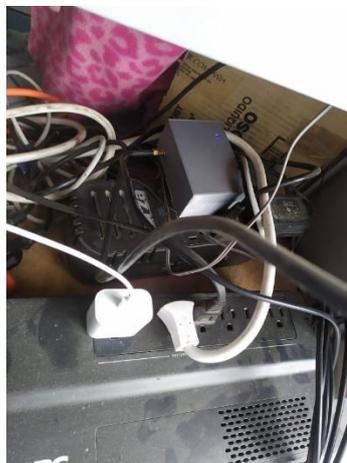


Figura XII. 5: Gateway instalado en oficinas de la junta de agua



Figura XII. 6: Antena de Gateway ubicada en la parte superior de la junta de agua



Figura XII. 7: Repetidor puesto en campo y antena a 3 metros de altura